ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η δυναμική της ατμόσφαιρας στην εμφάνιση σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο με την χρήση αριθμητικού μοντέλου καιρού μέσης – κλίμακας WRF (Weather Research and Forecasting Model)

Ιωάννης Θ. Ματσαγγούρας

ΑΘΗΝΑ
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOLOGY AND GEOENVIRONMENT

PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES

PhD THESIS

The dynamics of the atmosphere in the development of tornadic events in Greece using the Weather Research and Forecasting Model (WRF)

Ioannis T. Matsangouras

ATHENS

APRIL 2014

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Η δυναμική της ατμόσφαιρας στην εμφάνιση σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο με την χρήση αριθμητικού μοντέλου καιρού μέσης – κλίμακας WRF (Weather Research and Forecasting Model)

Ιωάννης Θ. Ματσαγγούρας

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Παναγιώτης Νάστος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ:
Παναγιώτης Νάστος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ
Σεραφείμ Πούλος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ
Ιωάννης Πυθαρούλης, Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

(Υπογραφή)

Ευθύμιος Λέκκας,
Καθηγητής ΕΚΠΑ

(Υπογραφή)

Αθανάσιος Παλιατσός,
Καθηγητής ΤΕΙ Πειραιά

(Υπογραφή)

Παναγιώτης Νάστος,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

(Υπογραφή)

Σεραφείμ Πούλος,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

(Υπογραφή)

Έλενα Φλόκα,
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

(Υπογραφή)

Ιωάννης Πυθαρούλης,
Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ

Πέτρος Κατσαφάδος,
Επίκουρος Καθηγητής Χαρακόπειο Πανεπιστήμιο

Ημερομηνία εξέτασης 2/04/2014

PhD THESIS

The dynamics of the atmosphere in the development of tornadic events in Greece using the Weather Research and Forecasting Model (WRF)

Ioannis T. Matsangouras

SUPERVISOR: Panagiotis Nastos, Associate Professor UoA

THREE-MEMBER ADVISORY COMMITTEE:
Panagiotis Nastos, Associate Professor UoA
Serafim Poulos, Associate Professor UoA
Ioannis Pytharoulis, Assistant Professor AUoT

SEVEN-MEMBER EXAMINATION COMMITTEE

(Signature)

Ethimios Lekkas,
Professor UoA

(Signature)

Athanasios Paliatsos,
Professor TEI Piraeus

(Signature)

Panagiotis Nastos,
Associate Professor UoA

(Υπογραφή)

(Signature)

Serafim Poulos,
Associate Professor UoA

(Υπογραφή)

Helena Floka,
Associate Professor UoA

(Signature)

Ioannis Pytharoulis,
Assistant Professor AUoT

Petros Katsafados,
Assistant Professor HU

Examination Date 2/04/2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της διδακτορικής διατριβής ήταν η μελέτη της δυναμικής της ατμόσφαιρας μέσα από το πρίσμα της Κλιματολογίας, της Συνοπτικής Μετεωρολογίας και της Αριθμητικής Πρόγνωσης στην εμφάνιση των σιφώνων (TR) και υδροσιφώνων (WS) στον Ελλαδικό χώρο, με έμφαση στη δυτική Ελλάδα και στο νότιο Αιγαίο, για την χρονική περίοδο 1709-2012. Μέσα από την παρούσα διατριβής αναπτύχθηκε ο ιστότοπος του Πανεπιστημίου Αθηνών για την καταγραφή των σιφώνων και υδροσιφώνων που εκδηλώνονται στον Ελλαδικό χώρο (http://tornado.geol.uoa.gr/).

Τη χρονική περίοδο 1709-2012, καταγράψαμε 612 γεγονότα TE, τα οποία εμφανίστηκαν σε 405 μοναδικές ημέρες και κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τον τύπο τους ως: 171 TR, 374 WS και 67 FC. Οι επιπτώσεις ήταν σημαντικές τόσο σε δομικά στοιχεία, σε καλλιέργειες όσο και σε ανθρώπινα θύματα (114 άνθρωποι τραυματίστηκαν και 29 τραυματίστηκαν θανάσιμα). Η επικρατέστερη ένταση σιφώνων στην Ελλάδα, με ποσοστό 27,73 %, είναι η ένταση T4 της κλίμακας TORRO. Η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης TE (2000-2012) στη χώρα μας είναι 42,15 γεγονότα/έτος (10 TR/έτος, 27,69 WS/έτος) ενώ η μέση ετήσια χωρική συχνότητα εμφάνισης είναι 3,19 γεγονότα/10^4km^2. Επιδεκτικότερη περιοχή εμφάνισης είναι η δυτική Ελλάδα με 19,09 TE/έτος (5,08 TR/έτος και 9,69 WS/έτος). Οι TR εμφανίζουν μέση ετήσια συχνότητα 2,85 TR/έτος στη ΒΔ Πελοπόννησο, ενώ οι WS εμφανίζουν 10 WS/έτος στη βόρεια Κρήτη και ακολουθεί η Κέρκυρα με 6,92 WS/έτος.

Η εποχική κατανομή των TE, TR και WS αποτυπώνει τη φθινοπωρινή περίοδο ως την επικρατέστερη εποχή εμφάνισης τους, ενώ η εποχική κατανομή των ημερών εμφάνισης τους υπολογίστηκε σε 4,75 ημέρες με εκδήλωση TR και σε 7,17 ημέρες με εκδήλωση WS το φθινόπωρο. Ο Οκτώβριος είναι ο μήνας με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης TR και ακολουθεί ο Νοέμβριος με εξαίρεση την περιοχή της Μακεδονίας που παρουσιάζει μέγιστο τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Η μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης WS παρουσιάζει ως συχνότερο μήνα εμφάνισης τον Οκτώβριο και ακολουθεί ο Σεπτέμβριος. Το 75% των TE αναπτύχθηκαν από τις 08:00 έως τις 15:00 UTC, ενώ η ημερήσια διακύμανση των TR παρουσιάζει μέγιστο από τις 11:00 έως τις 13:00 UTC, σε αντίθεση με την ημερήσια διακύμανση των WS που παρουσιάζει δύο μέγιστα: στις 07:00-09:00 UTC και στις 14:00-15:00 UTC.

Κατά την φθινοπωρινή περίοδο, η μέση συνοπτική κατάσταση των ημερών εμφάνισης TR στη δυτική Ελλάδα: α) στα 500 hPa, χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος της κεντρικής και νότιας Ιταλίας και β) στη μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ) παρατηρείται μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στον κόλπο του Τάραντα. Όμοια συνοπτική κατάσταση χαρακτηρίζει και τις ημέρες εκδήλωσης WS στη δυτική Ελλάδα. Κατά την εκδήλωση WS τη φθινοπωρινή περίοδο στις βόρειες ακτές της Κρήτης η μέση συνοπτική κατάσταση : α) στα 500 hPa χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος των ανατολικών τμημάτων της χώρας και β) στη ΜΣΘ αποτυπώνεται συνδυασμός των υψηλών πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, τις ημέρες δημιουργίας TR στη δυτική Ελλάδα, η μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στα 500 hPa, ενώ τη χειμερινή περίοδο η μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στις στάθμες των 925 hPa και ΜΣΘ .Κατά την εμφάνιση WS στη δυτική Ελλάδα, οι μέγιστες ανωμαλίες παρατηρήθηκαν το φθινόπωρο και στη στάθμη των 500 hPa.

Το 48 % των γεγονότων σιφώνων (TR) στη δυτική Ελλάδα εκδηλώθηκαν στο θερμό τομέα του ψυχρού μετώπου (προ-μετωπικό περιβάλλον), με τη θέση του ψυχρού μετώπου να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 50 km, ενώ το 27 % των περιπτώσεων εκδηλώθηκε στον ψυχρό τομέα του ψυχρού μετώπου (μετά τη διέλευση

του μετώπου). Δεν εντοπίστηκε συσχέτιση μεταξύ θερμού μετώπου (προ-μετωπικά και μετά-μετωπικά) και εκδήλωσης TR.

Κατά την φθινοπωρινή περίοδο στη δυτική Ελλάδα ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση : α) TR: ήταν ο Τύπος-7 και Τύπος-12, με συχνότητα εμφάνισης 3.56 % και 6,79 % αντίστοιχα και β) WS: ήταν ο Τύπος-7, 3 και 12 με συχνότητα εμφάνισης 3,8 %, 1,23 % και 3,85 %. Κατά την φθινοπωρινή περίοδο στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση WS ήταν ο Τύπος-11, 6 και 13 με συχνότητα εμφάνισης 2,86 %, 0,7 % και 1,66 %, αντίστοιχα

Το θερμοδυναμικό προφίλ της ατμόσφαιρας κατά τις ημέρες εκδήλωσης WS στο νότιο Αιγαίο αποτύπωσε ατμοσφαιρικές συνθήκες με χαμηλές τιμές θερμοδυναμικών δεικτών (LI, SW, K, CAPE, BRN) και την διέλευση μιας μικρής διαταραχής στη μέση ατμόσφαιρα. Κατά τις ημέρες εκδήλωσης WS στη θαλάσσια περιοχή βόρεια της Κρήτης η μέση ένταση των ανέμων στην κατώτερη ατμόσφαιρα ήταν μικρότερη των 15 Knots, ενώ η μέση διεύθυνση ήταν από ΒΔ διευθύνσεις και το κατακόρυφο προφίλ των ανέμων αποτύπωσε μία διαδοχική αντιστροφή και στροφή μέχρι το βαρομετρικό επίπεδο των 500 hPa. Η διαφορά θερμοκρασίας τόσο της στάθμης των 1000 hPa, όσο και της SST με τις βαρομετρικές στάθμες των 500-700-850 και 925 hPa αποτύπωσε ένα σταθερό εποχικό εύρος τιμών της θερμοκρασίας. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, στο νότιο Αιγαίο τις ημέρες εκδήλωσης WS το εύρος τιμών της SST είναι 25,35-16,50 °C με τη μέση τιμή στους 22,77 °C, ενώ το χειμώνα 19,10-15,3 °C και 19,1 °C, αντίστοιχα.

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις της ατμόσφαιρας με τη χρήση του αριθμητικού μοντέλου WRF-ARW επιβεβαίωσαν την ικανότητα του μοντέλου να αναπαράγει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες ώστε να προσομοιώσουν την πραγματική ατμοσφαιρική κατάσταση και απέδειξαν την ικανότητα του να αποτυπώσει τη χωροχρονική εξέλιξη των δεικτών EHI, SRH, MCAPE με τις μέγιστες τιμές τους τουλάχιστον 12 ώρες πριν την εκδήλωση του TR και αρκετά κοντά στις περιοχές εκδήλωσής του. Η μελέτη της επίδρασης της ορογραφίας στις αριθμητικές προσομοιώσεις εκδήλωσης TR που σχετίζονται με συνοπτικό αίτιο ανύψωσης απέδειξε ότι η τοπογραφία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση του TR στη Θήβα Βοιωτίας στις 17/11/2007 και στα Βράσταμα Χαλκιδικής στις 12/2/2010. Το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο αποδείχθηκε σημαντικό παράγοντας καθώς οι τιμές των παραπάνω διαγνωστικών δεικτών διπλασιάστηκαν λόγω της ύπαρξης της. Σε αντίθεση η αριθμητική προσομοίωση των περιπτώσεων στη δυτική Ελλάδα (Βλυχός Λευκάδος στις 21/9/2011 και Βάρδα Ηλείας στις 25/3/2009) απέδειξε ότι η τοπογραφία δεν έπαιξε τόσο σημαντικό ρόλο ή σχεδόν καθόλου ρόλο στην εξέλιξη των τιμών των διαγνωστικών παραμέτρων.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Κλιματολογία, Συνοπτική Κλιματολογία, Αριθμητική Πρόγνωση, Ακραία Καιρικά Φαινόμενα

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: σίφωνας, υδροσίφωνας, χοανοειδές νέφος, κλιματολογία, συνοπτική, μετεωρολογία, ακραία καιρικά φαινόμενα, αριθμητικές προσομοιώσεις, δείκτες αστάθειας, αριθμητικά μοντέλα, NCEP, ECMWF

ABSTRACT

The objective of this PhD thesis was to study the dynamics of the atmosphere that favour the development of tornadoes (TR), waterspouts (WS) and funnel clouds (FC) over Greece within the period 1709-2012 from the point of view of Climatology, Synoptic Meteorology and Numerical Weather Prediction. The study area was emphasized over west Greece and south Aegean Sea. An online Greek tornado report system was developed to record any tornadic activity over Greece by the University of Athens (http://tornado.geol.uoa.gr/).

A total of 612 tornadic events (TE) were recorded, within 405 unique days and categorized by type as: 171 TR, 374 WS and 67 FC from 1709 to 2012. The impact of tornadic activity was significant to structural facilities and to human life (114 injuries and 29 fatalities). Besides, 27.73 % of tornadic events were characterized in terms of intensity as T4 of TORRO scale. The annual mean of TE (2000-2012) over Greece was calculated to 42.15 events/year (10 TR/year, 27,69 WS/year), while the spatial annual mean was estimated to 3.19 events/10^4km^2. The most vulnerable area was characterized the west Greece with TE 19.09/year (5.08 TR/year and 9.69 WS/year). TR exhibited an annual mean rate of 2.85 TR/year over NW Peloponnesus, while WS events showed a maximum occurrence over north Crete and Corfu, 10 WS/year and 6.92 WS/year, respectively.

The seasonal distribution of TE, TR and WS indicated autumn as the dominant season, while tornadic days during autumn were estimated 4.75 days for TR and 7.17 days for WS events. October was the month with the maximum frequency for TR, followed by November; with an exception over the region of Macedonia where the maximum frequency occurred during June and July. The monthly distribution of WS days revealed October as the dominant month, followed by September. 75 % of TE were developed between 08:00 and 15:00 UTC, while the diurnal variation of TR showed a maximum from 11:00 to 13:00 UTC, in contrast to WS diurnal variation that exhibited two maxima: between 07:00-09:00 UTC and 14:00-15:00 UTC.

During autumn season, the mean composite synoptic conditions of TR days over west Greece displayed a large trough along the central and southern Italy at 500 hPa isobaric level, and a closed cyclonic circulation over the Gulf of Taranto at mean sea level (MSL). The same mean daily composite synoptic conditions were characterized WS days over west Greece. During autumn season the mean daily composite synoptic conditions during WS days over south Aegean Sea showed a large trough line along the eastern parts of Greece at 500 hPa isobaric level, and a combination of high pressure over central Europe with the low pressures over SE Mediterranean Sea at MSL. During autumn the maximum daily composite anomaly was depicted at 500 hPa isobaric level, in contrast to winter when the maximum daily composite anomaly was calculated at the pressure level of 925 hPa and MSL. During autumn the maximum daily composite anomaly of WS days was observed at the isobaric level of 500 hPa.

48% of TR events, that occurred over west Greece, developed in the warm sector of the cold front (pre - frontal events) and in a distance less than 50 km from the active cold front line, while the 27% of TR events developed in the cold area of the cold front (after the passage of the front). There was not detected any correlation between warm fronts (pre-frontal and post- frontal activity) and TR events.

During autumn season, the favour synoptic types over west Greece for TR were the Type-7 and Type-12, with a frequency of 3.56 % and 6.79 % TR days, respectively, while for WS were the Type-7, 3 and 12 with a frequency of 3.8 %, 1.23 % and 3.85 %

WS days, respectively. During autumn, the dominant synoptic types for WS development over south Aegean Sea were the Type-11, 6 and 13, with a frequency of 2.86 %, 0.7% and 1.66 % WS days, respectively.

The thermodynamic profile of the atmosphere during WS days over south Aegean Sea revealed atmospheric conditions associated with insignificant unstable conditions retrieved from the thermodynamic indices (LI, SW, K, CAPE, BRN) and a passage of a minor trough at the middle atmosphere over east parts of Greece. The mean wind speed in the lower atmosphere during WS days over the south Aegean sea, exhibited values less than 15 knots, while the mean wind direction was calculated from NW directions. In addition, the vertical wind profile showed a successive backing and veering up to the level of 500 hPa. The temperature differences between the levels of 1000 hPa and 500, 700, 850 and 925 hPa, as well as SST and the aforementioned upper air isobaric levels showed quasi similar differences on seasonal basis. SST over south Aegean Sea during autumn WS days showed a range of SST values from 25.35 to 16.50 °C (mean 22.77 °C), in contrast to winter, when SST was calculated 19.10-15.3 °C (mean 19.1 °C).

Numerical simulations with the use of WRF-ARW numerical model confirmed its ability to reproduce/simulate the atmospheric conditions and to assess the spatiotemporal evolution of the maximum values of the tornadogenesis indices such as EHI, SRH, MCAPE, at least 12 forecasting hours prior the onset of TR and quite near to the location of formation. The study of the orography effect by applying numerical simulations of TR events associated with synoptic force, illustrated that topography played an important role in the development of TR in Thebes of Boeotia on 17/11/2007 and in Vrastama of Halkidiki on 12/2/2010, in contrast to the numerical simulations of TR events over west Greece (in Vlychos of Lefkas on 21/9/2011 and in Varda of Ilias on 25/3/2009).

SUBJECT AREA: Climatology, Synoptic Climatology, Mesoscale Meteorology, Numerical Modeling

KEYWORDS: tornado, waterspout, funnel clouds, climatology, numerical simulation, thermodynamic indices, severe weather, WRF, meteorology, spatial distribution, temporal distribution, NCEP, ECMWF

Η παρούσα διατριβή αφιερώνεται στην οικογένεια μου,
στη σύζυγο μου Δήμητρα και στα παιδιά μου Θοδωρή και Φύλλια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για την παροχή των δορυφορικών εικόνων, την οπτικοποίηση των ηλεκτρικών εκκενώσεων, των προϊόντων Radar και όλων των παρατηρήσεων Metar. Το NCEP για την παροχή δεδομένων για τη δημιουργία των μέσων ημερήσιων συνοπτικών δεδομένων και μέσων ημερήσιων ανωμαλιών της ατμόσφαιρας. Το ESSL και τους διαχειριστές του ESWD, την Eumetsat, University of Wyoming, το UK Metoffice και το ECMWF για την παροχή των αρχικών συνθηκών στην εφαρμογή του μοντέλου WRF. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω για την πολύτιμη προσπάθεια όλους εκείνους τους ανώνυμου χρήστες του ιστότοπου αναφοράς σιφώνων του Πανεπιστημίου Αθηνών που συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην ανάπτυξη της σημαντικής βάσης δεδομένων.

ΛΙΣΤΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

Papers in Peer Reviewed Journals

1. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Pytharoulis I., 2014: Numerical modeling and analysis of the effect of Greek complex topography on tornado genesis. *Natural Hazards and Earth System Science*, in press, doi:10.5194/nhessd-2-1433-2014.
2. Nastos P.T. and Matsangouras I.T., 2014: Analysis of synoptic conditions for tornadic days over Western Greece. *Natural Hazards and Earth System Science*, in press, doi:10.5194/nhessd-2-2215-2014.
3. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Bluestein H.B., Sioutas M.V., 2013: A climatology of tornadic activity over Greece based on historical records. *International Journal of climatology,* Article first published online: 6 NOV 2013, In press, DOI:10.1002/joc.3857.
4. Nastos P.T., Matsangouras I.T., Chronis T., 2013: Spatio-temporal analysis of lightning activity over Greece. Preliminary results derived from the recent precision lightning network. Atmospheric Research, Available online 5 November 2013, ISSN 0169-8095, In press, DOI:10.1016/j.atmosres.2013.10.021.
5. Nastos P.T. and Matsangouras I.T., 2013: A proposed Atmospheric Hazards early Warning System (AHEWS) incorporated in the new Regional Administration “Kalikratis”. Georisk: Volume 7, Issue 4, December 2013, Pages 267-274, DOI:10.1080/17499518.2013.773817.
6. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Pytharoulis I., 2011: Synoptic-mesoscale analysis and numerical modeling of a tornado event on 12 February 2010 in northern Greece. *Advances in Science and Research.* 6, 187–194, 2011.
7. Nastos P.T. and Matsangouras I.T., 2010: Tornado activity in Greece within the 20th century, *Advances in Geosciences*, 26, 49–51, 2010.
8. Matsangouras I.T. and Nastos P.T., 2010: The 27 July 2002 tornado event in Athens. *Advances in Science and Research*, 4, 9–13, 2010.

Book Sections

1. Nastos P.T. and Matsangouras I.T., 2012. Composite Mean and Anomaly of Synoptic Conditions for Tornadic Days over North Ionian Sea (NW Greece). In C. G. Helmis & P. T. Nastos (Eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 639–645). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-29172-2_91.
2. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Pytharoulis I., 2012. Numerical Investigation of the Role of Topography in Tornado Events in Greece. In C. G. Helmis & P. T. Nastos (Eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 209–215). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-29172-2_30.
3. Sioutas M.V., Nastos P.T., Matsangouras I.T., Floca H.A., 2012. Meteorological Conditions Associated with Strong Tornadoes in Greece. In C. G. Helmis & P. T. Nastos (Eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 293-299). Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-29172-2_42.

Proceedings in International Conferences

1. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Nikolakis D. 2010: Study of meteorological conditions related to the tornado activity on 25-3-2009 over NW Peloponnesus, Greece. In: Proc. 10th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2010), 25–38 May 2010, Patras, Greece, 417–425.
2. Fakitsas G., Nastos P.T., Matsangouras I.T., 2010: Spatio-temporal variability of lightings over Greece within 1998-2007. In: Proc. 10th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2010), 25–38 May 2010, Patra, Greece, 689–695.

Participation with abstracts in International Conferences with reviewers

1. Matsangouras I.T., Pytharoulis I., Nastos P.T., and Bluestein H., 2014: A climatology of diagnostic indices for tornadogenesis over NW Peloponnesus based on WRF numerical simulations. 1st International Summit on Tornadoes and Climate Change, Chania, Crete, Greece, 25-30 May 2014 (paper status: submitted)
2. Nastos P.T., Matsangouras I.T., Pytharoulis I., 2014: Investigating tornadic days synoptic weather conditions and their relationship with climate indices fluctuation over Greece. 1st International Summit on Tornadoes and Climate Change, Chania, Crete, Greece, 25-30 May 2014 (paper status: submitted)
3. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Pytharoulis I., 2014: Atmospheric conditions analysis of waterspout events based on thermodynamic environment and sea surface temperature distribution over south Aegean Sea, Greece. COMECAP2014, 12th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 28 – 31 May, 2014 (paper status: submitted)
4. Nastos P.T., Matsangouras I.T., 2014: Seasonal analysis of composite mean and anomaly of lower atmosphere during waterspout days over north Cretan Sea, Greece. COMECAP2014, 12th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 28 – 31 May, 2014 (paper status: submitted)
5. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Zacharopoulos K., 2014: Spatial and temporal analysis of lightning's impact over Greece. COMECAP2014, 12th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 28 – 31 May, 2014 (paper status: submitted).
6. Papachristopoulou K., Matsangouras I.T., Nastos P.T., 2014: Waterspout cloud top detection using MSG SEVIRI Infrared brightness temperature over south Aegean Sea. COMECAP2014, 12th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 28 – 31 May, 2014 (paper status: submitted).
7. Matsangouras I.T., Nastos P.T. and Pytharoulis I., 2014: Numerical simulation of tornadoes' meteorological conditions over Greece: A case study of tornadic activity over NW Peloponnesus on March 25, 2009. EGU2014, European Geosciences Union, Vienna, Austria, 27 April–02 May 2014, EGU2014-8776 (paper status: submitted).
8. Matsangouras I.T. and Nastos P.T., 2014: Predictability and extended-range prognosis in natural hazard risk mitigation process: A case study over west Greece. EGU2014, European Geosciences Union, Vienna, Austria, 27 April–02 May 2014, EGU2014-10616 (paper status: submitted).

9. **Matsangouras I.T.**, Nastos P.T., Smith R., Blair D., and Dahni R., 2013: An objective synoptic classification of tornadic days over Greece. 13th Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS) and the 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC) , Reading, United Kingdom, 9-13 September 2013, Vol. 10, EMS2013-514.

10. Nastos P.T, Bleta A.G. and Matsangouras I.T., 2013: The development of Fohn winds due to Saharan dust outbreaks and the associated human thermal bioclimatic conditions in Crete island, Greece. 13th International Conference on Environmental Science and Technology, 5-7 September 2013, Athens, Greece, CEST2013-396.

11. Matsangouras I.T., Nastos P.T., 2013: Historical records of tornadic activity over Greece. 7th European Conferences on Severe Storms (ECSS2011), Palma de Mallorca Balearic Islands, Spain, 3-7 June 2013, ECSS2013-236.

12. Matsangouras I.T., Nastos P.T., and Kapsomenakis I., 2013: On the relationship between TRMM 3B-42 datasets and cloud-to-ground lightning observations over Greek territory. European Geosciences Union General Assembly 2013, Vienna, Austria, April 7-12, 2013, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-12569.

13. Nastos P.T., Matsangouras I.T., and Chronis T., 2012: Spatio-temporal activity of lightnings over Greece. European Geosciences Union General Assembly 2012, Vienna, Austria, April 22-27, 2012, Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-6604.

14. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Sioutas M.V., 2011: Historical records of tornadic activity over Greece. 6th European Conferences on Severe Storms (ECSS2011), Palma de Mallorca Balearic Islands, Spain, 3-7 October 2011, ECSS2011-215.

15. Chronis T., Anangnostou M., Alexakis G., Armenis G., Kalogiros I., Matsangouras I., Nastos, P., Nysten J., Papadopoulos V., Papadopoulos A., Potiriadis G., Soukissian T., Velea L., 2011: Synergistic Severe Weather Monitoring over the Greek Seas. European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria, April 3-8, 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-4741.

16. Matsangouras I.T., Nastos, P.T., 2011: Design and proposal of the AHEWS (Atmospheric Hazards Early Warning System) related to the new Greek Regional Administrative structure. European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria, April 3-8, 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-12301-1.

17. Nastos P.T ., Matsangouras I.T., 2010: Spatial and temporal variability of lightings over Greece. 12th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Dassia, Corfu Island, Greece, 01-04 September 2010, Vol. 12, Plinius12-103.

18. Matsangouras I.T., Nastos P.T., Pytharoulis I., 2010: Synoptic-mesoscale analysis and numerical modeling of a tornado event on 12 February 2010 in northern Greece. 10th Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS) and the 8th European Conference on Applied Climatology (ECAC) , Zürich, Switzerland, 13-17 September 2010, Vol. 7, EMS2010-689.

19. Nastos P.T., Matsangouras I.T., 2009: Tornado activity in Greece within the 20th Century.11th Congress on Mediterranean Storms, Barcelona, Spain, 07-11 September 2009, Vol. 11, PLINIUS11-57.

20. Matsangouras I.T., Nastos P.T., 2009: The July 27, 2002 tornado event in Athens, Greece. 9th Annual Meeting of the European Meteorological Society (EMS) and the 9th European Conference on Applied Climatology (ECAM), Toulouse, France, 28 September - 2 October 2009, Vol. 6, EMS2009-305.

.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Υδροσίφωνας στις 5 Ιουνίου 2010 κοντά στις ακτές του Αγ. Ιωάννη Πηλίου. 51

Εικόνα 2.2:Σχηματικό μοντέλο (πλευρική και κατακόρυψη απεικόνηση) του νεφικού συστήματος κατά την εμφάνιση πολλαπλών γεγονότων υδροσιφώνων [1]. 52

Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνηση του τρόπου δημιουργίας του υδροσίφωνα σύμφωνα με τις αναφορές [3] (αριστερά), [4] (μέση) και [5] (δεξιά).....53

Εικόνα 2.4: Ο ανοιχτόχρωμος δίσκος περιτριγυρισμένος από σκούρες αποχρώσεις του μπλε αποτυπώνουν την έναρξη του 1^{ου} σταδίου ανάπτυξης του υδροσίφωνα [1]. 55

Εικόνα 2.5: Η ύπαρξη ενός χαονοειδούς νέφους πάνω από την σκούρα κηλίδα σηματοδοτεί την σταδιακή ενίσχυση του φαινομένου και την δημιουργία υδροσίφωνα [1]. 56

Εικόνα 2.6: Με τη χρήση φωτοβολίδων κοντά στις σκούρες κηλίδες παρατήρησαν την ύπαρξη στροβιλιζόμενου αέρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας [7]. 57

Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση της ροής γύρω από το “Dark Spot” όπως την παρουσίασε ο [7] όπου Η (η βάση νεφών)=550-670 m, Df (η μέγιστη διάμετρο του χαονοειδούς νέφους) = 3-150 m, d= 3-45 m και α=15-760 m. 57

Εικόνα 2.8: Στο 2^{ο} στάδιο παρατηρείται μία σπειροειδή κυκλοφορία γύρω από το Dark Spot, η οποία είναι ορατή από υψηλά [1].....58

Εικόνα 2.9: Η εμφάνιση της ελικοειδής μορφής γύρω από το dark spot παρατηρείται σε συνθήκες με εξασθενημένους ανέμους [1].....59

Εικόνα 2.10: Σχηματική απεικόνιση της ροής γύρω κατά το 2^{ο} στάδιο όπως την παρουσίασε ο [7] όπου Η (η βάση νεφών)=550-670 m, ds = 150-920 m. Τα μαύρα έντονα βέλη υποδηλώνουν τη ροή των ελικοειδών μορφών που συγκλίνουν προς το κέντρο. 59

Εικόνα 2.11: Το 3^{ο} στάδιο ζωής του υδροσίφωνα με τη σταδιακή ανάπτυξη του υδροστροβίλου και τη σταδιακή επιμήκυνση του χαονοειδούς νέφους (αριστερή εικόνα). Η δεξιά εικόνα αποτυπώνει το 3^{ο} στάδιο στην περιοχή του Πατραϊκού κόλπου στις 15 Δεκεμβρίου 2007. 60

Εικόνα 2.12: Σχηματική απεικόνιση της ροής κατά το 3^{ο} στάδιο του κύκλου ζωής των υδροσιφώνων όπως την παρουσίασε ο [7] όπου Η είναι(η βάση νεφών=550-670 m και ds = 45-760 m. 61

Εικόνα 2.13: Στο ώριμο στάδιο της ζωής του υδροσίφωνα, το χοανοειδές νέφος «ακουμπάει» σχεδόν την επιφάνεια της θάλασσας και το κατώτερο μέρος του υδροσίφωνα να κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα, παραλία Εγκρεμνών Λευκάδα 23 Ιουνίου 2009. 62

Εικόνα 2.14: Σχηματική απεικόνιση της ροής κατά το 4° στάδιο του κύκλου ζωής των υδροσιφώνων όπως την παρουσίασε ο [7] με τη διάμετρο του υδροσίφωνα κάτω από το νέφος με τη μορφή κολάρου (στη βάση του νέφους) να κυμαίνεται από 3 έως 140m… 62

Εικόνα 2.15: Στο τελευταίο στάδιο ζωής του ο υδροσίφωνας αποκτά μία κωνική μορφή και απότομα αλλάζει μορφή δημιουργώντας διαφορετικά γραμμικά σχήματα. Στην εικόνα διακρίνεται στο βάθος η βροχή με τη μορφή «κουρτίνας», το αίτιο διάλυσης του υδροσίφωνα. 63

Εικόνα 2.16: Σχηματική απεικόνιση της ροής κατά το 5° και τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής του υδροσίφωνα όπως την παρουσίασε ο [7]. 64

Εικόνα 2.17: Φωτογραφία σίφωνα (tornado) πάνω από επίπεδη περιοχή στις Η.Π.Α. απεικονίζει το πυκνό στροβιλιζόμενο νέφος που ακουμπάει στο έδαφος. 66

Εικόνα 2.18: Φωτογραμμική ανάλυση του πεδίου των ανέμων στο Saylor Park, του Ohaio των Η.Π.Α. στις 3-4-1974. Οι μαύρες γραμμές αποτυπώνουν τις ταχύτητες στροβιλισμού ενώ οι κόκκινες τις ισχυρές ανοδικές κινήσεις, εικόνα από [15]. 67

Εικόνα 2.19: Σχηματική απεικόνιση της ροής του αέρα μέσα σε μία πολυκυτταρική καταιγίδα. Ο σίφωνας απεικονίζεται με το Τα και δημιουργείται μεταξύ του ζεστού αέρα που εισρέει και της ροής αέρα εκτός καταιγίδας (ψύξης λόγω βροχής). Τα μαύρα κυρτά βέλη στα ευθύγραμμα τμήματα αναπαριστούν τον οριζόντιο παράγοντα στροβιλισμού. Η οριζόντια ανάλυση του σχήματος είναι 30x30 km και η κατακόρυφη διάσταση είναι περίπου 10 km [17]. 68

Εικόνα 2.20: Απεικόνιση της υπόθεσης επίδρασης ψυχρών αερίων μαζών στη δημιουργία σίφωνα [20]. 70

Εικόνα 2.21: Η δημιουργία σίφωνα μέσα σε μία πολυκυτταρική καταιγίδα όπως αποτυπώνεται μέσα από σύνθετες εικόνες (φωτογραφίες και εικόνες doppler radar) στις 5 Ιουνίου 2009, LaGrange, WY, USA), εικόνα από [21]. 71

Εικόνα 3.1: Παγκόσμια κατανομή των σιφώνων με περιοδικότητα 4 χρόνων [29]. 77

Εικόνα 3.2: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Αργεντινή για την χρονική περίοδο 1930-1987 [32]. 78

Εικόνα 3.3: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ν. Αφρική για την χρονική περίοδο 1901-1995 [33]. 79

Εικόνα 3.4: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Αυστραλία για το χρονικό διάστημα 1985-1995 [36]. 80

Εικόνα 3.5: Χωρική κατανομή των σιφώνων στις Η.Π.Α. για το χρονικό διάστημα 1981-2010 (πηγή NOAA, Storm Prediction Center).....80

Εικόνα 3.6: Ετήσια κατανομή των σιφώνων στις Η.Π.Α. για τη χρονική περίοδο 2010-9ος/2013 (πηγή NOAA, Storm Prediction Center). 81

Εικόνα 3.7: Χωρική κατανομή των τροχιών των σιφώνων στις Η.Π.Α. για τη χρονική περίοδο 19550-2011 και η συσχέτιση τους με την πυκνότητα κατανομή του πληθυσμού με βάση την καταγραφή του 2010, (πηγή NOAA, Storm Prediction Center).....81

Εικόνα 3.8: Χωρική αποτύπωση της: α) κατανομής των σιφώνων και β) της ετήσιας συχνότητας εμφάνισης σιφώνων ανά 10.000 km^2, της Γαλλίας για τη χρονική περίοδο 1680-1999 [95]. 83

Εικόνα 3.9: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Γερμανία, 1580-1999 [86].....84

Εικόνα 3.10: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Λιθουανία, 1950-2002 [76]. 84

Εικόνα 3.11: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Αυστρία, 1946-1971 (Holzer, 2000) [81]. 85

Εικόνα 3.12: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ιρλανδία, 1950-2001 [96]. 86

Εικόνα 3.13: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Τσεχία, 1100-2002 [75]. 87

Εικόνα 3.14: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Μεγάλη Βρετανία, 1995-2000 [99].88

Εικόνα 3.15: Το 70% του συνόλου των σιφώνων εκδηλώνεται σε 6 περιοχές: Lazio, Lombardy, Veneta, Tuscany, Piedmont, Liguria [91]. 89

Εικόνα 3.16: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ιταλία, 1991-2000 (Giaiotti et al., 2007) [91] και χωρική κατανομή των σιφώνων θάλασσας, Ιούλιος-Νοέμβριος 2002 (Sioutas et al., 2007) [102].....89

Εικόνα 3.17: Στιγμιότυπο από τη βάση δεδομένων ισχυρών καιρικών φαινομένων (http://www.spc.noaa.gov) των Η.Π.Α. από το 1950 έως το 2012. Τα δεδομένα είναι της μορφής csv για ευκολότερη επεξεργασία και οπτικοποίηση από το χρήστη.....90

Εικόνα 3.18: Στιγμιότυπο από την υποβολή αναφοράς ακραίου καιρικού φαινομένου στη βάση δεδομένων ESWD του ESSL. 92

Εικόνα 3.19: Στιγμιότυπο από την υποβολή πληροφοριών σχετικά με την εμφάνιση ενός σίφωνα στη βάση δεδομένων ESWD του ESSL 93

Εικόνα 3.20: Χωρική κατανομή όλων των αναφορών σιφώνων (ξηράς και θάλασσας, κόκκινα τρίγωνα) και αναφορών νεφών σίφωνα (λευκά τρίγωνα) στην Ευρώπη, για τη χρονική περίοδο 1/1/2000 έως 30/9/2013, από τη βάση δεδομένων του ESWD. 94

Εικόνα 3.21: Χωρική κατανομή όλων των αναφορών σιφώνων (ξηράς και θάλασσας, κόκκινα τρίγωνα) και αναφορών νεφών σίφωνα (λευκά τρίγωνα) στην Ευρώπη, για τη χρονική περίοδο 1/1/1700 έως 31/12/1999, από τη βάση δεδομένων του ESWD. 94

Εικόνα 3.22: Χωρική κατανομή όλων των αναφορών σιφώνων (ξηράς και θάλασσας, κόκκινα τρίγωνα) και αναφορών νεφών σίφωνα (λευκά τρίγωνα) στην Ελλάδα, για τη χρονική περίοδο 1/1/2000 έως 30/9/2013, από τη βάση δεδομένων του ESWD. 95

Εικόνα 3.23: Χώρες οι οποίες εκδίδουν προειδοποίηση σίφωνα στην Ευρώπη [105]. . 96

Εικόνα 4.1: Ο ιστότοπος καταγραφής σιφώνων του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών (http://tornado.geol.uoa.gr/). 98

Εικόνα 4.2: Το 1^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/). 99

Εικόνα 4.3: Το 2^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/) όπου ο χρήστης α) επιλέγει τον τύπο του φαινομένου, β) περιγράφει την εξέλιξη. 100

Εικόνα 4.4: Το 2^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/) όπου ο χρήστης α) αναφέρει αν υπάρχουν ανθρώπινα θύματα, τραυματίες και δομικές καταστροφές, β) επιλέγει τον τύπο του φαινομένου, β) μπορεί να επισυνάψει αρχεία εικόνων ή video και γ) να συμπληρώσει τα στοιχεία επικοινωνίας του. 101

Εικόνα 4.5: Το 3^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/) όπου ο χρήστης αποδέχεται τους όρους χρήσης της εφαρμογής και ότι δεν παραβιάζει πνευματικά δικαιώματα τρίτων. 102

Εικόνα 4.6: Παράδειγμα αυτοματοποιημένου ηλεκτρονικού μηνύματος που αποστέλλεται στους διαχειριστές του συστήματος. Στο συγκεκριμένο ηλεκτρονικό μήνυμα αναφέρεται ένα χοανοειδές νέφος στις 17/5/2011 και τοπική ώρα 18:25 (τοπική ώρα) στην περιοχή της Κέρκυρας.....103

Εικόνα 4.7: Διάγραμμα ροής των σταδίων εισαγωγής δεδομένων αναφοράς σίφωνα στο σύστημα του Πανεπιστημίου Αθηνών, της αποθήκευσης, επαλήθευσης, επιβεβαίωσης και δημοσίευσης στον ιστότοπο του http://tornado.geol.uoa.gr. 104

Εικόνα 5.1: Αποτύπωση των υποπεριοχών με την χρήση GIS. Η D1 είναι στο βόρειο Ιόνιο και περιλαμβάνει την Κέρκυρα, η D2 στο κεντρικό Ιόνιο και περιλαμβάνει τη ΒΔ Πελοπόννησο, η D3 αφορά την Κρήτη, η D4 την περιοχή της Αττικής. Η D5 περιλαμβάνει το σύμπλεγμα των Σποράδων, η D6 την κεντρική Μακεδονία, η D7 τη νότια περιοχή της Πελοποννήσου ενώ η D8 τις Κυκλάδες και η D9 το ανατολικό Αιγαίο. Η D10 περικλείει τη δυτική Ελλάδα, η D11 το βόρειο κομμάτι της D3 και η D12 την περιοχή βόρεια της πόλης του Ηρακλείου. 108

Εικόνα 5.2: Χωρική κατανομή των γεγονότων σιφώνων (TE) για τη χρονική περίοδο 1709-2012. Τα μπλε σύμβολα υποδηλώνουν τη θέση δημιουργίας των υδροσιφώνων (waterspout, WS) ενώ τα κόκκινα σύμβολα την θέση των σιφώνων ξηράς (tornado, TR). Τα κίτρινα σύμβολα υποδηλώνουν τη θέση εμφάνισης των χοανοειδών νεφών (Funnel clouds, FC). 109

Εικόνα 5.3: Αναφορές από τα *Χρονικά των Κορυφών*, 2ος τόμος 1979, του Σπυρίδωνα Κατσαρού για την εμφάνιση των γεγονότων σιφώνων (TE) στις 13 και 14 Φεβρουαρίου του 1709 στη Γαριτσά Κέρκυρας. 112

Εικόνα 5.4: Δημοσίευμα της 18ης Δεκεμβρίου 1959 που αναφέρει τον ομαδικό πνιγμό 21 εργατών στη λίμνη Μέγδοβα λόγω σίφωνα. 112

Εικόνα 5.5: Χωρική κατανομή των σιφώνων ξηράς (κόκκινα και πορτοκαλί σύμβολα), των σιφώνων θάλασσας (μπλέ και άσπρα σύμβολα) και των χοανοειδών νεφών (κόκκινα τρίγωνα) την περίοδο 1709-1999. 115

Εικόνα 5.6: Χωρική κατανομή των ισοπληθών εμφάνισης σιφώνων για τη χρονική περίοδο 1709-1999. Επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης γεγονότων σιφώνα (TE) είναι η Κέρκυρα, η βόρεια Κρήτη, η ΒΔ Πελοπόννησος/κεντρικό Ιόνιο, η Αττική, τα νησιά των Σποράδων και η περιοχή της Ρόδου. 116

Εικόνα 5.7: Διαχρονική εξέλιξη συμβάντων σιφώνων στην Ελλάδα κατά τη χρονική περίοδο 1709-1999.....117

Εικόνα 5.8: Εποχική κατανομή των σιφώνων στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1709-1999..... 117

Εικόνα 5.9: Μηνιαία κατανομή των σιφώνων στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1709-1999..... 118

Εικόνα 5.10: Χωρική κατανομή των σιφώνων ξηράς (TR, κόκκινα και πορτοκαλί σύμβολα), των σιφώνων θάλασσας (WS, μπλέ και άσπρα σύμβολα) και των χοανοειδών νεφών (FC, κόκκινα τρίγωνα) της περιόδου 2000-2012. 120

Εικόνα 5.11: Χωρική κατανομή των ισοπληθών εμφάνισης σιφώνων TE για τη χρονική περίοδο 2000-2012. Επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης TE γεγονότων είναι η Κέρκυρα, η βόρεια Κρήτη, η ΒΔ Πελοπόννησος/κεντρικό Ιόνιο, η Αττική, η Θεσσαλία, τα νησιά των Σποράδων και η περιοχή της Ρόδου..... 121

Εικόνα 5.12: Ο αριθμός των γεγονότων σιφώνων (TE) κανονικοποιημένος με βάση των πληθυσμό ανά έτος και ανά νομό, σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2011, από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία. 122

Εικόνα 5.13: Ετήσια κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012. 125

Εικόνα 5.14: Ετήσια κατανομή του μέσου ετήσιου αριθμού γεγονότων σίφωνα ανά 10000 km^2. Με κόκκινο χρώμα η χρονοσειρά για τους σίφωνες ξηράς, με μπλε για τους υδροσίφωνες και πορτοκαλί για τον συνολικό αριθμό γεγονότων. Παρατηρούμε τα τελευταία χρόνια (με εξαίρεση το 2002) μία σημαντική αύξηση εμφάνισης των γεγονότων..... 125

Εικόνα 5.15: Εποχική κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012..... 126

Εικόνα 5.16: Εποχική κατανομή των ημερών εμφάνισης σίφωνα (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012..... 127

Εικόνα 5.17: Μηνιαία κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012..... 128

Εικόνα 5.18: Μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης σίφωνα (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012..... 129

Εικόνα 5.19: Ημερήσια κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012..... 131

Εικόνα 5.20: Η χωρική κατανομή των επιπτώσεων της εμφάνισης των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο συσχετίζοντας τις ζημιές σε δομικές κατασκευές αλλά και σε καλλιέργειες για τη χρονική περίοδο 1709-2012. 133

Εικόνα 5.21: Κατανομή της έντασης των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-2012 με βάση την κλίμακα Τ. 133

Εικόνα 5.22: Χωρική κατανομή της έντασης των σιφώνων στην Ελλάδα με βάση την κλίμακα Τ για τη χρονική περίοδο 1709-2012. 134

Εικόνα 6.1: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 139

Εικόνα 6.2: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά τη χειμερινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 140

Εικόνα 6.3: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά την εαρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 141

Εικόνα 6.4: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά τη θερινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 142

Εικόνα 6.5: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) στη ΜΣΘ των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού, αντίστοιχα, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 144

Εικόνα 6.6: Οι μέσες ημερήσιες συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR) στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa, στη δυτική Ελλάδα, ανά μήνα, με βάση τα γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 146

Εικόνα 6.7: Οι μέσες ημερήσιες συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR) στη μέση στάθμη θάλασσας, στη δυτική Ελλάδα, ανά μήνα, με βάση τα γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 147

Εικόνα 6.8: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR), σε ισοβαρικές στάθμες της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας, στη δυτική Ελλάδα, για γεγονότα σιφώνων ξηράς που εκδηλώθηκαν τον Οκτώβριο μήνα από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 148

Εικόνα 6.9: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR) σε ισοβαρικές στάθμες της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας, στη δυτική Ελλάδα, για γεγονότα σιφώνων ξηράς που εκδηλώθηκαν τον Νοέμβριο μήνα από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 149

Εικόνα 6.10: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 151

Εικόνα 6.11: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη χειμερινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 152

Εικόνα 6.12: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την εαρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 153

Εικόνα 6.13: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 154

Εικόνα 6.14: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στη μέση στάθμη της

θάλασσας (ΜΣΘ), ανά εποχή, για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στη δυτική Ελλάδα (υποπεριοχή D10) από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 156

Εικόνα 6.15: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων (WS) στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa, στη δυτική Ελλάδα, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012. 157

Εικόνα 6.16: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων (WS) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ, hPa), στη δυτική Ελλάδα, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012.....158

Εικόνα 6.17: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012. 161

Εικόνα 6.18: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη χειμερινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012. 162

Εικόνα 6.19: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την εαρινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012. 163

Εικόνα 6.20: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012. 164

Εικόνα 6.21: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ, hPa), ανά εποχή, για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο (υποπεριοχή D3) από 2/2/1954 έως 23/10/2012.....166

Εικόνα 6.22: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων (WS) στο ισοβαρικό επίπεδο των

500 hPa, στο Νότιο Αιγαίο, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012. 167

Εικόνα 6.23: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ, hPa), στο νότιο Αιγαίο, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012. 168

Εικόνα 6.24: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των γεωδυναμικών υψών (m) στα ισοβαρικά επίπεδα 500, 700, 850, 925 hPa κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα. 170

Εικόνα 6.25: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των πιέσεων (hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα. 171

Εικόνα 6.26: Θηκογράμματα ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας του θερμοδυναμικού δείκτη ασταθείας LI (° C), κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα. 172

Εικόνα 6.27: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των γεωδυναμικών υψών (m) στα ισοβαρικά επίπεδα 500, 700, 850, 925 hPa κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα. 173

Εικόνα 6.28: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των πιέσεων (hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα. 174

Εικόνα 6.29: Θηκογράμματα ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας του θερμοδυναμικού δείκτη ασταθείας LI (° C), κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα. 174

Εικόνα 6.30: Οπτικοποίηση της δραστηριότητας των ψυχρών μετώπων που σχετίζονται με την προμετωπική εμφάνιση σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 2006-2012. Τα σύμβολα (σημαιάκια) κατηγοριοποιούν τις επιπτώσεις των σιφώνων ξηράς. 176

Εικόνα 6.31: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των γεωδυναμικών υψών (m) στα ισοβαρικά επίπεδα 500, 700, 850, 925 hPa, κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στο νότιο Αιγαίο. 177

Εικόνα 6.32: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των πιέσεων (hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στο νότιο Αιγαίο. 178

Εικόνα 6.33: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης του δείκτη ασταθείας LI (ºC) κατά της ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στο νότιο Αιγαίο. 178

Εικόνα 7.1: Διάγραμμα ροής ανάλυσης κύριων συνιστωσών κατά την καταχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων σε πλέγμα αναφοράς [135]. 182

Εικόνα 7.2: Το GUI περιβάλλον του λογισμικού STTv4. 185

Εικόνα 7.3: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης τύπων καιρού με την χρήση του STT. 186

Εικόνα 7.4: Scree-Plot ανάλυση της σημαντικότητας των PC κατά τη διαδικασία ταξινόμησης των δεδομένων επανα-αναλύσεων στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ) (πάνω διάγραμμα) και στη σταθμη των 500 hPa (κάτω διάγαρμμα) της μέσης ατμόσφαιρας, μέσω του λογισμικού STT. 188

Εικόνα 7.5: Οι 13 τύποι καιρού κατά τη φθινοπωρινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012. 191

Εικόνα 7.6: Οι 10 τύποι καιρού κατά τη χειμερινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012. 193

Εικόνα 7.7: Οι 10 τύποι καιρού κατά την εαρινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012. 195

Εικόνα 7.8: Οι 10 τύποι καιρού κατά τη θερινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012. 197

Εικόνα 7.9: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 199

Εικόνα 7.10: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη χειμερινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 201

Εικόνα 7.11: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς /

υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά την περίοδο της άνοιξης, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 203

Εικόνα 7.12: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη θερινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα..... 204

Εικόνα 7.13: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά την περίοδο του φθινοπωρου, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο. 205

Εικόνα 7.14: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη χειμερινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο. 206

Εικόνα 8.1: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης θερμοδυναμικών δεικτών ασταθείας (SW, LI, K, VT, CT και TT) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012. 213

Εικόνα 8.2: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης θερμοδυναμικών δεικτών ασταθείας (CINS, BRCH, SWEAT και CAPE) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012. 214

Εικόνα 8.3: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης βασικών επιπέδων ανάλυσης ραδιοβολίσεων (LCL, LFC, EL και θερμοκρασίας επιπέδου LCL) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012. 215

Εικόνα 8.4: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της θερμοκρασίας αέρα σε βασικά ισοβαρικά επίπεδα (500 hPa, 700 hPa, 850hPa, 925 hPa και 1000 hPa) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012. 216

Εικόνα 8.5: Θηκογάμματα εποχικής διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας (°C) αέρα μεταξύ του ισοβαρικού επιπέδου των 1000 hPa και λοιπών βασικών ισοβαρικών

επιπέδων (500 hPa, 700 hPa, 850 hPa και 925 hPa) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012. 217

Εικόνα 8.6: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της έντασης (κόμβοι, knots) του ανέμου (πάνω διάγραμμα) και της διεύθυνσης του ανέμου (σε º) (κάτω διάγραμμα) στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα (500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa και 1000 hPa) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.....218

Εικόνα 8.7: Η κυκλοφορία των θαλάσσιων ρευμάτων στη ανατολική Μεσόγειο [154]. Τα βέλη απεικονίζουν τη μεταφορά σε Sverdups (1 Sv = 106 m^3 s^{-1}~31500 km^3 yr^{-1}).....220

Εικόνα 8.8: Σχηματική απεικόνιση της θερμόαλης κυκλοφορίας στο Αιγαίο κατά τη διάρκεια ήπιων περιόδων (αριστερά) και περιόδων με μεγάλο σχηματισμό πυκνών μαζών νερού (δεξιά) [154]. 222

Εικόνα 8.9: Η θαλάσσια κυκλοφορία στην ανατολική Μεσόγειο [158].....223

Εικόνα 8.10: Η επιφανειακή κυκλοφορία στο Αιγαίο Πέλαγος (βέλη) από μία δορυφορική εικόνα θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας. Οι συμπαγείς γραμμές αντιπροσωπεύουν μόνιμα χαρακτηριστικά ροής και οι διακεκομμένες γραμμές αποτυπώνουν παροδική κυκλοφορία. 224

Εικόνα 8.11: Η μέση κυκλοφορία της περιόδου 1987-2007 σε βάθος 15 m από δεδομένα επανα-αναλύσεων. Οι γκρίζες περιοχές αποτυπώνουν εντάσεις ταχύτητας μεγαλύτερες από 0,1 m/s [161].....226

Εικόνα 8.12: Η μέση κυκλοφορία ανά δεκαετία σε βάθος 15 m: 1987-1996 (πάνω) και 1997-2006 (κάτω). Οι γκρίζες περιοχές αποτυπώνουν εντάσεις ταχύτητας μεγαλύτερες από 0,1 m/s [161]. 226

Εικόνα 8.13: Τυπική χωρική κατανομή της θερμοκρασίας (αριστερές εικόνες) και την αλατότητας (δεξιές εικόνες), κατά τη διάρκεια του χειμώνα (πάνω εικόνες) και του καλοκαιριού (κάτω εικόνες) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του προγράμματος POEM [154]. Οι κλίμακες στις εικόνες κατανομής της θερμοκρασίας είναι διαφορετικές.....228

Εικόνα 8.14: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (SST; °C) στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου για τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων, για την περίοδο 2005-2012. 229

Εικόνα 8.15: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της διαφοράς (°C) της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (SST) από τη θερμοκρασία αέρα στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα της ατμόσφαιρας (500 hPa, 700hPa, 850hPa, 925 hPa και 1000hPa), κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου 2005-2012. 231

Εικόνα 8.16: Το νομόγραμμα του Szilagyi για την πρόγνωση των υδροσιφώνων (πάνω); με τον κόκκινο κύκλο συμβολίζουμε τις μέσες τιμές για τη φθινοπωρινή περίοδο και με το μπλέ κύκλο τις μέσες τιμές των ημερών εάν εφαρμόσουμε τις παραμέτρους των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο. Στην κάτω εικόνα αποτυπώνεται η τιμή του δείκτη υδροσιφώνων Szilagyi (Szilagyi Waterspout Index, SWI). 232

Εικόνα 9.1: Οι γεωγραφικές θέσεις και οι ημερομηνίες των γεγονότων εμφάνισης σίφωνα ξηράς κατά τις αριθμητικές προσομοιώσεις. 237

Εικόνα 9.2: Τα τρία πεδία χωρικής πληροφορίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την αριθμητική προσομοίωση του σίφωνα ξηράς στις 17 Νοεμβρίου 2007 στην περιοχή της Θήβας (επάνω εικόνα) και στις 25 Μαρτίου 2009 στην περιοχή Βάρδα, Ηλείας (κάτω εικόνα). Στις εικόνες, το εξωτερικό πεδίο (περίγραμμα) είναι το πεδίο D1 χωρικής πληροφορίας, το 1^{ο} εσωτερικό πεδίο είναι το D2 πεδίο χωρικής πληροφορίας και το 2^{ο} εσωτερικό περίγραμμα είναι τα όρια του D3 πεδίου χωρικής πληροφορίας. 238

Εικόνα 9.3: Τα τρία πεδία χωρικής πληροφορίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την αριθμητική προσομοίωση του σίφωνα ξηράς στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή Βράστεμα, Χαλκιδικής (επάνω εικόνα) και στις 21 Σεπτεμβρίου 2011 στην περιοχή Βλυχού, Λευκάδος (κάτω εικόνα). Στις εικόνες το εξωτερικό πεδίο (περίγραμμα) είναι το πεδίο D1 χωρικής πληροφορίας, το 1^{ο} εσωτερικό πεδίο είναι το D2 πεδίο χωρικής πληροφορίας και το 2^{ο} εσωτερικό περίγραμμα είναι τα όρια του D3 πεδίου χωρικής πληροφορίας. 239

Εικόνα 9.4: Εικόνες από την περιοχή Πυρίου Θηβών μετά το πέρασμα του T07 σίφωνα για την εκτίμηση της έντασης του σίφωνα. 241

Εικόνα 9.5: Η συνοπτική κατάσταση στην ισοβαρική στάθμη των 500 hPa (επάνω εικόνες), με την ανάλυση των γεωδυναμικών υψών (επάνω αριστερά) και την ανάλυση των θερμοκρασιών (επάνω δεξιά) στις 00:00 UTC, 18 Νοεμβρίου 2007. Στην κάτω εικόνα αποτυπώνεται η συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας στη μέση στάθμη θάλασσας (MSL) με βάση την ανάλυση του UKMO στις 18:00 UTC, 17 Νοεμβρίου 2007. 242

Εικόνα 9.6: Θεματικός χάρτης με την τροχιά του σίφωνα, το ανάγλυφο, το οδικό δίκτυο και το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής. 243

Εικόνα 9.7: Αναλύσεις χαρτών α) ECMWF 500 hPa, 12:00UTC, 25 Μαρτίου 2009 (γεωδυναμικά ύψη και θερμοκρασίες), β) ECMWF MSL, 12:00 UTC, 25 Μαρτίου 2009 (ισοβαρείς καμπύλες και θερμοκρασίες), γ) χάρτης μέσης ημερήσιας ανωμαλίας στην επιφάνεια της θάλασσας (διαφορά από τη μέση τιμή της περιόδου 1968-1996) από το NCEP/NCAR, δ) χάρτης ημερήσιας ανωμαλίας στη στάθμη των 850 hPa των διατμητικών ανέμων (διαφορά από τη μέση τιμή της περιόδου 1968-1996) από το NCEP/NCAR, ε) ανάλυση κατακόρυφης ταχύτητας στα 700 hPa ECMWF και στ) ανάλυση κατακόρυφης ταχύτητας στα 850 hPa ECMWF. 244

Εικόνα 9.8: Ανάλυση επιφανείας στις 25 Μαρτίου 2009 12:00 UTC, αποτυπώνοντας το ψυχρό μέτωπο κατά μήκος της ΒΔ Πελοποννήσου. 245

Εικόνα 9.9: Οπτικοποίηση των μετεωρολογικών παρατηρήσεων των όμορων μετεωρολογικών σταθμών Αράξου και Ανδραβίδας του δικτύου της ΕΜΥ σε συνδυασμό με την χωρο-χρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων, με χρονικό βήμα 15 min. Με το κίτρινο αστέρι υποδεικνύεται η περιοχή δημιουργίας του σίφωνα. 245

Εικόνα 9.10: Δορυφορικές εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα (3.9 μm, Channel 3) με χρονικό βήμα 15 min. Με κόκκινο βέλος υποδεικνύεται η καταιγίδα που δημιούργησε το σίφωνα. 246

Εικόνα 9.11: Δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο φάσμα (10.8 μm, Channel 9) με χρονικό βήμα 15 min. Με κόκκινο βέλος υποδεικνύεται η καταιγίδα που δημιούργησε το σίφωνα. 247

Εικόνα 9.12: Εικόνες από το Radar της Ανδραβίδας CAPPI στο 1 km, όπου αποτυπώνεται η ΒΑ κίνηση του νέφους και η περαιτέρω κατακόρυφη ανάπτυξη (αύξηση ανακλαστικότητας), ενώ λίγο πριν το τελικό στάδιο αποτυπώνεται στην ανακλαστικότητα το σχήμα «V». 248

Εικόνα 9.13: Εικόνες από το Radar Ανδραβίδας της κατανομής της ταχύτητας των ανέμων: α) στα 500 m και β) στο 1 km. Τα θερμά χρώματα (πορτοκαλί, κίτρινο και κόκκινο) αποτυπώνουν την αέρια μάζα να απομακρύνεται από το σταθμό ενώ τα ψυχρά χρώματα (μπλε και πράσινο) αποτυπώνουν την κίνηση της αέριας μάζας να κατευθύνεται προς τον σταθμό του Radar. 248

Εικόνα 9.14: Φωτογραφίες από το πέρασμα του σίφωνα ξηράς στις 25 Μαρτίου 2009 στα χωριά Βάρδα και Μανωλάδα της ΒΔ Πελοποννήσου. 248

Εικόνα 9.15: Εικόνες από το πέρασμα του σίφωνα στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή Βράσταμα Χαλκιδικής..... 250

Εικόνα 9.16: Συνοπτικές αναλύσεις στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa στις 12:00 UTC (επάνω εικόνα) και της μέσης στάθμης της θάλασσας (MSL) στις 18:00 UTC (κάτω εικόνα) κατά την εμφάνιση σίφωνα στην περιοχή Βράσταμα Χαλκιδικής, στις 12 Φεβρουαρίου 2010. 250

Εικόνα 9.17: Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο φάσμα στις 17:30 UTC. Το άσπρο βέλος υποδεικνύει το καταιγιδοφόρο νέφος που προκάλεσε τον σίφωνα (πάνω εικόνα). Χωρο-χρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων (κάτω εικόνα) στις 17:00 UTC (αριστερή εικόνα) και στις 18:00 UTC (δεξιά εικόνα). Με το σύμβολο Χ (κόκκινο και άσπρο) αποτυπώνεται η θέση εκδήλωσης του σίφωνα. 251

Εικόνα 9.18: Εικόνες από το Radar της Θεσσαλονίκης με χρονικό βήμα 15 min στο CAPPI στο 1 km ύψος σάρωσης (επάνω εικόνες) και της μέγιστης ανακλαστιοκότητας (MAXimum Reflectivity, κάτω εικόνες). 251

Εικόνα 9.19: Εικόνες από το πέρασμα του σίφωνα στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 στον όρμο της Βλυχούς στη δυτική Ελλάδα (πηγή: http://www.kolivas.de). 252

Εικόνα 9.20: Συνοπτική ανάλυση στις 12:00 UTC των: γεωδυναμικών υψών και ισοθέρμων (επάνω) και μεταφοράς στροβιλισμού (κάτω εικόνα) στη μέση ατμόσφαιρα (500 hPa) στις 20 Σεπτεμβρίου 2011..... 253

Εικόνα 9.21: Ανάλυση στις 12:00 UTC των ισοϋψών και ισοθέρμων στην ισοβαρική στάθμη των 850 hPa (επάνω εικόνα) από το ECMWF και ανάλυση ισοβαρών στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSL) από το UKMO στις 20 Σεπτεμβρίου 2011. Με το κόκκινο τρίγωνο αποτυπώνεται η θέση εμφάνισης του σίφωνα..... 254

Εικόνα 9.22: Επάνω: Δορυφορική εικόνα στις 15:00 UTC στο υπέρυθρο φάσμα (10,8 μm) στις 20 Σεπτεμβρίου 2011. Κάτω εικόνα: Οπτικοποίηση των μετεωρολογικών συνθηκών και η χωροχρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων μέσα από το δίκτυο της ΕΜΥ στις 15:00 UTC (πριν) και 16:00 UTC (μετά), στις 20 Σεπτεμβρίου 2011. 255

Εικόνα 9.23: Η τοπογραφία που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις αριθμητικές προσομοιώσεις. Με μπλε γράμματα αποτυπώνονται οι θέσεις εμφάνισης των σιφώνων ενώ με κόκκινο αποτυπώνονται οι θέσεις του δικτύου της ΕΜΥ που ελήφθησαν υπόψη για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. 257

Εικόνα 9.24: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T07, από τις 20:00 UTC έως 23:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.....260

Εικόνα 9.25: Όμοια με την Εικόνα 9.24 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).....261

Εικόνα 9.26: Όμοια με την Εικόνα 9.24 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).....262

Εικόνα 9.27: Όμοια με την Εικόνα 9.24 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).....263

Εικόνα 9.28: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T09, από τις 08:00 UTC έως 11:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.....265

Εικόνα 9.29: Όμοια με την Εικόνα 9.28 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).....266

Εικόνα 9.30: Όμοια με την Εικόνα 9.28 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).....267

Εικόνα 9.31: Όμοια με την Εικόνα 9.28 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).....268

Εικόνα 9.32: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T10, από τις 15:00 UTC έως 18:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.....270

Εικόνα 9.33: Όμοια με την Εικόνα 9.32 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).....271

Εικόνα 9.34: Όμοια με την Εικόνα 9.32 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).....272

Εικόνα 9.35: Όμοια με την Εικόνα 9.32 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).....273

Εικόνα 9.36: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T11, από τις 13:00 UTC έως 16:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.....275

Εικόνα 9.37: Όμοια με την Εικόνα 9.36 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).....276

Εικόνα 9.38: Όμοια με την Εικόνα 9.36 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).....277

Εικόνα 9.39: Όμοια με την Εικόνα 9.36 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).....278

Εικόνα 9.40: Οι γραφικές παραστάσεις αποτυπώνουν τη διαφορά των αριθμητικών προσομοιώσεων (TOPOM0-TOPOM100) για κάθε διαγνωστική παράμετρο (EHI, SRH (m^2/s^2), BRN (m^2/s^2), και MCAPE (J/kg)) για κάθε περίπτωση σίφωνα (T07, T09, T10 και T11). Οι θετικές τιμές υποδηλώνουν τη συνεισφορά της τοπογραφίας τιμές ίσες με 0 υποδηλώνουν καμία συνεισφορά και αρνητικές τιμές υποδηλώνουν την αρνητική συνεισφορά (εμποδισμό) της τοπογραφίας σε σχέση με τις διαγνωστικές παραμέτρους. 280

Εικόνα 9.41: Χρονοσειρά των μέγιστων τιμών του WRF για τον απόλυτο στροβιλισμό (Absolute Vorticity (s^{-1})) και των όρων της εξίσωσης στροβιλισμού οριζόντιας μεταφοράς (Hadv, (s^{-1}/hr)) και κατακόρυφης μεταφοράς (Vadv), κλίσης/συστροφής (tilt/twisting, TT)

και απόκλισης (Divergence, DIV), στο 1km πάνω από το επίπεδο της θάλασσας σε περιοχή με πλέγμα 0,2°x0,2° γεωγραφικού μήκους και πλάτους, κεντραρισμένη στη θέση εκδήλωσης του σίφωνα στις 17 Νοεμβρίου 2007, στην περιοχή της Θήβας με την πραγματική τοπογραφία (TOPOM0, επάνω εικόνα) και με την τροποποιημένη τοπογραφία (TOPOM100, κάτω εικόνα). 282

Εικόνα 9.42: Ομοίως με την Εικόνα 9.41 αλλά για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα στις 25 Μαρτίου 2009 (T09). 283

Εικόνα 9.43: Ομοίως με την Εικόνα 9.41 αλλά για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα στις 12 Φεβρουαρίου 2010 (T10). 284

Εικόνα 9.44: Ομοίως με την Εικόνα 9.41 αλλά για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 (T11). 285

Εικόνα 11.1: Γεωγραφική οριοθέτηση του 1ου (α) και 2ου (β) βαθμού Τοπικής Αυτοδιοίκησης σύμφωνα με τη μορφή της Καποδιστριακής αυτοδιοίκησης (νόμος 2539/97)..... 294

Εικόνα 11.2: Γεωγραφική οριοθέτηση του 1ου (α) και 2ου (β) βαθμού τοπικής αυτοδιοίκησης σύμφωνα με τη μορφή της Καλλικρατικής αυτοδιοίκησης (νόμος 3852/2010)..... 294

Εικόνα 11.3: Διάγραμμα ροής του συστήματος αποστολής των ΕΔΚ και των αποδεκτών του. 295

Εικόνα 11.4: Διάγραμμα ροής της λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης AHEWS με τα δεδομένα εισαγωγής, τα αποτελέσματα και τους αποδέκτες του. 297

Εικόνα 11.5: Οπτικοποίηση μετεωγράμματος για ένα συγκεκριμένο σημείο ενδιαφέροντος, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την καιρική κατάσταση, τον άνεμο, την θερμοκρασία, τη βροχόπτωση αλλά και βιοκλιματικούς δείκτες με χρονικό βήμα 3 ωρών. 298

Εικόνα 11.6: Αριθμητικός κώδικας βασισμένος στη θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας (SST) και στη μέση θερμοδυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας, κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου. 301

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Συσχέτιση κλίμακας Beaufort και T 72

Πίνακας 2-2: Οι κλάσεις της κλίμακας T 73

Πίνακας 2-3: Ταξινόμηση σιφώνων 75

Πίνακας 5-1: Ιστορικά γεγονότα σιφώνων ξηράς (TR), θάλασσας (WS) και χοανοειδών νεφών (FC) στην Ελλάδα από το 1709-1999 με πληροφορίες σχετικά με την ημερομηνία εμφάνισης, την περιοχή και τον αριθμό τραυματιών και θανόντων ανά γεγονός (το σύμβολο – υποδηλώνει ότι δεν αναφέρθηκαν στις πηγές μας πληροφορίες σχετικά με τραυματίες ή θανόντες). 113

Πίνακας 5-2: Μηνιαίο ποσοστό (%) με βάση τον τύπο σίφωνα και το συνολικό αριθμό γεγονότων στην Ελλάδα, για τη χρονική περίοδο 1709-1999. 119

Πίνακας 5-3: Ο μέσος ετήσιος αριθμός εμφάνισης γεγονότων σίφωνα (TE) και η συχνότητα εμφάνισης (γεγονότα/έτος/10.000 km^2) για κάθε υποπεριοχή για τη χρονική περίοδο 2000-2012. Επίσης, παρατίθεται και ο μέσος ετήσιος αριθμός εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων για κάθε υποπεριοχή για την χρονική περίοδο 2000-2012 (τα τελευταία 13 χρόνια) 123

Πίνακας 5-4: Εποχική και μηνιαία κατανομή των συνολικών γεγονότων σιφώνων (TE), των σιφώνων ξηράς (TR) και των υδροσιφώνων (WS) για κάθε υποπεριοχή που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση κατά την χρονική περίοδο 2000-2012. 130

Πίνακας 7-1: Συνοπτικός πίνακας περιγραφής των δεδομένων / χαρακτηριστικών για την ταξινόμηση των τύπων καιρού 189

Πίνακας 7-2: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού κατά την περίοδο του φθινοπώρου. 189

Πίνακας 7-3: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού κατά την περίοδο του χειμώνα. 192

Πίνακας 7-4: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού την περίοδο της άνοιξης. 194

Πίνακας 7-5: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού την περίοδο του καλοκαιριού. .. 196

Πίνακας 7-6: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 198

Πίνακας 7-7: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά τη χειμερινή περίοδο με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 200

Πίνακας 7-8: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά την περίοδο της άνοιξης με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 202

Πίνακας 7-9: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών με σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά την περίοδο του καλοκαιριού με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα. 202

Πίνακας 7-10: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών υδροσίφωνα κατά την περίοδο του φθινοπώρου με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο. 205

Πίνακας 7-11: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών υδροσίφωνα κατά τη χειμερινή περίοδο με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο. 206

Πίνακας 8-1: Επιλογή των δεικτών αστάθειας που χρησιμοποιούνται γενικώς για συνθήκες αστάθειας. Στις εξισώσεις η παράμετρος Τα ισοδυναμεί με την θερμοκρασία και D η θερμοκρασία του σημείου δρόσου σε ºC, ενώ ο δείκτης σε κάθε παράμετρο παριστάνει το κύριο ατμοσφαιρικό επίπεδο (hPa) από το οποίο υπολογίστηκε. Ως LFC ορίζεται το επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς (Level of Free convection) και EL το επίπεδο ισορροπίας (Equilibrium Level). Για το δείκτη Bulk Richardson number, Ū ισοδυναμεί με τη μέση ταχύτητα του διανύσματος του ανέμου στο στρώμα 0–6 km, και U_0 ισοδυναμεί με την ταχύτητα του ανέμου από την επιφάνεια έως τα 500 m. 208

Πίνακας 8-2: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των ατμοσφαιρικών παραμέτρων θερμοκρασίας, έντασης και διεύθυνσης ανέμου στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, αλλά και θερμοδυναμικών δεικτών κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο..... 210

Πίνακας 8-3: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των ατμοσφαιρικών παραμέτρων θερμοκρασίας, έντασης και διεύθυνσης ανέμου στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, αλλά και θερμοδυναμικών δεικτών κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη χειμερινή περίοδο. 211

Πίνακας 8-4: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) και οι διαφορές της SST από τη θερμοκρασία αέρα στα

βασικά ισοβαρικά επίπεδα, κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. 230

Πίνακας 8-5: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) και οι διαφορές της SST από τη θερμοκρασία αέρα στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη χειμερινή περίοδο. 230

Πίνακας 9-1: Οι δείκτες αστάθειας που χρησιμοποιούνται στην πρόγνωση ισχυρών καταιγίδων. Στις εξισώσεις, α παριστάνει το συγκεκριμένο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα και ο δείκτης Ip παριστάνει μία τιμή που σχετίζεται με το ανερχόμενο δείγμα αέρα από το LFC στο EL επίπεδο. Για τον BRN, U_0 παριστά την ταχύτητα του μέσου διανύσματος στο στρώμα 0–6 km και το U παριστά την ταχύτητα του μέσου διανύσματος στο στρώμα από την επιφάνεια έως τα 500 m ενώ στο δείκτη SRH το C παριστά το διάνυσμα κίνησης της καταιγίδας.....235

Πίνακας 9-2: Στατιστικές μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m ύψος (WS), της θερμοκρασίας (T), της θερμοκρασίας σημείου δρόσου (Td) και της πίεσης στη μέση στάθμη θάλασσας (MSLP) στους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου της ΕΜΥ, για το αεροδρόμιο της Τανάγρας (LGTG), της Ανδραβίδας (LGAD), του Αράξου (LGRX), της Θεσσαλονίκης (LGTS), της Κεφαλλονιάς (LGKF) και του Ακτίου (LGPZ). ME= Mean Error (τιμές WRF προσομοίωσης πλην παρατηρήσεων), MAE= Mean Absolute Error, RMSE= Root Mean Squared Error, Sample Size= number of valid pairs of simulated and observed values. Αποτυπώνονται επίσης η ημερομηνία της επαλήθευσης του μοντέλου και η απόσταση από τη θέση εμφάνισης του σίφωνα. 256

Πίνακας 11-1. Χρωματικός κώδικας και προτεινόμενες ενέργειες που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι πολίτες για τον μετριασμό των επιπτώσεων από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. 300

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή 47

2 Υδροσίφωνες (WS)– Σίφωνες Ξηράς(TR) 51

2.1 Υδροσίφωνες – Waterspout (WS) – Στάδια ανάπτυξης 51

2.1.1 Στάδιο 1° : "Dark Spot" 55

2.1.2 Στάδιο 2° : "Spiral Pattern" 58

2.1.3 Στάδιο 3° : "Spray Ring" 59

2.1.4 Στάδιο 4° : "Mature Waterspout" 61

2.1.5 Στάδιο 5° : "The Decay" 63

2.2 Σίφωνες Ξηράς – Tornado (TR) 64

2.2.1 Η δημιουργία σίφωνα - Tornadogenesis 68

2.2.2 Κλίμακα εκτίμησης έντασης σιφώνων 72

3 Παγκόσμια χωρική κατανομή των σιφώνων 77

3.1 Εισαγωγή 77

3.2 Χωρική κατανομή των σιφώνων: Αμερική, Αφρική Ωκεανία 77

3.3 Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ευρώπη 82

3.4 Καταγραφές των σιφώνων σε Η.Π.Α. και Ευρώπη 90

4 Ιστότοπος καταγραφής σιφώνων και υδροσιφώνων του Πανεπιστημίου Αθηνών 97

4.1 Εισαγωγή 97

4.2 Ιστότοπος καταγραφής σιφώνων του Πανεπιστημίου Αθηνών 98

5 Χωρική και χρονική κατανομή των σιφώνων ξηράς και θάλασσας στον Ελλαδικό χώρο 105

5.1 Εισαγωγή 105

5.2 Δεδομένα και Μεθοδολογία 105

5.3 Ιστορικές αναφορές για την εμφάνιση σιφώνων στην Ελλάδα.....110

5.4 Χωρική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο 1709-1999 111

5.4.1 Χρονική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-1999..... 116

5.5 Χωρική και χρονική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο 2000-2012 119

5.5.1 Χωρική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο 2000-2012 119

5.5.2 Χρονική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 2000-2012..... 124

5.6 Οι επιπτώσεις της εμφάνισης των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-2012 131

6 Ανάλυση των συνοπτικών καταστάσεων κατά την εμφάνιση σιφώνων στην ΒΔ Πελοπόννησο και το Νότιο Αιγαίο 135

6.1 Εισαγωγή 135

6.2 Δεδομένα και Μεθοδολογία 135

6.3 Μέσες ημερήσιες συνοπτικές καταστάσεις και μέσες ημερήσιες ανωμαλίες αυτών κατά την εμφάνιση γεγονότων σιφώνων.....137

6.3.1 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση σιφώνων και υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα 137

6.3.1.1 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση σίφωνα στη δυτική Ελλάδα 137

6.3.1.2 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα..... 150

6.3.2 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο. 158

6.4 Ανάλυση και συζήτηση αποτελεσμάτων.....168

7 Τύποι καιρού που σχετίζονται με την δημιουργία σιφώνων και υδροσιφώνων στην Ελλάδα 179

7.1 Εισαγωγή 179

7.1.1 Ατμοσφαιρική Συνοπτική ταξινόμηση 180

7.1.2 Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PC) 181

7.1.3 K-means ανάλυση διασποράς (cluster analysis, CA) 183

7.2 Δεδομένα και μέθοδος ταξινόμησης 184

7.2.1 Δεδομένα NCEP/NCAR 184

7.2.2 Synoptic Typer Tool (STT) 184

7.3 Εποχική ταξινόμηση τύπων καιρού 189

7.4 Τύποι καιρού κατά την εμφάνιση σιφώνων και υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα 198

7.5 Τύποι καιρού κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο (θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου) 202

8 Μελέτη ατμοσφαιρικών συνθηκών κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο 207

8.1 Δεδομένα και μεθοδολογία 207

8.2 Εποχική ανάλυση των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με την εμφάνιση υδροσίφωνα στο νότιο Αιγαίο 209

8.3 Κυκλοφορία και υδρογραφία των θαλάσσιων ρευμάτων στο Ιόνιο και στο Αιγαίο πέλαγος 219

8.3.1 Η θερμόαλη κυκλοφορία του Αιγαίου Πελάγους 221

8.3.2 Θαλάσσια κυκλοφορία στις υπολεκάνες του Ιονίου καις του Αιγαίου Πελάγους 223

8.3.3 Εποχική διακύμανση της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας στο νότιο Αιγαίο 227

9 Αριθμητικές προσομοιώσεις γεγονότων σίφωνα με τη χρήση αριθμητικού μοντέλου καιρού 233

9.1 Οι θερμοδυναμικοί δείκτες αστάθειας στη δημιουργία σίφωνα ξηράς 234

9.2 Γεγονότα αριθμητικής προσομοίωσης εμφάνισης σιφώνων ξηράς και οι ρυθμίσεις του WRF 236

9.3 Ανάλυση συνοπτικών συνθηκών γεγονότων σίφωνα 240

9.3.1 Σίφωνας Ξηράς στις 17 Νοεμβρίου 2007 στην περιοχή Θήβα, Βοιωτίας (T07) 240

9.3.2 Σίφωνας Ξηράς στις 25 Μαρτίου 2009 στην περιοχή Βάρδα, Ηλείας (T09) 243

9.3.3 Σίφωνας Ξηράς στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή Βράσταμα, Χαλκιδικής, (T10) 249

9.3.4 Σίφωνας Ξηράς στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 στην περιοχή Βλυχού, Λευκάδος (T11) 252

9.4 Επαλήθευση του αριθμητικού μοντέλου WRF 255

9.5 Αποτελέσματα αριθμητικών προσομοιώσεων 258

9.5.1 Αριθμητική προσομοίωση T07 σίφωνα 259

9.5.2 Αριθμητική προσομοίωση T09 σίφωνα 264

9.5.3 Αριθμητική προσομοίωση T10 σίφωνα 269

9.5.4 Αριθμητική προσομοίωση T11 σίφωνα 274

9.6 Τροποποίηση αναγλύφου/ορογραφίας στις αριθμητικές προσομοιώσεις 279

9.6.1 Υπολογισμός του απόλυτου στροβιλισμού στις αριθμητικές προσομοιώσεις με τροποποιημένη τοπογραφία..... 281

10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 287

11 Μελλοντικές εργασίες: Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης 291

11.1 Εισαγωγή 291

11.2 Η παλαιά και η νέα δομή της αυτοδιοίκησης στην Ελλάδα («Καποδιστριακός» και «Καλλικρατικός» νόμος) 293

11.3 Το παρόν σύστημα προειδοποίησης στην Ελλάδα.....295

11.4 Το προτεινόμενο Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης (AHEWS). 296

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....303

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι 305

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....315

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ 331

ΑΝΑΦΟΡΕΣ 347

1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες τα μέσα μαζικής ενημέρωσης ασχολούνται όλο και περισσότερο με τις φυσικές καταστροφές, αποτυπώνοντας την ανησυχία και τον προβληματισμό της παγκόσμιας κοινής γνώμης για θέματα καταστροφών που προκαλούνται από φυσικές κυρίως διεργασίες.

Εικόνες, μέσα από τις οποίες αποτυπώνονται κατολισθητικά φαινόμενα, καταστροφικοί σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις, πλημμύρες, σίφωνες, τυφώνες και γενικότερα ακραία καιρικά φαινόμενα, μαρτυρούν την αέναη διαδικασία της φύσης να βρει τις ισορροπίες της στο περιβάλλον. Σε ένα περιβάλλον το οποίο έχει διαταραχθεί όχι μόνο από τις εξωγενείς και ενδογενείς δυνάμεις της φύσης αλλά και από τις παρεμβάσεις του ίδιου του ανθρώπου, είτε με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και την συνεπακόλουθη αλλαγή των κλιματικών συνθηκών, είτε με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στις φυσικές διεργασίες.

Παρά την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας και την ενασχόληση μεγάλου αριθμού ερευνητών και επιστημόνων (διαφορετικών ειδικοτήτων και επιστημονικών πεδίων) με σκοπό την μελέτη και οριοθέτηση τέτοιων φαινομένων, θεωρούμε δεδομένο ότι τα φαινόμενα αυτά αποτελούν σε μικρό βαθμό, αλλά και θα αποτελέσουν στο άμεσο μέλλον σε μεγαλύτερο βαθμό, τα κατεξοχήν προβλήματα κρατών και τοπικών αρχών. Η προσπάθεια όλων των ερευνητών προσανατολίζεται στην αναγνώριση και αποτύπωση των διεργασιών των φυσικών καταστροφών, στη γεωγραφική οριοθέτηση και στην πιθανολογική εκτίμηση με στόχο την πρόληψη και αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών.

Οι σίφωνες και οι υδροσίφωνες αποτελούν μια κατηγορία ισχυρών ατμοσφαιρικών φαινομένων που προκαλούν σημαντικές καταστροφές κατά την εμφάνιση τους. Η βίαιη περιστροφή της αέριας μάζας κάτω από το καταιγιδοφόρο νέφος δύναται να προκαλέσει σημαντικές δομικές καταστροφές στο πέρασμα της ή ακόμη να επιφέρει και τον θανάσιμο τραυματισμό. Οι σίφωνες και οι υδροσίφωνες αποτελούν ισχυρά μετεωρολογικά φαινόμενα μικρής κλίμακας και πολλές μελέτες πραγματοποιούνται σε όλο τον κόσμο με σκοπό να κατανοήσουμε τον τρόπο δημιουργίας ιδιαίτερα των σιφώνων ξηράς.

Επίσης πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια σε πολλές γεωγραφικές περιοχές του κόσμου με σκοπό τον εντοπισμό των επιδεκτικών περιοχών εκδήλωσης των φαινομένων, τον καθορισμό της επικρατέστερη χρονικής περιόδου (π.χ. εποχή, μήνας) εμφάνισης τους. Επιπροσθέτως, σημαντικές μελέτες πραγματοποιούνται με σκοπό τον καθορισμό δεικτών αστάθειας της ατμόσφαιρας με τη χρήση οι οποίοι εισάγονται στη διαδικασία της αριθμητικής πρόγνωσης με στόχο την έγκαιρη πρόγνωση των καταιγιδοφόρων νεφών που προκαλούν τους σίφωνες ξηράς.

Μέσα από αυτό το πρίσμα στην παρούσα διατριβή θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε και να αποτυπώσουμε τις διεργασίες των σιφώνων ξηράς και θάλασσας στον Ελλαδικό χώρο, ενώ έμφαση θα δοθεί σε δυο συγκεκριμένες περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν πιο συχνά ατμοσφαιρικές συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη του φαινομένου. Οι σίφωνες (κοινώς γνωστοί και ως ανεμοστρόβιλοι) πρόκειται για μία από τις μορφές των φυσικών καταστροφών, με συγκεκριμένες ατμοσφαιρικές διεργασίες να τις διέπουν και σημαντική χωροχρονική διακύμανση.

Η χωροχρονική εμφάνιση των σιφώνων και υδροσιφώνων, αποτελεί μία άγνωστη διεργασία για τους περισσότερους πολίτες της χώρα μας, θεωρώντας το φαινόμενο πολύ σπάνιο. Ωστόσο, η εμφάνιση όλο και πιο συχνών φαινομένων σιφώνων και υδροσιφώνων τις τελευταίες δεκαετίες, τους διαψεύδει και εγείρει σημαντικά ερωτήματα αυξάνοντας την ανασφάλεια των πολιτών. Οι σίφωνες δύναται να προκαλέσουν

τεράστιες καταστροφές σε δομικές κατασκευές και καλλιέργειες, αποκαλύπτοντας με τον τρόπο αυτό τη δύναμη της φύσης, την άγνοια και την αδυναμία τόσο των πληγέντων όσων και των τοπικών αρχών για ενημέρωση και συνεπακόλουθη προετοιμασία - αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων.

Τα τελευταία χρόνια από πολλούς διεθνείς οργανισμούς γίνεται προσπάθεια για την ανάπτυξη/δημιουργία βάσεως δεδομένων σχετικά με τις φυσικές καταστροφές και τις επιπτώσεις τους σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Σε καθημερινή βάση τα ΜΜΕ μεταδίδουν εικόνες στις οποίες αποτυπώνεται η μανία της φύσης. Είναι όμως η μανία της φύσης ή η άγνοια του σύγχρονου ανθρώπου να θέτει τον εαυτό του, τους συνανθρώπους του ή ακόμη και την περιουσία του, επιδεκτικούς σε φυσικά φαινόμενα τα οποία πρωτύτερα δεν τα θεωρούσε σημαντικά;

Μεγάλος αριθμός ερευνητών τόσο μέσα από το πρίσμα της συνοπτικής, όσο και μέσα από το πρίσμα της μέσης κλίμακας, μελετά το φαινόμενο των σιφώνων, παρουσιάζοντας συνεχώς αξιόλογες επιστημονικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες σημαντική πρόοδος έγινε στην καταγραφή τέτοιων φαινομένων με σκοπό τη γεωγραφική και χρονική κατανομή τους, τόσο σε κλίμακα ηπείρου όσο και σε κλίμακα χώρας ή ακόμη και επαρχίας. Η καταγραφή των σιφώνων ξηράς και θάλασσας σε αρκετές χώρες γίνεται συστηματικά από τις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες των κρατών, τα Πανεπιστήμια, από διάφορους οργανισμούς, ή ακόμη και από μεμονωμένους ερευνητές με σκοπό τη δημιουργία μιας αξιόλογης βάσης δεδομένων με σκοπό την περαιτέρω μελέτη του φαινομένου σε βάθος.

Σε αντίθεση με αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες, η Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό «κενό» σε ότι αφορά την χωροχρονική κατανομή των σιφώνων ξηράς και θάλασσας και των επιπτώσεων τους στην τοπική κοινωνία. Η καταγραφή τέτοιων φαινομένων δεν πραγματοποιείται από κανέναν κρατικό φορέα, συμπεριλαμβανομένης και της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Σε πανεπιστημιακό και ερευνητικό επίπεδο, ελάχιστες ήταν οι αναφορές για τη γεωγραφική κατανομή του φαινομένου στη χώρα μας. Λιγότερες ήταν επίσης και οι επιστημονικές μελέτες από μεμονωμένους ερευνητές που αφορούσαν τη χωροχρονική κατανομή του φαινομένου.

Οι στόχοι της παρούσας διατριβής είναι να εξετάσει την εμφάνιση των σιφώνων και υδροσιφώνων στον Ελλαδικό χώρο μέσα από το πρίσμα της Κλιματολογίας, της Συνοπτικής Μετεωρολογίας και της Αριθμητικής Πρόγνωσης. Η ανάλυση της δυναμικής της ατμόσφαιρας τόσο σε συνοπτική, όσο και σε meso-γ κλίμακα γίνεται με την ολοκλήρωση των ακόλουθων αντικειμενικών σκοπών:

1ος. Με τη δημιουργία μιας σημαντικής κλιματολογίας βάσης των φαινομένων (όσο τον δυνατόν πληρέστερη) και η οποία θα καλύπτει τόσο τη χωρική, όσο και τη χρονική εμφάνιση τους. Η χωρική ανάλυση θα αφορά όχι μόνο ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο αλλά και την ανάλυση των επιμέρους υποπεριοχών της χώρας 1 μας, με στόχο τον καθορισμό των επιδεκτικών περιοχών εμφάνισης τους, ενώ η χρονική ανάλυση θα αφορά την ετήσια, εποχική, μηνιαία και ημερήσια διακύμανση των φαινομένων. Τέλος η κλιματολογική βάση θα εμπλουτιστεί με πληροφορίες που αφορούν τις επιπτώσεις που προκάλεσαν στην Ελλάδα.

2ος. Μέσα από το πρίσμα της Συνοπτικής Μετεωρολογίας θα καθορίσουμε τις μέσες ημερήσιες συνοπτικές καταστάσεις της ατμόσφαιρας αλλά και την μέση ημερήσια ανωμαλία ανωμαλία κατά την εμφάνιση των σιφώνων και υδροσιφώνων τόσο στη δυτική Ελλάδα, όσο και στην περιοχή του νότιου Αιγαίου. Με τη μεθοδολογία αυτή συσχετίζουμε την εμφάνιση των γεγονότων με τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας θα υπολογιστεί σε πέντε (5)

κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας (500-700-850-925 hPa και στη μέση στάθμη θάλασσας), ενώ η μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας των ημερών εμφάνισης θα υπολογιστεί με βάση την κλιματολογία των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011).

3ος. Τη δημιουργία συγκεκριμένων τύπων καιρού γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν την ανάπτυξη των σιφώνων και υδροσιφώνων στην Ελλάδα. Η παρούσα ανάλυση αποτελεί την αντίστροφη διαδικασία μελέτης που προαναφέρθηκε παραπάνω (2^{ος} στόχος) καθώς συσχετίζει την γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας με τα γεγονότα. Η ανάλυση θα αφορά την εκτίμηση της συχνότητα εμφάνισης των σιφώνων και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και ανά γεωγραφική περιοχή. Ακολούθως θα εξεταστεί η συσχέτιση των μετωπικών δραστηριοτήτων με την εμφάνιση των σιφώνων ξηράς.

4ος. Την εποχική θερμοδυναμική ανάλυση της ατμόσφαιρας (θερμοδυναμικές δείκτες) κατά την εμφάνιση των υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο και η επίδραση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας αλλά και του προφίλ των ανέμων στα κατακόρυφα επίπεδα των 500-850-925-1000 hPa.

5ος. Τη χρήση αριθμητικού μοντέλου μέσης κλίμακας WRF-ARW, με υψηλή χωρική ανάλυση, με στόχο την ανάλυση της δυναμικής της ατμόσφαιρας στην πρόγνωση καταιγιδοφόρων νεφών με συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη σίφωνα ξηράς. Η ανάλυση αφορά συγκεκριμένους θερμοδυναμικούς δείκτες που σχετίζονται με την εμφάνιση του σίφωνα, ενώ επιμέρους στόχος αποτελεί η ανάλυση του στροβιλισμού κατά την εμφάνιση σίφωνα. Επιμέρους στόχος αποτελεί η εξέταση της συμβολής της τοπογραφίας της Ελλάδας στην δημιουργία σιφώνων ξηράς.

Στην παρούσα διατριβή γίνεται προσπάθεια να απαντήσουμε σε ερωτήματα τα οποία εγείρονται από την εμφάνιση τέτοιων ακραίων γεγονότων στη χώρα μας όπως:

- Ποια είναι η χωρική κατανομή του φαινομένου στη χώρα μας;
- Ποιες περιοχές εμφανίζουν υψηλή συχνότητα εμφάνισης σιφώνων;
- Ποιες περιοχές εμφανίζουν υψηλή συχνότητα εμφάνισης υδροσιφώνων;
- Ποια περίοδο του χρόνου (εποχή, μήνας, ή ακόμη και ώρες) εκδηλώνονται;
- Έχουν συμβεί στο παρελθόν σίφωνες και υδροσίφωνες στη χώρα μας;
- Ποιες είναι οι συνοπτικές συνθήκες που ευνοούν την εκδήλωσή τους;
- Ποιες είναι οι θερμοδυναμικές συνθήκες που ευνοούν την εμφάνισή τους;
- Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προγνωστικά «εργαλεία» με τη χρήση ατμοσφαιρικών αριθμητικών μοντέλων καιρού για τη μελέτη των φαινομένων;
- Μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα «ιδεατό» σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για ακραία καιρικά φαινόμενα;

Απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα θα μας επιτρέψουν να κατανοήσουμε το φαινόμενο σε βάθος και να μειώσουμε την τρωτότητα των επιδεκτικών περιοχών μέσω της σωστής ενημέρωσης, εκπαίδευσης και το σωστό επιχειρησιακό σχεδιασμό. Η πρόσφατη αναδιοργάνωση των Δήμων αλλά και η όλο πιο συχνή εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων που θα πρέπει να διαχειριστούν, αναδεικνύουν την έλλειψη σχεδιασμού της έγκαιρης προειδοποίησης αλλά και την έλλειψη γνώσης των τοπικών αρχών για την σωστή αντιμετώπιση και διαχείριση τέτοιων καταστροφικών φαινομένων.

2 Υδροσίφωνες (WS) – Σίφωνες Ξηράς(TR)

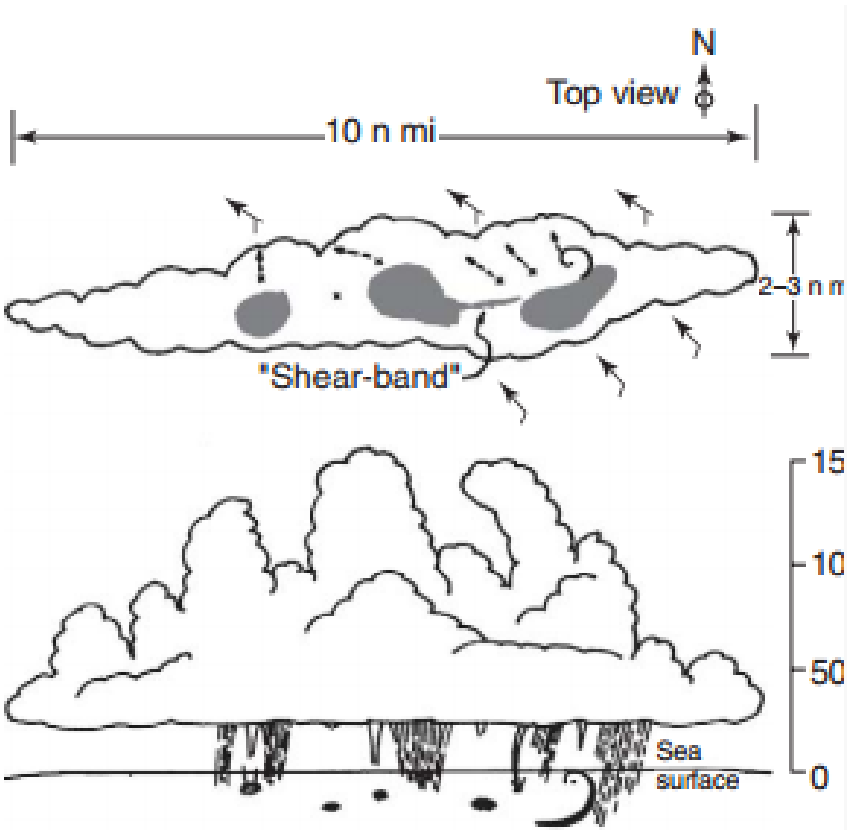
2.1 Υδροσίφωνες – Waterspout (WS) – Στάδια ανάπτυξης

«Τι είναι ο υδροσίφωνας;» Στην ερώτηση αυτή θα μπορούσαμε να απαντήσουμε ότι είναι ένας σίφωνας πάνω από μία θαλάσσια περιοχή ή όμως υπάρχουν σημαντικές θεμελιώδεις διαφορές που διέπουν την ανάπτυξη του σίφωνα και του υδροσίφωνα; Υπάρχουν λοιπόν σημαντικές διαφορές με το σίφωνα και θα μπορούσαμε να δώσουμε τον ακόλουθο ορισμό. Ως υδροσίφωνας ή σίφωνας θάλασσας ορίζεται μία πυκνή και ισχυρή στήλη στροβίλου με μικρή οριζόντια έκταση (Εικόνα 2.1) πάνω από μία υδάτινη επιφάνεια (και όχι απαραίτητα να έχει το σχήμα χωνιού από τη βάση του νέφους).

Οι υδροσίφωνες είναι πιο συχνοί στις υποτροπικές περιοχές κατά τη θερμή περίοδο του έτους και οι περισσότεροι από αυτούς παρατηρούνται στην περιοχή Florida Keys των Η.Π.Α. Η διάμετρος του χωνοειδούς νέφους κυμαίνεται από μερικά m έως 100 m ή περισσότερα, η χρονική διάρκεια του φαινομένου είναι κατά μέσον όρο 5-10 min, ωστόσο ισχυροί υδροσίφωνες μπορούν να διαρκέσουν έως και 1 ώρα. Οι υδροσίφωνες μπορούν να εκδηλωθούν σε ομάδες (υδροστρόβιλοι κοντά ο ένας στον άλλον) ή και με τη μορφή πολλαπλών γεγονότων (εμφάνιση, διάλυση, εμφάνιση κ.τ.λ.) ακόμη και από ένα ανεπτυγμένο νέφος (Εικόνα 2.2) μέσα σε μία χρονική περίοδο των 90 min [1]. Παρόμοια περίπτωση εμφανίστηκε στις 21 Σεπτεμβρίου 2007 στη θαλάσσια περιοχή του Ηρακλείου τις πρώτες πρωινές ώρες όπου 25 γεγονότα υδροσιφώνων παρατηρήθηκαν σε χρονικό διάστημα 90 min.

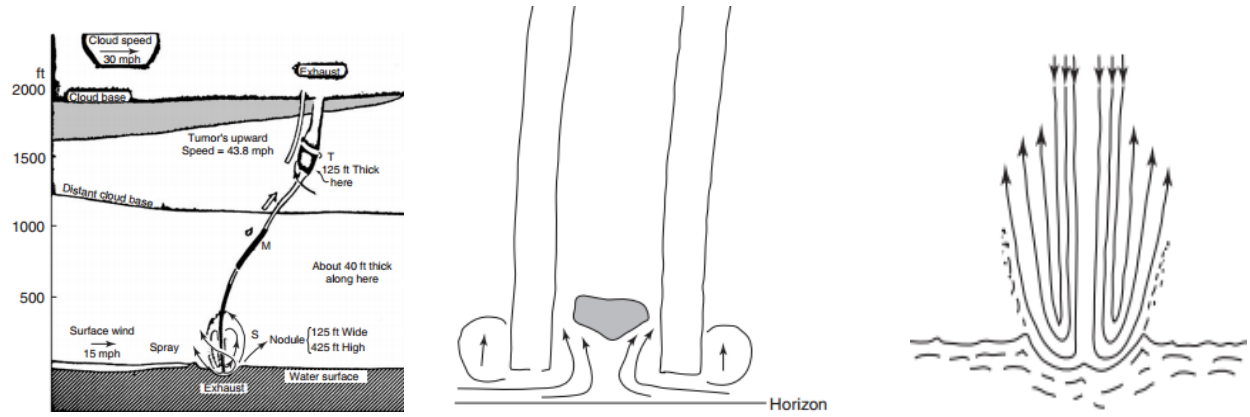
Εικόνα 2.1: Υδροσίφωνας στις 5 Ιουνίου 2010 κοντά στις ακτές του Αγ. Ιωάννη Πηλίου.

Σε αντίθεση με τους σίφωνες, που η δημιουργία τους σχετίζεται (ή απαιτείται) νέφος σωρειτομελανία, οι υδροσίφωνες σχετίζονται με νέφη της μορφής σωρειτών των οποίων οι κορυφές τους δεν ξεπερνούν συνήθως τα 12000 πόδια [2]. Οι υδροσίφωνες αποτέλεσαν και αποτελούν πόλο έλξης για μελέτες και ερευνητική δραστηριότητα σε όλο τον κόσμο. Οι υδροσίφωνες είναι αρκετά γνωστοί στις ακτές της πολιτείας Φλώριδας (Florida) των Η.Π.Α. όπου οι πρώτοι ερευνητές προσπαθούσαν να ερμηνεύσουν τον τρόπο δημιουργίας τους και τη φυσική που διέπει τη δημιουργία και διάλυση τους [3], [4], [5], [6]. Μερικές από τις πιο αληθοφανείς ιδέες σχηματισμού των σιφώνων προέκυψαν από μακροσκοπικές παρατηρήσεις και προτάθηκαν από τους [3], [4] και [5] (Εικόνα 2.3). Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 η μόνη υπολογισμένη μέτρηση της ελάχιστης βαρομετρικής πίεσης στο κέντρο του υδροσίφωνα προέρχονταν από τον Chollet, ο οποίος ανέφερε πτώση της βαρομετρικής πίεσης κατά 21 hPa, όταν ένας υδροσίφωνας «χτύπησε» ένα πλοίο και ο βαρογράφος σημείωσε την προαναφερόμενη πτώση. Η πρώτη παγκόσμια κατανομή των υδροσιφώνων αφορά την του ο Gordon, ο οποίος κατασκεύασε τον χάρτη σύμφωνα με τις αναφορές των Βρετανικών πλοίων από το 1900 έως το 1947.



Εικόνα 2.2:Σχηματικό μοντέλο (πλευρική και κατακόρυψη απεικόνηση) του νεφικού συστήματος κατά την εμφάνιση πολλαπλών γεγονότων υδροσιφώνων [1].

Οι υδροσίφωνες εκδηλώνονται στις δυτικές περιοχές των υποτροπικών αντικυκλώνων [1], δηλαδή εμφανίζονται πιο συχνά στις υποτροπικές περιοχές του Ατλαντικού και Ινδικού Ωκεανού, στον Κόλπο του Μεξικού και στη Μεσόγειο Θάλασσα. Ο Gordon από τα δεδομένα των θαλασσοπόρων συμπέρανε ότι γενικά εκδηλώνονται σε περιοχές με σχετικά υψηλή θερμοκρασία αέρα και επιφάνειας θάλασσας, όπου ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες υπάρχουν σε χαμηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας. Η χωρική κατανομή του χάρτη του Gordon αποτυπώνει ότι σπάνια υδροσίφωνες εκδηλώνονται στις δυτικές περιοχές της Βόρειας και Νότιας Αμερικής, στην Ευρώπη και Αφρική όπου είναι συχνή η ανολίσθηση ψυχρών θαλάσσιων υδάτων.



Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνηση του τρόπου δημιουργίας του υδροσίφωνα σύμφωνα με τις αναφορές [3] (αριστερά), [4] (μέση) και [5] (δεξιά).

Οι ακτές της Φλώριδας αποτέλεσαν μία επιδεκτική περιοχή εμφάνισης υδροσιφώνων και το 1969 προχώρησαν στη μελέτη του φαινομένου με την έναρξη ενός προγράμματος με την ονομασία «Lower Keys Waterspout project». Σκοπός του προγράμματος ήταν η ενδελεχής έρευνα του φαινομένου των υδροσιφώνων με παρατηρήσεις από αέρα χρησιμοποιώντας επανδρωμένα αεροπλάνα και ελικόπτερα με φωτογράφους εξοπλισμένους με αρκετά σύγχρονες για την εποχή τους φωτογραφικές μηχανές και κάμερες βιντεοσκόπησης. Η βιντεοσκόπηση και η φωτογράφηση του φαινομένου συνδυάστηκε με τις ρίψεις φωτοβολίδων, όπου θα μπορούσαν να αποτυπώσουν τη ροή της ατμόσφαιρας γύρω από τον υδροσίφωνα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αποτύπωσαν ότι κατά την εκδήλωση υδροσιφώνων οι επιφανειακοί άνεμοι χαρακτηρίζονταν ασθενείς (3 - 5 m/s), ενώ η συνοπτική κατάσταση καθόριζε το σχηματισμό γραμμών νεφών cumulus. Στην περίπτωση της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στο στρώμα των 1000 έως 600 hPa η βυθιζόμενη αέρια μάζα ενίσχυε την ανάπτυξη των γραμμών cumulus πάνω από τα ζεστά και ρηχά νερά ενώ η ισχυρή κυκλωνική κυκλοφορία με τους ισχυρούς ανέμους στα κατώτερα στρώματα και τους ισχυρούς κατακόρυφους διατμητικούς ανέμους διατάραζε το μηχανισμό θέρμανσης στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας από τα ζεστά και ρηχά νερά. Η διαδικασία αυτή αποτυπώνει τη σημασία της αλληλεπίδρασης της θερμοκρασίας θάλασσας και του υπερκείμενου αέρα πάνω από ρηχές περιοχές. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις υδροσιφώνων (οι οποίοι είτε διήρκησαν μεγάλο χρονικό διάστημα, είτε πολλαπλά γεγονότα εμφανίστηκαν) το κύριο χαρακτηριστικό της συνοπτικής κατάστασης αποτύπωνε τη διέλευση μιας ασθενούς διαταραχής στη μέση τροπόσφαιρα η οποία πλησίαζε και πέρναγε πάνω από την περιοχή μελέτης ενισχύοντας την ανάπτυξη των νεφικών γραμμών cumulus.

Τα αποτελέσματα της μελέτης των υδροσιφώνων παρουσίασαν ότι η νεφική κλίμακα των νεφικών γραμμών cumulus είναι ίσως η πιο κρίσιμη παράμετρος για το σχηματισμό του υδροσίφωνα. Εκτιμάται ότι το 90 % των υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος μελέτης αφορούσε υδροσίφωνες οι οποίοι «γεννήθηκαν» από ταχέως συγκροτούμενα νεφικά συστήματα γραμμών cumuli και όχι από μεμονωμένα νεφικά συστήματα. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι σπειροειδή ή ελικοειδή μοτίβα κυκλοφορίας αναπτύχθηκαν στο πίσω μέρος των νεφικών συστημάτων, ενώ η περιοχή της βροχόπτωσης ήταν περίπου λίγα χιλιόμετρα από το σημείο εκδήλωσης του σίφωνα. Η βροχόπτωση εμφανίζεται στα όρια του νεφικού συστήματος και σε μικρή απόσταση λίγων χιλιομέτρων από το επίκεντρο εμφάνισης του υδροσίφωνα. Παρατηρήθηκε ότι μέσα στο νεφικό σύστημα υπάρχουν 2 μορφές κυκλοφορίας: κυκλωνική και καμπυλωτή κυκλοφορία (Εικόνα 2.2). Τα ανοδικά ρεύματα και η σύγκλιση στο στρώμα της ατμόσφαιρας κάτω από το νεφικό σύστημα ενισχύονται από τη

σύγκλιση των ρευμάτων της ατμόσφαιρας λόγω των όμβρων από τις παρακείμενες θέσεις. Τα περισσότερα νεφικά συστήματα που επέτρεψαν την ανάπτυξη υδροσιφώνων δημιουργήθηκαν από το μηχανισμό θέρμανσης των νησιών και των θερμών, ρηχών υδάτων ενώ οι υπόλοιποι σχετίζονται με μία προϋπάρχουσα μέσης κλίμακας διαταραχή.

Το κατακόρυφο προφίλ των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων αποτύπωσε ότι οι κατακόρυφοι διατμητικοί άνεμοι ήταν ασθενείς, ενώ υπήρχε μία ασθενής στροφή του ανέμου μετά του ύψους. Πάνω από τη βαρομετρική στάθμη των 700 hPa η ατμόσφαιρα ήταν ξηρή με έλλειψη υγρασίας, ενώ οι δυναμικοί δείκτες αστάθειας ήσαν κοντά στο 0. Επίσης, οι ραδιοβολίσεις από επίγειους σταθμούς κοντά στο σημείο εκδήλωσης δεν μπόρεσαν να αποτυπώσουν με ακρίβεια το θερμοδυναμικό περιβάλλον της ατμόσφαιρας καθώς δεν μπορούσαν να συμπεριλάβουν την επιρροή του καθοδικού ρεύματος από τη γειτνιάζουσα περιοχή.

Οι υδροσίφωνες αποτελούν σημαντικό και υποεκτιμημένο παράλληλα κίνδυνο για την ναυτιλία, τους κατοίκους και τις δομικές κατασκευές των παράκτιων περιοχών. Οι υδροσίφωνες πολλές φορές φθάνουν μέχρι τις ακτές και προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία ενώ έχουν καταγραφεί πολλές περιπτώσεις με θύματα ή τραυματισμούς από την εμφάνιση υδροσιφώνων σε λιμάνια και παράκτιες περιοχές (Κεφάλαιο 4).Ο [7] έδειξε ότι όλοι οι υδροσίφωνες διέπονται από ένα κύκλο ζωής με πέντε (5) διακριτά στάδια μεταξύ τους.

Το 1° στάδιο ονομάζεται "*Dark Spot Stage"* και χαρακτηρίζεται από ένα διακριτό ανοιχτόχρωμο δίσκο στην επιφάνεια της θάλασσας, περιτριγυρισμένο από διάχυτα σκούρα μπαλώματα στην περίμετρο του. Πάνω από αυτό το σημείο μπορούμε να παρατηρήσουμε (όχι πάντα) ένα μικρό χοανοειδές νέφος να σχηματίζεται και το οποίο σηματοδοτεί την έναρξη δημιουργίας μιας στήλης στροβίλου η οποία εκτείνεται από τη βάση του νέφους προς την επιφάνεια της θάλασσας. Το 2° στάδιο ονομάζεται «Spiral Pattern Stage» και αποτελεί το κυρίως στάδιο ανάπτυξης του υδροσίφωνα. Χαρακτηρίζεται από τη συνεχή εναλλαγή ανοιχτόχρωμων και σκούρων χρωμάτων να στροβιλίζονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το 3° στάδιο ονομάζεται «Spray Ring Stage» και χαρακτηρίζεται ως το αρχόμενο στάδιο συμπύκνωσης των υδρατμών με σταδιακή επιμήκυνση του χοανοειδούς νέφους από τη βάση του νέφους. Το 4ο στάδιο, γνωστό και ως «Mature Waterspout Stage", χαρακτηρίζεται από το πτύελο με την μέγιστη ένταση και δομή του, τη σταδιακή εξασθένιση του ελικοειδούς μοτίβου και το μέγιστο μήκος και διάμετρος του χοανοειδούς νέφους. Το 5° και τελευταίο στάδιο ονομάζεται «Decay Stage» και χαρακτηρίζεται από την αποδόμηση και διάλυση του υδροσίφωνα, η οποία γίνεται πολλές φορές σχεδόν απότομα. Η διάλυση του υδροσίφωνα οφείλεται σε ένα ψυχρό καθοδικό ρεύμα από τα γειτονικά νέφη με βροχή και όμβρο.

Ωστόσο ο [7] ανέφερε ότι τα παραπάνω στάδια δεν παρατηρούνται συνεχώς σε όλους τους υδροσίφωνες αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου υδροσίφωνες είχαν την ακόλουθη δομή στα στάδια τους: 1→2→3→4→5, 1→2→5, 1→3→4→5, 1→5. Τη μεγαλύτερη διάρκεια παρατήρησης του φαινομένου μεταξύ των σταδίων παρατηρούμε στα στάδια 1 και 4.

Εξετάζοντας το κύκλο ζωής ο [8], με βάση την ενέργεια και την στροφορμή, τα παραπάνω στάδια ζωής τα ταξινόμησε ως προς την διάσταση της κλίμακας του φαινομένου που αλληλεπιδρά για τη δημιουργία του υδροσίφωνα. Ως πρώτη κλίμακα θεώρησε την κλίμακα του χοανοειδούς νέφους, με τη διάμετρο του να κυμαίνεται από 3-150 m, 2) την ελικοειδή κλίμακα στην επιφάνεια της θάλασσας, με διαστάσεις 150-1000 m, 3) την κλίμακα του μεμονωμένου νέφους σωρείτη, 4) την κλίμακα γραμμών σωρειτών (cumulus-line), με διαστάσεις από 10-200 km και 5) την συνοπτική κλίμακα (μερικές εκατοντάδες km). Αυτή η ταξινόμηση αλληλεπιδρά με τον σχηματισμό των

υδροσιφώνων καθώς μικρές διαταραχές συνοπτικής κλίμακας μπορούν να προκαλέσουν σύγκλιση και θετική μεταφορά στροβιλισμού στην περιοχή ενδιαφέροντας. Αυτή η συνοπτική κατάσταση ευνοεί την δημιουργία γραμμών σωρείτη στις περιοχές με θετική μεταφορά στροβιλισμού. Η εκροή ρεύματος αέρα που προκαλείται λόγω των όμβρων (καθοδικών ρευμάτων) δημιουργεί στην περιοχή μεταξύ των γραμμών σωρειτών ένα ανοδικό ρεύμα το οποίο δημιουργεί την ελικοειδή ροή του αέρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και γύρω από το χοανοειδές νέφος. Ενώ το μήκος και η μέγιστη διάμετρος του χοανοειδές νέφους φαίνεται να έχει άμεση συσχέτιση με την ένταση στροβιλισμού (ταχύτητα περιστροφής) στην επιφάνεια της θάλασσας.

2.1.1 Στάδιο 1^{ο} : “Dark Spot”

Το 1^{ο} στάδιο χαρακτηρίζεται από ένα διακριτό ανοιχτόχρωμο δίσκο στην επιφάνεια της θάλασσας, περιτριγυρισμένο από διάχυτα σκούρα μπαλώματα στην περίμετρο του (Εικόνα 2.4). Αυτή η σκούρα κηλίδα σχηματίζεται από μία δίνη αέρα η οποία στροβιλίζεται γρήγορα στην επιφάνεια του νερού, ταράσσοντας την επιφάνεια του νερού και αποδίδοντας του ένα πιο σκούρο χρώμα (Εικόνα 2.5).

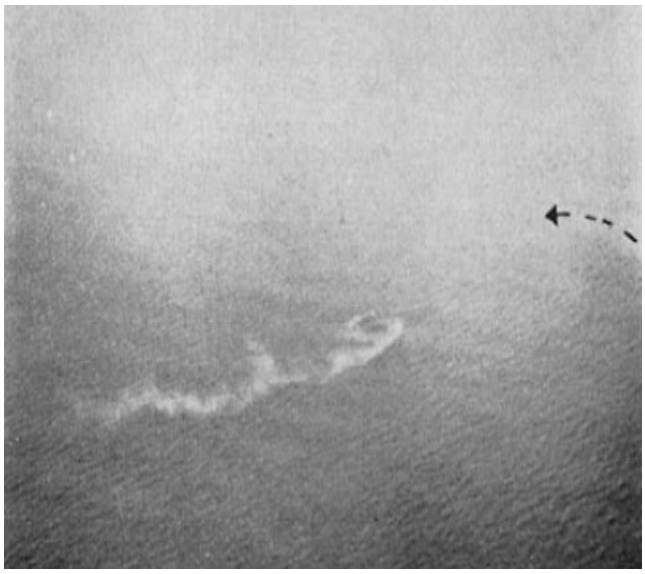
Εικόνα 2.4: Ο ανοιχτόχρωμος δίσκος περιτριγυρισμένος από σκούρες αποχρώσεις του μπλε αποτυπώνουν την έναρξη του 1^{ου} σταδίου ανάπτυξης του υδροσίφωνα [1].

Οι σκούρες αυτές κηλίδες στην επιφάνεια της θάλασσας ποτέ δεν είναι ορατές από τη στεριά παρά μόνο από ψηλά (παρακείμενοι λόφοι ή από παρατήρηση αέρος). Ο [7] χρησιμοποιώντας φωτοβολίδες κοντά στο σημείο όπου εντόπιζε σκούρες κηλίδες παρατήρησε μία ισχυρή κυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6. Ο καπνός άρχισε να στροβιλίζεται πάνω από τις μελανές υδάτινες επιφάνειες και να κινείται ανοδικά γύρω από τη σκούρα κηλίδα, ενώ η διάμετρος της κηλίδας ήταν περίπου 23 m.

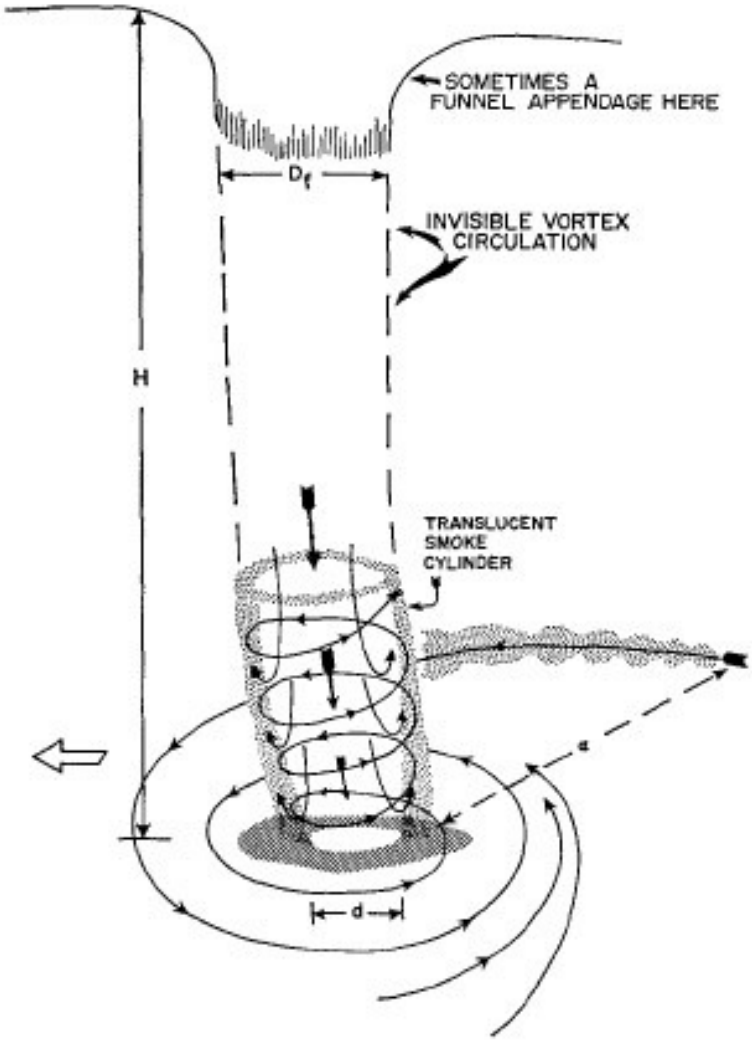
Με τη βοήθεια των τροχείων του καπνού ο [7] παρουσίασε μία τρισδιάστατη σχηματική απεικόνιση της ροής γύρω από το 1° στάδιο, παραθέτοντας σημαντικά χαρακτηριστικά όπως το ύψος της βάσης των νεφών από την επιφάνεια της θάλασσας και τη διάμετρο του στροβίλου (Εικόνα 2.7). Ο βυθιζόμενος αέρας στον πυρήνα της σκούρας κηλίδας, ο οποίος καταλαμβάνει το χαμηλότερο επίπεδο του στροβίλου διατηρεί το στρόβιλο καθαρό από καπνό. Η οργανωμένη κυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας δεν ήταν ανιχνεύσιμη χωρίς τη χρήση καπνογόνων σε περιοχές με βάθος μεγαλύτερο των 2 m. Στις περιπτώσεις ισχυρού στροβίλου πάνω από υδάτινες επιφάνειες με βάθος μεγαλύτερο των 15 m υπολόγισαν την τιμή του οριζόντιου διατμητικού ανέμου στις τιμές των ± 15 m/s κατά μήκος διαμέτρου 90 m.

Εικόνα 2.5: Η ύπαρξη ενός χαονοειδούς νέφους πάνω από την σκούρα κηλίδα σηματοδοτεί την σταδιακή ενίσχυση του φαινομένου και την δημιουργία υδροσίφωνα [1].

Γενικά, η ύπαρξη μιας τέτοια κηλίδας δεν συνεπάγεται πάντα τη συνέχιση και εκδήλωση του υδροσίφωνα στα επόμενα στάδια του, καθώς ενδέχεται να διαλυθεί η παραπάνω κυκλωνική κυκλοφορία. Ωστόσο η ύπαρξη ενός χοανοειδούς νέφους πάνω από αυτό το σημείο είναι ένας καλός ενδείκτης ότι περαιτέρω ανάπτυξη – ενίσχυση του φαινομένου πρόκειται να συμβεί. Μέσα από τις παρατηρήσεις των υδροσιφώνων στη Φλώριδα οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι πάνω από κάθε dark spot υπήρχε πάντα ένα νέφος cumulus.



Εικόνα 2.6: Με τη χρήση φωτοβολίδων κοντά στις σκούρες κηλίδες παρατήρησαν την ύπαρξη στροβιλιζόμενου αέρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας [7].

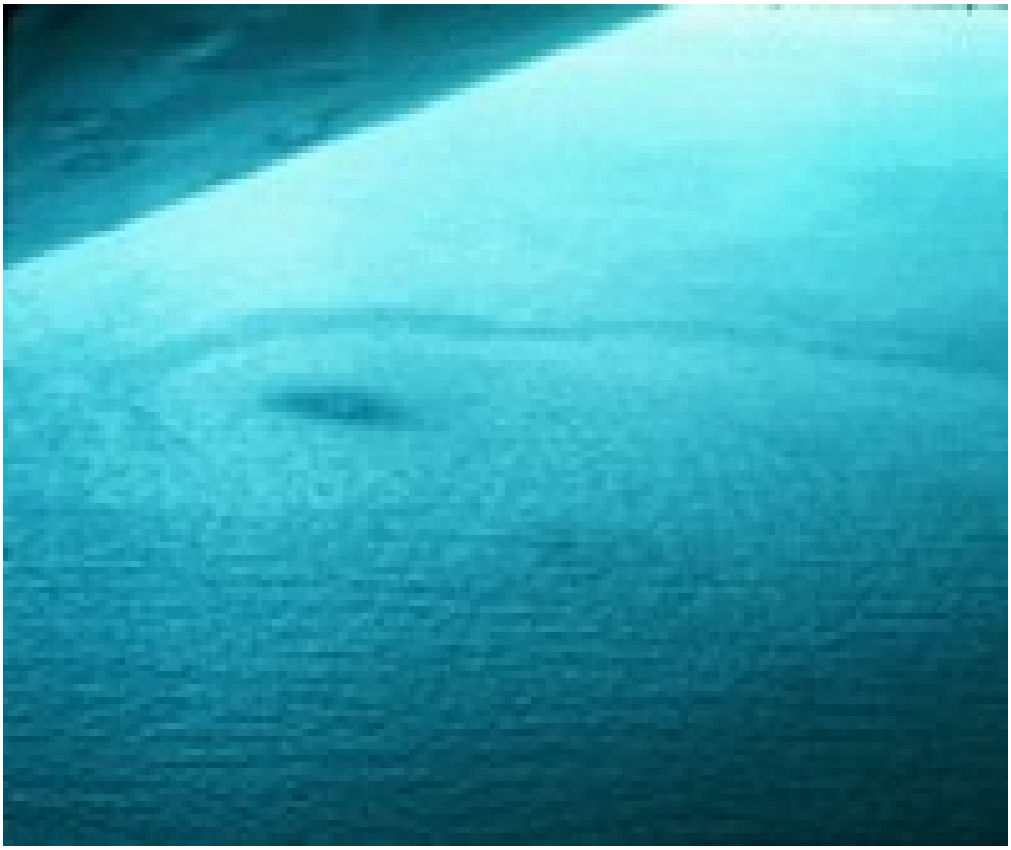


Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση της ροής γύρω από το "Dark Spot" όπως την παρουσίασε ο [7] όπου H (η βάση νεφών)=550-670 m, Df (η μέγιστη διάμετρο του χαονοειδούς νέφους) = 3-150 m, d= 3-45 m και α=15-760 m.

2.1.2 Στάδιο 2° : “Spiral Pattern”

Το 2° στάδιο αποτελεί το κυρίως στάδιο ανάπτυξης του υδροσίφωνα και χαρακτηρίζεται από τη συνεχή εναλλαγή ανοιχτόχρωμων και σκούρων χρωμάτων της επιφάνειας της θάλασσας, υποδηλώνοντας την ενίσχυση του στροβίλου. Παρατηρείται μία σπειροειδής κυκλοφορία στην επιφάνεια της θάλασσας γύρω από τη σκούρα κηλίδα (Εικόνα 2.8).

Κατά τη ρίψη των καπνογόνων παρατήρησαν ότι η οριζόντια σύγκλιση αυξήθηκε σημαντικά όταν εμφανίστηκε η ελικοειδής μορφή γύρω από το dark spot. Αυτή η ελικοειδή μορφή είναι αρκετά μεγάλη (150-950 m) και είναι εύκολα αντιληπτή από σχετικά μεγάλη απόσταση (~8 km) όταν ίπτασαι πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Ο [7] παρομοίασε το αρχικό στάδιο δημιουργίας των υδροσιφώνων με εμβρυακό στάδιο και το 2° στάδιο σαν το κύριο στάδιο ωρίμανσης του φαινομένου μέσα από το οποίο ο στρόβιλος ενισχύεται κατακόρυφα μέσα στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας. Η ελικοειδής μορφή ήταν εύκολα αντιληπτή σε περιβάλλον με ασθενείς ανέμους ή άπνοια (Εικόνα 2.9).

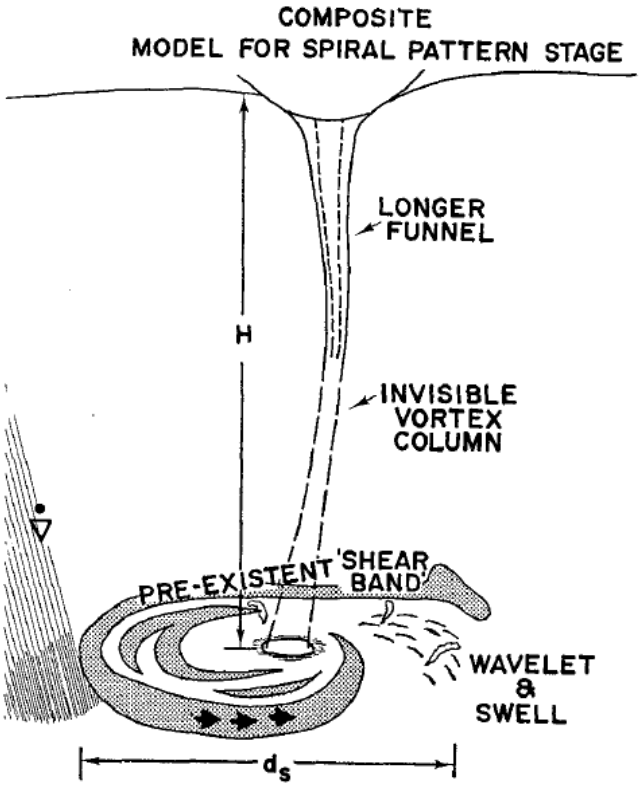


Εικόνα 2.8: Στο 2° στάδιο παρατηρείται μία σπειροειδή κυκλοφορία γύρω από το Dark Spot, η οποία είναι ορατή από υψηλά [1].

Η σχηματική απεικόνιση του 2^{ου} σταδίου της ζωής του υδροσίφωνα φαίνεται στην Εικόνα 2.10 όπως την παρουσίασε ο [7] με τη χρήση των φωτοβολίδων καπνού.

Η ελικοειδής ροή στην επιφάνεια της θάλασσας είναι σημαντική στην αρχική ανάπτυξη του υδροσίφωνα καθώς αποτυπώνει την πρώτη οπτική ένδειξη του στροβιλισμού στην επιφάνεια. Ο [8] αποδίδει ως εξήγηση αυτής της ελικοειδής ροής το αποτέλεσμα συσχέτισης ασθενών κυμάτων λόγω καθοδικών ρευμάτων από γειτονικά νέφη και του πεδίου των ανέμων. Παρατήρησε γύρω από τα μελανά σημεία εκτεταμένες περιοχές με διατμητικούς ανέμους με ταχύτητες των 10-15 m/s, δημιουργώντας ένα κυκλωνικό διατμητικό περιβάλλον ανέμων.

Εικόνα 2.9: Η εμφάνιση της ελικοειδής μορφής γύρω από το dark spot παρατηρείται σε συνθήκες με εξασθενημένους ανέμους [1].



Εικόνα 2.10: Σχηματική απεικόνιση της ροής γύρω κατά το 2° στάδιο όπως την παρουσίασε ο [7] όπου H (η βάση νεφών)=550-670 m, ds = 150-920 m. Τα μαύρα έντονα βέλη υποδηλώνουν τη ροή των ελικοειδών μορφών που συγκλίνουν προς το κέντρο.

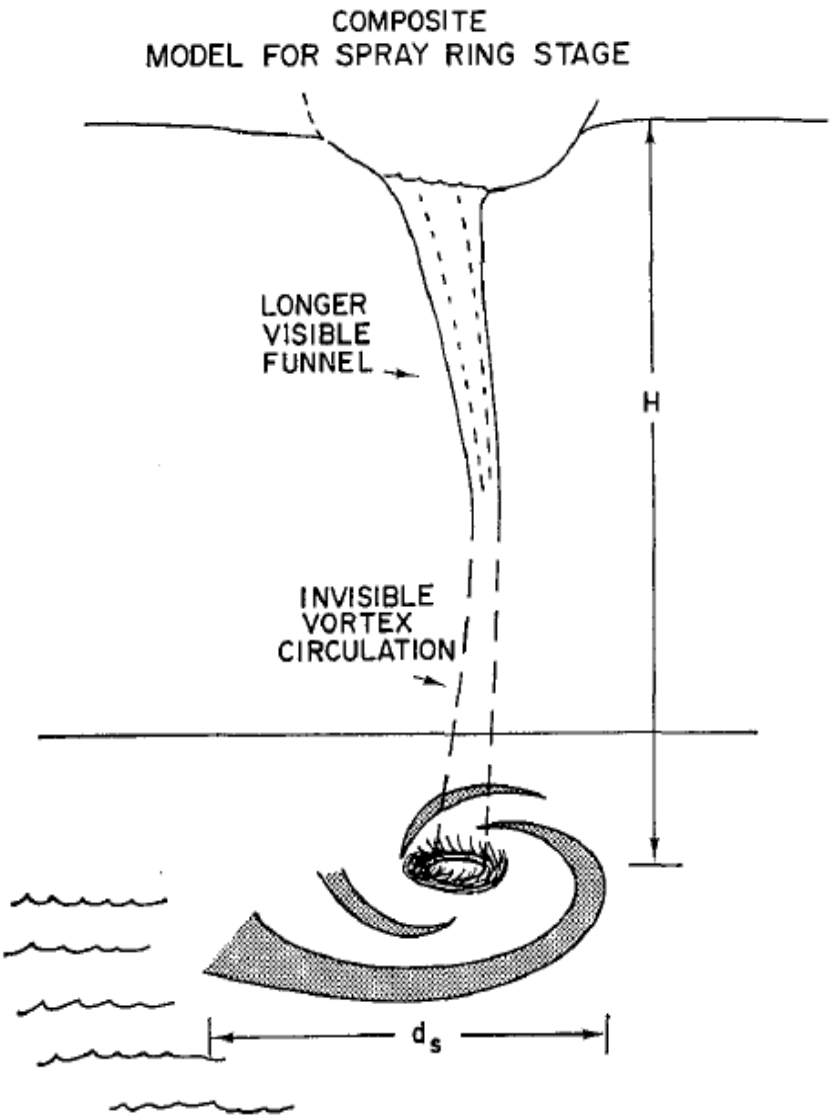
2.1.3 Στάδιο 3° : "Spray Ring"

Το 3° στάδιο, «Spray Ring stage», χαρακτηρίζεται ως το αρχόμενο στάδιο συμπύκνωσης των υδρατμών με σταδιακή επιμήκυνση του χοανοειδούς νέφους από τη βάση του νέφους (Εικόνα 2.11). Η ταχύτητα στροβιλισμού είναι περίπου 22,5 m/s για ένα υδροσίφωνα με ακτίνα 36,5 m. Σε αυτό το στάδιο συνήθως η διάμετρο του χοανοειδούς νέφους διπλασιάζεται, πιθανώς λόγω της αύξησης της υγρασίας στο εσωτερικού το στροβίλου (μέσω της ελικοειδούς μορφής) και της απότομης πτώσης της

πίεσης στον πυρήνα του υδροστρόβιλου. Σε αυτό το χρονικό σημείο είναι ευδιάκριτα τόσο το dark spot όσο και η ελικοειδής μορφή του 2^{ου} σταδίου προς το κέντρο και ένα δαχτυλίδι συμπύκνωσης των υδρατμών σχηματίζεται αμέσως γύρω από το dark spot. Συνήθως η χρονική διάρκεια του 3^{ου} σταδίου είναι σχετικά μικρή και διαρκεί περίπου 1-2 min.

Εικόνα 2.11: Το 3^{ο} στάδιο ζωής του υδροσίφωνα με τη σταδιακή ανάπτυξη του υδροστροβίλου και τη σταδιακή επιμήκυνση του χαονοειδούς νέφους (αριστερή εικόνα). Η δεξιά εικόνα αποτυπώνει το 3^{ο} στάδιο στην περιοχή του Πατραϊκού κόλπου στις 15 Δεκεμβρίου 2007.

Στο στάδιο αυτό η εφαπτόμενη ταχύτητα του υδροστροβίλου έχει αποκτήσει τέτοια ικανή ταχύτητα (22 m/s) [7] όπου μπορεί να σηκώσει πτύελο από την επιφάνεια της θάλασσας. Το κάτω μέρος του υδροστροβίλου αρχίζει και κινείται και εμφανίζει μία κλίση ως προς το κατακόρυφο σε σχέση με το χοανοειδές νέφος που κατέρχεται από τη βάση του νέφους. Στην Εικόνα 2.12 παρουσιάζεται σχηματικά το 3^{ο} στάδιο, όπως το παρουσίασε ο [7]. Στο στάδιο αυτό υπάρχει το dark spot αλλά και η ελικοειδής μορφή των ρευμάτων αλλά είναι πιο μεγάλα σε έκταση και ένταση.



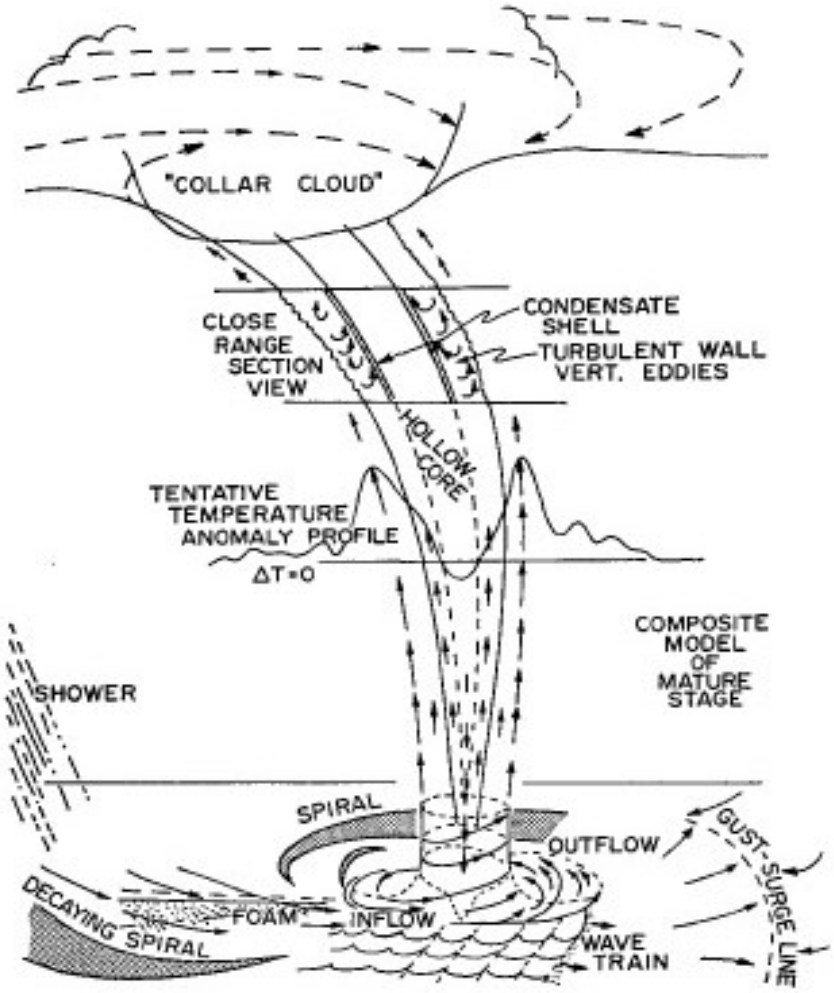
Εικόνα 2.12: Σχηματική απεικόνιση της ροής κατά το 3° στάδιο του κύκλου ζωής των υδροσιφώνων όπως την παρουσίασε ο [7] όπου H είναι(η βάση νεφών=550-670 m και ds = 45-760 m.

2.1.4 Στάδιο 4° : "Mature Waterspout"

Το τέταρτο στάδιο, «Mature Waterspout", χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη ένταση και δομή του φαινομένου (Εικόνα 2.13). Ως μέγιστη ένταση θεωρούνται οι ταχύτητες περιστροφής στην ζώνη των ισχυρών ταχυτήτων γύρω από την ανύψωση των σταγόνων νερού της θάλασσας και των ανοδικών κινήσεων στο εσωτερικό του χοανοειδούς . Το κατώτερο μέρος του υδροσίφωνα κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα και σταδιακά εμφανίζεται μία κύρτωση του υδροστρόβιλου.

Στο στάδιο αυτό παρουσιάζεται μία πτώση της θερμοκρασίας στον πυρήνα του υδροστρόβιλου, ενώ μικρές ταλαντώσεις εμφανίζονται στην επιφάνεια της θάλασσας. Το χοανοειδές νέφος έρχεται σε επαφή με τη θαλάσσια επιφάνεια αλλά λόγω των ισχυρών στροβιλιζόμενων ανέμων και των αιωρούμενων σταγόνων δεν είναι ορατό. Στη βάση του νέφους εμφανίζεται ένα είδος «κολάρου» όπου αρχίζει και συρρικνώνεται καθώς κατερχόμαστε προς την επιφάνεια της θάλασσας. Στην Εικόνα 2.14 παρουσιάζεται σχηματικά το 4° στάδιο όπως το παρουσίασε ο [7].

Εικόνα 2.13: Στο ώριμο στάδιο της ζωής του υδροσίφωνα, το χοανοειδές νέφος «ακουμπάει» σχεδόν την επιφάνεια της θάλασσας και το κατώτερο μέρος του υδροσίφωνα να κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα, παραλία Εγκρεμνών Λευκάδα 23 Ιουνίου 2009.



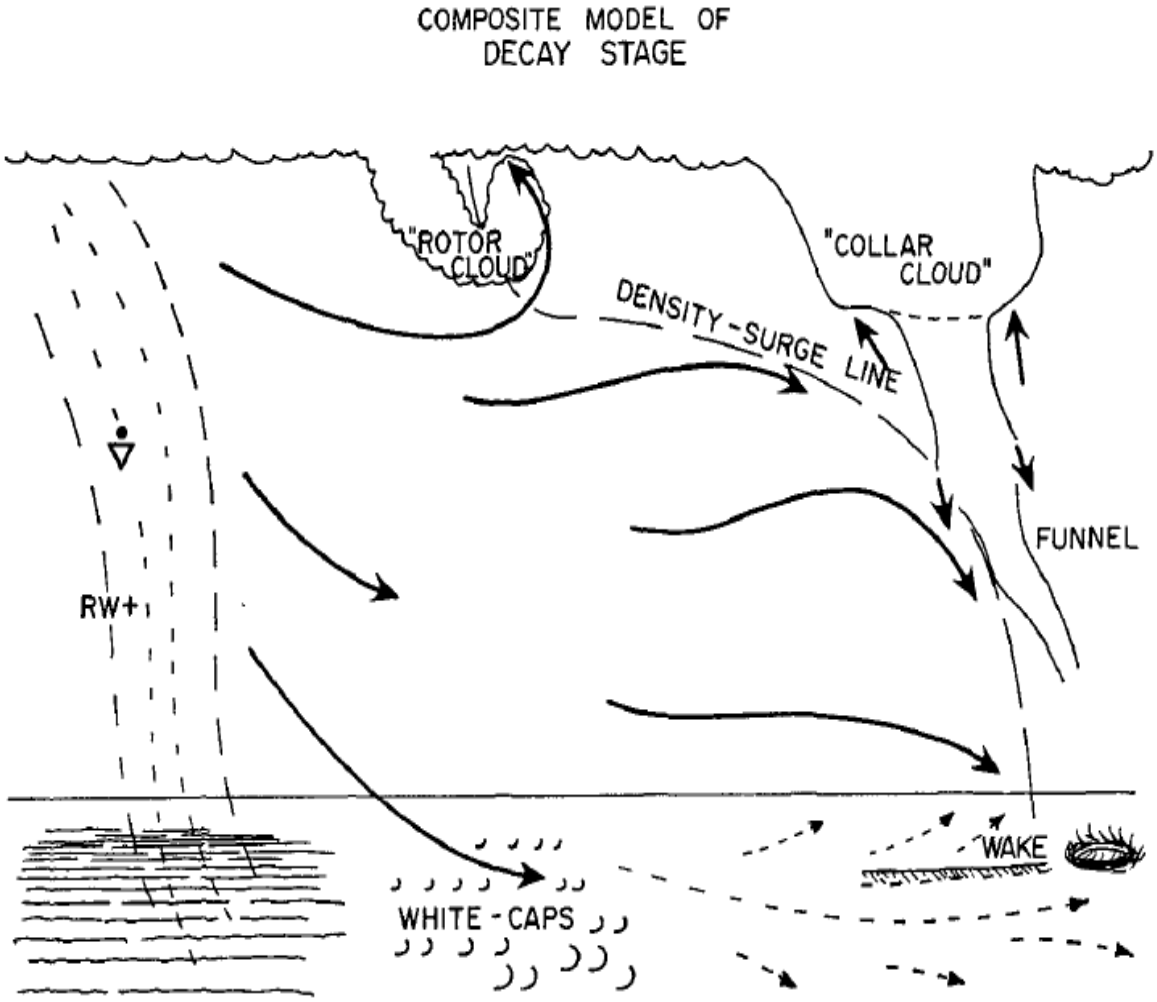
Εικόνα 2.14: Σχηματική απεικόνιση της ροής κατά το 4° στάδιο του κύκλου ζωής των υδροσιφώνων όπως την παρουσίασε ο [7] με τη διάμετρο του υδροσίφωνα κάτω από το νέφος με τη μορφή κολάρου (στη βάση του νέφους) να κυμαίνεται από 3 έως 140m.

2.1.5 Στάδιο 5^{ο} : "The Decay"

Το πέμπτο και τελευταίο στάδιο, «Decay Stage», χαρακτηρίζεται από την εξασθένιση και διάλυση του υδροσίφωνα, λόγω της βροχόπτωσης που λαμβάνει χώρα κοντά στον υδροσίφωνα. Το χοανοειδές νέφος εμφανίζει διαταραχές στη δομή του και στην εξώτερη του επιφάνεια. Η ελικοειδής του μορφή στην επιφάνεια της θάλασσας, η οποία προς το τέλος του 4^{ου} σταδίου αρχίζει να «σβήνει», στο 5^{ο} στάδιο εξαλείφεται. Ο υδροσίφωνας επιβραδύνει την κίνηση του και το χοανοειδές νέφος αρχίζει και παίρνει μία κωνική μορφή αλλάζοντας συνεχώς σχήματα, με επικρατέστερη τη μορφή ενός «λάσου» (Εικόνα 2.15).

Εικόνα 2.15: Στο τελευταίο στάδιο ζωής του ο υδροσίφωνας αποκτά μία κωνική μορφή και απότομα αλλάζει μορφή δημιουργώντας διαφορετικά γραμμικά σχήματα. Στην εικόνα διακρίνεται στο βάθος η βροχή με τη μορφή «κουρτίνας», το αίτιο διάλυσης του υδροσίφωνα.

Το τελικό στάδιο έχει περίπου κύκλο ζωής λίγων λεπτών (1-2 min), και η διάλυση του γίνεται πολλές φορές σχεδόν απότομα. Η διάλυση του υδροσίφωνα οφείλεται σε ένα ψυχρό καθοδικό ρεύμα από τα γειτονικά νέφη, λόγω της βροχής ή των όμβρων. Στην Εικόνα 2.16 παρουσιάζεται σχηματικά το 5° στάδιο του κύκλου ζωής του υδροσίφωνα όπως το παρουσίασε ο [7].



Εικόνα 2.16: Σχηματική απεικόνιση της ροής κατά το 5° και τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής του υδροσίφωνα όπως την παρουσίασε ο [7].

2.2 Σίφωνες Ξηράς – Tornado (TR)

Η λέξη *tornado* (σίφωνας) προέρχεται από την Ισπανική λέξη *tronada*, η οποία σημαίνει καταιγίδα (thunderstorm). Η Ισπανική λέξη *tronada* προέρχεται από τη λατινικά λέξη *tonare* η οποία σημαίνει βροντή (to thunter). Η μετάθεση του -ο- και του -r- εκτιμάται ότι έγινε τον 17° αιώνα καθώς η Ισπανική λέξη *tornar* σημαίνει στρέφω-γυρίζω (to turn) και για πρώτη φορά απαντάται το 1626 ως βίαιη περιστροφή ανέμου (ανεμοστρόβιλος, σίφωνας, αεροδίνη).

Ο Alfred Wegener θεωρείται ως ο πρωτοπόρος Ευρωπαίος ερευνητής ο οποίος πραγματεύθηκε την έρευνα των σιφώνων στην Ευρώπη. Στο βιβλίο του "*Wind- und Wasserhosen in Europa*" παραθέτει τους ακόλουθους ορισμούς:

p. 3: ‘‘*Windhosen und Wasserhosen sind gleichartige Erscheinungen, nur ist erstere Bezeich-nung auf dem Land letztere auf See gebräuchlich. Sollte es einmal gelingen, geringe grundsätzliche Unterschiede zwischen beide zu entdecken, was bisher mit Sicherheit nicht möglich ist, so werden sich solche vermutlich ohne weiteres au die*

verschiedene Reibung am Untergrunde zurückführen lassen'' [9]. Μετάφραση: Οι σίφωνες ξηράς (tornadoes) και οι σίφωνες θάλασσας (waterspouts) είναι ολόιδια φαινόμενα, ο πρώτος ορισμός χρησιμοποιείται για πάνω από την ξηρά ενώ ο δεύτερος για πάνω από τη θάλασσα. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι μικρές βασικές διαφορές έχουν ανακαλυφθεί, που δεν είχε διατυπωθεί νωρίτερα και οι οποίες πιθανόν αποδίδονται στη διαφορά τριβής της επιφάνειας.

p. 5: '' *...Wind-und Wasserhosen sind große Luftwirbel mit vertikaler Achse, die vom Rande einer CumuloNimbus-Wolke meist bis zum Erdboden herabreichen, in ihrem Inneren durch Kondensation in Form eines herabhängenden Zapfens, Trichters, Schlauches oder Säule, im unteren Teil auch durch Staub, gan oder teilweise sichtbar sind und in einer meist nach Hektometern zählenden Spurbreite durch stärmische Hinzuströmen der Luft zu dem stark luftverdännten Raum um die Wirbelachse gewöhnlich derartig Verwüstungen verursachen, wie sie auch bei den schwersten Stärmen größerer Ausdehnung nich beobachtet werden*'' [9]. Μετάφραση: Οι σίφωνες ξηράς και θάλασσας είναι μεγάλοι στρόβιλοι με τον κατακόρυφο άξονα να εκτείνεται από την βάση ενός νέφους σωρειτομελανία (cumulonimbus - Cb) προς την επιφάνεια, ορατό απόλυτα ή μερικώς λόγω της συμπύκνωσης ή το κατώτερο μέρος λόγω της σκόνης με την μορφή κρεμαστού κώνου, χοάνης ή στήλης. Σε τυπική τροχιά της τάξης των εκατοντάδων μέτρων το πλάτος του, με έντονη σύγκλιση προς την περιοχή της σημαντικής μείωσης της πίεσης του αέρα γύρω από τον άξονα του στροβιλισμού, προκαλούν συνήθως καταστροφές οι οποίες δεν παρατηρούνται ή ακόμη έχουν το μέγεθος πολύ ισχυρής κλίμακας καταιγίδας.

Οι παραπάνω ορισμοί θεωρήθηκαν αρκετά ακριβείς και πρωτοπόροι για την εποχή τους στην έρευνα και ταξινόμηση των καταστροφικών σιφώνων. Ωστόσο στα τέλη της δεκαετίας του '50 (1959) ένας άλλος ορισμός έκανε την εμφάνιση του. Πρόκειται για τον ορισμό που προέρχεται από την πρώτη έκδοση του *Glossary of Meteorology [10]:*

Tornado -- *A violently rotating column of air, pendant from a* ***cumulonimbus*** *cloud, and nearly always observable as a "funnel cloud" or* ***tuba****.*

Το αξιοπερίεργο σε αυτόν τον ορισμό είναι ότι δεν αναφέρει τίποτα για την στροβιλιζόμενη στήλη η οποία έρχεται σε επαφή με το έδαφος με αποτέλεσμα να επικριθεί για αρκετά χρόνια από την επιστημονική κοινότητα. Ωστόσο ο παραπάνω ορισμός διορθώθηκε στη δεύτερη έκδοση του *Glossary of Meteorology* [11] και δόθηκε ένας ορισμός παρόμοιος με αυτόν που είχε δώσει ο Alfred Wegener πριν 83 χρόνια: *A tornado is "a violently rotating column of air, in contact with the ground, either pendant from a cumuliform cloud or underneath a cumuliform cloud, and often (but not always) visible as a funnel cloud*." (Μετάφραση: σίφωνας είναι μία βίαιη στροβιλιζόμενη στήλη αέρα σε επαφή με το έδαφος, είτε κρέμεται από σωρειτόμορφο νέφος, είτε βρίσκεται κάτω από σωρειτόμορφο νέφος και συχνά - αλλά όχι πάντα - ορατό ως νέφος χωνί.

Ο σίφωνας ξηράς (ή ανεμοστρόβιλος, tornado) είναι μία ταχέως περιστρεφόμενη στήλη αέρα που λαμβάνει χώρα κάτω ή συνδέεται με σωρειτομελανίες με το χοανοειδές νέφος. Η στροβιλιζόμενη στήλη αέρα κατερχόμενη από τη βάση του νέφους και πλησιάζοντας την επιφάνεια του εδάφους παρασύρει ελαφρά αντικείμενα δημιουργώντας ένα πυκνό στροβιλιζόμενο νέφος (Εικόνα 2.17). Το χοανοειδές νέφος μπορεί να έχει τη μορφή μεγάλου κυλίνδρου, ή ακόμη και σχήμα σχοινιού, ωστόσο πολλές φορές δεν είναι ορατό λόγω της βροχόπτωσης (εξαρτάται από την οπτική γωνία που παρατηρούμε την καταιγίδα). Οι οριζόντιες ταχύτητες των ανέμων ποικίλουν από 18 έως 120 m/s ενώ έχουν παρατηρηθεί και ταχύτητες έως 140 m/s με τη χρήση Doppler radar. Συνήθως οι ταχύτητες στους σίφωνες εκτιμώνται από τις υλικές ζημιές που προκαλούν με τη χρήση-της κλίμακας Fujita, η οποία εκτιμάται από F0 (18-32 m/s) έως F5 (117-142 m/s). Η διάμετρος του ποικίλει από 100 m έως 3 km και η διάρκεια του φαινομένου μπορεί να

διαρκέσει από λίγα δευτερόλεπτα έως 1 ώρα ή λίγο περισσότερο. Παρατηρούνται σχεδόν σε όλο τον κόσμο αλλά είναι πιο συχνοί και πιο ισχυροί στις κεντρικές πολιτείες των Η.Π.Α. όπου οι ατμοσφαιρικές συνθήκες ευνοούν την εμφάνιση τους.

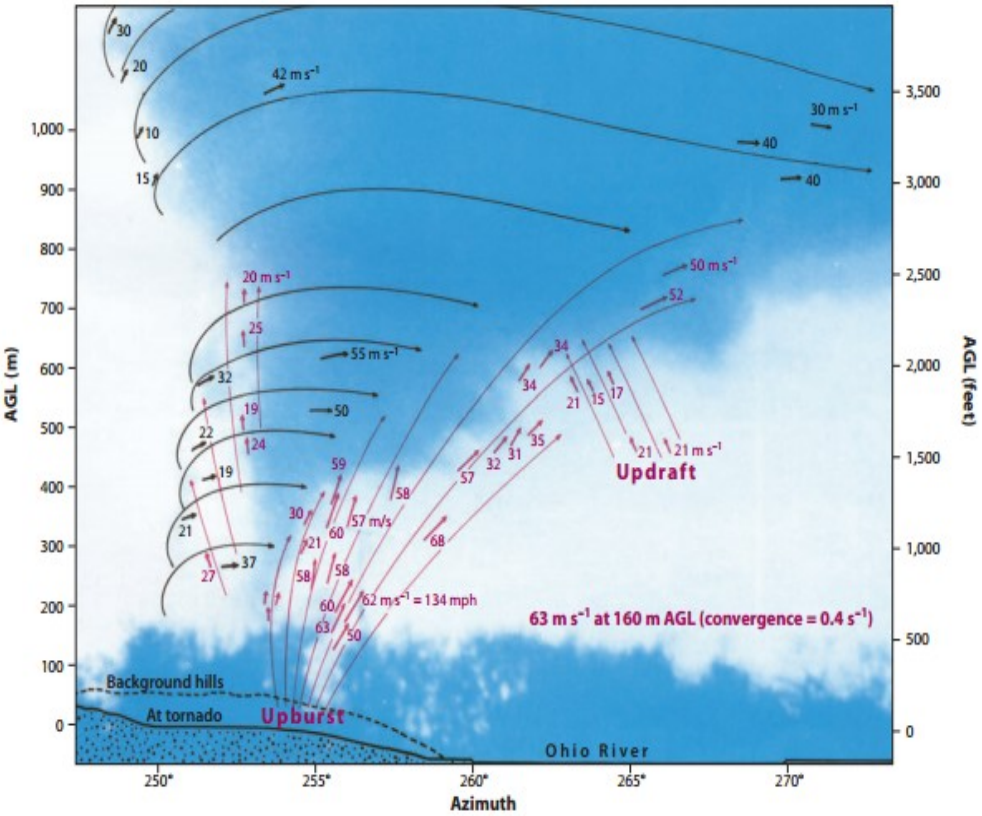
Πολλοί ισχυροί σίφωνες με μεγάλη διάρκεια ζωής παρουσίασαν κοινούς κύκλους ζωής. Στην αρχή εμφανιζόταν μία περιστρεφόμενη στήλη με σκόνη στο έδαφος. Στη συνέχεια ένα χοανοειδές νέφος εμφανίζεται από τη βάση του νέφους και να κατέρχεται προς τα κάτω. Όταν το χοανοειδές νέφος είναι σχεδόν κάθετο στη βάση του νέφους τότε μεγαλώνει σε μέγεθος και ο σίφωνας γίνεται όλο και πιο ισχυρός. Στη συνέχεια το νέφος συμπύκνωσης (χοανοειδές νέφος) γίνεται πιο στενό και αρχίζει να παίρνει μία μικρή κλίση αλλά ωστόσο στο στάδιο αυτό η ένταση του δεν είναι πιο εξασθενημένη, ενώ ακολούθως ο σίφωνας εξαφανίζεται και μία μετωπική επιφάνεια συνοδευόμενη από ισχυρούς ανέμους εμφανίζεται από τη βάση του νέφους. Οι πιο ισχυροί ανεμοστρόβιλοι δημιουργούνται μέσα σε πολύ-κυτταρικές καταιγίδες (supercell storms), που ονομάζονται έτσι επειδή μπορεί παραμείνουν για αρκετές ώρες σχεδόν σταθερές καθώς διαμορφώνεται στο εσωτερικό τους ένα περιστρεφόμενου ανοδικό ρεύμα, γνωστό ως mesocyclone με κατακόρυφες ταχύτητες 20 m/s [12]. Όσα γνωρίζουμε σήμερα για τους σίφωνες είναι γνωστά μέσα από τη δυναμική των ρευστών (μετά από πειράματα σε εργαστήρια) καθώς επίσης και μέσα από αριθμητικές εξομοιώσεις καταιγίδων με την χρήση αριθμητικών μοντέλων. Οι σίφωνες ήταν γνωστοί και στην αρχαιότητα καθώς αρκετοί κλασσικοί φιλόσοφοι προσπάθησαν να αποδώσουν μία φυσική εξήγηση του φαινομένου (παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5).

Εικόνα 2.17: Φωτογραφία σίφωνα (tornado) πάνω από επίπεδη περιοχή στις Η.Π.Α. απεικονίζει το πυκνό στροβιλιζόμενο νέφος που ακουμπάει στο έδαφος.

Η πρώτη προσπάθεια κατανόησης της δομής του σίφωνα μέσα από το καταιγιδοφόρο νέφος έγινε τη δεκαετία του 1950. Η παρουσία ενός μεγάλου «storm cyclone» (κυκλωνική κίνηση του καταιγιδοφόρου νέφους) που περιβάλλει το σίφωνα είχε υποπτευθεί από αρχείο παρατηρήσεων βαρογράφου [13] και ήταν συνδεδεμένο με την περιστροφή σε κλίμακα καταιγίδας από τον Th. Fujita. Το 1957 στον σίφωνα του Fargo

αναγνώρισε το wall-cloud και παρέθεσε ένα κύκλο ζωής του σίφωνα. Η υπερκυτταρική καταιγίδα αναγνωρίστηκε ως ένας μοναδικός τύπος καταιγίδας το 1962 από τον Keith Browing και τον Frank Ludlam, ενώ η περαιτέρω δομή της επιβεβαιώθηκε τη δεκαετία του 1960 με την χρήση Doppler radar. Ο σίφωνας αναπτύσσεται από το καταιγιδοφόρο νέφος σωρειτομελανία, κατερχόμενο από τη βάση του ή κατερχόμενο από ένα τείχος νεφών γνωστό ως wall-cloud με τη μορφή στροβίλου. Κατά τα αρχικά στάδια ο στρόβιλος περιγράφεται ως ένα χοανοειδές νέφος. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η έλλειψη συμπύκνωσης των υδρατμών μέχρι να ακουμπήσει το έδαφος δεν συνεπάγεται και μη ισχυρή κυκλωνική κυκλοφορία στην επιφάνεια του εδάφους. Όταν ο σίφωνας έρχεται σε επαφή με το έδαφος, προκαλεί σημαντικές ζημιές και επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία καταστρέφοντας ανάλογα με την ένταση του δομικές κατασκευές και καλλιέργειες.

Μέχρι πρόσφατα η γνώση του πεδίου ταχυτήτων μέσα και γύρω από τον στρόβιλο πήγαζε μέσα από την ανάλυση καρέ εικόνων (Εικόνα 2.18). Οι πιο μεγάλες ταχύτητες περιστροφής εντοπίζονται στα κατώτατα επίπεδα μερικών εκατοντάδων μέτρων και είναι σε συμφωνία με τις αναλύσεις του [14]. Η ταχύτητα περιστροφής στους περισσότερους σίφωνες είναι μικρότερη από 50 m/s και σε ένα μικρό ποσοστό αυτών η ταχύτητα μπορεί να ξεπεράσει τα 75 m/s. Η κατακόρυφη ταχύτητα για ένα σίφωνα με διάμετρο 100 μέτρων υπολογίζεται περίπου στα 1 m/s. Οι κατακόρυφες ταχύτητες είναι υψηλές ιδίως στο κατώτατο στρώμα του σίφωνα (1-50 m) με ισχυρά ανοδικά της τάξεως των 75 m/s. Οι ταχύτητες περιστροφής κυμαίνονται μεταξύ 20-60 m/s ενώ η διάμετρος του χοανοειδούς νέφους και ο χρόνος ζωής του γενικά εξαρτάται ανάλογα με την ένταση στροβιλισμού των ανέμων στα κατώτερα στρώματα.

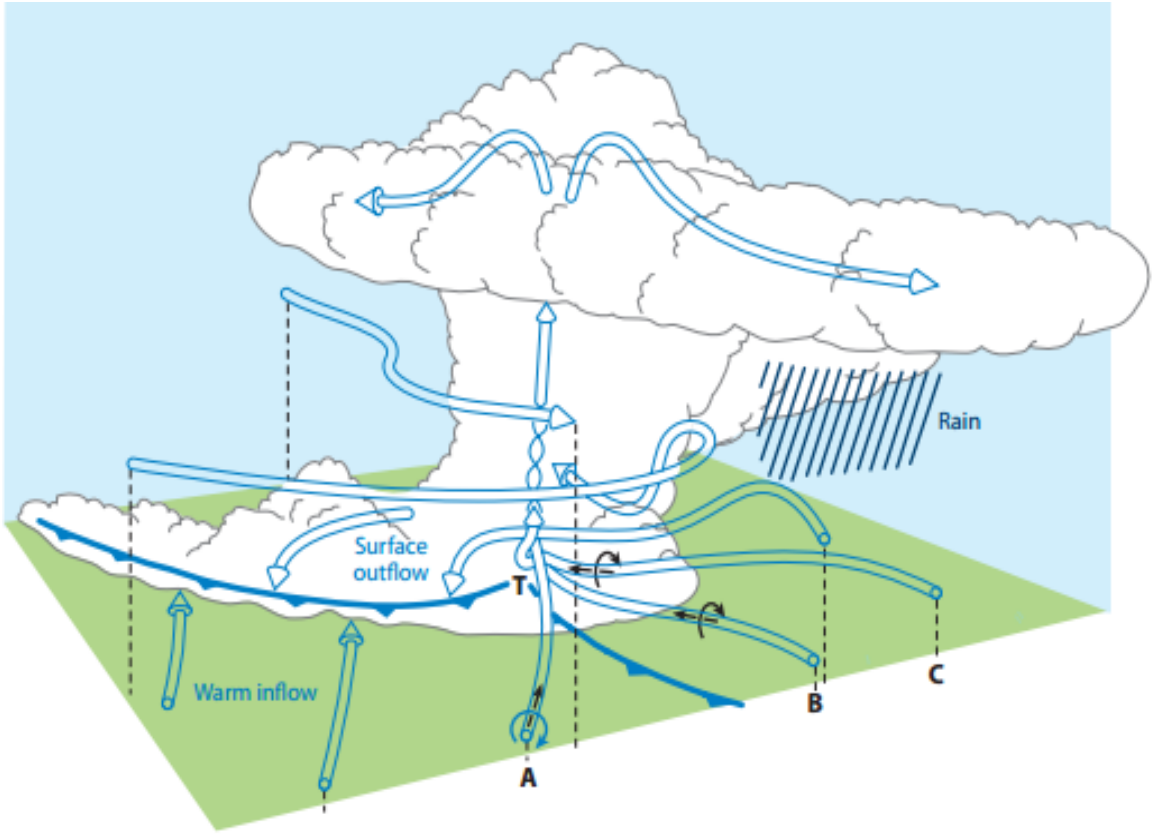


Εικόνα 2.18: Φωτογραμμική ανάλυση του πεδίου των ανέμων στο Saylor Park, του Ohaio των Η.Π.Α. στις 3-4-1974. Οι μαύρες γραμμές αποτυπώνουν τις ταχύτητες στροβιλισμού ενώ οι κόκκινες τις ισχυρές ανοδικές κινήσεις, εικόνα από [15].

2.2.1 Η δημιουργία σίφωνα - Tornadogenesis

Εξ ορισμού η δημιουργία σίφωνα απαιτεί την άφιξη ισχυρού κατακόρυφου στροβιλισμού στο έδαφος. Εάν ο προϋπάρχων κατακόρυφος στροβιλισμός είναι αμελητέος στην επιφάνεια του εδάφους, τότε η επιμήκυνση του στροβιλισμού είναι αμελητέα πάνω από το έδαφος και τότε ο κατακόρυφος στροβιλισμός θα πρέπει να δημιουργηθεί είτε από την κλίση του οριζόντιου στροβιλισμού είτε από μεταφορά από ψηλά προς το έδαφος. Η ανολίσθηση του οριζόντιου στροβιλισμού δεν είναι ικανή να δημιουργήσει κατακόρυφο στροβιλισμό κοντά στην επιφάνεια, διότι ο αέρας ανέρχεται μακριά από την επιφάνεια, καθώς ο οριζόντιος στροβιλισμός κλίνει προς τον κατακόρυφο. Ωστόσο αν στη διαδικασία ανολίσθησης του στροβιλισμού εμπλέκεται και ένα καθοδικό ρεύμα αέρα, τότε ο κατακόρυφος στροβιλισμός μεταφέρεται προς την επιφάνεια και μπορεί να επιμηκυνθεί ώστε να δημιουργηθεί σίφωνας. Για αυτούς ακριβώς τους λόγους είναι αποδεκτό ότι ένα καθοδικό ρεύμα είναι απαραίτητο στοιχείο στην δημιουργία σίφωνα όταν στο έδαφος δεν προϋπάρχει καμία κυκλοφορία. Η παραπάνω θεωρητική προσέγγιση για τη δημιουργία σίφωνα και την ύπαρξη κατακόρυφου ρεύματος έχει επαληθευτεί μέσα από αριθμητικές προσομοιώσεις και παρατηρήσεις κοντά σε σίφωνα [16].

Η δυναμική της ροής των πολυκυτταρικών καταιγίδων έχει ήδη αναλυθεί πολύ καλά από τον [17] αλλά και πρόσφατα από τους [16]. Στην Εικόνα 2.19, παρουσιάζεται σε 3 διαστάσεις, η κυκλοφορία στο εσωτερικό μιας πολυκυττατρικής καταιγίδας. Η απεικόνιση είναι από τη μεριά του παρατηρητή ο οποίος κάθεται στο ίδιο ύψος πάνω από το επίπεδο του θερμού και υγρού τομέα.



Εικόνα 2.19: Σχηματική απεικόνιση της ροής του αέρα μέσα σε μία πολυκυτταρική καταιγίδα. Ο σίφωνας απεικονίζεται με το Τα και δημιουργείται μεταξύ του ζεστού αέρα που εισρέει και της ροής αέρα εκτός καταιγίδας (ψύξης λόγω βροχής). Τα μαύρα κυρτά βέλη στα ευθύγραμμα τμήματα αναπαριστούν τον οριζόντιο παράγοντα στροβιλισμού. Η οριζόντια ανάλυση του σχήματος είναι 30x30 km και η κατακόρυφη διάσταση είναι περίπου 10 km [17].

Η πολυκυτταρική καταιγίδα «τρέφεται» κυρίως από τη ροή αέρα A (Εικόνα 2.19) ο οποίος είναι ζεστός, υγρός και χαρακτηρίζεται από ισχυρό διατμητικό άνεμο. Η ψυχρή ροή αέρα προς το κέντρο της καταιγίδας (B και C, Εικόνα 2.19) χαρακτηρίζεται επίσης από διατμητικό άνεμο, ενώ η σύγκρουσή τους στο κέντρο της δημιουργεί έντονο ανοδικό περιστρεφόμενο ρεύμα αέρα (γνωστό ως mesocylone). Η κυκλοφορία του αέρα στην πολυκυτταρική καταιγίδα είναι έτσι ώστε ο υετός να μην πέφτει πάνω στο ανοδικό αλλά αρκετά μακριά και μπροστά από αυτό όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.19. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η κυκλοφορία στην πολυκυτταρική καταιγίδα εκτείνεται μερικές δεκάδες km ενώ η κυκλοφορία του σίφωνα μερικές εκατοντάδες m.

Μέχρι τη δεκαετία του 1960 οι έρευνες απέδειξαν τη συσχέτιση του mesocyclone με την ύπαρξη διατμητικού ανέμου (κατά την οριζόντια έννοια) μεταξύ της επιφάνειας και του νεφικού στρώματος (διαφορά ανέμων σε κατακόρυφο επίπεδο). Πίστευαν ότι αυτή η δομή του διατμητικού ανέμου προκαλεί οριζόντιο στροβιλισμό. Αυτός ο οριζόντιος στροβιλισμός παρασύρεται ψηλότερα μέσα στην καταιγίδα λόγω των ανοδικών ρευμάτων με αποτέλεσμα τη δημιουργία του mesocyclone (μια στροβιλιζόμενη αέρια μάζα μέσα στην καταιγίδα με διάμετρο μερικών χιλιομέτρων). Η κατακόρυφη οριοθέτηση του mesocyclone είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας στροβιλισμού του νέφους και κατά επέκταση τη δημιουργία σίφωνα.

Ωστόσο ο mesocyclone δεν είναι ικανή και αναγκαία συνθήκη στη δημιουργία σίφωνα. Και αυτό διότι αν ο σίφωνας δημιουργείται από το mesocyclone θα έτεινε να αναπτυχθεί στο μέσο επίπεδο (εκτός βροχής) και θα εμφανιζόταν σε ισχυρές πολυκυτταρικές καταιγίδες αλλά και σε πολυκυτταρικές καταιγίδες με λιγότερο υετό ενώ ισχυροί mesocyclones δεν δημιουργούν σίφωνες.

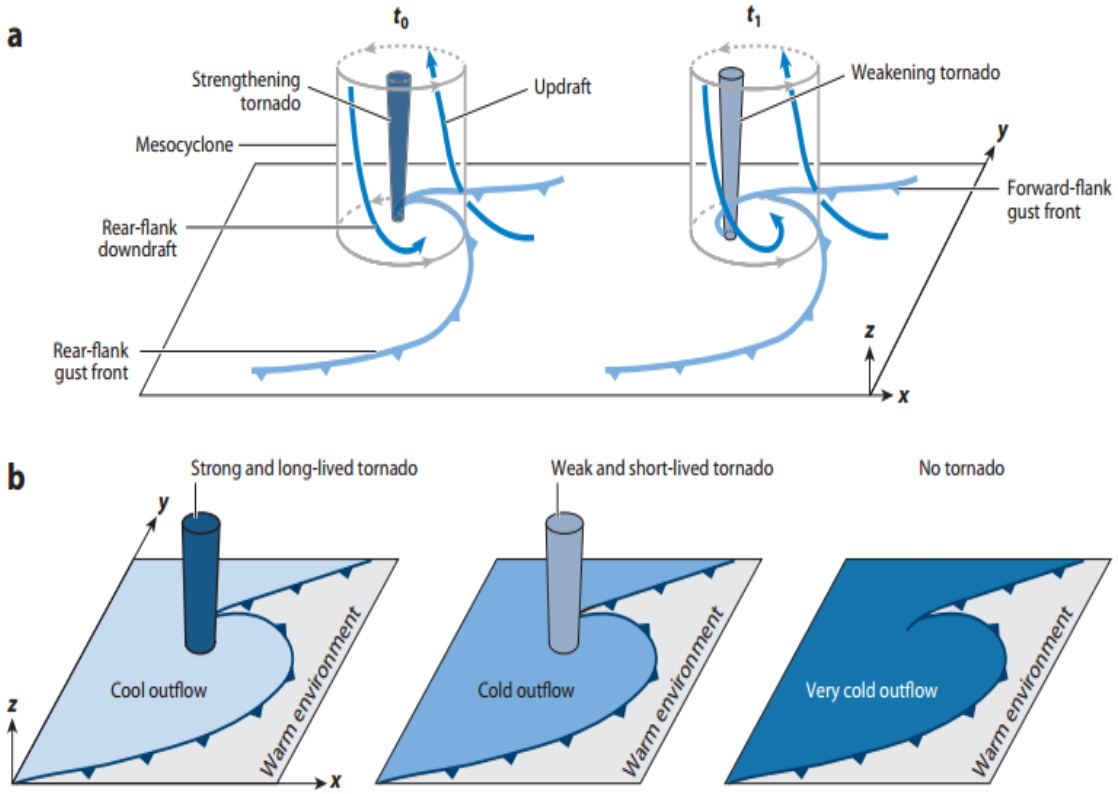
Ο ρόλος του ισχυρού καθοδικού ρεύματος και η συνεισφορά του στη δημιουργία σίφωνα άρχισε σιγά-σιγά να γίνεται αποδεκτός. Τη δεκαετία του 1970 ο Fujita, εντόπισε καταστροφές προκαλούμενες από απόκλιση του καθοδικού ρεύματος στην επιφάνεια κοντά στην έναρξη (χρονικά) του σίφωνα. Αυτό υποδείκνυε την ύπαρξη ενός ισχυρού καθοδικού ρεύματος στην πίσω πλευρά της καταιγίδας, γνωστό ως Rear Flank Downdraft (RFD). Έρευνες κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 έδειξαν ότι πολυκυτταρικές καταιγίδες με λίγο υετό συνηγορούσαν ελάχιστα στη δημιουργία σίφωνα και παρήγαγαν πολύ αδύναμα RFD.

Μέσα από τα πειράματα Vortex στις Η.Π.Α, μελέτη των [18] απέδειξε ότι η δυνητική θερμοκρασία και η θερμοκρασία θ_e στο RFD, έχουν άμεση συσχέτιση με τη δημιουργία σίφωνα. Ένα ψυχρό RFD του οποίου η θερμοκρασία είναι σημαντικά ψυχρότερη από τον εισερχόμενο ατμοσφαιρικό αέρα, στην καταιγίδα στο ίδιο ύψος, επηρεάζει σημαντικά αρνητικά τη δημιουργία σίφωνα. Σε αντίθετη περίπτωση ένα ζεστό RFD, του οποίου η θερμοκρασία είναι σχεδόν ίση ή λίγο ψυχρότερη από την εισερχόμενη ροή αέρα, τότε ευνοεί τη δημιουργία σίφωνα.

Καθώς εγκαθίσταται ένα RFD πώς δημιουργείται ο σίφωνας; Δυστυχώς σε αυτό το σημείο περιορίζονται οι γνώσεις ως τώρα, καθώς ο μηχανισμός στροβιλισμού μέσα στη μικρό-κλίμακα της καταιγίδας δύσκολα μπορεί να εντοπιστεί και να κατανοηθεί. Υπάρχει ωστόσο συμφωνία μεταξύ επιστημόνων ότι η ισχυρή κατακόρυφη επιτάχυνση των ανέμων βοηθάει στην επιμήκυνση της στροβιλιζόμενης δίνης αέρα. Βασιζόμενοι στην αρχή διατήρησης της μάζας, όταν μία στήλη αέρα περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα ο οποίος επιμηκύνεται, θα πρέπει να περιστραφεί πιο γρήγορα για να διατηρήσει τη στροφορμή της. Μέσα λοιπόν σε μία καταιγίδα τα ανοδικά και καθοδικά είναι αυτά τα οποία μπορούν να επιμηκύνουν τον κατακόρυφο στροβιλισμό. μία θεωρία υποστηρίζει ότι καθώς ο στροβιλισμός κατά μήκος της RFD κατέρχεται προς το έδαφος διασπάται σε στροβίλους οι οποίοι στη συνέχεια επιμηκύνονται και καθώς επιμηκύνονται τείνουν να διατηρήσουν την αρχή διατήρησης της μάζας και επιταχύνονται.

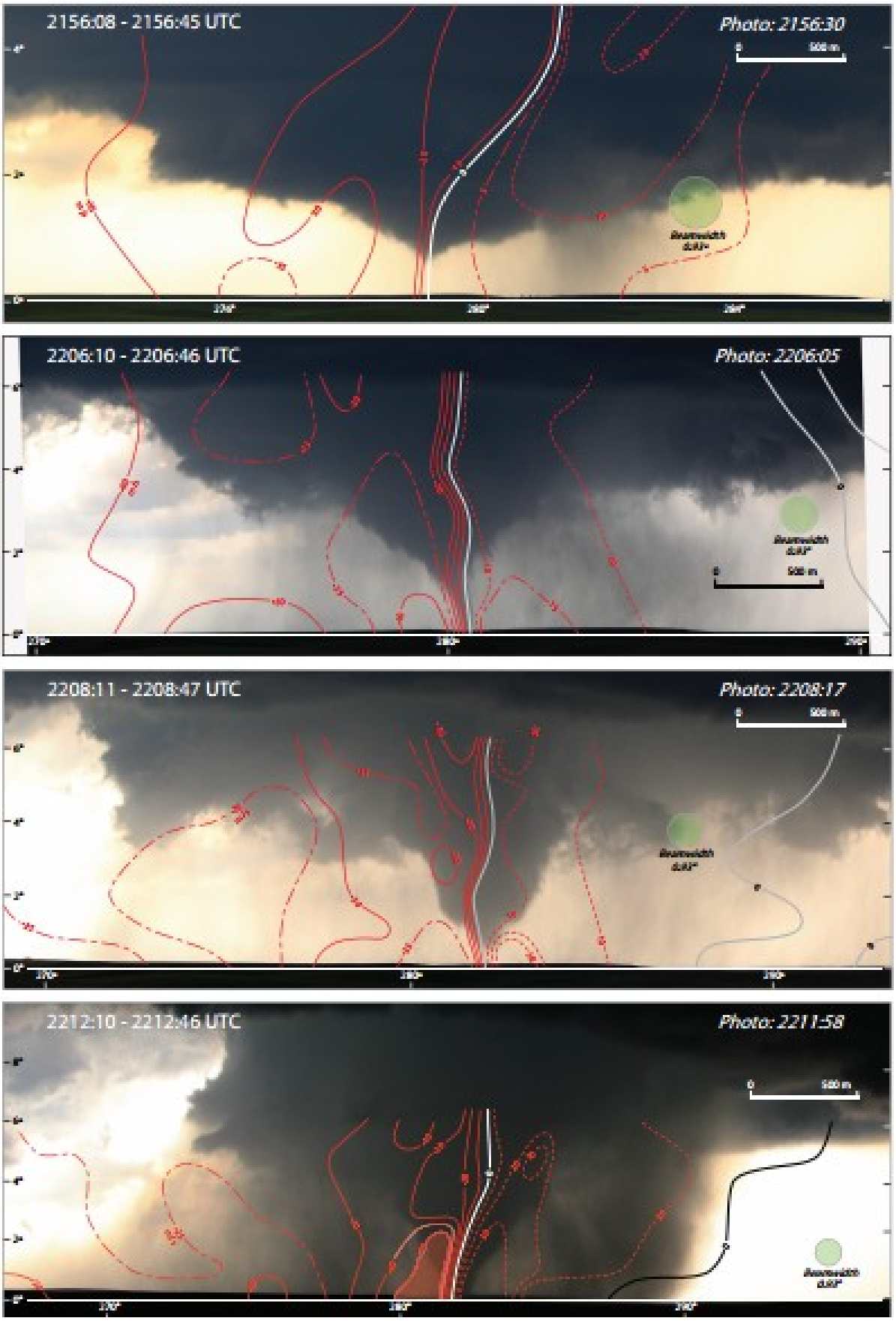
Πιστεύεται ότι η τριβή κοντά στο έδαφος στη φάση αυτή, μπορεί να συνεισφέρει στην περιστροφή, επιβραδύνοντας στον αέρα κοντά στο έδαφος και γύρω από τον σίφωνα, επιτρέποντας τον αέρα να εισχωρήσει κατευθείαν στη στροβιλιζόμενη δίνη. Κανονικά αυτή η διαδικασία εξασθενεί το σύστημα αλλά πιστεύεται ότι σε μερικές περιπτώσεις ενισχύεται με την ύπαρξη ενός ισχυρού ανοδικού ρεύματος. Το ισχυρό ανοδικό ρεύμα ρουφάει συνεχώς την εισερχόμενη αέρια μάζα, επιτρέποντας την παράταση ζωής της περιστρεφόμενης δίνης. Καθώς δημιουργείται ο στρόβιλος, ένα ισχυρό καθοδικό δημιουργείται προς το έδαφος το οποίο εμποδίζει την εισροή αέρα από τα πλάγια (ανώτερα και μέσα επίπεδα), αλλά επιτρέπει να εισχωρεί αέρας από τη βάση του στροβίλου όπου η φυγόκεντρος δύναμη είναι εξασθενημένη.

Στην Εικόνα 2.19, τα ρεύματα εισροής B και C δημιουργούνται από τη βαροκλινικότητα του οριακού στρώματος και κατευθύνονται προς το ανοδικό ρεύμα ενισχύοντας το στα κατώτερα στρώματα. Αρκετές έρευνες που σχετίζονται με τη δημιουργία του σίφωνα εστιάζουν στη σημαντικότητα της παραπάνω βαροκλινικότητας όπου δίνει το έναυσμα για τη δημιουργία του σίφωνα [19]. Στην Εικόνα 2.20, παρουσιάζονται πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις που σχετίζονται με την δημιουργία σίφωνα.



Εικόνα 2.20: Απεικόνιση της υπόθεσης επίδρασης ψυχρών αερίων μαζών στη δημιουργία σίφωνα [20].

Το θερμικό αυτό οριακό στρώμα αναγνωρίζεται ως πηγή στροβιλισμού του σίφωνα αλλά ωστόσο ο ψυχρός αέρας (λόγω βροχόπτωσης) ανθίσταται στα ανοδικά και συνήθως κυκλώνει τον σίφωνα με αποτέλεσμα την εξασθένιση και διάλυση του (Εικόνα 2.20α). Η κύρια υπόθεση αφορά την ιδανική ισορροπία κατά την οποία υπάρχει αρκετός ψυχρός αέρας ικανός να δημιουργήσει κυκλωνική κυκλοφορία σε χαμηλά επίπεδα αλλά όχι τόσο πολύ ώστε να εξασθενίσει το ισχυρό ανοδικό και να εμποδίσει τη δημιουργία του σίφωνα (Εικόνα 2.20β).



Εικόνα 2.21: Η δημιουργία σίφωνα μέσα σε μία πολυκυτταρική καταιγίδα όπως αποτυπώνεται μέσα από σύνθετες εικόνες (φωτογραφίες και εικόνες doppler radar) στις 5 Ιουνίου 2009, LaGrange, WY, USA), εικόνα από [21].

Παρά το ότι η κυκλοφορία στα χαμηλά επίπεδα είναι σημαντική στη δημιουργία σίφωνα ωστόσο σημαντικά αναπάντητα ερωτήματα υπάρχουν γύρω από το κατά πόσο μπορούμε να κάνουμε προγνώσεις με μικρό βήμα για τη δημιουργία σίφωνα. Σημαντικό ρόλο καθορίζουν και οι διαφορετικές κλίμακες που διέπουν το σίφωνα και το νεφικό σύστημα που τον προκαλεί. Ωστόσο μελέτες μέσα από τη μηχανική των ρευστών κατά τις οποίες προσομοιώνουν μία πολυκυτταρική καταιγίδα και το σχηματισμό ενός συμμετρικού ανοδικού ρεύματος με την τροφοδοσία κυκλωνικής ροής στα κατώτερα στρώματα, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δινών παρόμοιων με τους σίφωνες.

Στην Εικόνα 2.21 παρουσιάζονται σύνθετες εικόνες από φωτογραφίες και εικόνες Doppler radar, οι οποίες παρουσιάζουν τη χρονική σειρά κατά την οποία ένας σίφωνας δημιουργείται. Στο αρχικό στάδιο παρατηρούμε ένα ισχυρό ανοδικό με κυκλωνική κυκλοφορία γύρω από το σίφωνα (Εικόνα 2.20), ενώ καθώς ο σίφωνας ενισχύεται το ανοδικό ρεύμα αρχίζει και χάνεται λόγω της «κουρτίνας» που δημιουργείται λόγω της βροχής και αγκαλιάζει το σίφωνα, όπως αποτυπώνεται και στην (Εικόνα 2.20α).

2.2.2 Κλίμακα εκτίμησης έντασης σιφώνων

Για τον υπολογισμό της έντασης των σιφώνων χρησιμοποιούνται η κλίμακα TORRO ή Τ-κλίμακα (T-scale) η οποία προτάθηκε το 1975 από τον Terence Meaden του Οργανισμού Έρευνας Σιφώνων και Καταιγίδων (Tornado and Storm Research Organisation) και είναι ευρέως διαδεδομένη στην Ευρώπη. Ωστόσο στις Η.Π.Α για την εκτίμηση των σιφώνων, από την 1 Φεβρουαρίου του 2007 και έπειτα, χρησιμοποιείται η αναβαθμισμένη κλίμακα Fujita (Enhanced Fujita Scale) [22], [23], [24] και [25]), η οποία αντικατέστησε την Κλίμακα Fujita (Fujita Scale). Για λόγους συντομίας στο εξής η κλίμακα TORRO θα συμβολίζεται ως T , η κλίμακα Fujita ως F και η αναβαθμισμένη κλίμακα Fujita ως EF.

Η κλίμακα Τ είναι μία κλίμακα υπολογισμού της έντασης των σιφώνων και κυμαίνεται από Τ0 έως Τ11. Αναπτύχθηκε το 1975 από τον Terence Meaden, στην Μεγάλη Βρετανία σαν μία προέκταση της κλίμακας μποφόρ (Beaufort scale, B). Η κλίμακα εφαρμόστηκε πειραματικά από το 1972 έως το 1975 και παρουσιάστηκε στη Βασιλική Μετεωρολογική Υπηρεσία το 1975 [26]. Η κλίμακα TORRO κυμαίνεται από την τιμή Τ0 και ισούται με την τιμή 8 της κλίμακας B και συνδέεται μαζί της με τον ακόλουθο τύπο:

$$B = 2\,(T+4) \quad \text{(Εξίσωση 2.1)}$$

Η συσχέτιση της κλίμακας Τ με την κλίμακα Beaufort (B) παρουσιάζεται στον Πίνακας 2-1, ενώ οι τιμές της κλίμακας B με ένταση μεγαλύτερη των 12 θεωρούνται ως ιδεατές και παρουσιάζονται ώστε να κατανοήσουμε την δύναμη της κλίμακας Τ.

Πίνακας 2-1: Συσχέτιση κλίμακας Beaufort και Τ

Κλίμακα	Σχέση εντάσεων											
Beaufort (B)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
TORRO (T)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Ενώ η ένταση του ανέμου (U) περιγράφεται από τους ακόλουθους τύπους:

$$U = 2.365\,(T+4)^{3/2} \text{ m/s} \quad \text{(Εξίσωση 2.2)}$$

$$U = 8.511\,(T+4)^{3/2} \text{ km/h} \quad \text{(Εξίσωση 2.3)}$$

$$U = 5.289\,(T+4)^{3/2} \text{ mph} \quad \text{(Εξίσωση 2.4)}$$

$$U = 4.596\ (T+4)^{3/2} \text{ knots (Εξίσωση 2.5)}$$

Οι κλάσεις της κλίμακας T με βάση τις δομικές καταστροφές της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζεται στον Πίνακας 2-2.

Πίνακας 2-2: Οι κλάσεις της κλίμακας T

Κλίμακα TORRO	Ταχύτητα ανέμου	Χαρακτηρισμός σίφωνα	Υλικές καταστροφές
FC	-----	Νέφος σίφωνα στροβιλιζόμενο στον αέρα (Funnel cloud aloft)	Δεν υπάρχουν καταστροφές σε κτήρια και στην ύπαιθρο με εξαίρεση κάποιες ταλαντώσεις στις κορυφές των δένδρων, στο καπνό. Χαρακτηρίζεται ως FC όταν δεν έχει ακουμπήσει το έδαφος και στροβιλισμός παρατηρείται στο σύννεφο του σίφωνα.
T0	17 - 24 m/s 61 - 86 km/h 39 - 54 mph	Ασθενείς Σίφωνες (Light)	Ελαφρά αντικείμενα αιωρούνται και στροβιλίζονται, τέντες διαταράσσονται, απομακρύνονται λίγα κεραμίδια, κλαδιά σπάζουν και υπάρχουν ορατά ίχνη τροχιάς σε φυτά - δένδρα με συγκομιδή.
T1	25 - 32 m/s 87 - 115 km/h 55 - 72 mph	Ήπιος (Mild)	Μικρές καρέκλες, αντικείμενα – σκουπίδια λίγο πιο βαριά μεταφέρονται καθ΄ ύψος και στροβιλίζονται, δευτερεύουσες ζημιές σε υπόστεγα. Κεραμίδια μεταφέρονται λίγο πιο μακριά, μικρές ζημιές σε φράκτες και δένδρα, παράθυρα τα οποία είναι μισάνοιχτα ανοίγουν σπάζοντας τους σύρτες.
T2	33 - 41 m/s 116 - 147 km/h 73 - 92 mph	Μέτριος (Moderate)	Βαριά τροχόσπιτα μετατοπίζονται, μικρά και ελαφρά τροχόσπιτα μετακινούνται περισσότερο, ελαφριές κατασκευές τύπου γκαράζ και κατασκευές στον κήπο υφίστανται ζημιές, αρκετές ζημιές σε στέγες με κεραμίδια. Ζημιές σε δένδρα, μεγάλα κλαδιά σπάνε, μικρά δένδρα ξεριζώνονται. Οι κουκούλες στα αυτοκίνητα παρασύρονται, ανοίγουν τα παράθυρα σε σπίτια.
T3	42 - 51 m/s 148 - 184 km/h 93 - 114 mph	Ισχυρός (Strong)	Τροχόσπιτα ανατρέπονται ή έχουν υποστεί τεράστιες ζημιές, κατασκευές τύπου γκαράζ και κατασκευές στον κήπο καταστρέφονται, εμφανίζονται τα ξύλινα δοκάρια σε κεραμοσκεπές, μερικά από τα μεγαλύτερα δένδρα σπάζουν ή ξεριζώνονται, βαρύτερα

			αντικείμενα αιωρούνται και προκαλούν δευτερεύουσες ζημιές σπάζοντας τζάμια κ.ά., αυτόπτες μάρτυρες αναφέρουν ένα τρέμουλο στο κτήριο, τα κτήρια είναι βομβαρδισμένα με σκόνη και λάσπη.
T4	52 - 61 m/s 185 - 220 km/h 115 - 136 mph	Πολύ ισχυρός (Severe)	Αυτοκίνητα ανασηκώνονται, τροχόσπιτα μεταφέρονται, υπόστεγα καταστρέφονται και μεταφέρονται μακριά, αποκολλούνται οι στέγες από τα σπίτια, πολυάριθμα δένδρα ξεριζώνονται ή σπάνε απότομα, αντικείμενα μεταφέρονται έως και 2 km μακριά αποκαλύπτοντας τα ίχνη του σίφωνα στο έδαφος.
T5	62 - 72 m/s 221 - 259 km/h 137 - 160 mph	Σφοδρός (Intense)	Βαριά οχήματα ανασηκώνονται (4x4, 4 τόνων φορτηγά), σοβαρότερες ζημιές σε κτήρια σε σχέση με T4 αλλά ακόμη παραμένουν οι τοίχοι ενώ σε παλαιότερα καταρρέουν εντελώς, αντικείμενα αναρουφούνται μέσα από σπίτι (όπως μικρά έπιπλα κ.ά.).
T6	73 - 83 m/s 260 - 299 km/h 161 - 186 mph	Μέτριος καταστροφικός (Moderate devastating)	Σε σπίτια καλά δομημένα αποκολλάται η στέγη και πιθανόν και κάποιος τοίχος, παράθυρα σπάζουν σε ουρανοξύστες, τα περισσότερα από τα αδύναμα (όχι καλά δομημένα ή παλαιά) καταρρέουν, κολώνες ΔΕΗ και ΟΤΕ καταστρέφονται.
T7	84 - 95 m/s 300 - 342 km/h 187 - 212 mph	Ισχυρός καταστροφικός (Strong devastating)	Ξύλινα σπίτια καταστρέφονται ολοσχερώς, κάποιοι τοίχοι με τούβλα ή πέτρες καταρρέουν, μικρές παραμορφώσεις σε κατασκευές με ατσάλι, βαγόνια τρένων αναποδογυρίζουν, τα δένδρα έχουν αποφλοιωθεί από τα αιωρούμενα σωματίδια που προσπίπτουν πάνω τους.
T8	96 - 107 m/s 343 - 385 km/h 213 - 240 mph	Πολύ ισχυρός καταστροφικός (Severe devastating)	Οχήματα εκσφενδονίζονται αρκετά μακριά, ξύλινες κατασκευές με το περιεχόμενο τους διασκορπίζονται αρκετά μακριά, κατασκευές σπιτιών με τούβλα και πέτρες υπόκεινται ανεπανόρθωτες ζημιές, σοβαρές ζημιές σε κτήρια με ατσάλι, σίδερα και άλλα βαριά αντικείμενα μεταφέρονται αρκετά μακριά.
T9	108 - 120 m/s 386 - 432 km/h	Σφοδρός καταστροφικός	Πολλά κτήρια με χαλύβδινο σκελετό έχουν υποστεί σοβαρότατες ζημιές,

	241 - 269 mph	(Intense devastating)	ουρανοξύστες γκρεμίζονται, βαγόνια τρένων αιωρούνται και εκσφενδονίζονται σε απόσταση, όσα δένδρα δεν έχουν ξεριζωθεί παρουσιάζουν πλήρως αποφλοιωμένους κορμούς, οι επιζήσαντες είχαν προστατευθεί σε υπόγεια κατασκευή.
T10	121 - 134 m/s 433 - 482 km/h 270 - 299 mph	Υπερσίφωνας (Super)	Ολόκληρα κτήρια ανυψώνονται από την βάση θεμελίωσής τους και μεταφέρονται σε μεγάλη απόσταση ενώ κτήρια ενισχυμένα με χάλυβα υπόκεινται σε σοβαρές και ανεπανόρθωτες ζημιές.

Με βάση την ένταση των σιφώνων ο Meaden [58] προχώρησε και σε μία γενικότερη ταξινόμηση με τρεις κλάσεις: 1) ασθενείς σίφωνες, 2) ισχυροί σίφωνες και 3) βίαιοι σίφωνες. Η ταξινόμηση παρουσιάζεται στον Πίνακας 2-3.

Πίνακας 2-3: Ταξινόμηση σιφώνων

Ένταση	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Χαρακτηρισμός	Ασθενείς Σίφωνες				Ισχυροί Σίφωνες				Βίαιοι Σίφωνες			

Σε αντίθεση με την κλίμακα T, η κλίμακα EF παρουσιάστηκε από την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) των Η.Π.Α. σε συνέδριο της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Κοινότητας στις 2 Φεβρουαρίου του 2006 στην Ατλάντα. Είναι το αποτέλεσμα συνεργασίας των μετεωρολόγων και των μηχανικών κατασκευής κτηρίων των Επιστημών των Ανέμων και του Κέντρου Έρευνας Μηχανικών (Wind Science and Engineering Research Center), του Πανεπιστημίου του Τέξας, από το 2000 έως το 2004. Όπως και η κλίμακα F έτσι και η EF αυτή δεν έχει υπολογιστεί σε αριθμητικά μοντέλα (λόγω του μεγάλου κόστους) αλλά με τη σύμφωνη γνώμη μετεωρολόγων και μηχανικών με υπολογισμούς ταχύτητας ανέμων μέσω της φωτομετρίας, των Doppler Radar.

Η νέα αναβαθμισμένη κλίμακα EF βασίζεται σε 6 κλάσεις έντασης, ωστόσο δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ως προς την περιγραφή των καταστροφών, αλλά πρόσθεσε καινούργιες φωτογραφίες στις αντίστοιχες καταστροφές και παρουσίασε μία νέα ενότητα, το δείκτη καταστροφής. Πρόκειται για ένα δείκτη – οδηγό 28 χαρακτηρισμών – τιμών ο οποίος αναφέρεται στον τύπο κατασκευής και δόμησης των κτηρίων, στον τύπο της βλάστησης και το επίπεδο καταστροφής.

Η κατηγοριοποίηση γίνεται από εξειδικευμένο εμπειρογνώμονα με βάση τη δόμηση και το νέο καταστροφικό δείκτη. Η κλίμακα EF αποτελεί μία ενδημική κλίμακα των Η.Π.Α. και δεν μπορεί να εφαρμοστεί με διεθνώς διότι στη διαδικασία εκτίμησης της έντασης λαμβάνει υπόψη τον τρόπο δόμησης των κτηρίων στις Η.Π.Α. Οποιαδήποτε εφαρμογή θα παρουσίαζε σημαντικές διαφορές στα κατώφλια των συνήθως εντάσεων ανά χώρα, μη επιτρέποντας την κλιματολογική εξέταση της έντασης από χώρα σε χώρα.

Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες όπως του [27] και των [28] προτείνουν διάφορες κλίμακες έντασης ανέμου οι οποίες αποκαλούνται Ενεργειακές κλίμακες (Energy Scale, E-scale) και σχετίζονται με συντελεστές οι οποίοι παράγονται από φυσικές ποσότητες όπως η

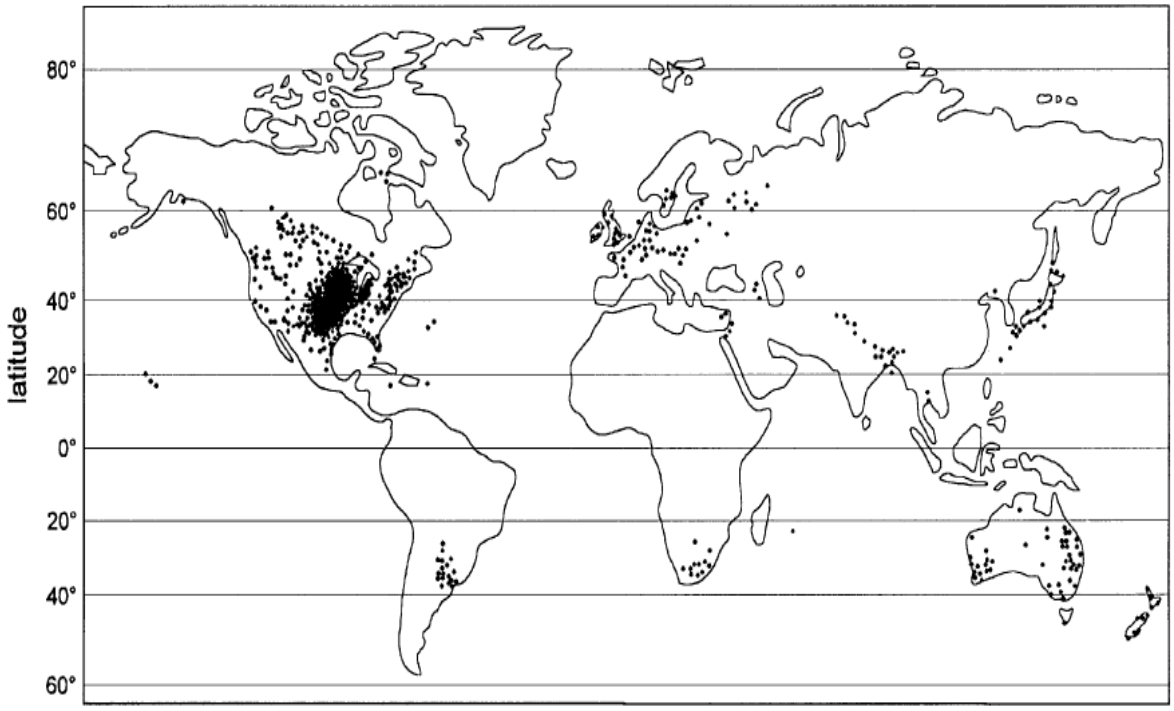
πυκνότητα μάζας ροής, η ενεργειακή πυκνότητα (πίεση), ή η πυκνότητα ροής της ενέργειας.

Στην παρούσα διατριβή για τον υπολογισμό της έντασης των σιφώνων και η κατηγοριοποίηση έγινε με βάση την κλίμακα Τ. Οι υλικές ζημιές συλλέχθησαν από τις επιπρόσθετες πληροφορίες που παρατέθηκαν κάθε φορά στην αναζήτηση των γεγονότων τόσο στα ιστορικά, όσο και στα πρόσφατα γεγονότα σιφώνων και ταξινομήθηκαν με βάση την περιγραφή των υλικών ζημιών που περιγράφονται στον Πίνακας 2-2.

3 Παγκόσμια χωρική κατανομή των σιφώνων

3.1 Εισαγωγή

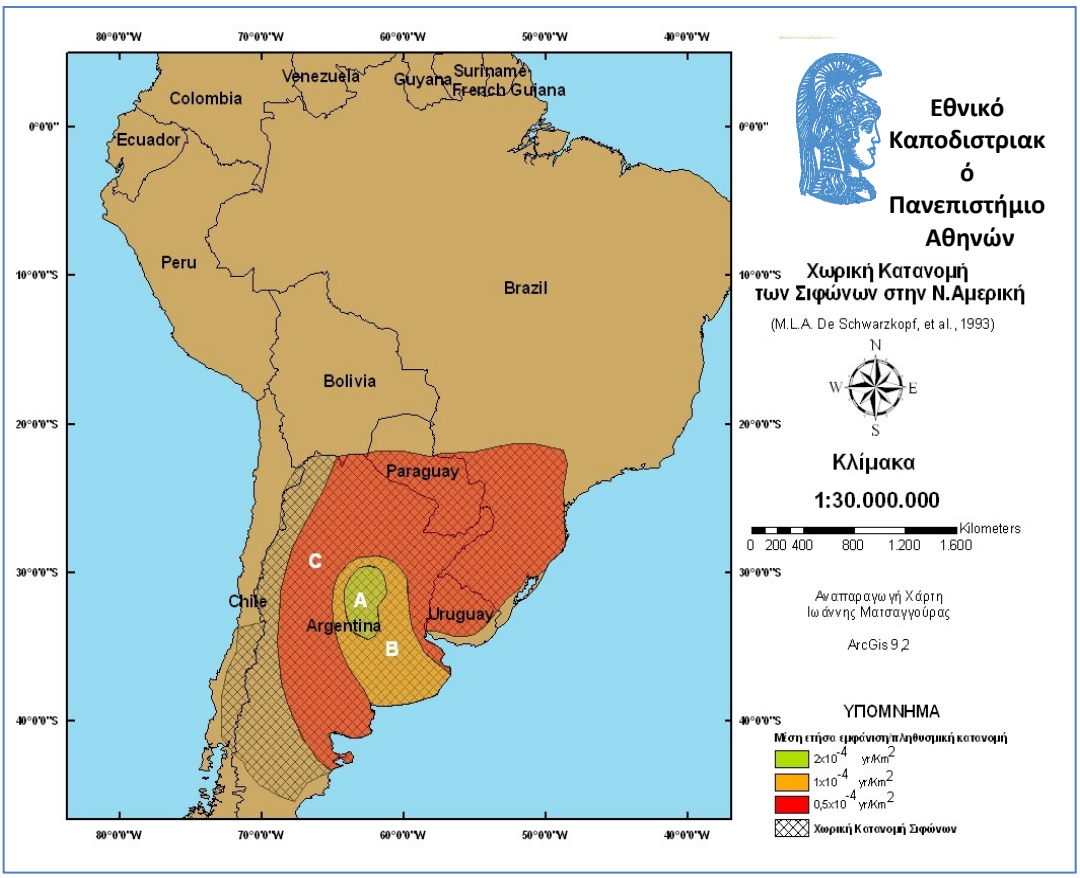
Οι σίφωνες αποτελούν αντικείμενο έρευνας και παρατηρούνται σε όλες τις ηπείρους με εξαίρεση την Ανταρκτική [29], [30], [31]. Οι αναφορές και τα δεδομένα σχετικά με τους σίφωνες είναι σε πληθώρα στη Βόρεια Αμερική, ενώ για άλλες περιοχές του πλανήτη τα δεδομένα και οι αναφορές εμφάνισης σιφώνων είναι σημαντικά περιορισμένες. Ωστόσο κάποιες γεωγραφικές περιοχές στον πλανήτη παρουσιάζουν ατμοσφαιρικές συνθήκες που ευνοούν την δημιουργία σιφώνων, γενικότερα τα μεσαία πλάτη μεταξύ 30° και 50° Βόρειου και Νότιου υποδηλώνουν τις περιοχές όπου οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για την δημιουργία σιφώνων. Η συνοπτική καταγραφή του φαινομένου σε παγκόσμια κλίμακα [29] με περιοδικότητα 4 χρόνων αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.1). Είναι προφανές ότι οι σίφωνες λαμβάνουν χώρα και στα δυο ημισφαίρια μεταξύ των γεωγραφικών πλατών των 30°N και 60°B με επικρατέστερη την περιοχή των Η.Π.Α.



Εικόνα 3.1: Παγκόσμια κατανομή των σιφώνων με περιοδικότητα 4 χρόνων [29].

3.2 Χωρική κατανομή των σιφώνων: Αμερική, Αφρική Ωκεανία

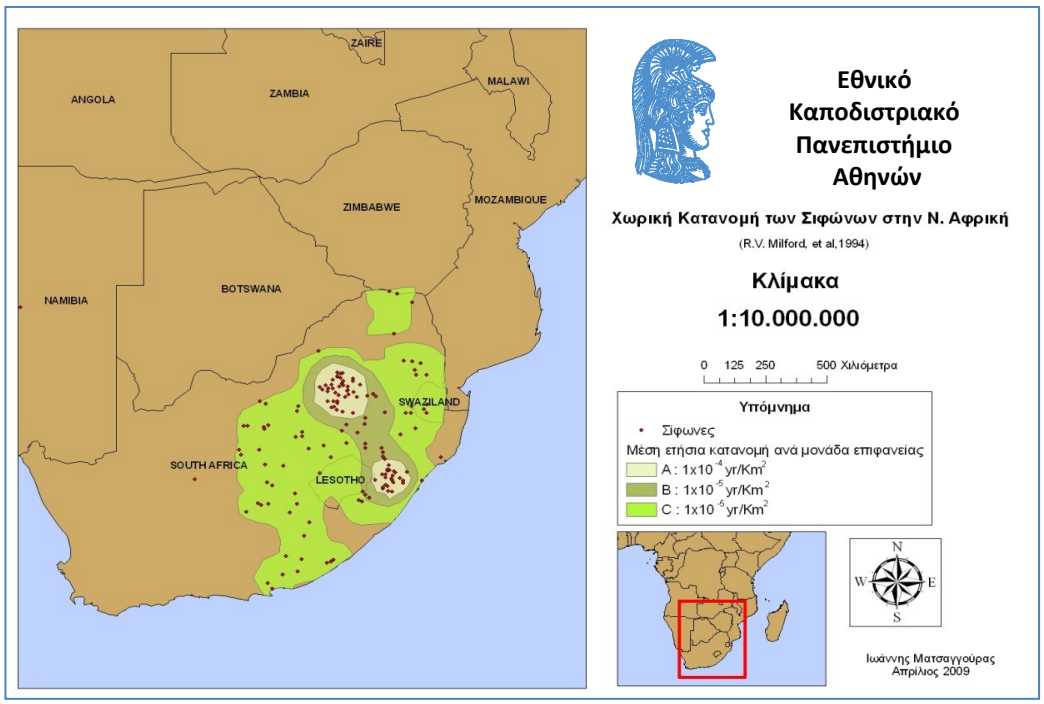
Σίφωνες στην Ν. Αμερική έχουν παρατηρηθεί στην Αργεντινή, στην Ουρουγουάη, στην Νότια Βραζιλία, στην Παραγουάη και στην Χιλή. Στην ευρύτερη περιοχή της Αργεντινής με βάση τη χρονική περίοδο από το 1930 έως 1987 οι σίφωνες εμφανίζονται μία ετήσια συχνότητα ίση με 10 γεγονότα/έτος [32]. Στον ακόλουθο χάρτη (Εικόνα 3.2) αποτυπώνεται η χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ν. Αμερική με τις ισοπληθείς να αποτυπώνουν το μέσο ετήσιο ρυθμό εμφάνισης του φαινομένου ανά 10000 km^2 ως μονάδα επιφανείας. Ο χάρτης δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGis 9.2 και αποτελεί αναπαραγωγή του χάρτη από το [32].



Εικόνα 3.2: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Αργεντινή για την χρονική περίοδο 1930-1987 [32].

Σίφωνες έχουν καταγραφεί επίσης σε πολλές χώρες της νότιας Αφρικής όπως στην Μποτσουάνα, στη Ζουαζηλάνδη, στη Ναμίμπια, στη Λιβερία, στην Ακτή του Ελεφαντοστού και τη Γκάνα. Στην Ν. Αφρική η εμφάνιση των σιφώνων, με βάση το χρονικό διάστημα από το 1905 έως 1991, εμφανίζουν μία ετήσια συχνότητα ίση με 3 σίφωνες ανά χρόνο [33]. Επίσης αποτύπωσαν το μέσο ετήσιο ρυθμό εμφάνισης των σιφώνων στην περιοχή της Ν. Αφρικής ανά 10000 km^2 ως μονάδα επιφανείας για την χρονική περίοδο 1948 έως 1991, (Εικόνα 3.3). Σίφωνες δεν έχουν αναφερθεί στην Βόρεια Αφρική πάρα το γεγονός ότι εμφανίζονται υδροσίφωνες κατά μήκος των ακτών των χωρών της Μεσογείου.

Όσον αφορά την Αυστραλία, έρευνα του [34] για την περιοχή New South Wale της Αυστραλίας ανέφερε ένα μέσο όρο περίπου 15 σίφωνες ανά έτος. Ωστόσο ο [29], αναφέρει ένα μέσο αριθμό εμφάνισης σιφώνων ανά έτος, για την Αυστραλία, ίσο με 14,6. Η κλιματολογία των σιφώνων για την Αυστραλία από τον [35] παρουσίασε μία συχνότητα ίση με $8x10^{-5}$ yr^{-1}/km^2για την περιοχή του Σίνδεϊ. Νεότερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε βασιζόμενη στη βάση δεδομένων της Αυστραλιανής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας για ισχυρές καταιγίδες, περιλάμβανε σχεδόν 700 γεγονότα σιφώνων για την χρονική περίοδο 1795-1996, τα οποία ήταν καταγεγραμμένα σε ένα γεωγραφικό πλέγμα ίσο με 1°x1°. Από την παραπάνω βάση χρησιμοποιήθηκαν τα γεγονότα μεταξύ 1985-1995 και ύστερα από ανάλυση αποτυπώθηκαν 2 επιδεκτικές περιοχές (Εικόνα 3.4) στην εμφάνιση σιφώνων [36]. Ο προαναφερόμενος χάρτης αναπαράχθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGis 9.2, αποτυπώνοντας το μέσο ετήσιο αριθμό εμφάνισης σιφώνων στην Αυστραλία σύμφωνα με τους [36]. Όσον αφορά την Νέα Ζηλανδία, σε έρευνα εμφάνισης σιφώνων για την χρονική περίοδο 1961-1975, κατέγραψε 230 γεγονότα, αναφέρει ένα μέσο όρο 17 σιφώνων ανά έτος [37].

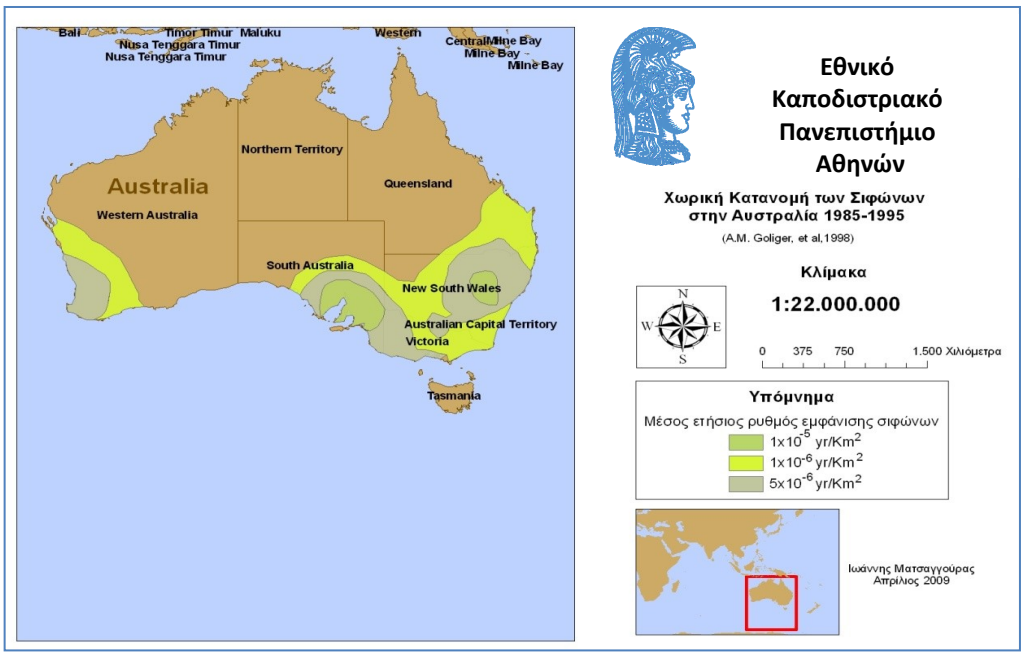


Εικόνα 3.3: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ν. Αφρική για την χρονική περίοδο 1901-1995 [33].

Εξετάζοντας την κατανομή των σιφώνων για την Ινδία και το Μπαγκλαντές, οι Peterson [38] κατέγραψαν 51 γεγονότα από το 1835, με τα περισσότερα από αυτά να εντοπίζονται στα ΒΑ, ενώ για την χρονική περίοδο 1972-1978, 13 συνολικά γεγονότα (σίφωνες) έλαβαν χώρα στο Μπαγκλαντές δίνοντας ένα ρυθμό εμφάνισης ίσο με $1x10^{-5}$ yr^{-1}/km^2.

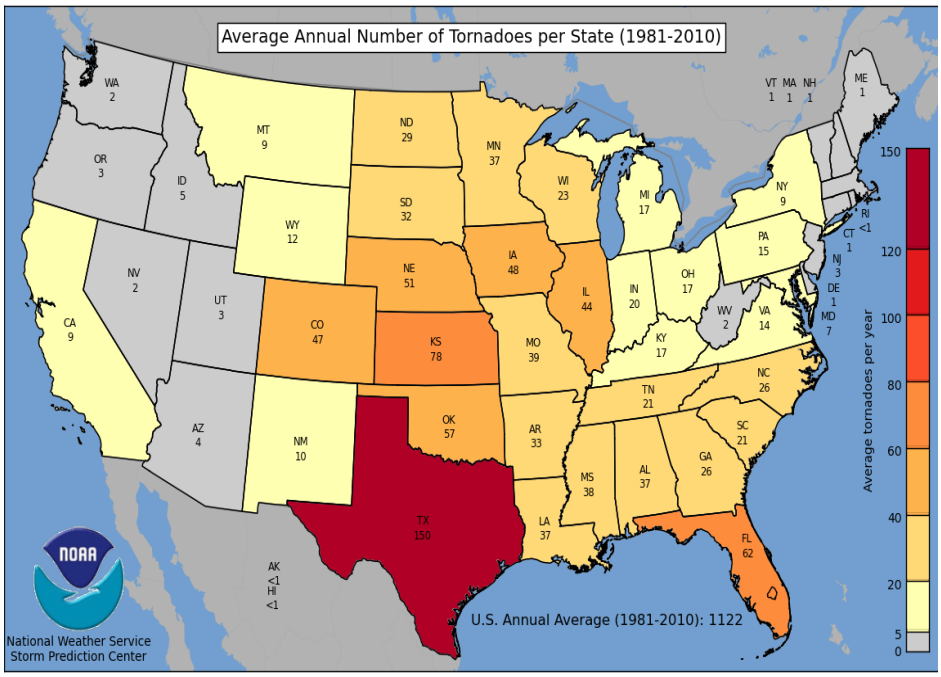
Στην Ιαπωνία περισσότεροι από 200 σίφωνες ξηράς και θάλασσας έχουν παρατηρηθεί, με μέσο όρο εμφάνισης 3 σίφωνες ανά έτος [15]. Σε νεότερη έρευνα οι [39] μελετώντας την χρονική περίοδο 1961-1993 καταγράφθηκαν 677 σίφωνες ξηράς και 148 σίφωνες θάλασσας, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο μέσος αριθμός εμφάνισης σιφώνων ξηράς στην Ιαπωνία είναι 20,5 ανά έτος και 4,5 ανά έτος για τους υδροσίφωνες. Οι θάνατοι και τραυματισμοί ανθρώπων που οφείλονται στους σίφωνες και υδροσίφωνες είναι 0,58 και 29,7 αντίστοιχα, ενώ οι ζημίες σε κατοικίες είναι: 329 σπίτια ανά έτος από τα οποία 39 εμφάνισαν σοβαρές ζημιές ανά έτος και τα 17 σπίτια εντελώς καταστρέφονται ανά έτος [39].

Οι περισσότεροι σίφωνες στον κόσμο εκδηλώνονται στις Η.Π.Α., όπου υπάρχει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη συσχέτιση της συχνότητας εμφάνισης των σιφώνων με τις υλικές ζημιές και τις επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία των Η.Π.Α. [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48]. Οι [49], ανέφεραν ότι σχεδόν 20.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε πάνω από 3600 σίφωνες στις Η.Π.Α. από το 1680. Υπάρχει μία τεράστια ερευνητική βιβλιογραφία σχετικά με την κλιματολογία των σιφώνων στις Η.Π.Α. (όπως για παράδειγμα των [50], [44], [38], [51], [52] και [53]. Πέρα από τις προαναφερόμενες κλιματολογικές αναλύσεις της συχνότητας εμφάνισης των σιφώνων στις Η.Π.Α., η συχνότητα εμφάνισης των σιφώνων στον Καναδά επηρεάζεται από μεγάλες ατμοσφαιρικές διακυμάνσεις όπως το El Nino–Southern Oscillation (ENSO). Τα γεγονότα σιφώνων στον Καναδά υποδεικνύουν ότι ψυχρά γεγονότα La Nina τείνουν να καταστείλουν τη συχνότητα εμφάνισης των σιφώνων, ενώ γεγονότα El Nino τείνουν να ενισχύσουν τη συχνότητα εμφάνισης τους [54]. Ωστόσο μέχρι σήμερα, ότι γνωρίζουμε σχετικά για τη δυναμική των ρευστών των σιφώνων προέρχεται μέσα από εργαστηριακές και αριθμητικές προσομοιώσεις των σιφώνων [55], [56], [57], [58], [59], [60], [61], [17], [62], [63] και ο [64].



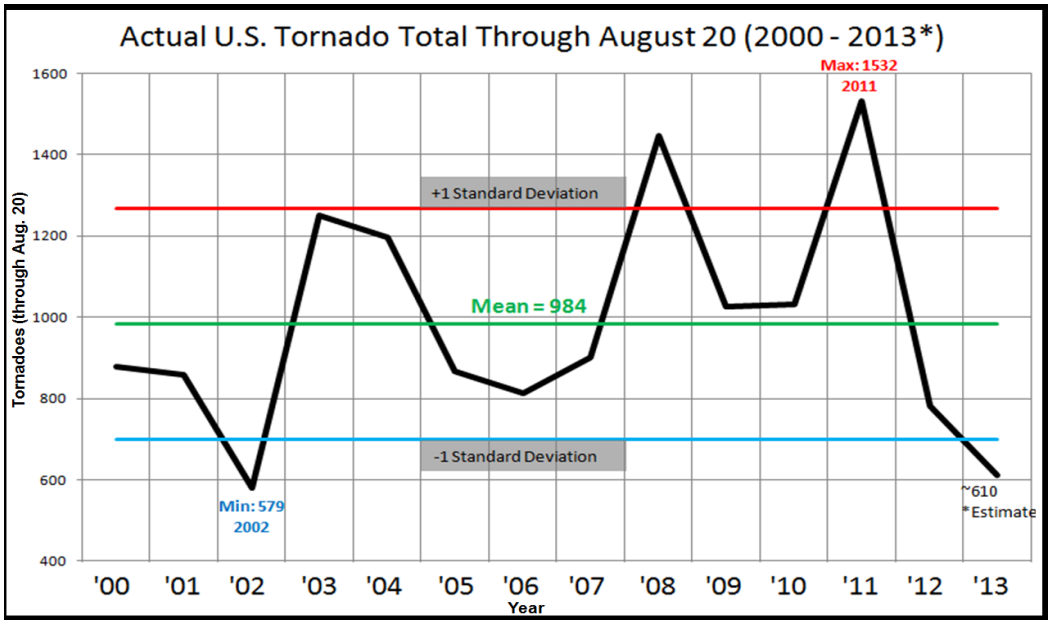
Εικόνα 3.4: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Αυστραλία για το χρονικό διάστημα 1985-1995 [36].

Στις Η.Π.Α. οι περισσότεροι σίφωνες εμφανίζονται στις κεντρικές και ΝΑ πολιτείες, ενώ πολύ χαμηλή συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζουν οι πολιτείες στην ευρύτερη περιοχή των Rockies Mountain. Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζεται η ετήσια χωρική κατανομή των σιφώνων στις Η.Π.Α. τα τελευταία 30 χρόνια (1981-2010). Η πολιτεία του Τέξας εμφανίζει έναν ετήσιο αριθμό εμφάνισης σιφώνων της τάξεως του 150 και ακολουθεί το Κάνσας και η Φλώριδα με 78 και 67 σίφωνες ετησίως. Τα τελευταία 13 χρόνια ο μέσος ετήσιος αριθμός σιφώνων εκτιμάται στους 984 σίφωνες, με το 2002 να καταγράφεται ως το έτος με τους ελάχιστους σίφωνες (579 σίφωνες) και το 2011 ως το έτος με τη μέγιστη (1532 σίφωνες) δραστηριότητα των σιφώνων (Εικόνα 3.6).

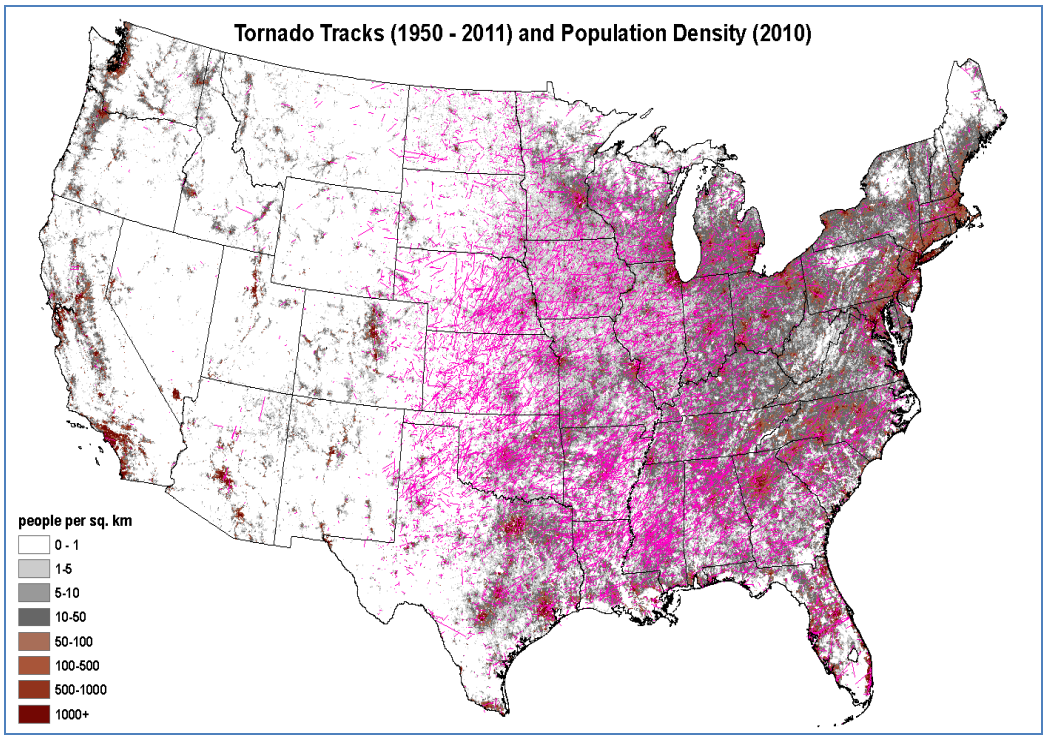


Εικόνα 3.5: Χωρική κατανομή των σιφώνων στις Η.Π.Α. για το χρονικό διάστημα 1981-2010 (πηγή NOAA, Storm Prediction Center).

Οι σίφωνες εμφανίζονται σε όλες τις πολιτείες, ωστόσο ο χρόνος ζωής τους είναι περισσότερος στις κεντρικές και ΝΑ πολιτείες όπου και διαγράφουν μεγαλύτερες τροχιές. Στην Εικόνα 3.7, αποτυπώνονται όλες οι τροχιές των καταγεγραμμένων σιφώνων από το 1950-2011. Ωστόσο παρά το γεγονός ότι οι τροχιές των σιφώνων είναι μεγαλύτερες στις κεντρικές πολιτείες η πυκνότητα του πληθυσμού είναι αρκετά μικρότερη με την πυκνότητα των ανατολικών πολιτειών όπου οι σίφωνες παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 3.6: Ετήσια κατανομή των σιφώνων στις Η.Π.Α. για τη χρονική περίοδο 2010-9ος/2013 (πηγή NOAA, Storm Prediction Center).



Εικόνα 3.7: Χωρική κατανομή των τροχιών των σιφώνων στις Η.Π.Α. για τη χρονική περίοδο 19550-2011 και η συσχέτιση τους με την πυκνότητα κατανομή του πληθυσμού με βάση την καταγραφή του 2010, (πηγή NOAA, Storm Prediction Center).

3.3 Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ευρώπη

Αρκετές μελέτες τα τελευταία 30 χρόνια παρουσίασαν ιστορικές καταγραφές των σιφώνων σε όλο τον κόσμο [65], [66], [67], [68], [69], [70], [71], [38], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80] και [81]. Πέρα από τις προαναφερόμενες ιστορικές αναφορές πολλοί ερευνητές (ιδίως τα 10 τελευταία χρόνια) παρουσίασαν σημαντικές μελέτες που αφορούσαν την κλιματολογία των σιφώνων για πολλές Ευρωπαϊκές χώρες [81], [82], [83], [84], [85], [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93] και [94].

Οι [82] για τη χρονική περίοδο 1680-1998 ανέφερε ότι στην περιοχή της Γαλλίας, ο συνολικό αριθμός των σιφώνων είναι 107 κατηγορίας F2-F5 της κλίμακας F, ενώ από το σύνολο των 107 σιφώνων, οι 49 έχουν καταγραφεί μεταξύ 1680-1960 και οι υπόλοιποι 58 μεταξύ 1960-1989. Σε νεότερη έρευνα ο [95] για τη χρονική περίοδο 1680-1999 ανέφερε ότι ο συνολικός αριθμός των σιφώνων είναι 304 (Εικόνα 3.8α). Εμφανίζονται κυρίως στα ΒΔ και Νότια τμήματα της Γαλλίας με εποχική κατανομή κυρίως την άνοιξη και καλοκαίρι [95]. Στην Εικόνα 3.8β, αποτυπώνεται η χωρική κατανομή της ετήσιας συχνότητας εμφάνισης σιφώνων ανά 10000 km^2 στη Γαλλία για τη χρονική περίοδο 1680-1999 [95].

Η συχνότητα εμφάνισης των σιφώνων ανά έτος για την περιοχή της Γαλλίας εκτιμάται περίπου σε 15-20 γεγονότα, ενώ ετήσια συχνότητα εμφάνισης σιφώνων ανά 10000 km^2 είναι περίπου 0,66 x 10^{-5} yr^{-1}/km^2 το οποίο θεωρείται από αρκετούς ως υποτιμημένο, ενώ νέα εκτίμηση το οριοθετεί στο 0,9 x 10^{-5} yr^{-1}/km^2 για το βόρεια τμήματά της. Ο πιο πρόσφατος «φονικός» σίφωνας εκδηλώθηκε στις 3/8/2008 στην ΒΔ Γαλλία, στην πόλη Hautmont. Ο σίφωνας ήταν κατηγορίας F4 και προκάλεσε τεράστειες υλικές ζημιές αφήνοντας πίσω του 13 τραυματίες και 4 θύματα.

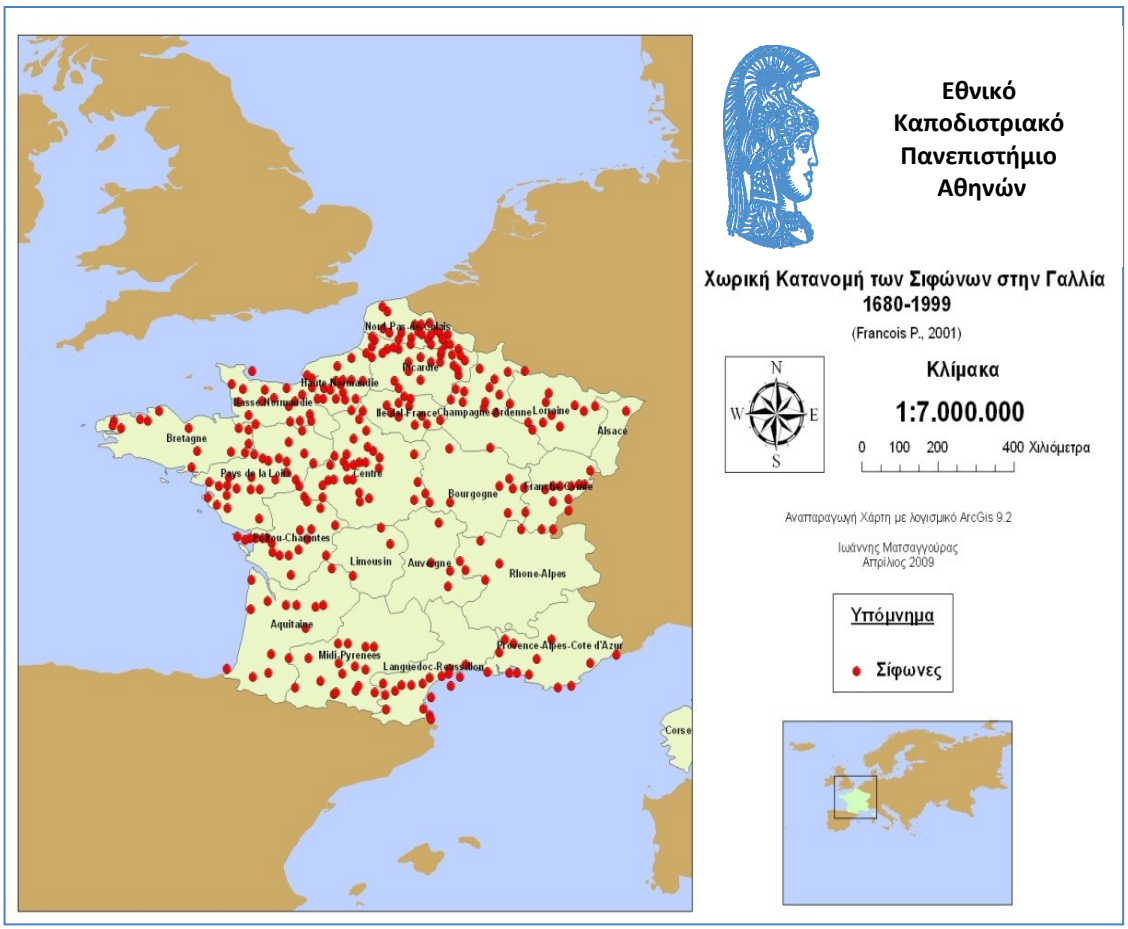
Οι σίφωνες αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας για τη Γερμανία από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ωστόσο η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα του φαινομένου οδήγησε την Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία (DWD) το 1997 στην δημιουργία βάσης δεδομένων σιφώνων τόσο για τη Γερμανία, όσο για την Αυστρία και Σουηδία. Ο αριθμός των σιφώνων που έχουν καταγραφεί στη Γερμανία (έως το 2000) είναι 517, από τους οποίους οι 39 έλαβαν χώρα μεταξύ 1587-1840 [86].

Στον χάρτη της Εικόνα 3.9 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των σιφώνων καθώς επίσης και οι περιοχές – ζώνες με ομοιόμορφα κλιματολογικά χαρακτηριστικά όπως αποτυπώθηκε από τον [86]. Η πρώτη επιδεκτική ζώνη εμφάνισης οριοθετείται στα Βόρεια τμήματα της Γερμανίας, ενώ η δεύτερη περιοχή εντοπίζεται στο λοφώδες ανάγλυφο στα μέσα και Νότια πλάτη της. Η τρίτη ζώνη οριοθετείται στα ΝΔ τμήματα όπου επηρεάζεται από τις αέριες μάζες της Μεσογείου την διάρκεια του καλοκαιριού, συσχετιζόμενη με την ορογένεση του διατμητικού ανέμου (wind shear) στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας [86].

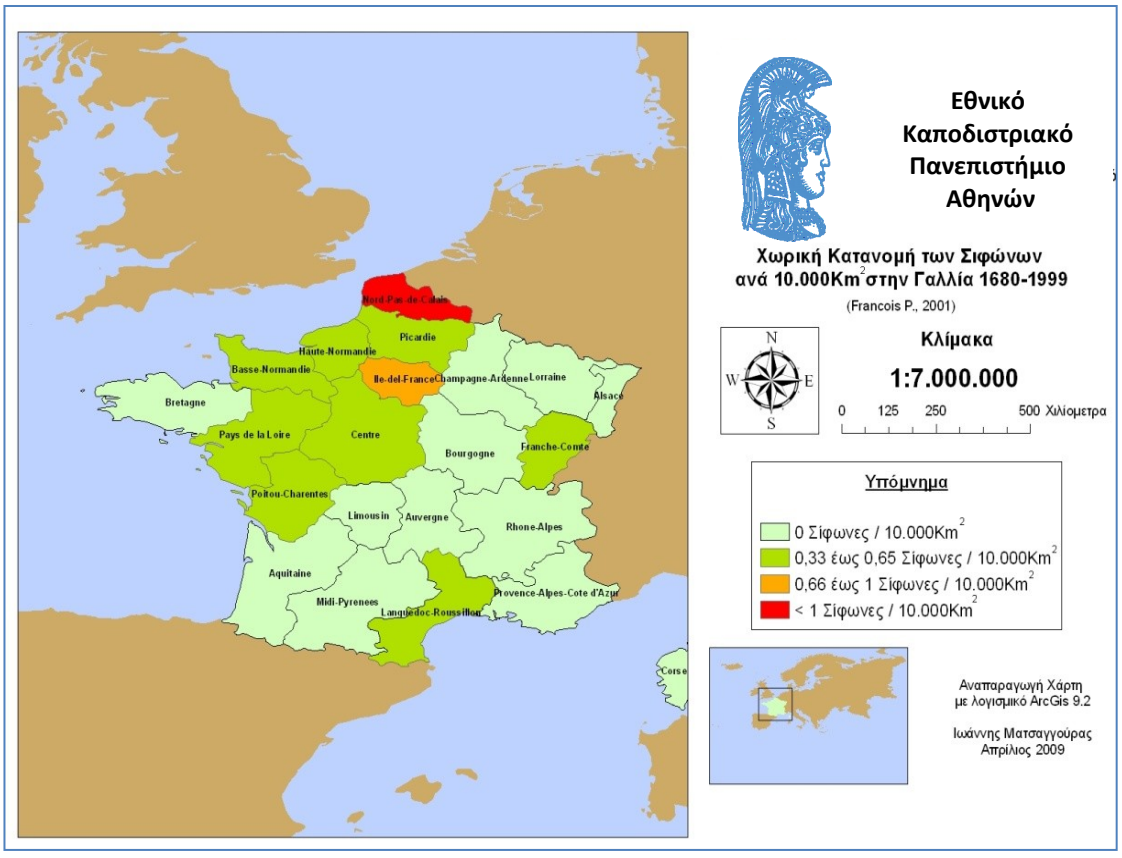
Στην Γερμανία εμφανίζονται περίπου 4-7 σίφωνες ετησίως, ενώ η ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανά μονάδα επιφανείας είναι περίπου 1- 2 x 10^{-5} yr^{-1}/km^2.Από το σύνολο των 517 σιφώνων που έχουν καταγραφεί, για τους 496 σίφωνες υπάρχουν ακριβή στοιχεία σχετικά με την ημερομηνία εκδήλωσης του φαινομένου. Η χρονική κατανομή των σιφώνων στην Γερμανία παρουσιάζει τη μέγιστη εμφάνιση την θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιο έως Σεπτέμβριο) παρουσιάζοντας τη μέγιστη μηνιαία κατανομή του φαινομένου τον μήνα Ιούλιο [86].

Όσον αφορά την ημερήσια κατανομή των σιφώνων παρατηρούνται 2 μέγιστα: α) κατά την διάρκεια των απογευματινών και β) κατά την διάρκεια των πρώτων βραδινών ωρών. Όσον αφορά τους υδροσίφωνες η συχνότερη εμφάνιση λαμβάνει χώρα κατά τις πρώτες πρωινές ώρες [86].

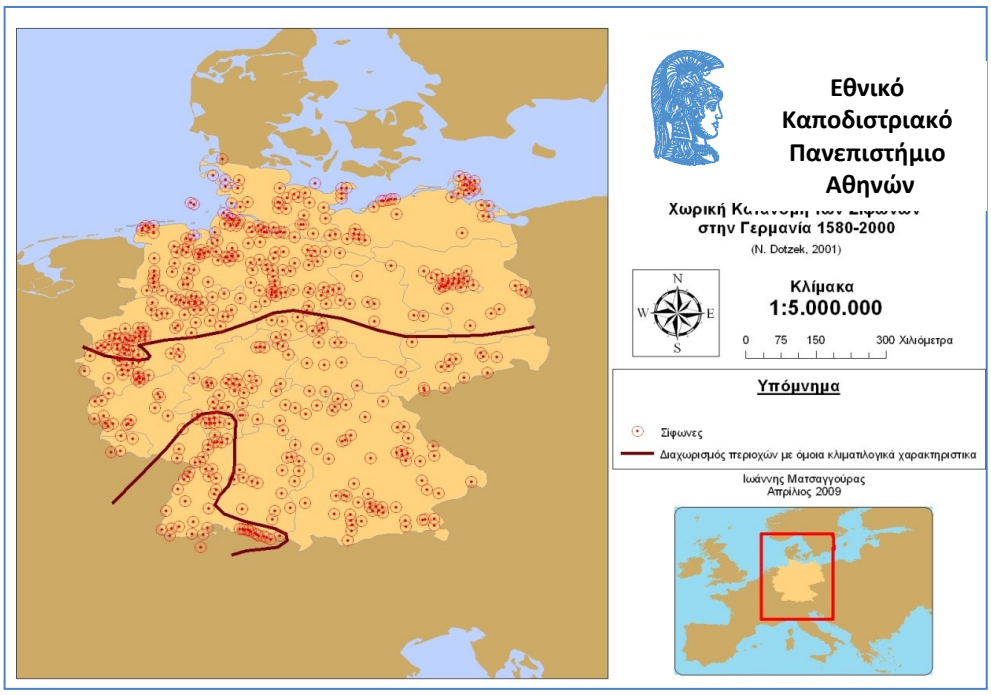
α)



β)

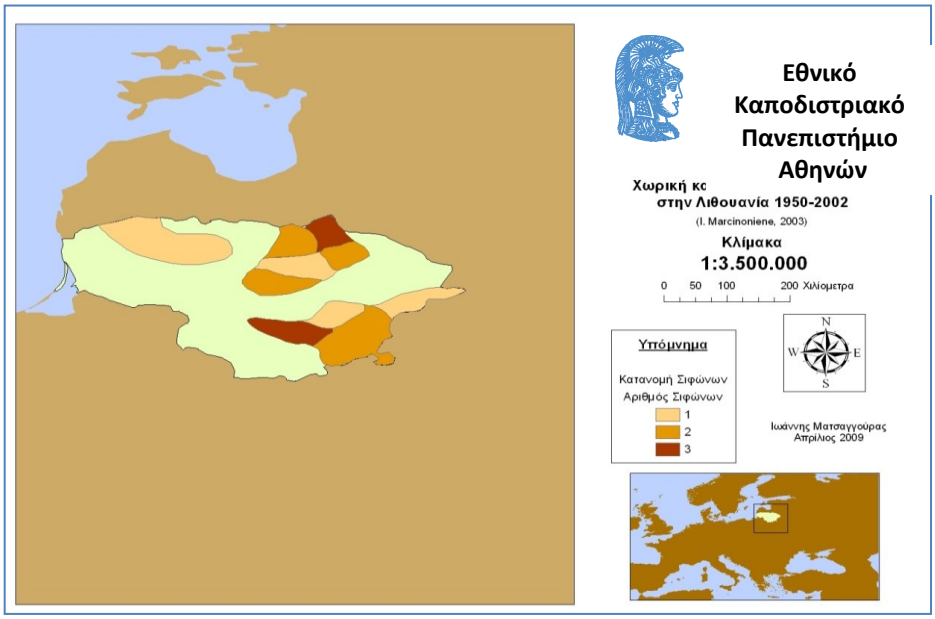


Εικόνα 3.8: Χωρική αποτύπωση της: α) κατανομής των σιφώνων και β) της ετήσιας συχνότητας εμφάνισης σιφώνων ανά 10.000 km^2, της Γαλλίας για τη χρονική περίοδο 1680-1999 [95].



Εικόνα 3.9: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Γερμανία, 1580-1999 [86].

Παρά το ότι η Λιθουανία είναι μία μικρή Ευρωπαϊκή χώρα, η Υδρομετεωρολογική Υπηρεσία της έχει καταγράψει 21 σίφωνες και 2 υδροσίφωνες από το 1950 έως το 2002 [76]. Τα 23 γεγονότα αποτελούν ένα μικρό αριθμό περιπτώσεων, αλλά ωστόσο εκτιμάται ότι ο πραγματικός αριθμός σιφώνων ανά χρόνο είναι περίπου 5 [76] με σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία. Και αυτό διότι ο αριθμός των μετεωρολογικών σταθμών είναι μόλις 20 σε μία έκταση 64000 km^2. Η χωρική κατανομή των σιφώνων στην Λιθουανία για τη χρονική περίοδο απεικονίζεται στην Εικόνα 3.10. Οι σίφωνες στην Λιθουανία εμφανίζονται κυρίως τη θερμή περίοδο, παρουσιάζοντας μέγιστο τον μήνα Αύγουστο. Όσον αφορά την ημερήσια χρονική κατανομή των σιφώνων, αυτοί εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών με μέγιστα μεταξύ 12:00-15:00 UTC και 15:00-18:00 UTC [76].

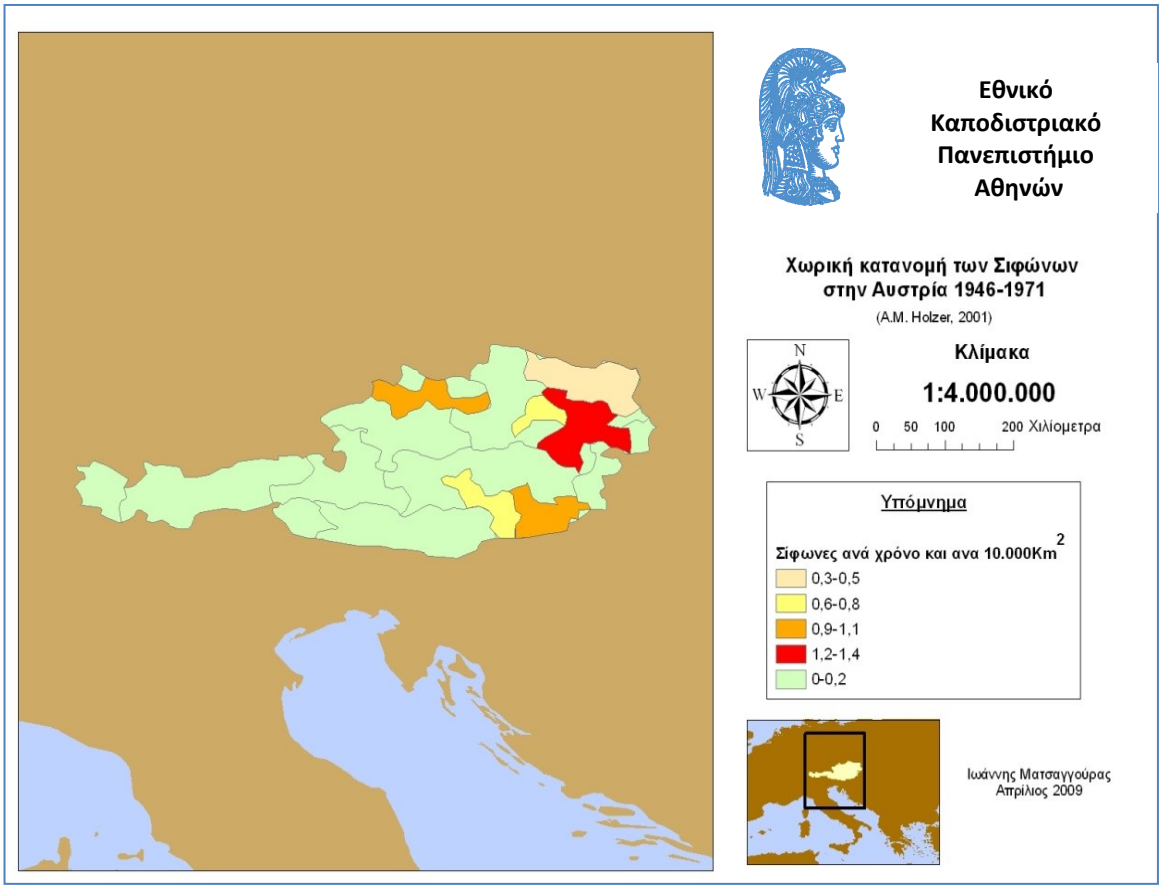


Εικόνα 3.10: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Λιθουανία, 1950-2002 [76].

Ο πρώτος καταγεγραμμένος σίφωνας στην Αυστρία εκδηλώθηκε το 1910, ωστόσο περισσότερες σχετικές πληροφορίες έχουμε μετά το 1946. Πριν το 1946 υπάρχουν πληροφορίες για 9 γεγονότα, ενώ από το 1946 έως το 1971 καταγράφηκαν 71 συνολικά σίφωνες, αποδίδοντας ένα μέσο όρο περίπου 27 σίφωνες ανά δεκαετία. Ο αριθμός αυτός μειώνεται σημαντικά εξετάζοντας την περίοδο 1972-1993 και προσεγγίζει το 2,3 [87]. Η χωρική κατανομή των σιφώνων για την Αυστρία (Εικόνα 3.11), αποτυπώνει επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης σιφώνων στην ανατολική Αυστρία όπως είναι οι περιοχές Graz και Linz.

Η συχνότητα εμφάνισης αυξάνεται στα ανατολικά, αυτό δε διότι οι Άλπεις ενεργούν ως φράγμα εμποδισμού στις ψυχρές αέριες μάζες της κατώτερης ατμόσφαιρας από τα ΒΔ, ενώ από τα ΝΔ μερικές φορές επικρατεί κυκλοφορία η οποία επιτρέπει την εισβολή υγρών και θερμών αερίων μαζών [87]. Οι σίφωνες εμφανίζονται συνήθως τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο) παρουσιάζοντας ένα μέγιστο το μήνα Ιούλιο. Η ημερήσια χρονική κατανομή εμφανίζει τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης τις πρώτες απογευματινές ώρες. Η ένταση των σιφώνων κυμαίνεται από Τ0 έως Τ7 της κλίμακας Τ, παρουσιάζοντας τη μέγιστη συχνότητα έντασης Τ2 [87].

Η ευρύτερη περιοχή της Ιρλανδίας παρουσιάζει επιδεκτικότητα στην εμφάνιση σιφώνων παρά το γεγονός ότι το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της χαρακτηρίζεται από χαμηλούς δείκτες αστάθειας. Οι μικροί σε ένταση και διάρκεια σίφωνες προκαλούν ωστόσο σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία και παράλληλα προκαλούν το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών.

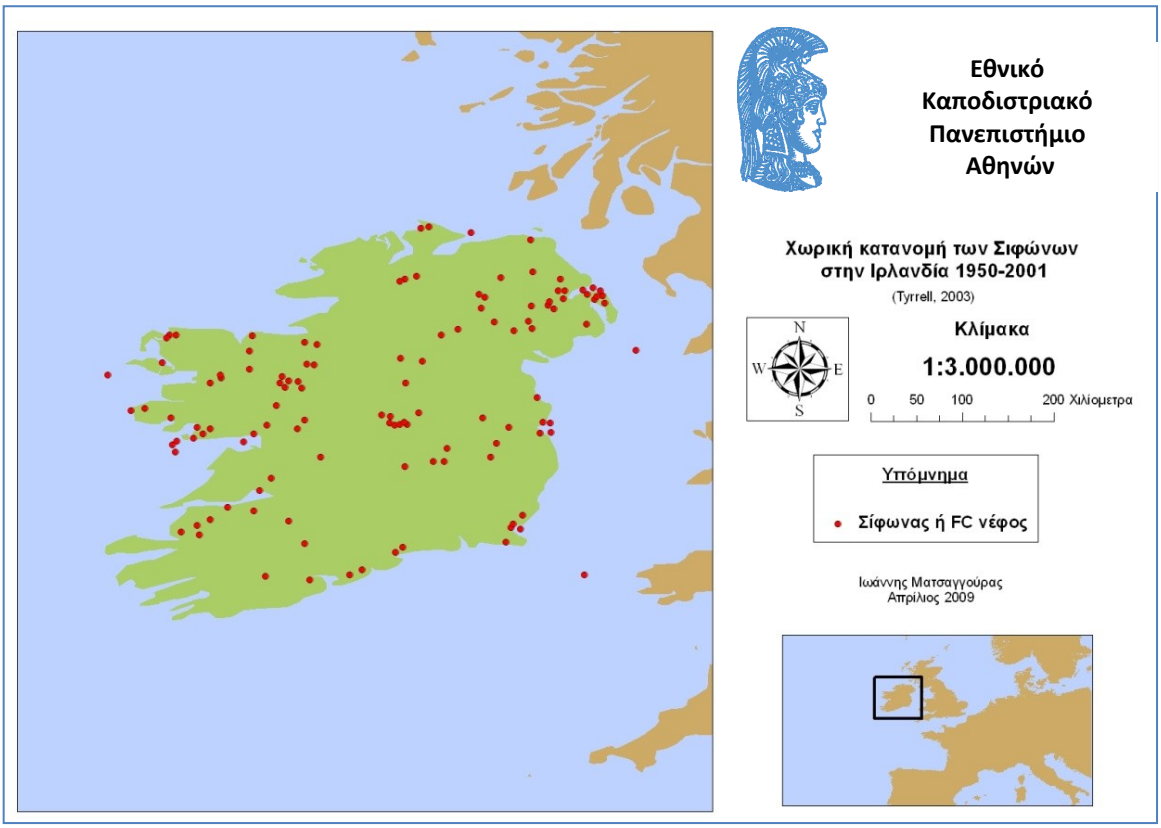


Εικόνα 3.11: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Αυστρία, 1946-1971 (Holzer, 2000) [81].

Εξετάζοντας την χρονική περίοδο 1950 έως το 2001 έχουν αναφερθεί συνολικά 177 περιπτώσεις (Εικόνα 3.12) τόσο με σίφωνες όσο και με χοανοειδή νέφη (FC: funnel clouds), με το μεγαλύτερο ποσοστό των σιφώνων να εμφανίζεται την τελευταία δεκαετία

[96]. Η μηνιαία κατανομή παρουσιάζει μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισής τους θερμούς μήνες και ιδιαίτερα τον Αύγουστο, ενώ η ημερήσια κατανομή των φαινομένων παρουσιάζεται τις θερμές ώρες της ημέρας [96]. Η πλειοψηφία των σιφώνων χαρακτηρίζεται από εντάσεις T0 έως T3, ενώ λιγότερα γεγονότα σιφώνων σχετίζονται με εντάσεις T4 έως T6 της κλίμακας T.

Οι πρώτες αναφορές για την εμφάνιση σιφώνων στην Τσεχία (την τότε Bohemia ή Boiohaemum) έγιναν στο πρώτο μισό του 12^{ου} αιώνα, στα «Χρονικά» (καταγεγραμμένα αρχεία του 12^{ου} και 13^{ου} αιώνα). Οι αναφορές και τα δεδομένα μέχρι τον 19^{ο} αιώνα για την εμφάνιση σιφώνων είναι διάσπαρτες, μη επιτρέποντας άντληση συμπερασμάτων.

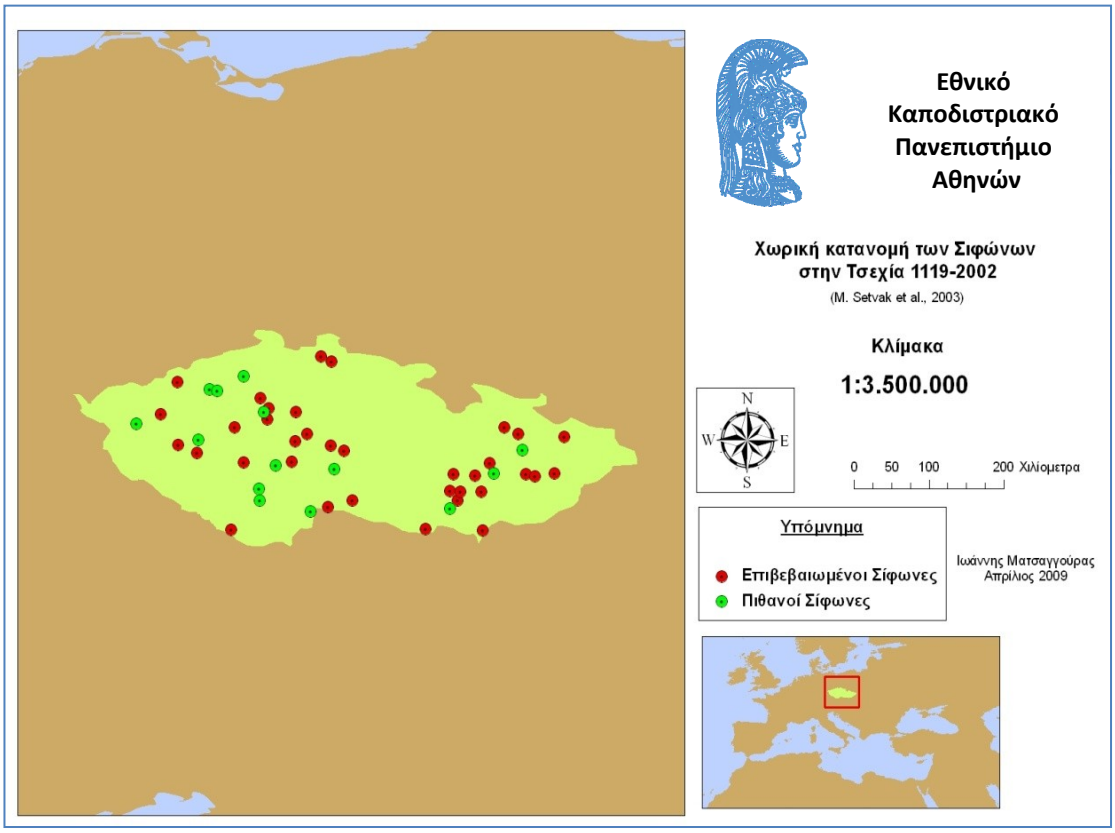


Εικόνα 3.12: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ιρλανδία, 1950-2001 [96].

Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα οι ερευνητές δείχνουν ενδιαφέρον εξετάζοντας και καταγράφοντας τα επικίνδυνα φαινόμενα, με πρώτο τον Gregor Mendel το 1871, ακολουθούμενο από τους Elder von Wahlburg το 1911 και τον Wegener το 1917. Τα τελευταία χρόνια αρκετοί ερευνητές καταγράφουν και αναλύουν περιπτώσεις καταστροφικών σιφώνων προσπαθώντας να αποτυπώσουν μία ολοκληρωμένη χρονική και χωρική κατανομή. Οι [75] ανέφεραν ότι οι θερμοί μήνες αποτελούν κατεξοχήν περίοδο εμφάνισης σιφώνων με μέγιστο το μήνα Ιούλιο, ενώ η κατανομή των εντάσεων με βάση την κλίμακα Fujita παρουσιάζει μέγιστο την ένταση F1 και έπεται η F2 [75]. Η χωρική κατανομή των σιφώνων για την Τσεχία (Εικόνα 3.13), απεικονίζει δυο επιδεκτικές περιοχές (η 1^{η} δυτικά και η 2^{η} ανατολικά) αφήνοντας μία περιοχή η οποία οριοθετεί ορεινές και δασικές περιοχές [75].

Στην Μεγάλη Βρετανία κατά μέσο όρο ετησίως 15 ημέρες εμφανίζουν ιδανικές μετεωρολογικές συνθήκες για τη δημιουργία σιφώνων [97]. Πληθώρα πληροφοριών σχετικά με την ένταση, το μήκος διαδρομής αλλά και τη διεύθυνση των σιφώνων υπάρχουν στην βάση δεδομένων του TORRO.

Έχουν καταγραφεί συνολικά 2000 σίφωνες ξηράς και 550 σίφωνες θάλασσας, οι οποίοι παρατηρήθηκαν καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου [98]. Οι περισσότεροι από αυτούς δημιουργούνται το φθινόπωρο και το χειμώνα με σχεδόν το 70 % των περιπτώσεων να εκδηλώνονται τους μήνες Σεπτέμβριο και Ιανουάριο. Ωστόσο μία πιο πρόσφατη μελέτη βασισμένη στα γεγονότα σιφώνων 1995-2000, υποδεικνύει ότι το ένα τρίτο του συνόλου των σιφώνων που εκδηλώνονται στην Μεγάλη Βρετανία εκδηλώνεται στις ΝΑ περιοχές της χώρας (Εικόνα 3.14).

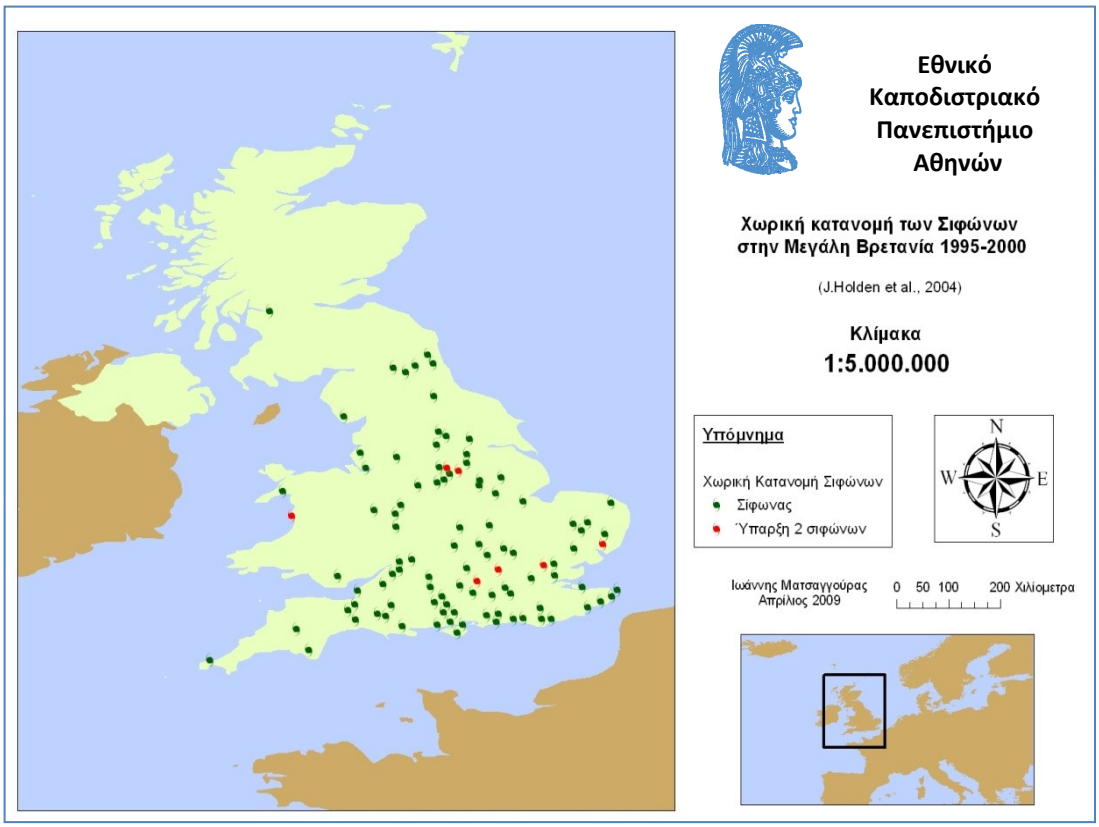


Εικόνα 3.13: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Τσεχία, 1100-2002 [75].

Η μέγιστη δραστηριότητα λαμβάνει χώρα την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, με λιγότερη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών [99]. Η καταγραφή και συνεπώς η χωρική κατανομή των σιφώνων εξαρτάται σημαντικά από την τοπογραφία και την χωρική κατανομή των παρατηρητών. Το 92 % των καταγεγραμμένων σιφώνων έχουν χαρακτηρισθεί ασθενείς (T0-T3), το 8 % σαν ισχυροί (T4-T7) και μόλις το 0,1 % (T8 ή περισσότερο) σαν βίαιοι - πολύ ισχυροί όσον αφορά την έντασή τους. Οι βίαιοι σίφωνες (έντασης T8 ή περισσότερο της κλίμακας T) έχουν σαν χρόνο επανάληψης περίπου κάθε 500 χρόνια [97], οι δυο γνωστοί βίαιοι σίφωνες εκδηλώθηκαν την ψυχρή περίοδο στις 23 Οκτωβρίου 1091 στο Λονδίνο και στις 14 Δεκεμβρίου 1810 στο Πόρτσμουθ (Portsmouth). Η κατανομή της έντασης των σιφώνων στην Μεγάλη Βρετανία δεν είναι αξιόλογα σημαντική αλλά ωστόσο θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σχεδόν ισοδύναμη με την κατανομή των εντάσεων των σιφώνων της Καλιφόρνια (California) των Η.Π.Α με αρκετές υλικές ζημιές και ανθρώπινα θύματα.

Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει το φαινόμενο των σιφώνων στη Μεγάλη Βρετανία δημοσιεύοντας αξιόλογες μελέτες και αποτελέσματα, μέσα από τα οποία προκύπτουν ότι περίπου 35-40 σίφωνες κατά μέσο όρο εκδηλώνονται ανά έτος. Ο παραπάνω αριθμός διαφέρει σημαντικά όταν εξετάζουμε μικρότερη χρονική περίοδος, όπως την περίοδο 1963-1966, με μέσο όρο 20 γεγονότων το έτος [100] ή ακόμη την περίοδο 1950-1970 με 12 σίφωνες το χρόνο [65]. Το 2004 εκδηλώθηκαν 70 σίφωνες, το 2005

καταγράφηκαν 63, το 2006 δημιουργήθηκαν 49 συνολικά σίφωνες, ενώ το 1982 αναφέρθηκαν 150 σίφωνες (πηγή TORRO).



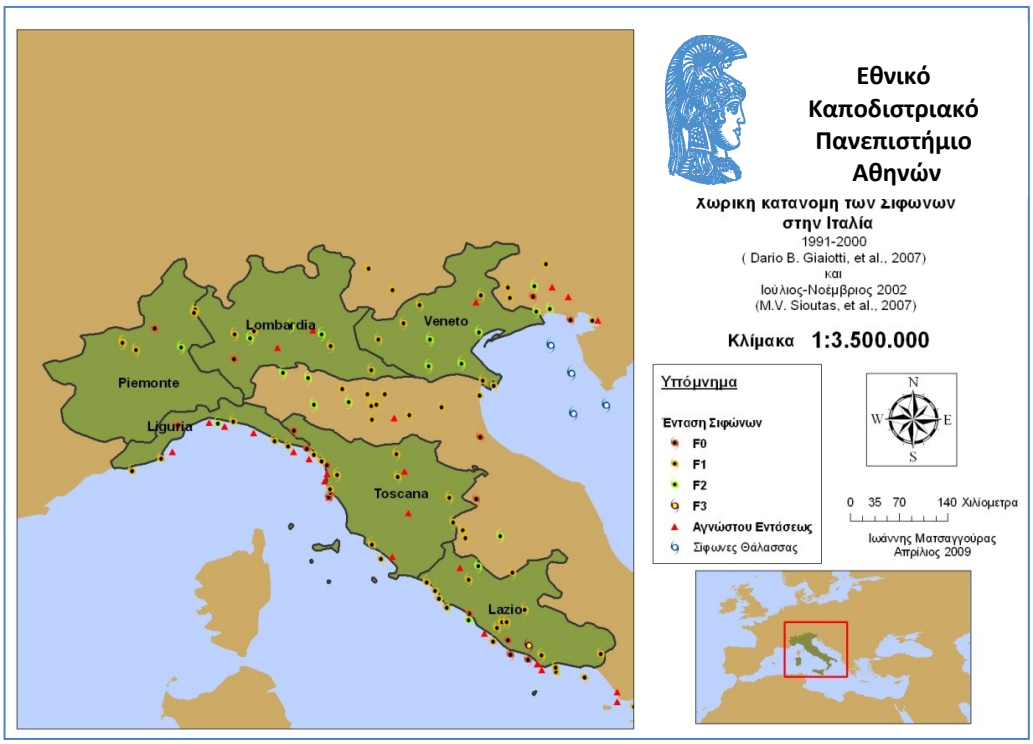
Εικόνα 3.14: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Μεγάλη Βρετανία, 1995-2000 [99].

Όσον αφορά τη εμφάνιση σιφώνων στην Ιταλία, η πρώτη περιγραφή σίφωνα έγινε το 1456 και περιγράφτηκε από τον Machiavelli το 1532, ενώ το πρώτο σκίτσο στο οποίο απεικονίζεται ένας σίφωνας θάλασσας είναι από τον Moncoys το 1648. Ο 38] παρουσιάζει αρκετές πληροφορίες σχετικά με τους σίφωνες από το 1600 έως το 1900, περιγράφοντας τις ζημιές και το χρονικό των γεγονότων όπως στην Βενετία το 1686 και την Ρώμη το 1749 [38].

Οι [101] μελετώντας τη χρονική περίοδο από το 1946 έως το 1973 αναφέρει 280 επιβεβαιωμένα γεγονότα στα 27 συνολικά χρόνια, αποτυπώνοντας έναν μέσο όρο 10 σίφωνες ανά έτος [101]. Σχεδόν το 70 % των γεγονότων λαμβάνει χώρα σε 6 περιοχές: Λάτσιο (Lazio), Λομβαρδία (Lombardy), Βενετία (Veneta), Τοσκάνη (Tuscany), Πιεντμοντ (Piedmont), Λιγουρία (Liguria) (Εικόνα 3.15). Ο ετήσιος αριθμός εμφάνισης σιφώνων ανά μονάδα επιφανείας για αυτές τις περιοχές κυμαίνεται από 4 σίφωνες το έτος ανά 10000 km^2 έως 1,5 σίφωνα το έτος ανά 10000 km^2 [101].

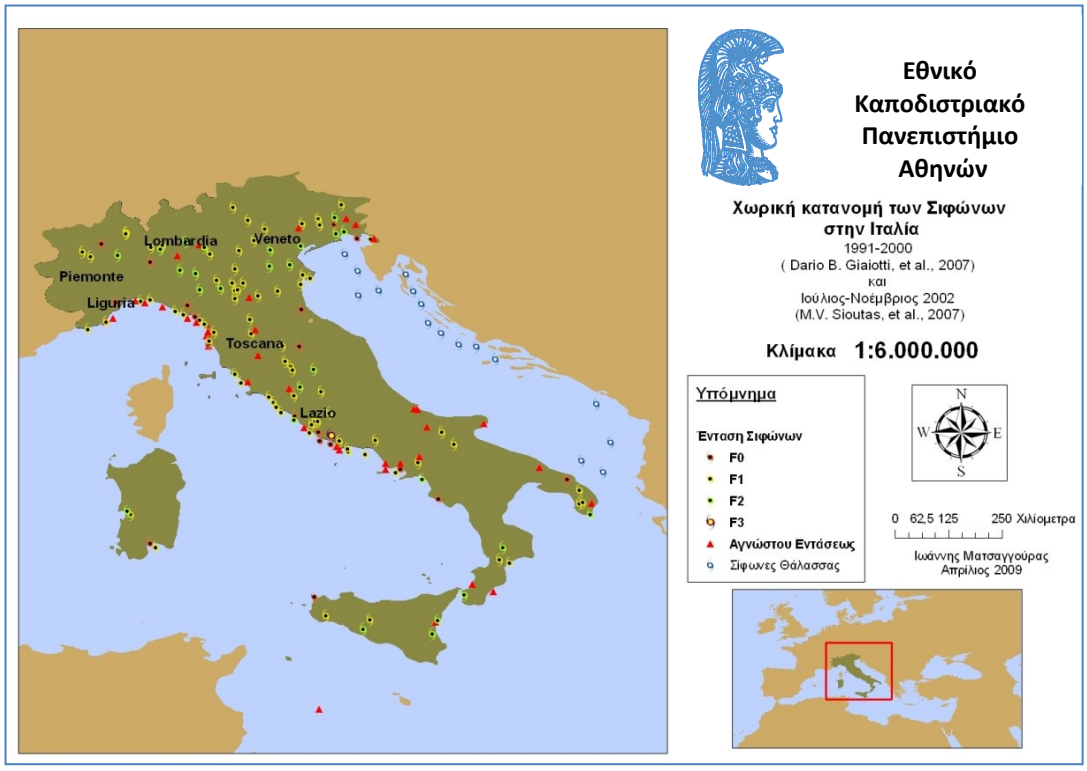
Οι [91] σε πρόσφατη έρευνα για την χρονική περίοδο 1991-2001 ανέφεραν ότι οι επίπεδες περιοχές είναι επιδεικτικότερες στον σχηματισμό σιφώνων σε αντίθεση με περιοχές με ορεινό ανάγλυφο, ενώ η μηνιαία κατανομή των σιφώνων παρουσιάζει τη μέγιστη συχνότητα τον μήνα Αύγουστο και Σεπτέμβριο (Εικόνα 3.16).

Ο καταστροφικός σίφωνας του 1984, ο οποίος εκδηλώθηκε στην πρώην Σοβιετική Ένωση ώθησε το ενδιαφέρον για ενδελεχή κλιματολογική έρευνα, η οποία αποκάλυψε έναν συνολικό αριθμό 248 σιφώνων στο χρονικό διάστημα 1844-1986 [103]. Η πλειοψηφία των σιφώνων εκδηλώνεται στα δυτικά τμήματα της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, ενώ ο αριθμός εμφάνισης σιφώνων ανά έτος και ανά 10.000 km^2 για την Ουκρανία και Μολδαβία είναι 2-4x10^{-6} yr^{-1}/km^2 [103].



Εικόνα 3.15: Το 70% του συνόλου των σιφώνων εκδηλώνεται σε 6 περιοχές: Lazio, Lombardy, Veneta, Tuscany, Piedmont, Liguria [91].

Οι υδροσίφωνες εκτός από την περιοχή της Βαλτικής παρατηρούνται και στην ευρύτερη περιοχή της Μαύρη Θάλασσας. Στην Εσθονία μεταξύ 1960 και 1984 καταγράφηκαν συνολικά 30 περιπτώσεις σιφώνων, οι οποίοι αντιστοιχούν σε ένα ρυθμό εμφάνισης περίπου $3x10^{-5}$ yr^{-1}/km^2 σίφωνες (Tarand, 1995) [70].



Εικόνα 3.16: Χωρική κατανομή των σιφώνων στην Ιταλία, 1991-2000 (Giaiotti et al., 2007) [91] και χωρική κατανομή των σιφώνων θάλασσας, Ιούλιος-Νοέμβριος 2002 (Sioutas et al., 2007) [102].

3.4 Καταγραφές των σιφώνων σε Η.Π.Α. και Ευρώπη

Οι σίφωνες αποτελούν πάντα αντικείμενο μελέτης ανά τον κόσμο, ωστόσο βασική προϋπόθεση για την έρευνα του φαινομένου αποτελεί η συλλογή ενός μεγάλου αριθμού καταγραφών. Ο σκοπός της καταγραφής των φαινομένων και αποθήκευση τους σε μία αξιόπιστη βάση δεδομένων, με συμπληρωματικά στοιχεία που αφορούν τη θέση ή ακόμη και τις καταστροφές που προκάλεσαν, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον από ερευνητές για την πληρέστερη κατανόηση του φαινομένου.

Η καταγραφή των φαινομένων στις Η.Π.Α. πραγματοποιείται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και συγκεκριμένα την NOAA National Weather Service, Storm Prediction Center με πρόσβαση στον ακόλουθο σύνδεσμο: http://www.spc.noaa.gov/. Σημαντικές πληροφορίες που αφορούν τη θέση, την ένταση, τις υλικές ζημιές, την ώρα, τη διάρκεια και την τροχιά του σίφωνα έχουν αποθηκευτεί στην εκτενή βάση ακραίων φαινομένων. Οι καταγραφές των φαινομένων ξεκινούν το 1950 και φτάνουν έως το 2012, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει αυτός την περίοδο επιλογής των δεδομένων (Εικόνα 3.17). Κάθε νέο έτος η βάση ανανεώνεται με τις καταγραφές του έτους (τον Ιανουάριο του 2015 θα προσθέσουν πληροφορίες σχετικά με τους σίφωνες που εκδηλώθηκαν μέσα στο 2014).

Severe Weather Database Files (1950-2012)

The table below provides links to comma separated value (.csv) files for tornado, hail, and damaging wind data as compiled from NWS *Storm Data*. Tornado reports exist back to 1950 while hail and damaging wind reports date from 1955. The full datasets are very large, especially hail and wind. To facilitate quicker downloads these data have been parsed by decade (1950s through 1990s), and half-decade, or less (from 2000 to the present).

Please read this document carefully as it describes the format of the .csv files (especially important for tornadoes!). **Also note!** The NWS changed Severe hail criteria from 0.75 inch minimum to 1.00 inch minimum in 2010. For legacy purposes, 0.75 inch hail reports will continue to be included in the latest hail csv files. Download the files and sort accordingly if needed.

It should further be noted that these data are used by the NWS for verification purposes and may not accurately reflect all storm events. Monetary loss information is highly suspect and should be used with caution, if at all. This article provides a good overview about the shortcomings in the NWS severe weather data provided here.

TORNADO	HAIL	DAMAGING WIND
2012_torn.csv (0.10 mb)	2012_hail.csv (1.4 mb)	2012_wind.csv (1.7 mb)
2011_torn.csv (0.20 mb)	2011_hail.csv (2.0 mb)	2011_wind.csv (2.5 mb)
2010_torn.csv (0.14 mb)	2010_hail.csv (1.1 mb)	2010_wind.csv (1.6 mb)
2009_torn.csv (0.14 mb)	2009_hail.csv (1.4 mb)	2009_wind.csv (1.5 mb)
2008_torn.csv (0.18 mb)	2008_hail.csv (1.7 mb)	2008_wind.csv (1.7 mb)
2005-2007_torn.csv (0.25 mb)	2005-2007_hail.csv (4 mb)	2005-2007_wind.csv (4 mb)
2000-2004_torn.csv (0.7 mb)	2000-2004_hail.csv (6 mb)	2000-2004_wind.csv (6 mb)
90-99_torn.csv (1 mb)	90-99_hail.csv (6 mb)	90-99_wind.csv (8 mb)
80-89_torn.csv (0.75 mb)	80-89_hail.csv (2.5 mb)	80-89_wind.csv (3.5 mb)
70-79_torn.csv (0.82 mb)	70-79_hail.csv (1 mb)	70-79_wind.csv (1.6 mb)
60-69_torn.csv (0.65 mb)	60-69_hail.csv (0.67 mb)	60-69_wind.csv (0.90 mb)
50-59_torn.csv (0.46 mb)	55-59_hail.csv (0.20 mb)	55-59_wind.csv (0.28 mb)

Εικόνα 3.17: Στιγμιότυπο από τη βάση δεδομένων ισχυρών καιρικών φαινομένων (http://www.spc.noaa.gov) των Η.Π.Α. από το 1950 έως το 2012. Τα δεδομένα είναι της μορφής csv για ευκολότερη επεξεργασία και οπτικοποίηση από το χρήστη.

Η πρώτη προσπάθεια πρόγνωσης σιφώνων έλαβε χώρα στις ΗΠΑ από την Αμερικάνικη Μετεωρολογία της USAF. Στην συνέχεια η Αμερικάνικη Μετεωρολογική Υπηρεσία (NWS) ανέλαβε το ρόλο πρόγνωσης και προειδοποίησης τέτοιων φαινομένων. Οι προσπάθειες της NWS συνεχίστηκαν και ανέλαβε και την εκπαίδευση

εθελοντών με σκοπό να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους μέσω της παρατήρησης και μεταφοράς της πληροφορίας προς τις κεντρικές υπηρεσίες της NWS. Η NWS προχώρησε στην εκτύπωση φυλλαδίων με σκοπό την ενημέρωση των πολιτών, την εκπαίδευση τους στο σχετικό αντικείμενο των σιφώνων και το μέγεθος των καταστροφών που προκαλούνται από τη μανία τους. Στην όλη προσπάθεια συμμετείχαν και τα ΜΜΕ της εποχής (ράδιο και τηλεόραση) με εκπομπή προειδοποιήσεων σχετικά με τους σίφωνες.

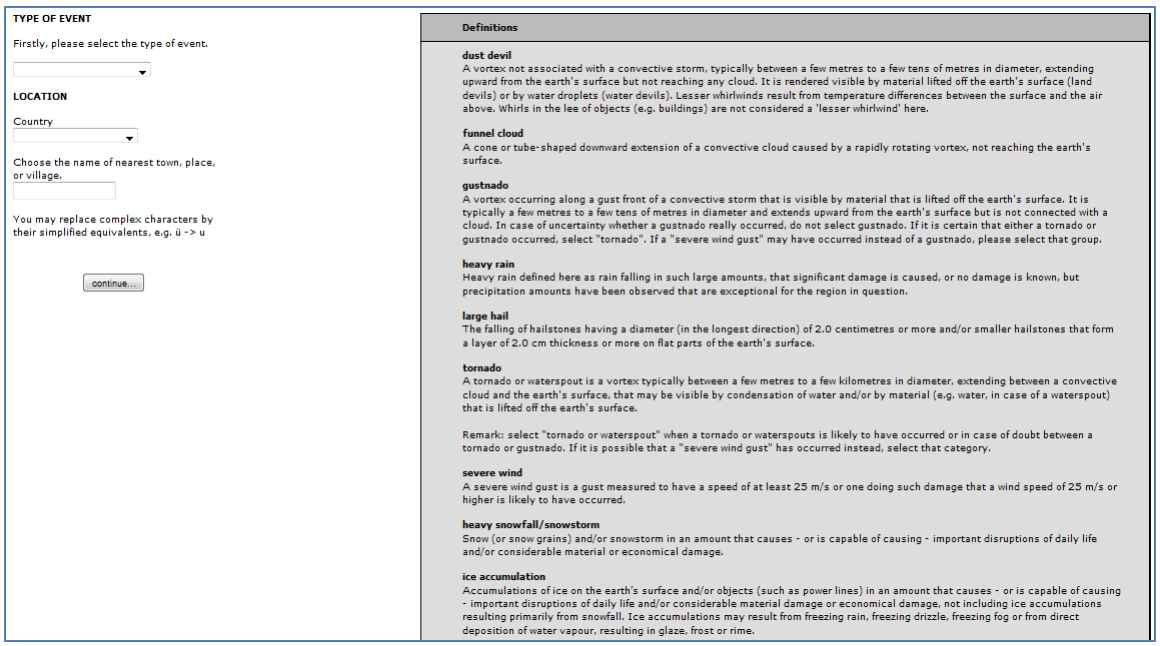
Μετά τον ισχυρό σίφωνα του 1925 όπου διέσχισε 3 πολιτείες, ο συνολικός αριθμός των θυμάτων εξαιτίας των σιφώνων άρχισε να παρουσιάζει σταθερά πτωτική πορεία το οποίο συμπίπτει με την τεχνολογική εξέλιξη στον χώρο των ΜΜΕ, στη μετακίνηση των πολιτών σε πόλεις και στην συνεχή εκπαίδευση [104]. Τα εκπαιδευτικά προγράμματα στην τηλεόραση συνεχίστηκαν και βελτίωσαν το περιεχόμενό τους, χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα εκπαιδευτικά προγράμματα:

- Tornado (1956)
- Tornado (1968)
- Twister (1972)
- Day of the Killer Tornadoes (1975)
- Neosho (1976)
- Tornado – A Spotter's Guide (1977)
- Terrible Tuesday (1984)
- Stormwatch (1995)

Σε αντίθεση με τις Η.Π.Α. η καταγραφή των φαινομένων σιφώνων στην Ευρώπη δεν ξεκίνησε από τις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες ή από κάποια επιστημονικά ιδρύματα αλλά από το ενδιαφέρον ορισμένων ερευνητών που άρχισαν να μελετούν το φαινόμενο. Σε αυτό βέβαια συνηγόρησε και η διαφορετική ένταση και συχνότητα των φαινομένων συγκριτικά με τους σίφωνες στις Η.Π.Α. Συνεπώς Ευρωπαϊκές χώρες όπως π.χ. η Μεγ. Βρετανία, η Γερμανία, η Γαλλία που παρουσίαζαν συχνότερη εμφάνιση φαινομένων σιφώνων συνοδευόμενα από υλικές ζημιές άρχισαν πρώτες τις προσπάθειες καταγραφής των φαινομένων.

Το European Severe Storm Laboratory (ESSL) με πρωτεργάτη των Δρα. Nikolai Dotzek, ανέπτυξε το 2002 ένα ανεπίσημο Ευρωπαϊκό δίκτυο ερευνητών με έδρα το Wessling στη Γερμανία. Οι σκοποί του ESSL είναι: 1) η προώθηση της Μετεωρολογίας και των συναφών επιστημών στον τομέα της έρευνας για ισχυρές καταιγίδες και ακραία καιρικά φαινόμενα σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, 2) η ανάπτυξη και επέκταση της Ευρωπαϊκής Βάσης Ακραίων Καιρικών Φαινομένων (European Severe Weather Database, ESWD) και 3) η υποστήριξη ή οργάνωση Ευρωπαϊκών διασκέψεων για ισχυρές καταιγίδες.

Για την εξυπηρέτηση των χρηστών ώστε να υποβάλλουν ακραία καιρικά φαινόμενα ανάπτυξε μία διαδικτυακή πύλη υποβολής αναφοράς μέσα από την οποία ο χρήστης μπορεί να υποβάλει πληροφορίες σχετικά με το είδος του φαινομένου, την έντασή του, τις επιπτώσεις και να παραθέσει συνδέσμους για επαλήθευση του φαινομένου. Στην Εικόνα 3.18, παρουσιάζεται το $1^{ο}$ στάδιο εισαγωγής στοιχείων του ακραίου καιρικού φαινομένου και περιλαμβάνει το είδος αυτού, την χώρα και την πόλη που παρατηρήθηκε. Συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με επεξηγήσεις των ακραίων φαινομένων παρατέθηκαν για να βοηθήσουν τον χρήστη στη σωστή επιλογή του φαινομένου.



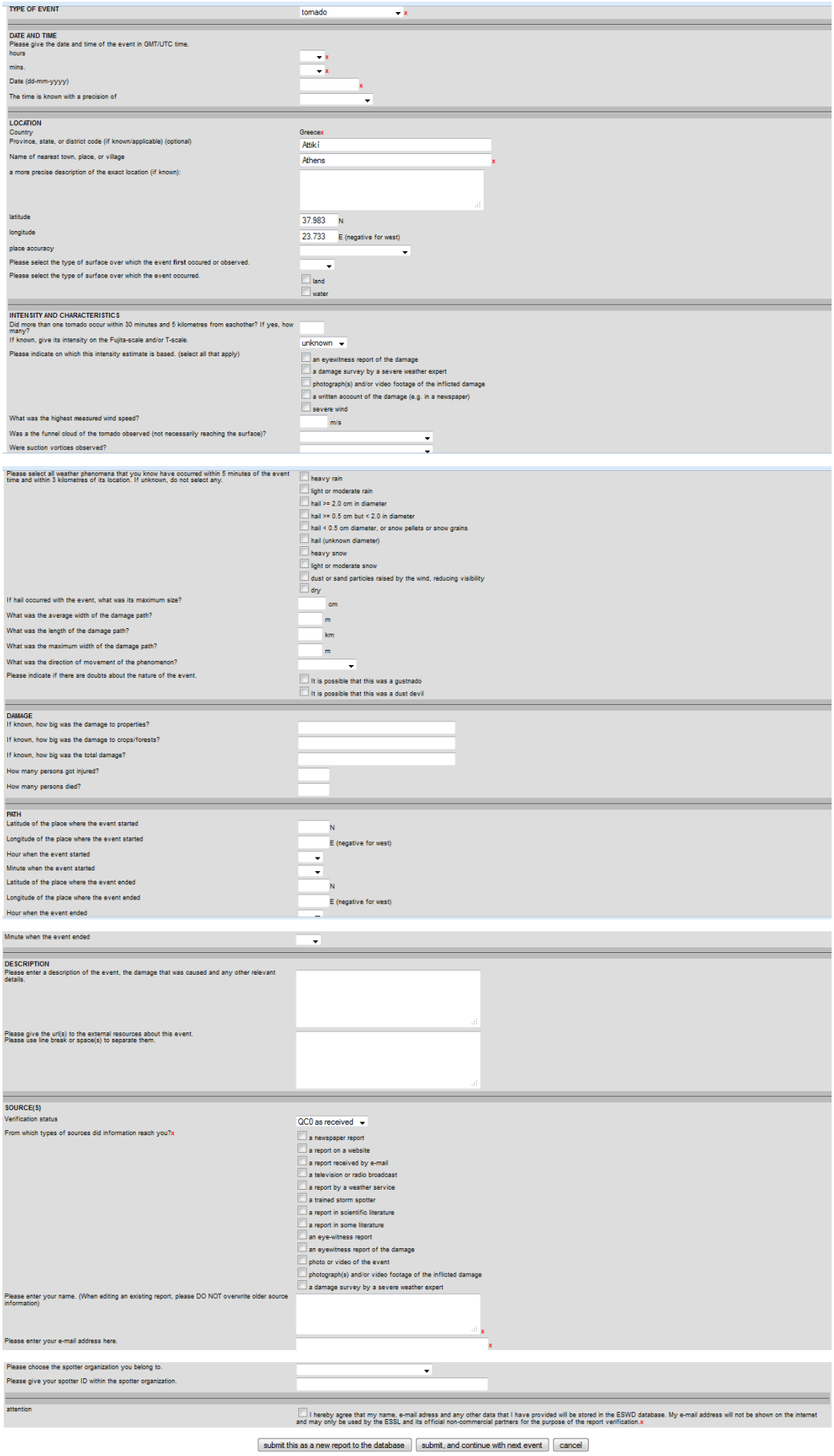
Εικόνα 3.18: Στιγμιότυπο από την υποβολή αναφοράς ακραίου καιρικού φαινομένου στη βάση δεδομένων ESWD του ESSL.

Μετά την επιλογή του φαινομένου (στην προκειμένη περίπτωση σίφωνα) και τη συμπλήρωση πληροφοριών σχετικά με την τοποθεσία, ο χρήστης οδηγείται σε μία δεύτερη δυνατότητα υποβολής περισσότερων στοιχείων (Εικόνα 3.19) σχετικά με την εμφάνιση του.

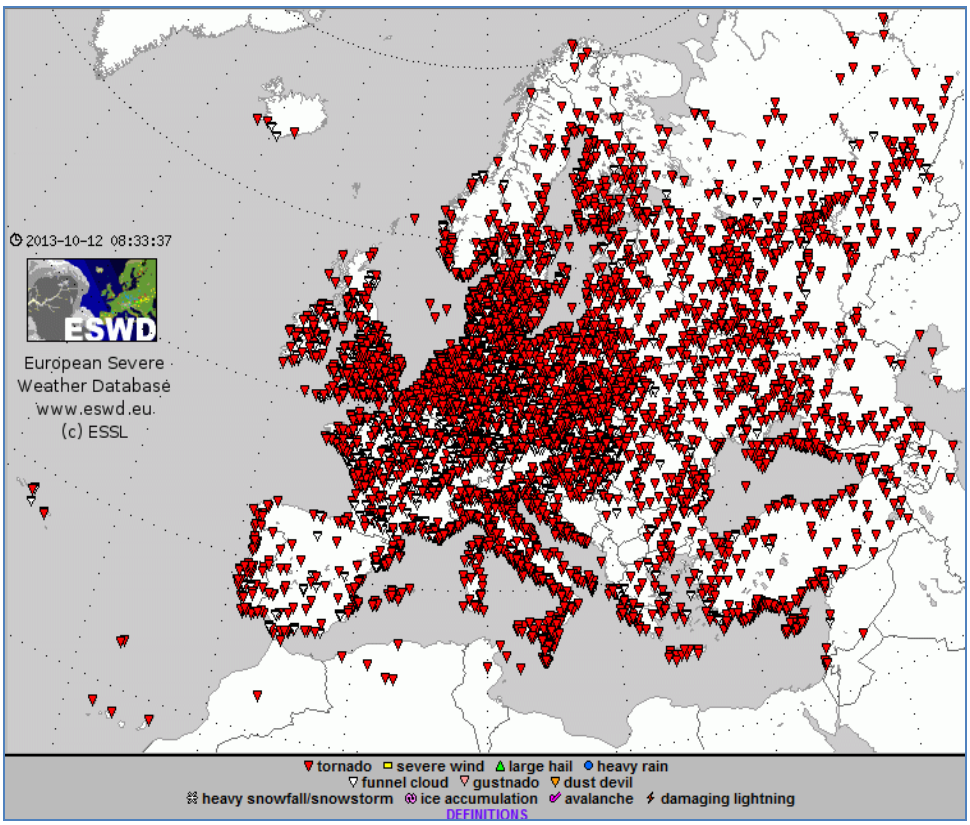
Οι πληροφορίες αφορούν το χρόνο, την ακριβή τοποθεσία, την ένταση του φαινομένου, τις ζημιές που προκάλεσε, τη διαδρομή του και τέλος την πηγή άντλησης της πληροφορίας. Όλες οι αναφορές που υποβάλλονται ακολουθούν έλεγχο ψευδότητας και χαρακτηρίζονται ως: 1) QC0 καθώς εισέρχονται στη βάση, 2) QC0+ όσες περνούν το έλεγχο ψευδότητας, 3) QC1 όσες επιβεβαιώνονται και 4) QC2 όσες πιστοποιούνται πλήρως.

Ο ιστότοπος παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να αποτυπώσει χωρικά την εμφάνιση ενός ή πολλών ειδών ακραίων καιρικών φαινομένων. Στην Εικόνα 3.20 αποτυπώνεται η χωρική εμφάνιση των σιφώνων στην Ευρώπη από το 1-1-2000 έως το 30-9-2013 με βάση τις αναφορές που απέστειλαν στο ESWD. Η αποτύπωση περιλαμβάνει σίφωνες ξηράς και υδροσίφωνες (με κόκκινα σύμβολα) και νέφη σίφωνα (με άσπρα σύμβολα). Στο παραπάνω χρονικό διάστημα έχουν υποβληθεί 7110 αναφορές οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί: 574 γεγονότα ως QC0, 3113 γεγονότα ως QC0+, 2395 γεγονότα ως QC1 και 1028 γεγονότα ως QC2. Με βάση τις αναφορές συμπεραίνουμε ότι οι σίφωνες στην Ευρώπη αποτελούν ένα γνωστό και σύνηθες φαινόμενο σε όλες σχεδόν τις χώρες, συμπεριλαμβανόμενης και της χώρας μας.

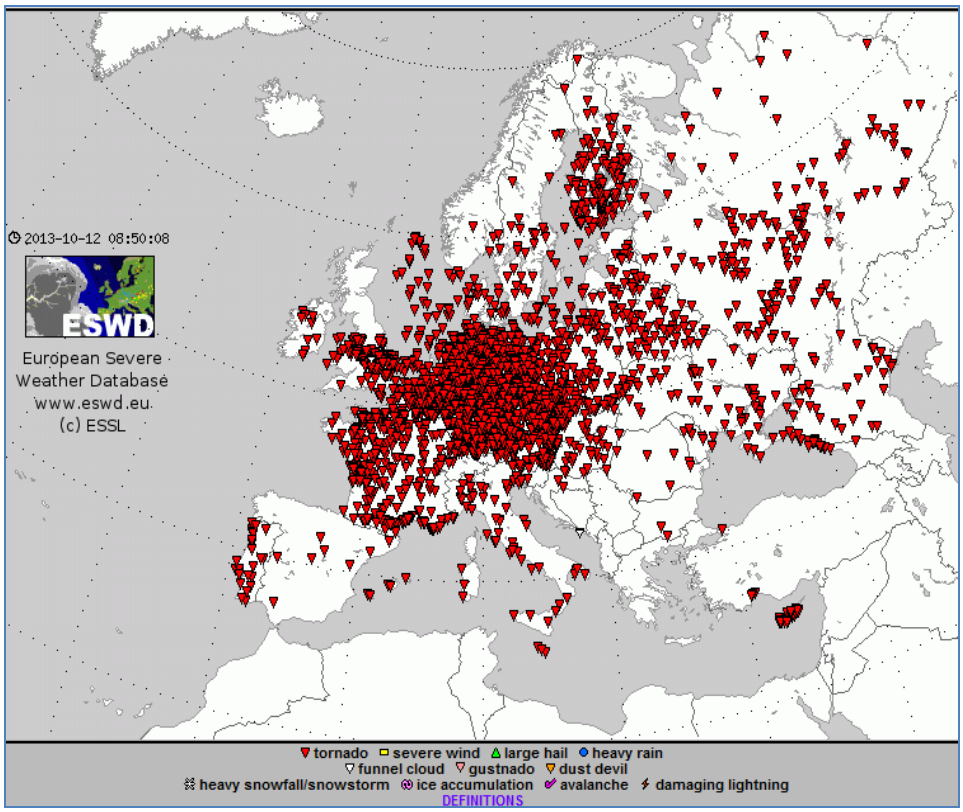
Εξετάζοντας τη χωρική κατανομή των φαινομένων σιφώνων (ξηράς, θάλασσας και νεφών σίφωνα) για τη χρονική περίοδο 1-1-1700 έως 31-12-1999 (Εικόνα 3.21), εμφανίζεται μία υψηλή συχνότητα εμφάνισης των φαινομένων στην κεντρική Ευρώπη (Γερμανία, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο και τις Κάτω χώρες). Φαινόμενα σίφωνα έχουν επίσης παρατηρηθεί στην Ιταλία, στην Ισπανία και στην ανατολική Ευρώπη, με εξαίρεση την χώρα μας. Η απουσία σιφώνων στη χώρα για τη χρονική περίοδο 1700-1999 οφείλεται σε ένα μεγάλο ποσοστό στην αδυναμία εύρεσης αναφορών εμφάνισης μέσα από μετεωρολογικά αρχεία και ηλεκτρονικές εφαρμογές αναζήτησης.



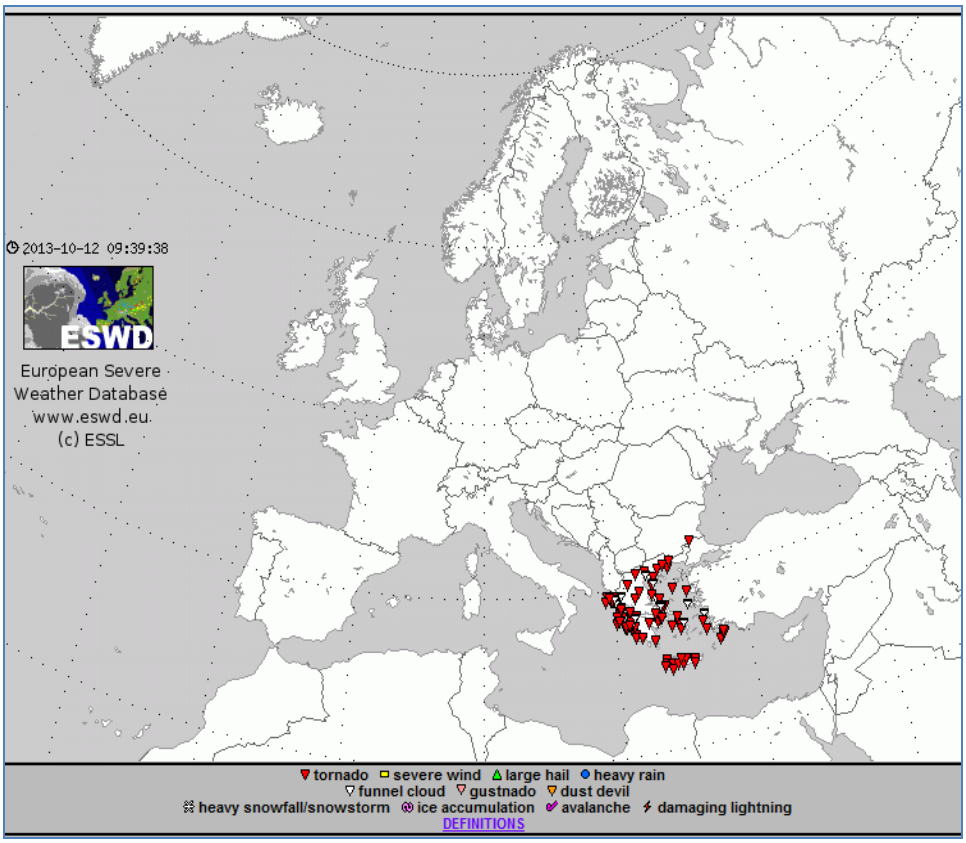
Εικόνα 3.19: Στιγμιότυπο από την υποβολή πληροφοριών σχετικά με την εμφάνιση ενός σίφωνα στη βάση δεδομένων ESWD του ESSL .



Εικόνα 3.20: Χωρική κατανομή όλων των αναφορών σιφώνων (ξηράς και θάλασσας, κόκκινα τρίγωνα) και αναφορών νεφών σίφωνα (λευκά τρίγωνα) στην Ευρώπη, για τη χρονική περίοδο 1/1/2000 έως 30/9/2013, από τη βάση δεδομένων του ESWD.



Εικόνα 3.21: Χωρική κατανομή όλων των αναφορών σιφώνων (ξηράς και θάλασσας, κόκκινα τρίγωνα) και αναφορών νεφών σίφωνα (λευκά τρίγωνα) στην Ευρώπη, για τη χρονική περίοδο 1/1/1700 έως 31/12/1999, από τη βάση δεδομένων του ESWD.



Εικόνα 3.22: Χωρική κατανομή όλων των αναφορών σιφώνων (ξηράς και θάλασσας, κόκκινα τρίγωνα) και αναφορών νεφών σίφωνα (λευκά τρίγωνα) στην Ελλάδα, για τη χρονική περίοδο 1/1/2000 έως 30/9/2013, από τη βάση δεδομένων του ESWD.

Επίσης η ανάπτυξη του διαδικτύου και γενικότερα της τεχνολογίας (κινητά τηλέφωνα με ενσωματωμένες κάμερες, κ.ά.) δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να κοινοποιεί άμεσα την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων σε αντίθεση με τα προηγούμενα χρόνια που απουσίαζαν τέτοια τεχνολογικά επιτεύγματα. Στο χρονικό διάστημα από 1-1-1700 έως 31-12-1999 έχουν υποβληθεί 3436 αναφορές στην ESWD, οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ως εξής: 3 γεγονότα ως QC0, 879 γεγονότα ως QC0+, 830 γεγονότα ως QC1 και 1724 γεγονότα ως QC2.

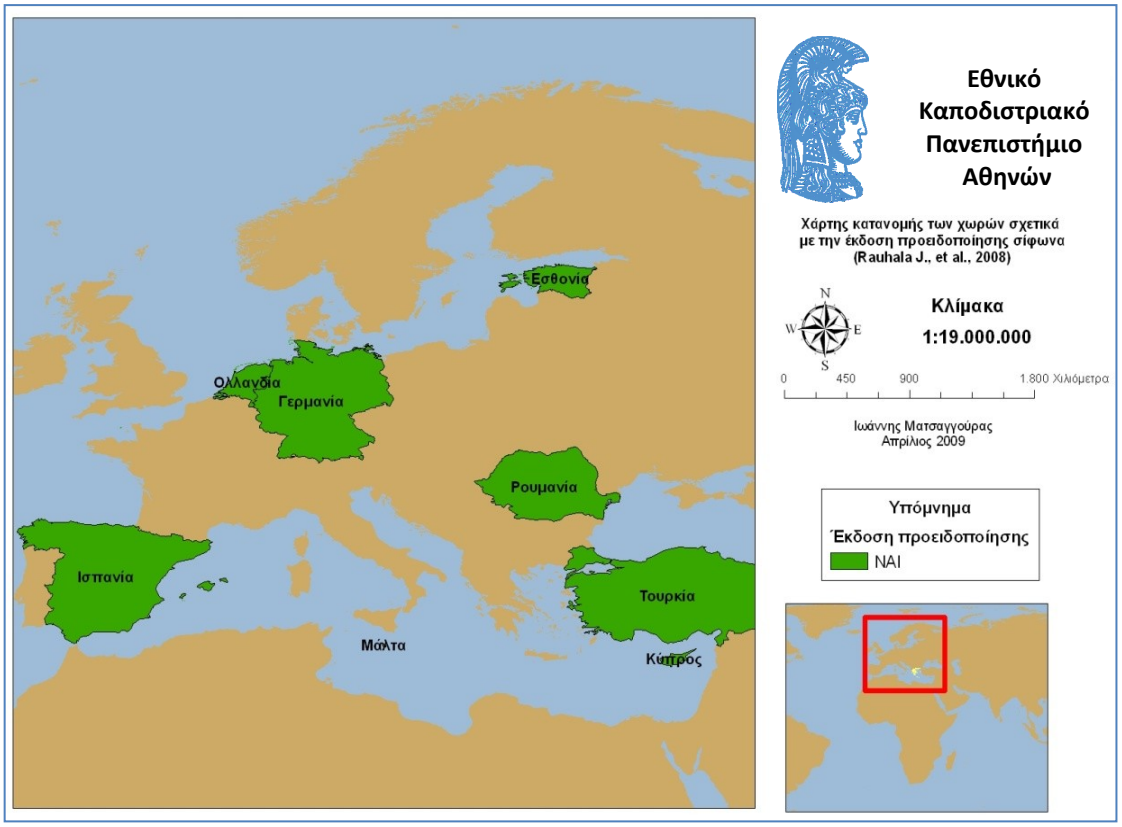
Η χωρική κατανομή των σιφώνων για την Ελλάδα, με βάση τις υποβληθέντες αναφορές στη ESWD, για τη χρονική περίοδο 1-1-2000 έως 30-9-2013 αποτυπώνεται στην Εικόνα 3.22. Έχουν υποβληθεί 159 αναφορές και αφορούν σίφωνες ξηράς θάλασσας και χοανοειδή νέφη σίφωνα. Το σύνολο των γεγονότων έχουν κατηγοριοποιηθεί ως εξής: 16 γεγονότα ως QC0, 59 γεγονότα ως QC0+, 81 γεγονότα ως QC1 και 3 γεγονότα ως QC2. Η χωρική κατανομή αποτυπώνει ότι οι σίφωνες έχουν εμφανιστεί σχεδόν σε όλη τη χώρα, με αυξημένη πυκνότητα στα δυτικά τμήματα (περιοχή Ιονίου, δυτική Ήπειρος, δυτική Στερεά Ελλάδα και δυτική Πελοπόννησος). Υψηλή πυκνότητα επίσης εντοπίζεται στην περιοχή της Αττικής, στην περιοχή της Κρήτης, στην κεντρική Μακεδονία, στις Σποράδες και στα νησιά του ανατολικού Αιγαίου (κυρίως τη Ρόδο).

Στην Ευρώπη ο μηχανισμός έγκαιρης προειδοποίησης για την εμφάνιση σιφώνων διαφέρει από χώρα σε χώρα καταδεικνύοντας τον τρόπο και τη φιλοσοφία που διαχειρίζονται οι Μετεωρολογικές Υπηρεσίες το καταστρεπτικό φαινόμενο του σίφωνα [105].

Στην Ευρώπη οι χώρες που εκδίδουν προειδοποίηση για σίφωνα είναι η Ισπανία, η Ολλανδία, η Γερμανία, η Εσθονία, η Μάλτα, η Ρουμανία και η Κύπρος (Εικόνα 3.23) [105]. Τα τελευταία χρόνια προστέθηκε και η Τουρκία η οποία εκδίδει προειδοποίηση σίφωνα βασιζόμενη σε αλγόριθμο του μετεωρολογικού Radar, 20-30 min πριν την εμφάνιση του. Την ιδία μεθοδολογία έκδοσης προειδοποίησης ακολουθούν η Εσθονία και η Ρουμανία. Στην Γερμανία, την Κύπρο και την Ολλανδία η προειδοποίηση σίφωνα εκδίδεται όταν παρατηρηθεί ο σίφωνας (επαφή με το έδαφος του χοανοειδούς νέφους).

Η πρώτη προειδοποίηση στην Ευρώπη εκδόθηκε το 1967 από την Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ολλανδίας. Μετά τον θανατηφόρο σίφωνα εκείνης της χρονιάς αποφεύγεται η χρήση του όρου «σίφωνας» και εκδίδουν προειδοποιήσεις μόνο για σίφωνες θάλασσας.

Στην χώρα μας δεν εκδίδεται προειδοποίηση για σίφωνα παρά μόνο προειδοποιήσεις για καταιγίδες επ' ωφελεία της ασφάλειας πτήσεων. Ωστόσο, όταν προβλέπεται σημαντική μεταβολή του καιρού με ισχυρά φαινόμενα ενημερώνεται η Πολιτική Προστασία και τα ΜΜΕ.



Εικόνα 3.23: Χώρες οι οποίες εκδίδουν προειδοποίηση σίφωνα στην Ευρώπη [105].

Στην Ελλάδα Οι αναφορές εμφάνισης σιφώνων ιδιαίτερα πριν το έτος 2000 περιορίζονται σε ελάχιστες βιβλιογραφικές αναφορές ερευνητών όπως των [106], [107], [108] και [109]. Ωστόσο μετά το 2000 ο ερευνητής Μ. Σιούτας, άρχισε να καταγράφει και να αποτυπώνει την εμφάνιση του φαινομένου στη χώρα μας μέσα από τις καταστροφές των σιφώνων στις γεωργικές καλλιέργειες μιας και εργάζεται στον Ελληνικό Οργανισμό Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ). Ως συγγραφέας ή ως συ-συγγραφέας παρουσίασε σημαντική βιβλιογραφία με την χωροχρονική κατανομή των σιφώνων στη χώρα μας με βάση την προσωπική του βάση δεδομένων [110], [93], [102] [92], [94].

4 Ιστότοπος καταγραφής σιφώνων και υδροσιφώνων του Πανεπιστημίου Αθηνών

4.1 Εισαγωγή

Κατά την διαδικασία αναζήτησης γεγονότων σιφώνων και υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο παρατηρήσαμε ότι σημαντικός αριθμός γεγονότων είχαν καταγραφεί ως απλά μια είδηση ή πληροφορία σε διάσπαρτους ιστότοπους και φύλλα εφημερίδων ημερήσιας κυκλοφορίας. Στη χώρα μας ο φορέας που καταγράφει σημαντικές μετεωρολογικές πληροφορίες (όπως τη βροχή, τη θερμοκρασία, τον άνεμο την υγρασία κ.ά.) μέσα από το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών του, είναι η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ).

Ωστόσο, η ΕΜΥ δεν καταγράφει φαινόμενα σίφωνα ή υδροσίφωνα που εκδηλώνονται στη χώρα ακόμη και αν αυτά δημιουργούνται κοντά στους μετεωρολογικούς σταθμούς της. Εξαίρεση αποτελεί η εμφάνιση σίφωνα την ώρα εκτέλεσης της συνοπτικής παρατήρησης στις κύριες συνοπτικές ώρες : 00:00, 06:00, 12:00 και 18:00 UTC, στην ομάδα του παρόντος καιρού με τον κωδικό αριθμό 99.

Η καταγραφή γίνεται μόνο αν ο σίφωνας εμφανιστεί στην ευρύτερη περιοχή του μετεωρολογικού σταθμού (~ 8 km) και 10 min πριν τη σύνταξη τις συνοπτικής παρατήρησης. Επίσης στην ομάδα παρελθόντος καιρού δεν δίνεται η δυνατότητα να αναφέρει ο παρατηρητής αν εμφανίστηκε παρόμοιο γεγονός μεταξύ των δύο συνοπτικών μηνυμάτων. Αυτοί οι περιορισμοί έχουν ως αποτέλεσμα να έχουν καταγραφεί ελάχιστα γεγονότα στη βάση δεδομένων της ΕΜΥ.

Επιπροσθέτως, κανένα ανώτατο εκπαιδευτικό ή ερευνητικό ίδρυμα στη χώρα μας δεν έχει αναπτύξει κάποια βάση δεδομένων με πληροφορίες σχετικά με την χωρική και χρονική εμφάνιση των σιφώνων και υδροσιφώνων στη χώρα μας με, με σκοπό την περαιτέρω ερευνητική μελέτη του φαινομένου.

Με σκοπό να καλύψουμε το κενό της καταγραφής των φαινομένων από έναν επίσημο ανώτατο εκπαιδευτικό ή ερευνητικό φορέα στο Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος (ΕΚΑΠ) του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ) αναπτύξαμε μια διαδικτυακή πλατφόρμα πληροφόρησης και καταγραφής των σιφώνων και υδροσιφώνων που εκδηλώνονται στην Ελλάδα (Εικόνα 4.1).

Ο ιστότοπος βρίσκεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση http://tornado.geol.uoa.gr/ και φιλοξενείται σε ηλεκτρονικό διακομιστή του ΕΚΠΑ, ενώ διαχειρίζεται από τον συγγραφέα της παρούσας διατριβής και τον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Νάστο Παναγιώτη. Ακολούθως παραθέτουμε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία καταγραφής και επαλήθευσης των αναφορών σιφώνων που λαμβάνει το Εργαστήριο Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος.

Εικόνα 4.1: Ο ιστότοπος καταγραφής σιφώνων του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών (http://tornado.geol.uoa.gr/).

4.2 Ιστότοπος καταγραφής σιφώνων του Πανεπιστημίου Αθηνών

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ενημερωθεί για τα χαρακτηριστικά των σιφώνων (κλίμακες έντασης), την εμφάνιση του τελευταίου σίφωνα, την χωροχρονική κατανομή τους στην Ελλάδα και τη σχετική βιβλιογραφία για την εμφάνιση σιφώνων στην Ελλάδα. Παρά τον ενημερωτικό του χαρακτήρα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αναφέρει στο ΕΚΠΑ την εμφάνιση ενός σίφωνα στη χώρα μας. Η αναφορά του σίφωνα στους διαχειριστές του συστήματος γίνεται αυτόματα μόλις ο χρήστης συμπληρώσει τα 3 απλά βήματα υποβολής της αναφοράς. Ο χρήστης επιλέγοντας από την κεντρική σελίδα τον σύνδεσμο «Αναφορά Σίφωνα» μεταφέρεται σε ένα φιλικό περιβάλλον όπου θα πρέπει να συμπληρώσει τα στοιχεία εμφάνισης του σίφωνα (Εικόνα 4.2). Ο χρήστης σε γνωστό περιβάλλον της Google map μεταφέρει τη θέση του σίφωνα και έχει τη δυνατότητα να μεγεθύνει τον χάρτη ώστε να εντοπίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια το σημείο όπου τον εντόπισε, ενώ αυτόματα οι συντεταγμένες εισάγονται στην αναφορά.

Ακολούθως, εισάγει πληροφορίες που αφορούν:

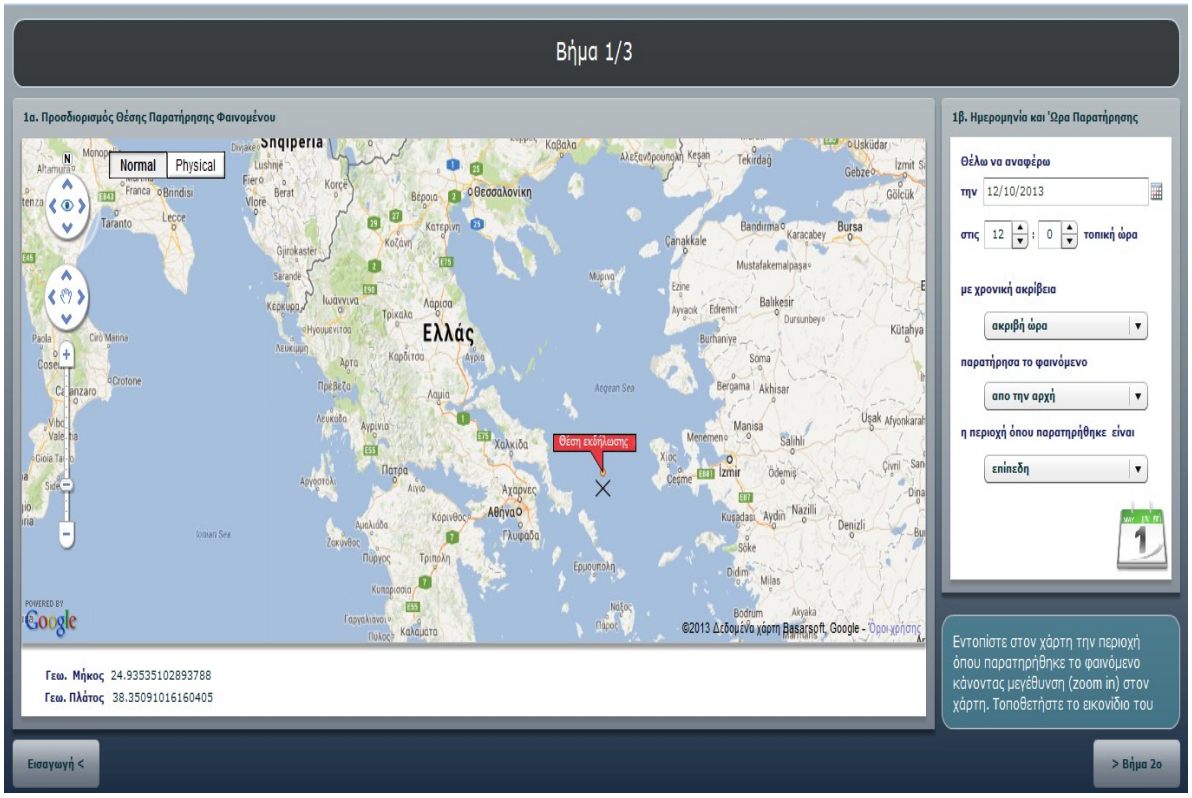
1) την ημερομηνία παρατήρησης

2) την ώρα παρατήρησης με βήμα 5 min

3) την χρονική ακρίβεια του φαινομένου (π.χ. ακριβή ώρα ή ± 15 min κ.ά.)

4) εάν παρατήρησε το φαινόμενο από την αρχή, στη διάρκεια ή στη λήξη του και

5) εάν η περιοχή όπου το εντόπισε είναι επίπεδη ή έχει μικρές εδαφικές εξάρσεις ή ακόμη αν είναι ορεινή.



Εικόνα 4.2: Το 1^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/).

Ακολούθως ο χρήστης μεταβαίνει στο 2^{ο} βήμα (Εικόνα 4.3-4.4) όπου έχει τη δυνατότητα να αναφέρει επιπρόσθετες πληροφορίες όπως:

1) το είδος του φαινομένου ανάμεσα σε: σίφωνα ξηράς, υδροσίφωνα, χοανοειδές νέφος, στροβιλιζόμενη δίνη αέρα ή κάποιο άλλο φαινόμενο. Παράλληλα, οπτικοποιείται το φαινόμενο που επιλέγει αλλά και μία σύντομη περιγραφή του για την αποφυγή λανθασμένων αναφορών (Εικόνα 4.3α).

2) περιγράφει την εξέλιξη του φαινομένου και επιλέγει αν έχει ξανά παρατηρηθεί παρόμοιο φαινόμενο στην περιοχή (Εικόνα 4.3β)

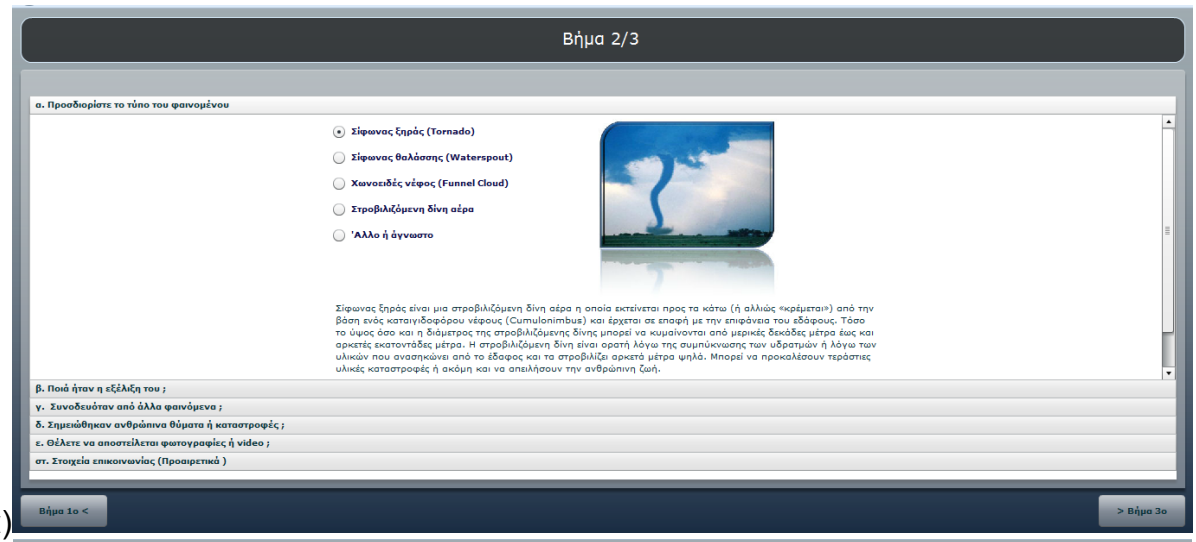
3) επιλέγει αν το φαινόμενο του σίφωνα συνοδευόταν από άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα όπως χαλάζι, ηλεκτρικές εκκενώσεις, ισχυρούς άνεμους και βροχή (Εικόνα 4.3γ).

4) μπορεί να αναφέρει τον αριθμό των ανθρώπινων θυμάτων ή και τραυματιών καθώς επίσης να περιγράψει τις επιπτώσεις του σίφωνα στις καλλιέργειες (π.χ. αν ξερίζωσε δέντρα) και στις δομικές κατασκευές (π.χ. στέγες, πινακίδες) (Εικόνα 4.4α).

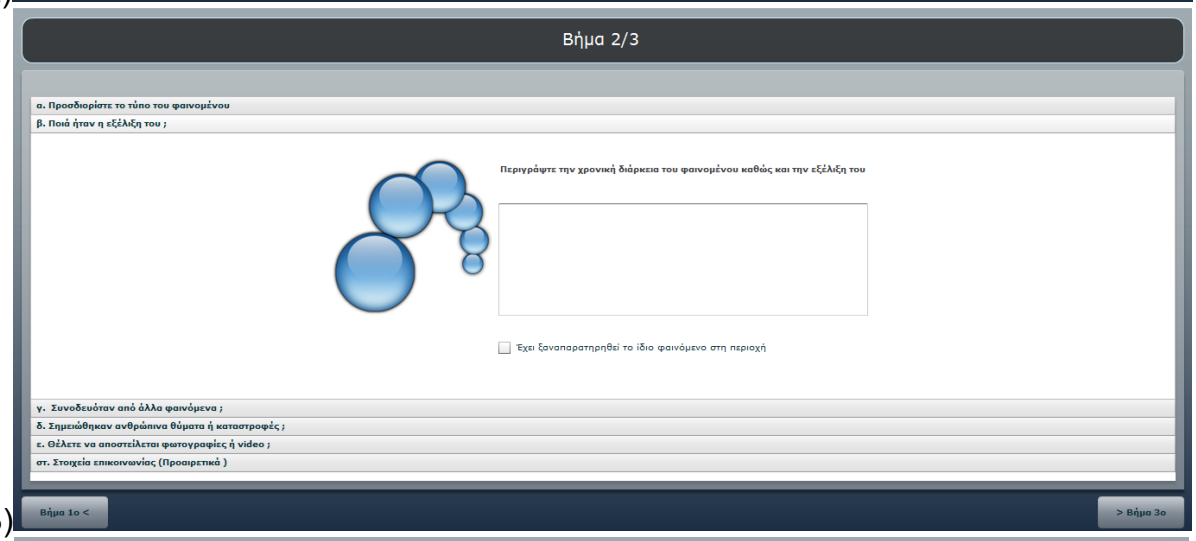
5) να επισυνάψει αρχεία εικόνων ή video που επιβεβαιώνουν την αναφορά του (Εικόνα 4.4β) και

6) να προσθέσει τα στοιχεία επικοινωνίας του ώστε να μπορέσουμε να επικοινωνήσουμε μαζί του για τυχόν περαιτέρω συμπληρωματικά στοιχεία της αναφοράς του (Εικόνα 4.4γ).

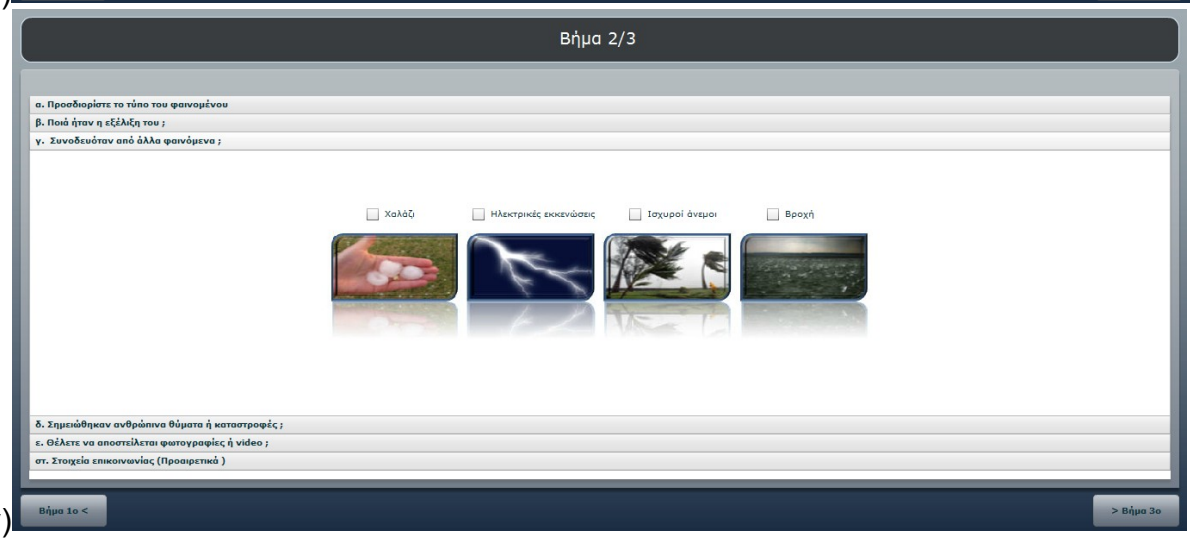
α)



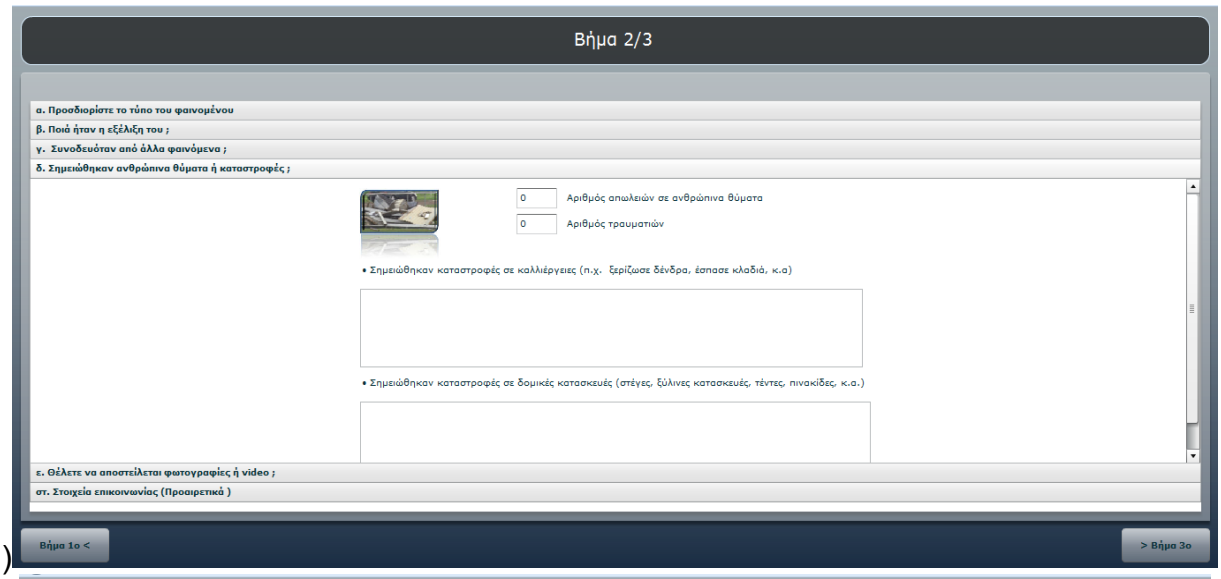
β)



γ)

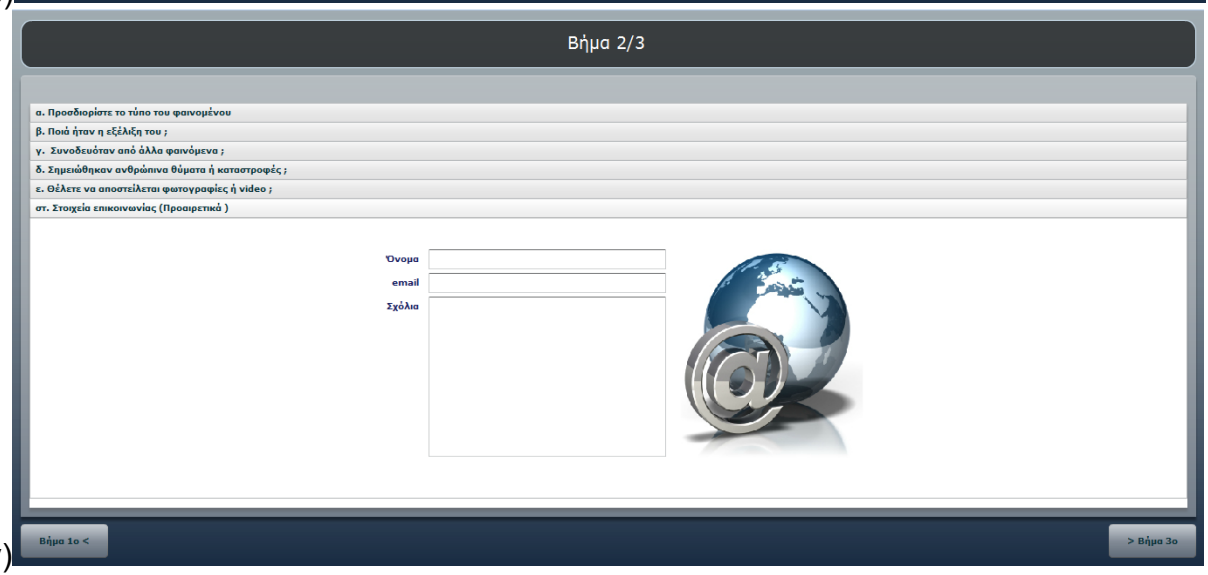


Εικόνα 4.3: Το 2^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/) όπου ο χρήστης α) επιλέγει τον τύπο του φαινομένου, β) περιγράφει την εξέλιξη.



α)

β)

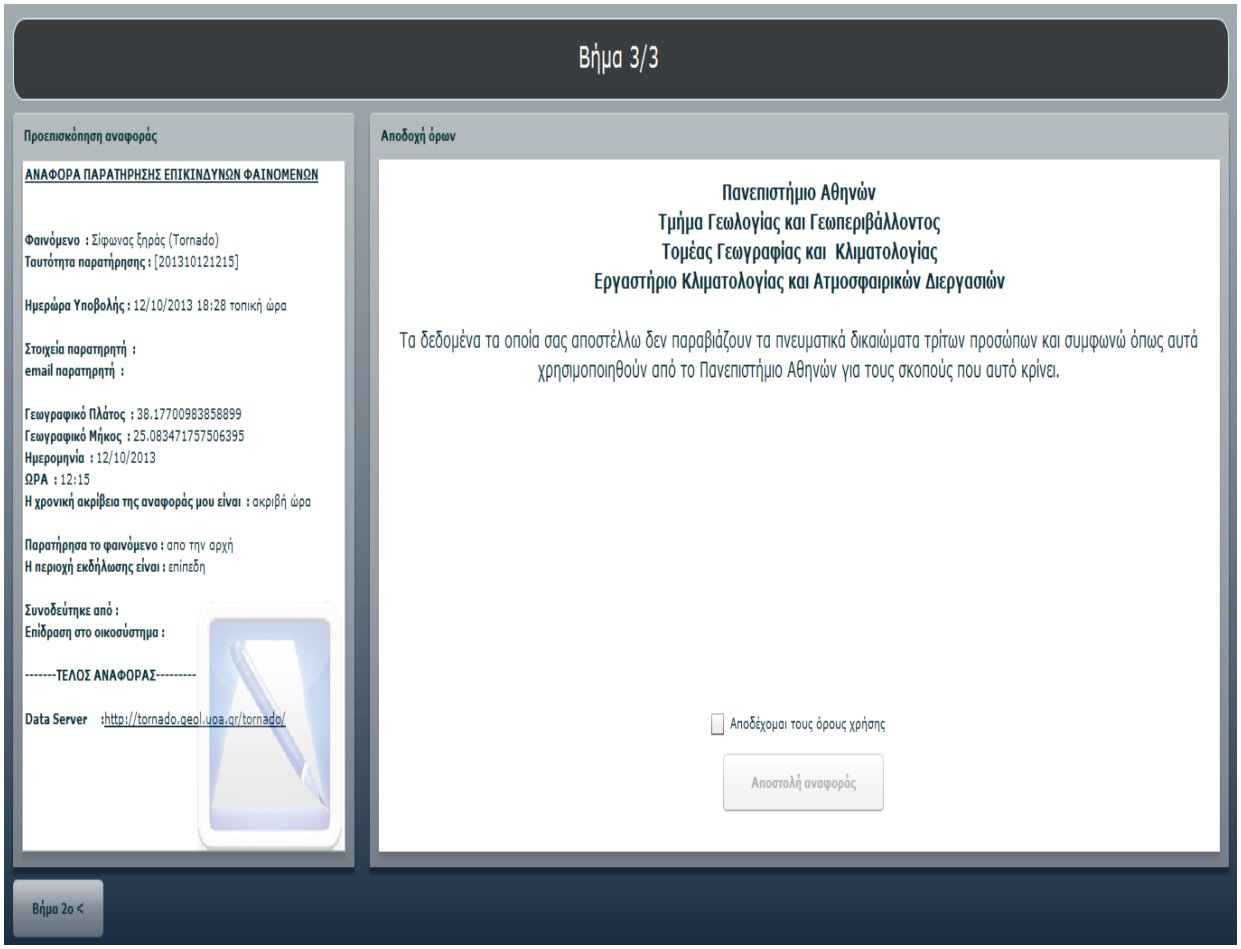


γ)

Εικόνα 4.4: Το 2^{ο} βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/) όπου ο χρήστης α) αναφέρει αν υπάρχουν ανθρώπινα θύματα, τραυματίες και δομικές καταστροφές, β) επιλέγει τον τύπο του φαινομένου, β) μπορεί να επισυνάψει αρχεία εικόνων ή video και γ) να συμπληρώσει τα στοιχεία επικοινωνίας του.

Ακολούθως ο χρήστης μεταβαίνει στο 3° βήμα (Εικόνα 4.5) όπου στο αριστερό μέρος αποτυπώνεται μία σύντομη περίληψη της αναφοράς του. Η αναφορά θα αποσταλεί στον ηλεκτρονικό διακομιστή (server) του ΕΚΠΑ, όταν ο χρήστης αποδεχθεί τους όρους χρήσης της εφαρμογής, επιβεβαιώνοντας ότι τα δεδομένα τα οποία αποστέλλει δεν παραβιάζουν τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων προσώπων και συμφωνεί όπως αυτά χρησιμοποιηθούν από το ΕΚΠΑ για τους σκοπούς που αυτό κρίνει.

Με την επιλογή «Αποστολή Αναφοράς» από τον χρήστη, όλες οι πληροφορίες που υποβλήθηκαν και τα αρχεία που επισυνάφθηκαν, αποθηκεύονται στον server του Πανεπιστημίου Αθηνών σε προκαθορισμένη διεύθυνση/θέση. Ταυτόχρονα ένα αυτοματοποιημένο ηλεκτρονικό μήνυμα αποστέλλεται στους διαχειριστές του συστήματος, ενημερώνοντας τους για την νέα αναφορά που εισήλθε στη σύστημα. Ένα παράδειγμα αυτοματοποιημένου μηνύματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6 και αποτυπώνει τις πληροφορίες όπως εμφανίζονται στην οθόνη του διαχειριστή για την εμφάνιση ενός χοανοειδούς νέφους σίφωνα στις 17/8/2001 και ώρα 18:25 (τοπική ώρα) καθώς επίσης και το επισυναπτόμενο αρχείο του χρήστη για την επιβεβαίωση της αναφοράς. Σε όλες τις υποβληθείσες αναφορές, το σύστημα αυτόματα τους αποδίδει ένα χαρακτηριστικό όνομα αναζήτησης ως ID:YYYYMMDDHHMM, όπου YYYY το έτος αναφοράς, MM ο μήνας εμφάνισης, DD η ημερομηνία, HH η ώρα και MM τα λεπτά παρατήρησης).



Εικόνα 4.5: Το 3° βήμα υποβολής αναφορά σίφωνα μέσα από τον ιστότοπο του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του ΕΚΠΑ (http://tornado.geol.uoa.gr/) όπου ο χρήστης αποδέχεται τους όρους χρήσης της εφαρμογής και ότι δεν παραβιάζει πνευματικά δικαιώματα τρίτων.

ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Φαινόμενο : Χοανοειδές νέφος (Funnel Cloud)
Ταυτότητα παρατήρησης : [ID:201105171825]
Ημερομ. και ώρα Υποβολής : 19/5/2011 23:28 τοπική ώρα
Στοιχεία παρατηρητή: Γαστεράτος Γιάννης
Email παρατηρητή: gaster1@otenet.gr
Γεωγραφικό Πλάτος :39.55702465643503
Γεωγραφικό Μήκος :20.07283020019515
Ημερομηνία : 17/05/2011
ΩΡΑ : 18:25
Η χρονική ακρίβεια της αναφοράς μου είναι : ακριβή ώρα
Παρατήρησα το φαινόμενο : από την αρχή
Η περιοχή εκδήλωσης είναι : επίπεδη
Η εξέλιξη του φαινομένου : Σχηματίστηκε τις 18:25 και διαλύθηκε σε περίπου ένα λεπτό.
Έχει ξανά παρατηρηθεί το ίδιο φαινόμενο στην περιοχή: Ναι
Συνοδεύτηκε από : Βροχή
Επίδραση στο οικοσύστημα : Όχι
Συνοδευτικά αρχεία :Εικόνα 1) funnel 17.5.2011.JPG
-------ΤΕΛΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ---------

Data Server :http://tornado.geol.uoa.gr/tornado/
Reported by:79.130.56.141

Εικόνα 4.6: Παράδειγμα αυτοματοποιημένου ηλεκτρονικού μηνύματος που αποστέλλεται στους διαχειριστές του συστήματος. Στο συγκεκριμένο ηλεκτρονικό μήνυμα αναφέρεται ένα χοανοειδές νέφος στις 17/5/2011 και τοπική ώρα 18:25 (τοπική ώρα) στην περιοχή της Κέρκυρας.

Για τη διασφάλιση της ποιότητας των παρατηρήσεων έχουμε θεσπίσει έναν έλεγχο ψευδότητας/αξιοπιστίας των αναφορών. Μετά την αποθήκευση της αναφοράς στο σύστημα ο διαχειριστής ελέγχει και επαληθεύει την αναφορά με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

1) εάν έχει δημοσιευθεί/καταγραφεί σε ΜΜΕ (π.χ. εφημερίδες, web, TV) το γεγονός

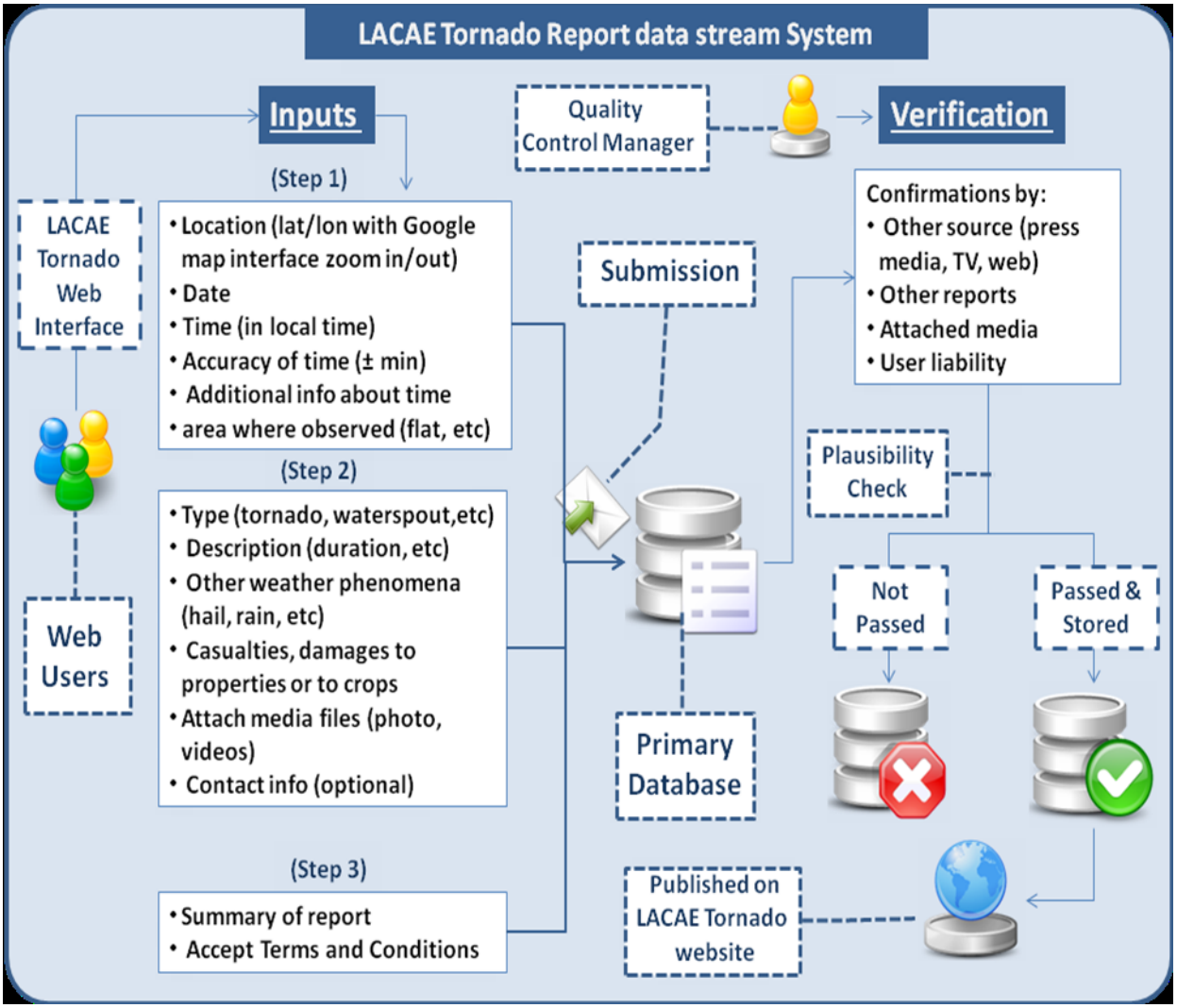
2) εάν έχουν εισέλθει στο σύστημα άλλες αναφορές από τρίτους χρήστες

3) εάν έχουν επισυναφθεί αρχεία επιβεβαίωσης όπως εικόνες και video και

4) από την αξιοπιστία του χρήστη (σημαντικός αριθμός επιβεβαιωμένων παρατηρήσεων)

Μετά τον έλεγχο ψευδότητας και αξιοπιστίας των αναφορών όλες οι αναφορές δημοσιεύονται στο σχετικό ιστότοπο. Μέχρι και την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας ο αριθμός των δημοσιευμένων αναφορών είναι σημαντικός και δεν περιορίζεται σε σημαντικά γεγονότα σίφωνα που προκάλεσαν μόνο σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία. Όμως, μετά την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας το πλήθος των παρατηρήσεων αλλά και η συνολική χωροχρονική κατανομή των φαινομένων στην Ελλάδα θα δημοσιευθεί στον ιστότοπο, δίνοντας τη δυνατότητα σε άλλους ερευνητές να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη βάση δεδομένων. Στην Εικόνα 4.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των σταδίων εισαγωγής δεδομένων αναφοράς σίφωνα στο σύστημα του ΕΚΠΑ, της αποθήκευσης, επαλήθευσης, επιβεβαίωσης και δημοσίευσης των γεγονότων στο σχετικό ιστότοπο http://tornado.geol.uoa.gr.

Η συστηματική καταγραφή των γεγονότων και η ανάπτυξη του συστήματος ξεκίνησε το 2007 και ολοκληρώθηκε με τη δημοσίευση του ιστότοπου το 2010. Από την αρχή λειτουργίας του συστήματος περισσότερες από 110 αναφορές εισήλθαν στο σύστημα και 96 θεωρήθηκαν ως επιβεβαιωμένα γεγονότα σίφωνα, υδροσίφωνα ή χοανοειδών νεφών. Στην αρχή του 2012, το ΕΚΑΠ προχώρησε στην υπογραφή σχετικής συμφωνίας με το ESWD/ESSL για την προώθηση των αναφορών του σιφώνων που εισέρχονται στο σύστημα του στο ESWD, ώστε να είναι διαθέσιμα και στην λοιπή Ευρωπαϊκή ερευνητική κοινότητα. Μέσω της συνεργασίας αυτής, αναλάβαμε εκτός από την προώθηση των αναφορών της Ελλάδος και: 1) τον έλεγχο όλων των ήδη υποβληθέντων αναφορών και 2) την επαλήθευση όλων των νέων αναφορών ακραίων καιρικών φαινομένων που υποβάλλονται στο ESWD και εμφανίζονται στην Ελλάδα. Δεδομένου ότι ο ιστότοπος του ESWD είναι διαθέσιμος σε 16 γλώσσες σε δεύτερο χρόνο το ΕΚΑΠ θα συνεργαστεί με τους διαχειριστές του συστήματος για την πλήρη μετάφραση του ιστότοπου τους στην Ελληνική γλώσσα, δίνοντας τη δυνατότητα σε χρήστες οι οποίοι δεν γνωρίζουν την Αγγλική γλώσσα να μπορούν να υποβάλουν αναφορές για ακραία καιρικά φαινόμενα.



Εικόνα 4.7: Διάγραμμα ροής των σταδίων εισαγωγής δεδομένων αναφοράς σίφωνα στο σύστημα του Πανεπιστημίου Αθηνών, της αποθήκευσης, επαλήθευσης, επιβεβαίωσης και δημοσίευσης στον ιστότοπο του http://tornado.geol.uoa.gr.

5 Χωρική και χρονική κατανομή των σιφώνων ξηράς και θάλασσας στον Ελλαδικό χώρο

5.1 Εισαγωγή

Στο 5^{ο} Κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία βάσης δεδομένων σιφώνων ξηράς, θάλασσας και νεφών σιφώνων που εκδηλώθηκαν στον Ελλαδικό χώρο τα τελευταία 300 χρόνια. Επιπροσθέτως παρουσιάζεται η χωρική και χρονική κατανομή των γεγονότων στον Ελλαδικό χώρο. Η χωρική κατανομή αφορά συγκεκριμένες γεωγραφικές υποπεριοχές που ορίσθηκαν, ενώ η χρονική κατανομή αφορά την ετήσια, μηνιαία, εποχική και ημερήσια κατανομή ανά κατηγορία των φαινομένων. Επιπροσθέτως, η χωρική και χρονική κατανομή των φαινομένων παρουσιάζεται με βάση την εμφάνισή τους σε 2 χρονικές περιόδους: α) τα ιστορικά γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν κατά τη χρονική περίοδο 1/1/1709 έως 31/12/1999 και β) τα πρόσφατα γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012. Η χωρική χρονική κατανομή εμπλουτίζεται με ιστορικές αναφορές για την εμφάνιση σιφώνων στην ΝΑ Ευρώπη, από την κλασσική εποχή έως το τέλος του 20^{ου} αιώνα, αποδεικνύοντας ότι η εμφάνιση σίφωνα είναι ένα φαινόμενο που εμφανιζόταν και θα εμφανίζεται στον Ελλαδικό χώρο. Τέλος, παρουσιάζονται χωρικά οι επιπτώσεις των σιφώνων που εκδηλώθηκαν στη χώρα μας τα τελευταία 300 χρόνια παραθέτοντας πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των ανθρώπινων θυμάτων/τραυματισμών αλλά και των γενικότερων επιπτώσεων σε δομικές κατασκευές και καλλιέργειες.

5.2 Δεδομένα και Μεθοδολογία

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα δεδομένα και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην καταγραφή των σιφώνων στη χώρα μας. Λόγω της διαφορετικής μεθοδολογίας, των πηγών και της ομοιογένειας των δεδομένων ως προς τον χρόνο, η ακόλουθη κλιματολογία των σιφώνων στην Ελλάδα μπορεί να διαχωριστεί σε 2 χρονικές περιόδους ή σύνολα δεδομένων: 1) σε μία ανομοιογενή χρονοσειρά δεδομένων σιφώνων, από το 1709 έως το 1999, με διάσπαρτα γεγονότα ως προ τη χρονική εμφάνιση τους και 2) σε μία ομοιογενή χρονοσειρά δεδομένων σιφώνων από το 2000 έως το 2012, με σχεδόν το σύνολο των δεδομένων να είναι πλήρως κατανεμημένο ως προς τη χρονική εμφάνισή τους.

Η ιστορική βάση δεδομένων, η οποία καλύπτει τη χρονική περίοδο 1709-1999, συντέθηκε ύστερα από μία μεθοδική έρευνα σε μία εκτεταμένη ψηφιακή βάση δεδομένων των Εθνικών Βιβλιοθηκών και εφημερίδων του 19^{ου} και 20^{ου} αιώνα. Μέσα από την τεράστια ψηφιακή συλλογή εφημερίδων της Εθνικής Βιβλιοθήκης, αποτελούμενη από 220.006 σελίδες εφημερίδων, την Ψηφιοθήκη του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου, αναζητήθηκαν λήμματα σχετικά με την εμφάνιση σιφώνων (π.χ. σίφωνας, υδροσίφωνας, ανεμοστρόβιλος, στρόβιλος, ακραίο καιρικό φαινόμενο, κ.ά.).

Η αναζήτηση γεγονότων μέσα από ιστορικές εφημερίδες ημερήσια και εβδομαδιαίας κυκλοφορίας του 19^{ου} και 20^{ου} αιώνα αφορούσε τις ακόλουθες εφημερίδες και περιόδους κυκλοφορίας: 1) Ερμής, 1875 - 1880, 2) Ακρόπολις, 1883 – 1884, 3) Σκριπτ, 1893 – 1963, 4) Εμπρός, 1896 – 1969, 4) Μακεδονία, 1911 -1981, 5) Ελευθερία, 1944 – 1967 και 6) Ταχυδρόμος, 1958 – 1977. Κατά τη διάρκεια αναζήτησης συναντήσαμε πολλάκις αναφορές-δημοσιεύματα για την εμφάνιση σιφώνων και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Μεγ. Βρετανία, η Γερμανία και η Γαλλία.

Λοιπές πηγές αποτέλεσαν βιβλιογραφικές αναφορές για εμφάνιση σιφώνων καθώς επίσης και αναφορές σε περιοδικά της ακαδημαϊκής κοινότητας. Επίσης ιστορικά στοιχεία για την εμφάνιση των σιφώνων (πριν από το 2000), αναζητήθηκαν στη βάση δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), μέσα από την αναζήτηση των συνοπτικών παρατηρήσεων των μετεωρολογικών σταθμών. Η αναζήτηση μέσα από τις συνοπτικές παρατηρήσεις αφορούσε την εύρεση συγκεκριμένης ομάδας παρόντος καιρού κατά την ώρα της συνοπτικής παρατήρησης 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, και 21:00 (όλες UTC).

Η σύνθεση της σύγχρονης βάσης δεδομένων, η οποία καλύπτει τη χρονική περίοδο 1/1/2000-31/12/2012, ολοκληρώθηκε τμηματικά και περιελάμβανε 3 βασικά βήματα – τρόπους καταγραφής, δεδομένης της συνεισφοράς, της ταχύτατης διάδοσης αλλά και αποδοχής του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια στη ζωή μας. Πρώτη πηγή καταγραφής γεγονότων αποτέλεσαν δημοσιευμένες επιστημονικές μελέτες σε διεθνή περιοδικά ή ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια. Ακολούθως, η αναζήτηση επεκτάθηκε στα ήδη υπάρχοντα κέντρα καταγραφής σιφώνων στην Ευρώπη για την άντληση των σχετικών πληροφοριών (ESWD).

Το δεύτερο στάδιο αναζήτησης περιελάμβανε την ηλεκτρονική αναζήτηση στο σύνολο των ηλεκτρικών σελίδων που αφορούσε τον Ελληνικό χώρο. Δεδομένου ότι όλα τα εκδοτικά συγκροτήματα υιοθέτησαν από τις αρχές του 2000 τον ηλεκτρονικό τύπο, ως πρώτο βήμα χαρακτηρίστηκε η αναζήτηση γεγονότων μέσα από τις ηλεκτρονικές εφημερίδες. Η αναζήτηση περιελάμβανε διάφορα λήμματα τόσο στην Ελληνική όσο και στην Αγγλική γλώσσα σχετικά με την εμφάνιση των σιφώνων όπως: σίφωνες, υδροσίφωνες, ανεμοστρόβιλος, στρόβιλος, υδροστρόβιλος, tornado, waterspout, funnel cloud, vortex κ.ά. Με την πρώτη καταγραφή των γεγονότων και τη συνεχή αναζήτηση μέσα από το διαδίκτυο, παρατηρήσαμε την ύπαρξη πολλών αναφορών για την εμφάνιση σιφώνων από εφημερίδες τοπικής κυκλοφορίας σε περιοχές οι οποίες παρουσίαζαν επιδεκτικότητα στην εμφάνιση του φαινομένου. Η αναζήτηση συνεχίστηκε σε ενημερωτικές διαδικτυακές σελίδες σε αυτές τις επιδεκτικές περιοχές, καθώς η αναφορά σίφωνα από εφημερίδες μεγάλης κυκλοφορίας γινόταν μόνο όταν συνοδευόταν από σημαντικές επιπτώσεις του φαινομένου στην ευρύτερη περιοχή. Σε αντίθεση οι διαδικτυακοί ιστότοποι που παρείχαν τοπική ενημέρωση ανέφεραν σχεδόν πάντα το φαινόμενο του σίφωνα ανεξαρτήτως αν προκαλούσε επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία. Ιστότοποι δημόσιας συζήτησης (forum) φίλων της Μετεωρολογίας αποτέλεσε επίσης μία πηγή άντλησης των δεδομένων καθώς είναι μεγάλος ο ενθουσιασμός σημαντικού αριθμού πολιτών που καταγράφουν διάφορα καιρικά φαινόμενα δημοσιεύοντας σχετικές πληροφορίες εμφάνισης όπως φωτογραφίες, ημερομηνίες, ώρα και τυχόν επιπτώσεις.

Το τρίτο βήμα άντλησης των γεγονότων αφορούσε την κατασκευή διαδικτυακής πλατφόρμας (όπως παρουσιάστηκε στο 4^{ο} Κεφάλαιο). Η δημοσίευση του διαδικτυακού ιστότοπου διευκόλυνε όλους τους φίλους της Μετεωρολογίας και αβίαστα έγιναν τα άγρυπνα «μάτια» καταγραφής των φαινομένων. Με την υλοποίηση του ιστότοπου ήταν πλέον πιο εύκολη η παρακολούθηση των γεγονότων και κατ' επέκταση η αξιολόγησή τους, καθώς μειώθηκε σημαντικά η καθημερινή ενασχόληση αναζήτησης, όπως περιγράφθηκε πιο πάνω. Ακολούθως ο ιστότοπος κοινοποιήθηκε σε όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου της ΕΜΥ και σημαντικές πληροφορίες συλλέξαμε από συναδέλφους παρατηρητές και προγνώστες υπηρεσίας όπου είχαν εντοπίσει παρόμοια γεγονότα στην ευρύτερη περιοχή του τομέα ευθύνης τους. Με την ολοκλήρωση του 3^{ου} βήματος προχωρήσαμε στον ποιοτικό έλεγχο των δεδομένων αποκλείοντας εγγραφές-γεγονότα που ταυτίζονταν στα παραπάνω στάδια. Με την ολοκλήρωση του ποιοτικού ελέγχου ο αριθμός των γεγονότων ανήλθε σε 612, από τα οποία 171 ήταν σίφωνες ξηράς, 374 υδροσίφωνες και 67 χοανοειδή νέφη.

Όλα τα δεδομένα (612 γεγονότα) καταχωρήθηκαν σε βάση δεδομένων και τους αποδόθηκε ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό (iD) και συμπληρώθηκαν τα ακόλουθα πεδία (όπου ήταν εφικτό από τις πληροφορίες) σχετικά με την χρονική και χωρική πληροφορία ανά γεγονός:

όσον αφορά τη χρονική πληροφορία:

- Έτος,
- Εποχή,
- Μήνας,
- Ημερομηνία,
- Ώρα,
- Ακρίβεια ώρας,

όσον αφορά τη χωρική πληροφορία:

- Περιφέρεια, νομός,
- Περιοχή – Πόλη
- Γεωγρ. Πλάτος και Μήκος,

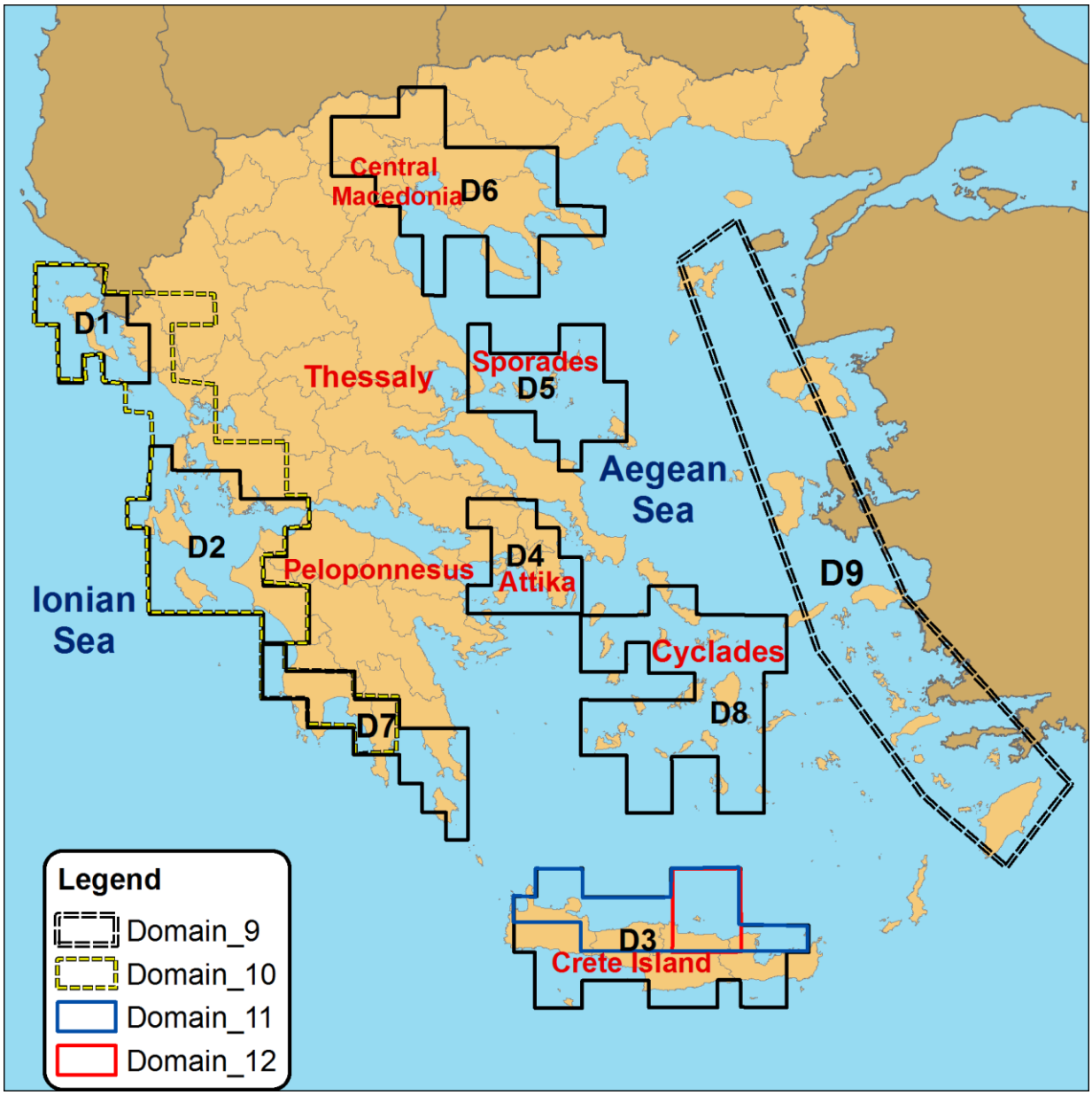
όσον αφορά το γεγονός:

- Τύπος (σίφωνας, υδροσίφωνας, χοανοειδές νέφος),
- αριθμό γεγονότων (π.χ. 2 υδροσίφωνες,)
- συνοδεύονταν (βροχή, χαλάζι, κ.ά.),
- Επιπτώσεις (θάνατοι, τραυματισμοί, ζημιές δομικές – καλλιέργειες,
- πηγή καταγραφής.

Με τη χρήση του λογισμικού ArcGis 9.3 καταχωρήθηκε όλη η βάση δεδομένων και μετατράπηκε σε βάση δεδομένων γεωπληροφοριακών στοιχείων με 612 γεγονότα από τον Φεβρουάριο του 1709 έως το Δεκέμβριο του 2012, καθώς όλες οι εγγραφές σε εισήχθησαν σε shapefile αρχεία του συστήματος, για την παραγωγή θεματικών χαρτών σχετικών με την εμφάνιση των σιφώνων με σκοπό την καλύτερη αποτύπωση των επιδεκτικών περιοχών.

Με τη βοήθεια του ArcGis η περιοχή έρευνας (Ελληνική επικράτεια) χωρίστηκε σε 12 υπό-περιοχές με σκοπό να αναδείξουμε την χωρική και χρονική διακύμανση του φαινομένου (Εικόνα 5.1). Για την ανάλυση αυτή σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε ένα πλέγμα με βήμα 0,2° με σκοπό την αντικειμενική ανάλυση και υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου.

Οι υπό-περιοχές δεν καλύπτουν όλη την επικράτεια της χώρας (π.χ. εξαιρείται η Θεσσαλία) αλλά ωστόσο καλύπτονται περιοχές όπου δημιουργούνται οι περισσότεροι σίφωνες ξηράς, θάλασσας και νέφη σίφωνα. Για την υποπεριοχή D9, δεδομένου των διάσπαρτων γεγονότων κατά μήκος του ανατολικού Αιγαίου, δεν ακολουθήθηκε η εφαρμογή του παραπάνω πλέγματος για τον υπολογισμό της χωρικής συχνότητας εμφάνισης. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόσαμε ένα ελεύθερο σχήμα στο οποίο συμπεριλάβαμε όλα τα γεγονότα του ανατολικού Αιγαίου. Η περιοχή της Θεσσαλίας δεν λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό της συχνότητας διότι υπήρχε σχετική γεωγραφική ανακρίβεια (με σημαντική απόκλιση) αρκετών γεγονότων. Σχετικά με τη μελέτη της ετήσιας, εποχικής, μηνιαίας και ημερήσιας διακύμανσης του φαινομένου χρησιμοποιήθηκαν όλα τα γεγονότα εντός και εκτός των υποπεριοχών.



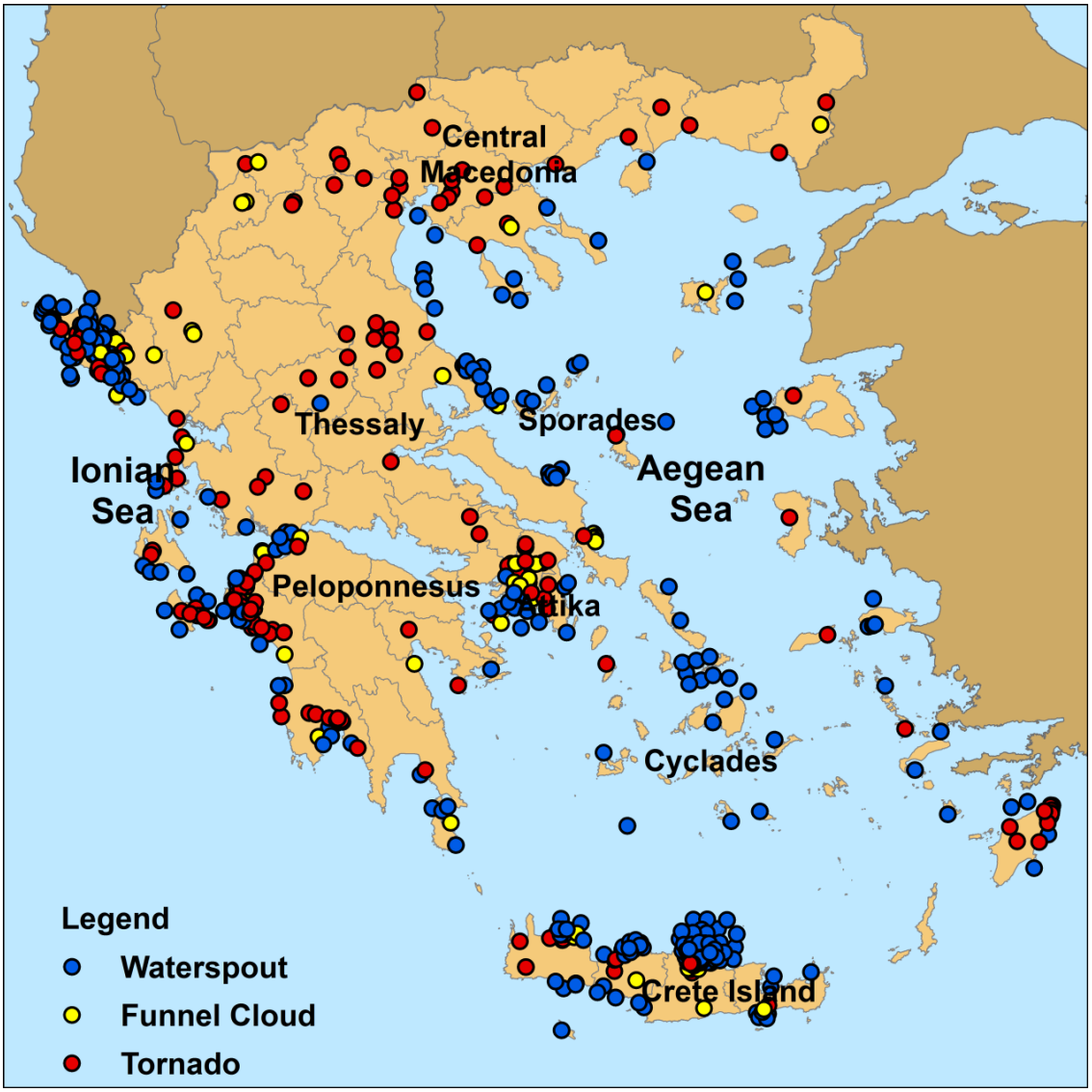
Εικόνα 5.1: Αποτύπωση των υποπεριοχών με την χρήση GIS. Η D1 είναι στο βόρειο Ιόνιο και περιλαμβάνει την Κέρκυρα, η D2 στο κεντρικό Ιόνιο και περιλαμβάνει τη ΒΔ Πελοπόννησο, η D3 αφορά την Κρήτη, η D4 την περιοχή της Αττικής. Η D5 περιλαμβάνει το σύμπλεγμα των Σποράδων, η D6 την κεντρική Μακεδονία, η D7 τη νότια περιοχή της Πελοποννήσου ενώ η D8 τις Κυκλάδες και η D9 το ανατολικό Αιγαίο. Η D10 περικλείει τη δυτική Ελλάδα, η D11 το βόρειο κομμάτι της D3 και η D12 την περιοχή βόρεια της πόλης του Ηρακλείου.

Η χωρική ανάλυση των τελευταίων 13 χρόνων παρουσιάζεται ακολούθως στην υποενότητα 5.5.1 ενώ η ανάλυση σχετική με τη χρονική διακύμανση του φαινομένου αποτυπώνεται στην υποενότητα 5.5.2. Ακολούθως για λόγους συντομογραφίας και αποφυγής παρερμηνειών ως προς τις αναλύσεις, με τον όρο TE (Tornadic Events) χαρακτηρίζονται όλα τα γεγονότα τα οποία είτε είναι σίφωνες ξηράς, είτε είναι υδροσίφωνες, είτε χοανοειδή νέφη, ενώ με τους όρους: 1) TR (ToRnado) χαρακτηρίζουμε τους σίφωνες ξηράς, 2) WS (WaterSpout) χαρακτηρίζουμε τους υδροσίφωνες ή σίφωνες θάλασσας και 3) FC (Funnel Clouds) χαρακτηρίζουμε τα χοανοειδή νέφη σίφωνα.

Στην ακόλουθη χωροχρονική ανάλυση παρουσιάζονται τα 612 γεγονότα TE, τα οποία εμφανίστηκαν σε 405 μοναδικές ημέρες (ημέρα με πολλαπλά γεγονότα εμφάνισης TE

θεωρήθηκε ως 1 ημέρα). Τα 612 γεγονότα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τον τύπο τους: 171 TR, 374 WS και 67 FC. Η μελέτη περιλαμβάνει τα γεγονότα που εμφανίστηκαν τη χρονική περίοδο από το 1709 έως το 2012. Το πρώτο γεγονός αφορά την εμφάνιση WS στην περιοχή Γαρίτσα της Κέρκυρας, στις 13 Φεβρουαρίου 1709 στην υποπεριοχή D1. Τελευταίο γεγονός στην ανάλυση μας θεωρείται η εκδήλωση TR στη Ρόδο, στις 31 Δεκεμβρίου 2012 (υποπεριοχή D9). Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται η χωρική/γεωγραφική κατανομή των συνολικά 612 γεγονότων που καταγράψαμε κατά την περίοδο 1709-2012. Αντίστοιχοι χάρτες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια αποτυπώνοντας τη χωρική κατανομή των ιστορικών γεγονότων (1709-1999) αλλά και των πρόσφατων ΤΕ που αναπτύχθηκαν τα τελευταία 13 χρόνια (2000-2012).

Στο παρόν κεφάλαιο όλες οι εικόνες/σχήματα που αποτυπώνουν χωρική/γεωγραφική κατανομή κατασκευάστηκαν με την χρήση του γεωπληροφοριακού συστήματος ArcGis Desktop έκδοσης 9.3, ενώ όλα τα γεγονότα αποτυπώνονται σε WGS1984 σύστημα γεωαναφοράς.



Εικόνα 5.2: Χωρική κατανομή των γεγονότων σιφώνων (ΤΕ) για τη χρονική περίοδο 1709-2012. Τα μπλε σύμβολα υποδηλώνουν τη θέση δημιουργίας των υδροσιφώνων (waterspout, WS) ενώ τα κόκκινα σύμβολα την θέση των σιφώνων ξηράς (tornado, TR). Τα κίτρινα σύμβολα υποδηλώνουν τη θέση εμφάνισης των χοανοειδών νεφών (Funnel clouds, FC).

5.3 Ιστορικές αναφορές για την εμφάνιση σιφώνων στην Ελλάδα

Οι σίφωνες ήταν γνωστοί στους αρχαίους κλασσικούς φιλοσόφους και προσπάθησαν πολλοί από αυτούς να δώσουν μία πρώτη ερμηνεία ή ακόμη και να εξηγήσουν τον τρόπο σχηματισμού τους. Ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.), στα *Μετεωρολογικά* (371α 9-15) απέδωσε την εμφάνιση του σίφωνα στην προσπάθεια του να ξεφύγει από το σύννεφο. Αργότερα ο Ρωμαίος ποιητής και φιλόσοφος Titus Lucretius Carus (90-50 π.Χ.) στο έργο του Περί της φύσης του Σύμπαντος (*De Rerum Natura*) προσπάθησε να αποτυπώσει 2 μηχανισμούς για τους υδροσίφωνες. Ο Πλίνιος ο δεύτερος (Gaius Plinius Secundus), γνωστός και ως Πλίνιος ο γηραιότερος, (23-79 μ.Χ.) ένας ρωμαίος φιλόσοφος στο έργο του *Ιστορία της Φύσης* (Natural Histor, Book II, 131-134) αναθεώρησε πολλές από τις ιδέες περί του σχηματισμού των στροβίλων.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας συναντήσαμε συνώνυμα των σιφώνων, τα οποία είχαν αποδοθεί στο φαινόμενο σε αρκετές περιοχές της Ελλάδος. Στην Γορτυνία της Αρκαδίας οι σίφωνες ήταν γνωστοί με την ονομασία «*ανεμογαζού»*, ενώ στην περιοχή της Μακεδονίας ως «*ανεμικές»*. Στην περιοχή της Κορίνθου τους συναντούμε με την ονομασία *«σαγανάκια»* ενώ στην Κέρκυρα οι υδροσίφωνες αποκαλούνταν *«τρόμπες»* και *«ρούφουλες»* στην υπόλοιπη δυτική Ελλάδα.

Οι στροβιλιζόμενοι άνεμοι, σύμφωνα με τις τοπικές παραδόσεις των περιοχών, αποκαλούνταν ως ανεμοστρόβιλας, ανεμοστρόβιλος, ανεμορούφουλας και ανεμοστρούφουλας. Ο Charles du Cange (1610-1688 μ.Χ.), ένας εξέχων φιλόλογος και ιστορικός του Μεσαίωνα και του Βυζαντίου, στο σημαντικό έργο του Γλωσσάρι του μεσαίωνα (Glossary of medieval and late Latin, 1678) χρησιμοποιεί το συνώνυμο *ανεμοστρόφιλιον* καθώς περιγράφει την καταστροφή πλοίων από την συστροφή των ανέμων.

Στο φιλολογικό, ιστορικό και αρχαιολογικό περιοδικό Παρνασσός [111], παραθέτονται αναφορές ότι κατά την διάρκεια του μεσαίωνα όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες δεισιδαιμονίες σχετίζονταν με την εμφάνιση των σιφώνων. Αυτές οι αντιλήψεις προέρχονταν από τον θόρυβο και το βουητό που προκαλούσε η κυκλωνική περιστροφή του ανέμου και αποδόθηκε σε δαιμονικές δυνάμεις. Καθώς ο σίφωνας σχηματιζόταν οι άνθρωποι που βρίσκονταν κοντά στη δημιουργία του αλλά και στην τροχιά κίνησής του έπεφταν με το πρόσωπο στη γη λέγοντας προσευχές για να προστατευτούν. Οι [112] παραθέτουν μία προσευχή την οποία οι κάτοικοι της Κέρκυρας χρησιμοποιούσαν για να αποφύγουν τις επιπτώσεις από το καταστροφικό πέρασμα του σίφωνα.

Ο κωμικός Αριστοφάνης, (446-386 π.Χ.) στο έργο του οι «Βάτραχοι» (405 π.Χ.), υποστηρίζει ότι οι ανεμοστρόβιλοι ταυτίζονται με τους δαίμονες: “ὅ δεινὸς ὄφιοππους δαὶμων, ὅ κατὰ τῶν θεῶν πολεμήσας, συνεταὐτι η μετά του ανέμου, πρὸ πάντων τοῦ στροβιλώδους καί ἐφυρος τοὐτο ἐλὲγετο”. Παρά το γεγονός ότι σε πολλά μέρη οι ανεμοστρόβιλοι αποδίδονταν σε δαιμονικά στοιχεία υπήρχαν ωστόσο και ορισμένες περιοχές της Ελλάδος όπου η παρουσία τους αποδίδονταν σε νεράιδες και παρακαλούσαν τους ποιητές να γράψουν ένα ποιητικό έργο έτσι ώστε οι νεράιδες να μην καταστρέψουν τη σοδειά τους στο μέλλον. Ο όρος “ἀνὲμοι παραδοῦνται” αποδίδονταν στους στροβιλιζόμενους ανέμους οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα να τους σηκώσουν στον αέρα και να τους μεταφέρουν αρκετά μακριά. Ο επικός ποιητής Όμηρος στο έργο του Ιλιάδα χρησιμοποίησε τον παραπάνω όρο καθώς η ωραία Ελένη καταράστηκε τον εαυτό της και παρακαλούσε μία στροβιλιζόμενη δίνη να αναπτυχθεί και να την σηκώσει ψηλά, όπως είχε γίνει με την κόρη του Πάνδαρου.

Ο [113], [114], [115] στα Μετεωρολογικά Φαινόμενα και Κλίμα στο Βυζάντιο παρουσιάζει σημαντικές αναφορές που σχετίζονται με ισχυρά καιρικά φαινόμενα στο

χρονικό διάστημα 4^{ου} -15^{ου} αιώνα τα οποία έλαβαν χώρα στη Βυζαντινή αυτοκρατορία. Μέσα από την περιγραφή των ζημιών που προκλήθηκαν περισσότερα από 20 γεγονότα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως γεγονότα σίφωνα στην ΝΑ Ευρώπη και στη Μέση Ανατολή.

Ο [116] στο *Travelers' Greece: Memories of an enchanted land* παρουσιάζει μία πλούσια συλλογή αναφορών από περιπατητές του 18^{ου} και 19^{ου} αιώνα στις περιοχές της σημερινής Ελλάδος. Ο Tomkinson παρουσιάζει αναφορές αυτοπτών μαρτύρων από το 1870 οι οποίοι παραθέτουν πληροφορίες για το σχηματισμό και τη διάλυση πολλών γεγονότων υδροσιφώνων στην περιοχή του Ιονίου πελάγους. Ζωγράφοι-περιηγητές του 18^{ου} αιώνα αποτύπωσαν σε γκραβούρες της εποχής την εμφάνιση υδροσιφώνων στην περιοχή του Ιονίου όπως ο Joseph Cartwright (1789 – 1829) στην περιοχή της Λευκάδας και των ακτών της Αλβανίας.

Μέσα από αυτές τις αναφορές και παραθέσεις είναι κατανοητό ότι οι σίφωνες ήταν ένα φαινόμενο το οποίο δεν ήταν άγνωστο και αποτυπώνει την δυσκολία των ανθρώπων να κατανοήσουν το μηχανισμό δημιουργίας τους, αποδίδοντας τους δαιμονικές αιτίες. Επιπλέον, οι διάφορες ονομασίες που έδωσαν στους σίφωνες ανά περιοχή αποδεικνύει ότι οι σίφωνες δεν ήταν ένα σπάνιο φαινόμενο σε σύγκριση με άλλες περιοχές της χώρας αλλά ένα συχνό φαινόμενο με σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία.

5.4 Χωρική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο 1709-1999

Κατά την διάρκεια αναζήτησης γεγονότων σιφώνων τα οποία έλαβαν χώρα πριν το 2000, συναντήσαμε έναν αριθμό σπάνιων φαινομένων σε αρκετές περιοχές της χώρας μας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός εμφάνισης ενός σίφωνα στην περιοχή Αστακού, του νομού Αιτωλοακαρνανίας, στις 18 Οκτωβρίου 1934. Η στροβιλιζόμενη μάζα αέρα παρατηρήθηκε αρχικά πάνω από τη θάλασσα και γρήγορα κινήθηκε προς την στεριά προκαλώντας το θάνατο σε 3 κατοίκους και τον τραυματισμό άλλων 40 ανθρώπων με σημαντικές επιπτώσεις στις δομικές κατασκευές της περιοχής [106]. Σίφωνας προκάλεσε το φαινόμενο «βροχής» μικρών ψαριών καθώς αναρρόφησε ψάρια από τη γειτονική λίμνη τον Οκτώβριο του 1951 στην Άλωνα Φλώρινας στη δυτική Μακεδονία [108]. Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και το Δεκέμβριο του 2002, στην Κορώνα του Κιλκίς στην κεντρική Μακεδονία [84].

Το πρώτο γεγονός σίφωνα αφορά την εμφάνιση υδροσίφωνα στην περιοχή Γαρίτσα της Κέρκυρας (D1 υποπεριοχή στην Εικόνα 5.1) στις 13 Φεβρουαρίου 1709, προκαλώντας το θανάσιμο τραυματισμό ενός ψαρά (Εικόνα 5.3α). Την επόμενη ημέρα (14 Φεβρουαρίου 2014) ένας σίφωνας ξηράς δημιουργείται στην ίδια περιοχή και προκαλεί σημαντικές καταστροφές σε Ιερά Μονή της περιοχής (Εικόνα 5.3β).

Στις 23 Σεπτεμβρίου 1843 στην περιοχή της Αθήνας σίφωνας δημιουργήθηκε προκαλώντας σημαντικές υλικές ζημιές. Ο Mackenzie (ένας περιηγητής ο οποίος μελετούσε τις επιπτώσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών στις καλλιέργειες) σε επιστολή του προς τον καθηγητή George LaWSen (Σκοτσέζος-Καναδός βοτανολόγος και καθηγητής χημείας του Natural History - Queen's University) του αναφέρει μετά την ισχυρή καταιγίδα που παρατήρησε στην Κέρκυρα, ένας υδροσίφωνας παρατηρήθηκε και είχε τη μορφή ενός αντεστραμμένου χωνιού [117].

α

" Φεβρουαρίου ιγ΄ ἀπότυχε τῆς παρούσης ζωῆς ὁ κύρ Νικολός Κόερος ἐπνίγη σίντα μέ τή φελούκα του ἀπό τό ρούφουλα, θάπτεται εἰς τήν παροῦσα μονή στήν ἄρκλα τῶν Κοεράτων ".

β

" Φλεβαριοῦ ιδ΄ ἀσήκωσε ὁ ρούφουλας ταῖς τάβλαις τῶν σπιτιῶν ὅπου ἐκρεμιστήκανε τόν ἀπερασμένο χρόνο μέ τό σιζμό καί τίς ἀπέλυσε ἀπάνω στή σκέπαση τῆς μονῆς καί ἀνακατογυριστήκανε τά κεραμύδια ὅπου θέλομε καινούργια σκέπαση ".

Εικόνα 5.3: Αναφορές από τα *Χρονικά των Κορυφών*, 2ος τόμος 1979, του Σπυρίδωνα Κατσαρού για την εμφάνιση των γεγονότων σιφώνων (ΤΕ) στις 13 και 14 Φεβρουαρίου του 1709 στη Γαριτσά Κέρκυρας.

Στις 22 Αυγούστου 1902, ένας σίφωνας στην περιοχή της Αθήνας προκάλεσε τον εκτροχιασμό του τοπικού τρένου και περισσότεροι από 50 επιβάτες τραυματίστηκαν καθώς 9 βαγόνια της αμαξοστοιχίας εκτροχιάστηκαν στην περιοχή του Ηρακλείου (D4 υποπεριοχή στην Εικόνα 5.1).

Το πρωί της 17ης Δεκεμβρίου 1959, έλαβε χώρα ο πιο θανατηφόρος (έως τώρα) σίφωνας στην περιοχή της λίμνης Μέγδοβας. Η εφημερίδα «Ελευθερία» αναφέρει σε δημοσίευμα την επόμενη την ημέρα, ότι 21 εργάτες οι οποίοι επέβαιναν σε βάρκα έχασαν τη ζωή τους καθώς η βάρκα ανασηκώθηκε από σίφωνα τον οποίος είχε δημιουργήσει μία περιστρεφόμενη στήλη νερού και αέρα (Εικόνα 5.4). Αυτόπτης μάρτυς του συμβάντος ήταν ο αγροφύλακας της περιοχής που περιέγραψε το όλο συμβάν.

ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

Η Ἑλλάς εἶναι δημοκρατική

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΠΑΝΟΣ Β. ΚΟΚΚΑΣ
ΑΡΧΙΣΥΝΤΑΚΤΗΣ Γ. ΑΝΔΡΟΥΛΙΔΑΚΗΣ
ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΟΣ Θ. ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

ΑΘΗΝΑΙ ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ 16. ΤΗΛ. 30.361

ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΟΣ ΠΡΩΙΝΗ ΕΦΗΜΕΡΙΣ

ΤΡΙΤΗ 17 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 1959

ΩΣ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΕΚ ΤΩΝ ΜΕΧΡΙ ΤΟΥΔΕ ΣΥΝΟΜΙΛΙΩΝ ΤΟΥ

ΥΦΕΣΙΝ ΥΠΟ ΕΓΓΥΗΣΕΙΣ ΖΗΤΕΙ Ο ΑΪΖΕΝΧΑΟΥΕΡ

ΟΜΑΔΙΚΟΣ ΠΝΙΓΜΟΣ 21 ΑΤΟΜΩΝ ΠΟΥ ΕΠΕΒΑΙΝΟΝ ΜΙΑΣ ΛΕΜΒΟΥ ΕΙΣ ΤΗΝ ΛΙΜΝΗΝ ΤΟΥ ΜΕΓΔΟΒΑ

Ὅροι: ἡ δικαιοσύνη καὶ ἡ ἰσότης

Ο ΑΜΕΡΙΚΑΝΟΣ ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΕΠΙΣΚΕΦΘΕΙΣ ΗΔΗ ΤΗΝ ΤΟΥΡΚΙΑΝ ΕΦΘΑΣΕ ΧΘΕΣ ΕΙΣ ΠΑΚΙΣΤΑΝ

Η ΓΝΩΜΗ ΤΗΣ ΤΟΥΡΚΙΑΣ ΘΑ ΖΗΤΗΓΑΙ ΟΤΑΝ ΘΙΓΩΝΤΑΙ ΤΟΥΡΚΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

ΕΚΤΑΚΤΑ ΜΕΤΡΑ

Ἡ τραγωδία μὲ ὑπαιτίους μὴ προσδιορισθέντος εἰσέτι ἐγνώσθη μόνον τὴν ἑπομένην

ΤΑ ΠΤΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΝΙΓΕΝΤΩΝ ΕΞΗΦΑΝΙΣΘΗΣΑΝ

Ἡ λέμβος ἀπωλέσθη αὐτανδρος συνεπείᾳ αἰφνιδίας ἀνεμοθυέλλης

Εικόνα 5.4: Δημοσίευμα της 18ης Δεκεμβρίου 1959 που αναφέρει τον ομαδικό πνιγμό 21 εργατών στη λίμνη Μέγδοβα λόγω σίφωνα.

Οι παραπάνω θανάσιμες επιπτώσεις δεν είναι οι μοναδικές που οφείλονται στην εμφάνιση υδροσίφωνα, καθώς στις 8 Σεπτεμβρίου 1963 η δημιουργία υδροσίφωνα στο λιμάνι της Καλαμάτας (D4 υποπεριοχή στην Εικόνα 5.1) προκάλεσε τον θανάσιμο τραυματισμό ενός ναύτη. Ένα ακόμη αξιοπερίεργο γεγονός έλαβε χώρα στις 8 Αυγούστου του 1902 όταν ένας υδροσίφωνας αναποδογύρισε το 7 τόνων πλοίο περίπου 12 km από το λιμάνι του Αυλώνα της Αλβανίας (βόρεια της υποπεριοχής D1 στην Εικόνα 5.1). Τις απογευματινές ώρες της 8ης Ιουλίου του 1963, ένας σίφωνας προκάλεσε σημαντικές ζημιές στα χωριά Μάνεσι και Στέρνα κοντά στην περιοχή της Καλαμάτας (υποπεριοχή D7). Ο σίφωνας δεν προκάλεσε μόνο δομικές καταστροφές στην ευρύτερη περιοχή, αλλά προκάλεσε σημαντικές ζημιές στις καλλιέργειες καθώς περισσότερα από 2000 ελαιόδεντρα ξεριζώθηκαν ενώ 3 άνθρωποι τραυματίστηκαν. Όλα τα ιστορικά γεγονότα σίφωνα που συναντήσαμε αποτυπώνονται στον Πίνακας 5-1, όπου παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την ημερομηνία, την περιοχή εμφάνισης και το συνολικό αριθμό θανόντων και τραυματιών ανά γεγονός. Μελετώντας τις επιπτώσεις των σιφώνων στην τοπική κοινωνία για το χρονικό διάστημα 1709-1999, βρήκαμε ότι περισσότεροι από 27 άνθρωποι τραυματίστηκαν θανάσιμα και 103 τραυματίστηκαν ελαφρά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο αριθμός των γεγονότων/σιφώνων μπορεί να είναι μεγαλύτερος, καθώς είναι πιθανόν να έχουν δημιουργηθεί και άλλοι οι οποίοι δεν καταγράφηκαν ή δεν προκάλεσαν τόσο σημαντικές επιπτώσεις ώστε να καταγραφούν από τα μέσα ενημέρωσης της εποχής.

Στην Εικόνα 5.5, εμφανίζονται πολλαπλά γεγονότα (λόγω της μικρής χωρικής ανάλυσης/κλίμακας) πάνω από συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Στην Εικόνα 5.6, παρουσιάζονται οι ισοπληθείς γραμμές γεωγραφικής κατανομής των γεγονότων, αποτυπώνοντας ξεκάθαρα τις επιδεικτικότερες περιοχές εμφάνισης σιφώνων την χρονική περίοδο 1709-1999. Αυτές οι γεωγραφικές περιοχές είναι η Κέρκυρα, ΒΔ Πελοπόννησο, η Αττική, ο Μεσσηνιακός κόλπος, η βόρεια Κρήτη, οι Σποράδες και η περιοχή της Ρόδου. Οι παραπάνω περιοχές θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι αποτελούν τις επιδεκτικότερες περιοχές εμφάνισης των σιφώνων για τη χρονική περίοδο 1709-1999 και πιθανόν όποια νέα καταγραφή (στο μέλλον) που θα αφορά ένα ιστορικό γεγονός (1709-1999) εμφάνισης σίφωνα στην Ελλάδα θα αφορά τις ευρύτερες αυτές περιοχές. Επίσης, είναι αξιοσημείωτο ότι στις παραπάνω περιοχές είχαν αποδοθεί αρκετές ονομασίες για το φαινόμενο του σίφωνα (τρόμπα στην Κέρκυρα, ρούφουλας στη Ζάκυνθο και Κεφαλλονιά, κ.ά.). Ωστόσο αρκετά μεμονωμένα γεγονότα εμφανίζονται τόσο στη βόρεια, όσο και στην υπόλοιπα κεντρική και ανατολική Ελλάδα.

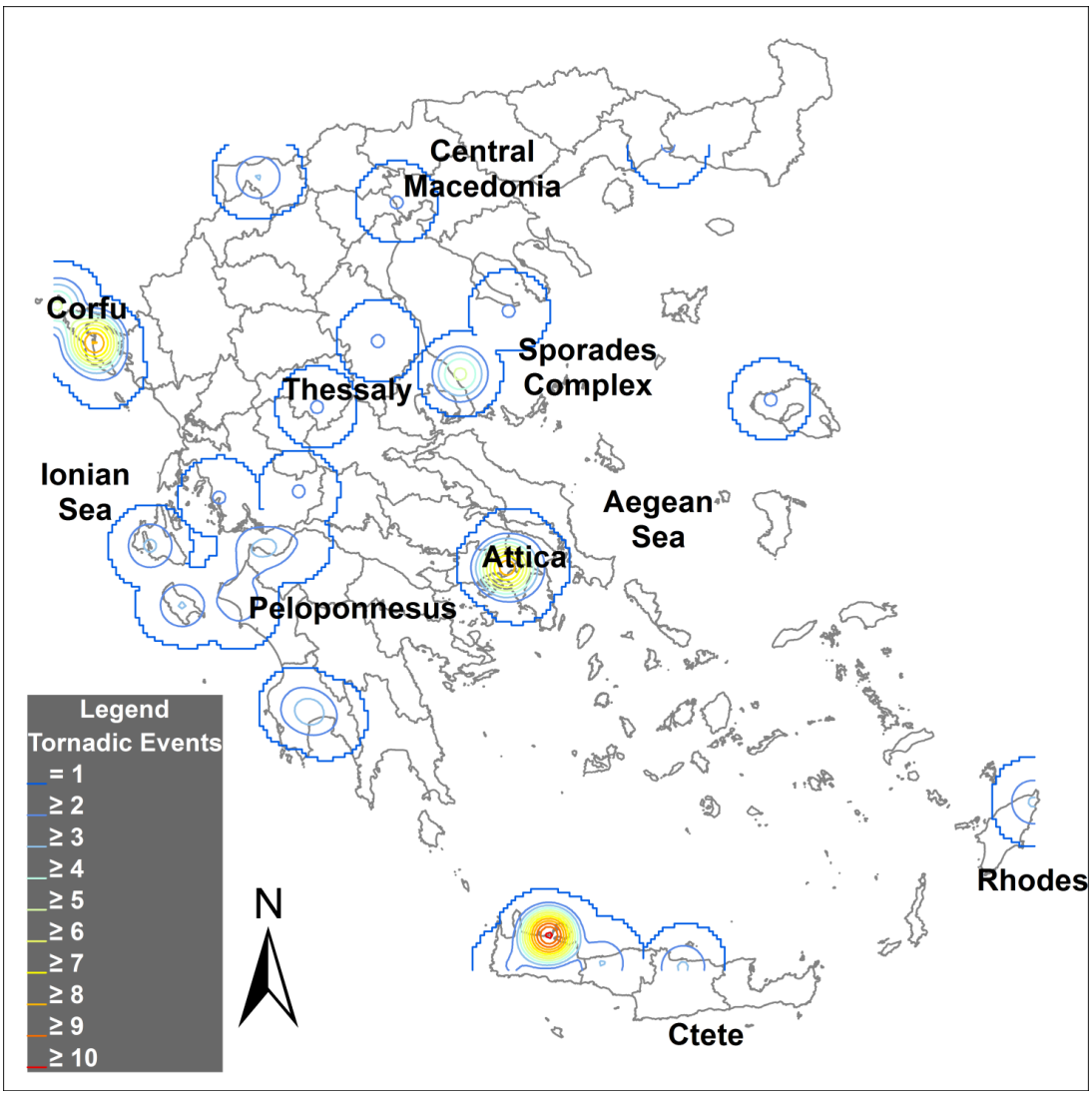
Πίνακας 5-1: Ιστορικά γεγονότα σιφώνων ξηράς (TR), θάλασσας (WS) και χοανοειδών νεφών (FC) στην Ελλάδα από το 1709-1999 με πληροφορίες σχετικά με την ημερομηνία εμφάνισης, την περιοχή και τον αριθμό τραυματιών και θανόντων ανά γεγονός (το σύμβολο – υποδηλώνει ότι δεν αναφέρθηκαν στις πηγές μας πληροφορίες σχετικά με τραυματίες ή θανόντες).

Ημερομηνίες	Τύπος	Τοποθεσία / Υποπεριοχή	Τραυματ. / Θάνατοι
1709 Φεβ 13	WS	Γαρίτσα Κέρκυρας / D1	0 / 1
1709 Φεβ 14	TR	Γαρίτσα Κέρκυρας / D1	-
1843 Σεπ 23	TR	Αθήνα / D4	-
1852	TR	Αθήνα / D4	-
1857 Οκτ 17	WS	Κέρκυρα / D1	-
1895 Δεκ 02	TR	Αθήνα / D4	-
1902 Αυγ 11	TR	Αθήνα / D4	50 / 0

1910 Δεκ 17	TR	Αργοστόλι Κεφ/νιας / D2	-
1910 Δεκ21	TR	Αργοστόλι Κεφ/νιας / D2	-
1922 Απρ 14	WS	Ηράκλειο Κρήτης / D12	-
1923 Σεπ 04	TR	Χανιά Κρήτης / D11	-
1924 Ιουλ 05	TR	Αθήνα / D4	3 / 0
1930 Νοε 13	TR	Χανιά Κρήτης / D11	-
1934 Οκτ 18	TR	Αστακός Αιτ/νιας / D2	40 / 3
1934 Δεκ 26	TR & WS	Χανιά Κρήτης / D11	-
1937 Νοε 27	TR	Ρέθυμνο Κρήτης / D11	0 / 1
1951 Οκτ 15	TR	Άλωνα Φλώρινας	-
1953 Αυγ 12	TR	Ζάκυνθος / D2	-
1953 Οκτ 09	TR	Μυτιλήνη Λέσβος / D9	-
1954 Φεβ 01	TR	Πάτρα / D2	-
1954 Φεβ 02	TR	Ρόδος / D9	-
1955 Νοε 15	TR	Αθήνα / D4	-
1956 Νοε 03	TR	Αθήνα / D4	-
1957 Ιουλ 13	WS	Ρέθυμνο Κρήτης / D11	-
1957 Σεπ 05	TR	Ρόδος / D9	0 / 1
1959 Οκτ 26	TR	Ηράκλειο Κρήτης / D13	
1959 Οκτ 26	TR	Υμηττός Βύρωνας / D4	
1959 Δεκ07	WS	Λίμνη Μέγδοβα, Καρδίτσα	0 / 21
1960 Σεπ 24	WS	Χανιά Κρήτη / D11	-
1963 Ιουλ 08	TR	Μάνεσι και Στέρνα / D7	3 / 0
1963 Σεπ 09	WS	Καλαμάτα / D7	1 / 0
1963 Οκτ 31	WS	Άραξος / D2	-
1964 Ιουν 17	WS	Φλώρινα	-
1964 Νοε 20	TR	Χανιά Κρήτη / D11	-
1966 Ιουλ 17	WS	Λάρισα	-
1966 Νοε 25	WS	Ανδραβίδα / D2	-
1966 Νοε 19	TR	Χανιά Κρήτη / D11	-
1967 Δεκ09	WS	Άραξος / D2	-
1968 Νοε 26	WS	Σούδα Χανιά Κρήτη / D11	-
1971 Ιαν 02	TR	Αυλώνας Αττικής / D4	-
1973 Σεπ 01	TR & WS	Κέρκυρα / D1	-
1975 Ιουλ 22	TR	Θεσσαλονίκη / D6	-
1975	WS	Σποράδες / D5	-

1976 Οκτ 19	TR	Φλωράκι Ρόδου / D9	6 / 0
1977 Μαρ 25	TR	Κουρούτα Ηλείας / D2	-
1978 Νοε 28	TR	Σούνιο Ξάνθη	-
1980 Ιαν 02	TR	Γκαριτσά Κέρκυρας / D1	-
1984 Ιουν 13	WS	Κέρκυρα / D1	-
1984 Οκτ 15	TR	Βλάση Καλαμάτα / D7	-
1989 Ιουλ	WS	Χαλκιδική / D6	-
1995 Αυγ 15	TR	Κέρκυρα / D1	-
1996 Μαρ 14	TR	Κέρκυρα / D1	-
1996 Νοε 24	TR	Κέρκυρα / D1	-
1996 Σεπ 13	TR	Πλάτανος Ναύπακτος / D2	-
1998 Νοε 20	TR	Ζάκυνθο / D2	-
1999 Αυγ 08	WS	Κέρκυρα / D1	-

Εικόνα 5.5: Χωρική κατανομή των σιφώνων ξηράς (κόκκινα και πορτοκαλί σύμβολα), των σιφώνων θάλασσας (μπλέ και άσπρα σύμβολα) και των χοανοειδών νεφών (κόκκινα τρίγωνα) την περίοδο 1709-1999.



Εικόνα 5.6: Χωρική κατανομή των ισοπληθών εμφάνισης σιφώνων για τη χρονική περίοδο 1709-1999. Επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης γεγονότων σιφώνα (TE) είναι η Κέρκυρα, η βόρεια Κρήτη, η ΒΔ Πελοπόννησος/κεντρικό Ιόνιο, η Αττική, τα νησιά των Σποράδων και η περιοχή της Ρόδου.

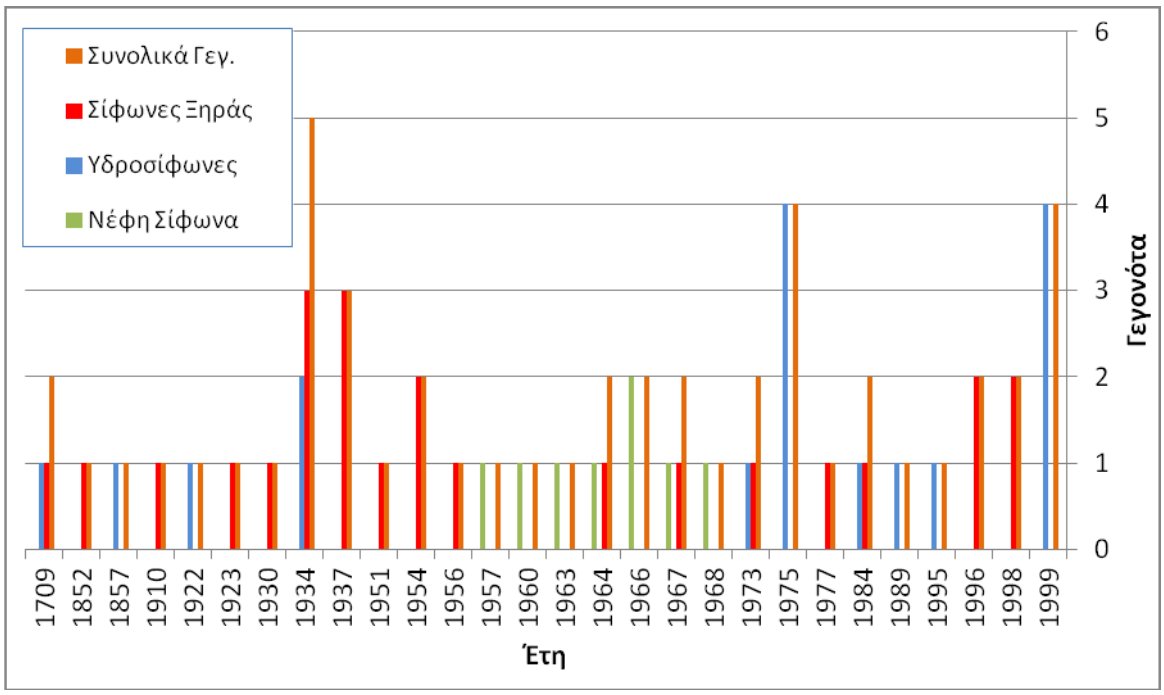
5.4.1 Χρονική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-1999

Η μελέτη της χρονικής κατανομής των φαινομένων για την περίοδο 1709-1999 λόγω των ελλιπών στοιχείων θα περιοριστεί στην ανάλυση της ετήσιας, εποχικής και μηνιαίας κατανομής των φαινομένων (συνολικά και ανά τύπο).

Μέσα από την ετήσια κατανομή του φαινομένου (Εικόνα 5.7) παρατηρούμε ότι τα γεγονότα μας καλύπτουν μία μεγάλη χρονική περίοδο και η χρονοσειρά μας χαρακτηρίζεται ως ανομοιογενή, καθώς υπάρχουν σημαντικά χρονικά διαστήματα χωρίς παρατηρήσεις. Η έλλειψη στοιχείων εκτιμάται ότι οφείλεται: 1) στην πιθανή εμφάνιση σιφώνων σε μη κατοικημένες ή αραιοκατοικημένες περιοχές και 2) στο ότι η πιθανή εκδήλωση σιφώνων ενδέχεται να μην προκάλεσε σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία (δομικές ζημιές η ζημιές σε καλλιέργειες).

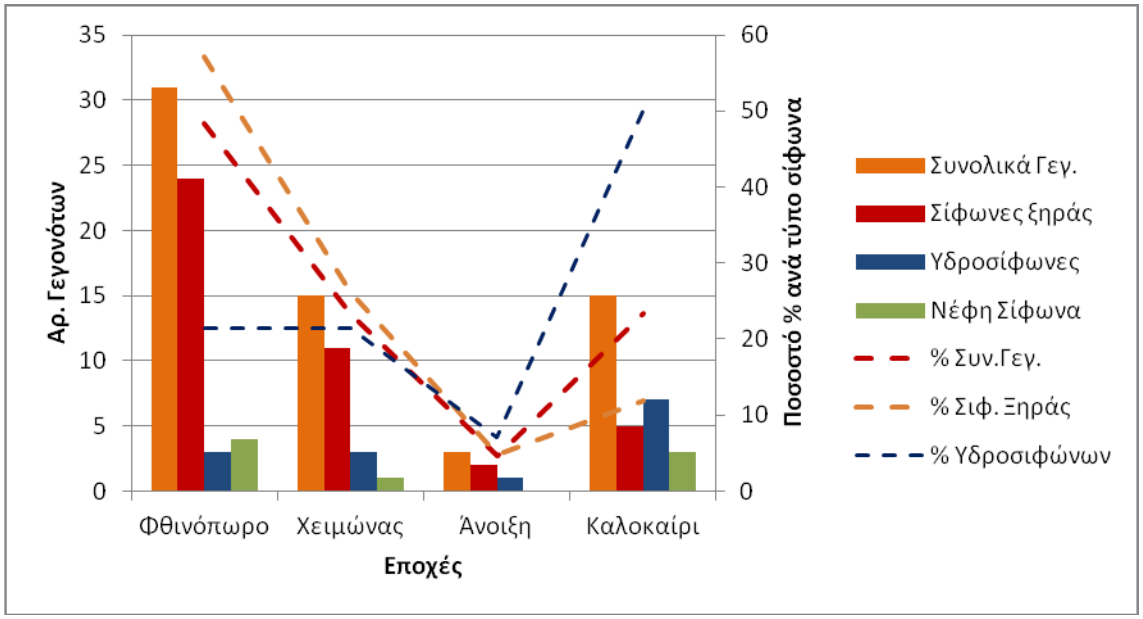
Θεωρούμε πιθανόν ότι στο μέλλον θα ανακαλύψουμε/συναντήσουμε και νέες καταγραφές για την εμφάνιση των σιφώνων, καθώς όλο και περισσότερα έγγραφα που αφορούν τοπικές εφημερίδες ή αρχεία δημοτικών υπηρεσιών ψηφιοποιούνται και

εύκολα θα είναι προσβάσιμα και προσπελάσιμα σε μηχανές αναζήτησης μέσω διαδικτύου. Ωστόσο στην τελευταία δεκαετία (1989-1999) παρατηρείται μία σταδιακή αύξηση της παρατήρησης των σιφώνων η οποία εκτιμάται ότι δεν οφείλεται σε κάποια κλιματική μεταβολή αλλά στη σταδιακή αύξηση των μέσων μαζικής ενημέρωσης (εφημερίδες κ.ά.) και στην είσοδο του διαδικτύου στο σύγχρονο τρόπο ζωής.



Εικόνα 5.7: Διαχρονική εξέλιξη συμβάντων σιφώνων στην Ελλάδα κατά τη χρονική περίοδο 1709-1999.

Η εποχική κατανομή για την χρονική περίοδο 1709-1999 (Εικόνα 5.8) αποτυπώνει την φθινοπωρινή περίοδο ως την κύρια περίοδο εμφάνισης με 48,44 % των γεγονότων (31 γεγ.) να λαμβάνουν χώρα την φθινοπωρινή περίοδο. Ακολουθούν η χειμερινή και η καλοκαιρινή περίοδο με 23,44 % των γεγονότων (15 γεγ.), ενώ έπεται η εαρινή περίοδο με ποσοστό 4,69 % (3 γεγ.).

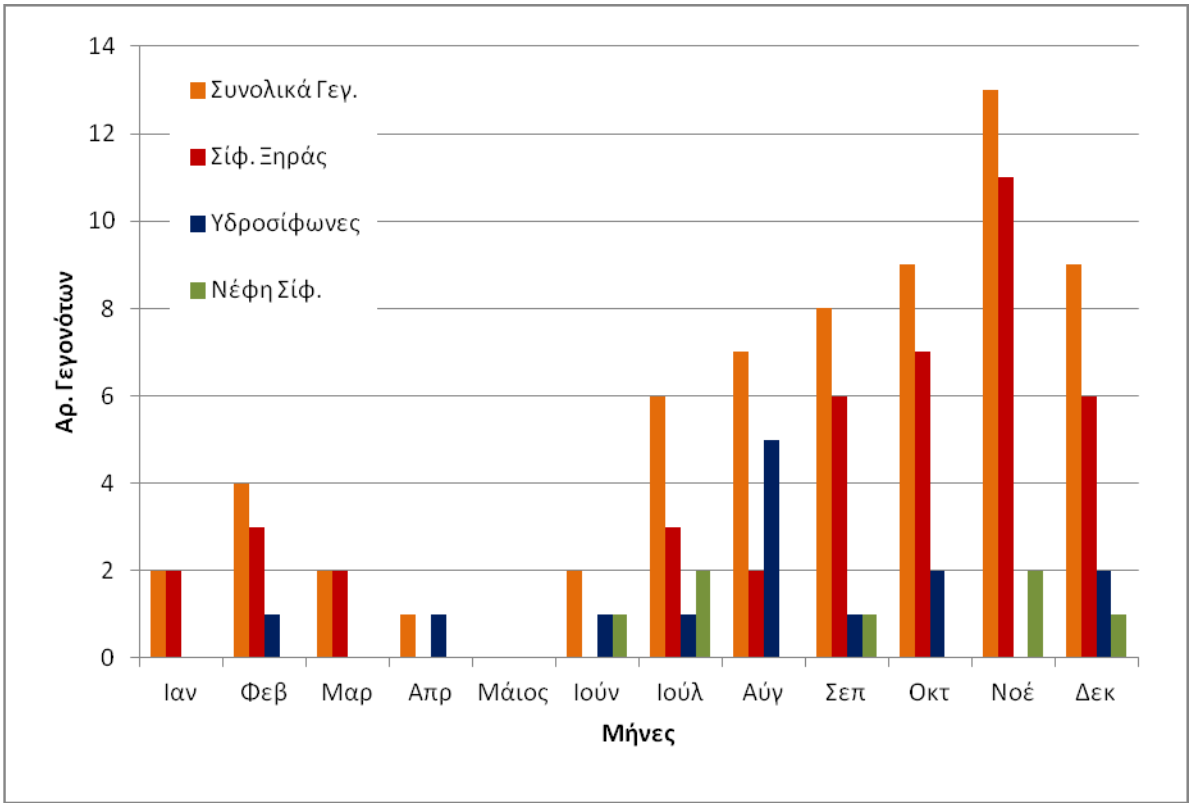


Εικόνα 5.8: Εποχική κατανομή των σιφώνων στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1709-1999.

Οι σίφωνες ξηράς εμφανίζουν εποχικό μέγιστο το φθινόπωρο με ποσοστό 57,14 % (24 γεγ.) και ακολουθούν η χειμερινή περίοδο με ποσοστό 26,19 % (11 γεγ.), το καλοκαίρι με ποσοστό 11,9 % (5 γεγ.) και η εαρινή περίοδος με ποσοστό 4,76 % επί του συνολικού ετήσιου αριθμού των σιφώνων. Οι υδροσίφωνες παρατηρήθηκαν σε ποσοστό 50% την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ κατά τη διάρκεια της φθινοπωρινής και χειμερινής περιόδου παρουσίασαν ισοκατανομή με ποσοστό 21,43 %. Τα νέφη σίφωνα παρουσιάστηκαν συχνότερα το φθινόπωρο και το καλοκαίρι.

Η μηνιαία κατανομή των γεγονότων (Εικόνα 5.9) αποκαλύπτει το Νοέμβριο (13 γεγ.) ως το μήνα με την κύρια δραστηριότητα των συνολικών φαινομένων, ακολουθούμενο από τον Οκτώβριο (9 γεγ.), τον Δεκέμβριο (9 γεγ.) και το Σεπτέμβριο (8 γεγ.). Όμοια είναι και η μηνιαία κατανομή των σιφώνων ξηράς, ενώ οι υδροσίφωνες παρουσιάζουν το μέγιστο το μήνα Αύγουστο. Η ελάχιστη δραστηριότητα σιφώνων παρατηρήθηκε τους μήνες Μάιο (0 γεγ.), τον Απρίλιο (1 γεγ.), τον Ιανουάριο και το Μάρτιο με 2 γεγονότα, αντίστοιχα.

Στον Πίνακας 5-2 παρουσιάζεται ανά τύπο σίφωνα το μηνιαίο ποσοστό επί % επί του συνολικού αριθμού γεγονότων του τύπου στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 1709-1999, ενώ η τελευταία στήλη στα δεξιά παρουσιάζει το μηνιαίο ποσοστό επί % του συνολικού αριθμού σιφώνων.



Εικόνα 5.9: Μηνιαία κατανομή των σιφώνων στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1709-1999.

Η έλλειψη πληροφοριών σχετικά με την ακριβή ώρα εκδήλωσης των φαινομένων καθιστά αδύνατη την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ημερήσια διακύμανση των φαινομένων. Ελάχιστες ήταν οι αναφορές που παρέθεταν ένα γενικότερο ημερήσιο χρονικό προσδιορισμό (π.χ απογευματινές ώρες, το πρωινές ώρες, μετά το μεσημέρι) ενώ η μελέτη της ημερήσια διακύμανσης με μεγαλύτερα χρονικά βήματα 6ωρα, εκτιμούμε ότι θα μας οδηγούσε σε μη ακριβή συμπεράσματα λόγω του ελάχιστου αριθμού γεγονότων.

Πίνακας 5-2: Μηνιαίο ποσοστό (%) με βάση τον τύπο σίφωνα και το συνολικό αριθμό γεγονότων στην Ελλάδα, για τη χρονική περίοδο 1709-1999.

Μήνας	Σίφωνες ξηράς	Υδροσίφωνες	Νέφη σίφωνα	Συνολικά γεγονότα
Ιαν.	4,76	0	0	3,17
Φεβ.	7,14	7,14	0	6,35
Μάρ.	4,76	0	0	3,17
Απρ.	0	7,14	0	1,59
Μάιος	0	0	0	0
Ιούν.	0	7,14	14,29	3,17
Ιούλ.	7,14	7,14	28,57	9,52
Αύγ.	4,76	35,71	0	11,11
Σεπ.	14,29	7,14	14,29	12,7
Οκτ.	16,67	14,29	0	14,29
Νοέ.	26,19	0	28,57	20,63
Δεκ.	14,29	14,29	14,29	14,29

5.5 Χωρική και χρονική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο 2000-2012

Το έντονο ανάγλυφο της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας, σε συνδυασμό με τα περιβάλλοντα θαλάσσια πελάγη, του Ιονίου από τα δυτικά και του Αιγαίου από τα ανατολικά, φαίνεται ότι αποτελούν ένα ιδανικό γεωμορφολογικό περιβάλλον για την εμφάνιση των σιφώνων. Στην ενότητα 5.5.1 παρουσιάζεται η χωρική ανάλυση των γεγονότων της περιόδου 2000-2012, ενώ στην ενότητα 5.5.2 παρουσιάζεται η χρονική ανάλυση των γεγονότων με βάση την ετήσια, την εποχική, τη μηνιαία και την ημερήσια κατανομή των φαινομένων.

Στη χρονική περίοδο 2000-2012 καταγράψαμε 567 συνολικά γεγονότα τα οποία κατανέμονται χωρικά σχεδόν σε όλη τη χώρα. Από το σύνολο των 567 γεγονότων τα 142 καταγράφθηκαν ως σίφωνες ξηράς (TR), τα 368 ως υδροσίφωνες (WS) και τα υπόλοιπα 56 γεγονότα ως χοανοειδή νέφη σίφωνα (FC).

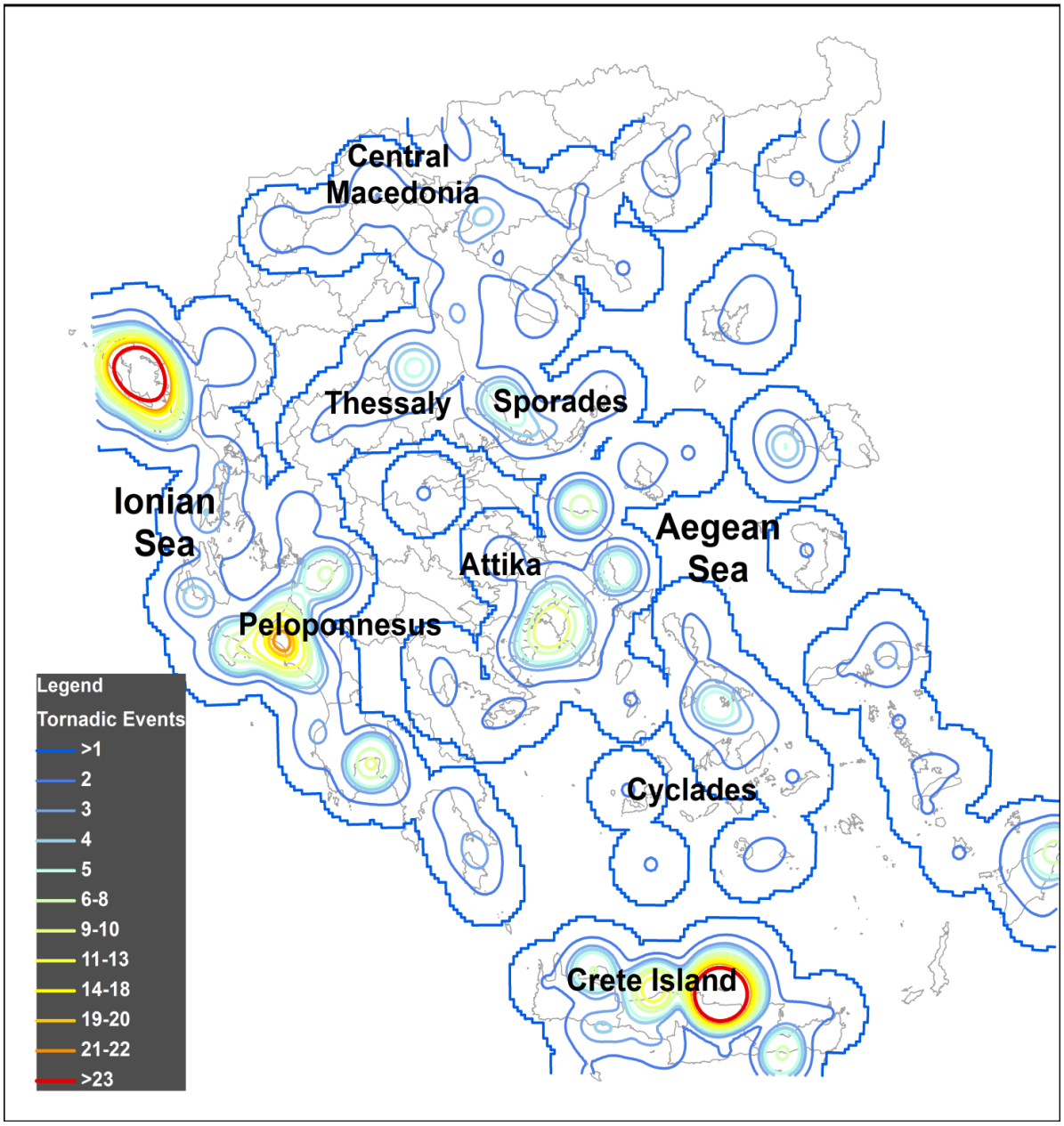
5.5.1 Χωρική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο κατά τη χρονική περίοδο 2000-2012

Η γεωγραφική κατανομή των γεγονότων τα τελευταία 13 χρόνια (2000-2012) υποδηλώνει ότι δύνανται να εκδηλωθούν σε όλη την επικράτεια της χώρας (Εικόνα 5.10). Τα γεγονότα σιφώνων (TE) παρουσιάζουν συχνότερη εμφάνιση στην περιοχή βόρεια της Κρήτης και στην ευρύτερη περιοχή της Κέρκυρας (D12 και D1, αντίστοιχα). Στην Εικόνα 5.10 υπάρχουν περιοχές όπου πολλά γεγονότα επικαλύπτονται λόγω της χαμηλής χωρικής ανάλυσης/κλίμακας του χάρτη. Στην Εικόνα 5.11 αποτυπώνεται η πυκνότητα εμφάνισης των TE γεγονότων, όπου σημαντική πυκνότητα εμφάνισης σιφώνων παρατηρείται κατά μήκος της δυτικής Ελλάδος με μέγιστα στην περιοχή της Κέρκυρας, στη ΒΔ Πελοπόννησο, στα νησιά του κεντρικού Ιονίου Πελάγους καθώς επίσης και στην περιοχή της νότιας Πελοποννήσου.

Εικόνα 5.10: Χωρική κατανομή των σιφώνων ξηράς (TR, κόκκινα και πορτοκαλί σύμβολα), των σιφώνων θάλασσας (WS, μπλέ και άσπρα σύμβολα) και των χοανοειδών νεφών (FC, κόκκινα τρίγωνα) της περιόδου 2000-2012.

Η περιοχή της Αττικής και της Θεσσαλίας μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν ως επιδεκτικές περιοχές στην δημιουργία ΤΕ, και πιο συγκεκριμένα τα γεγονότα στην Αττική συσχετίζονται με την εμφάνιση TR, ενώ FC και WS παρατηρήθηκαν στην περιοχή του Αργοσαρωνικού και στα νότια της Αττικής. Σημαντική πυκνότητα φαινομένων παρατηρείται επίσης στην ευρύτερη περιοχή της Κρήτης με μέγιστα στα βόρεια και ιδιαίτερα στην περιοχή του Ηρακλείου.

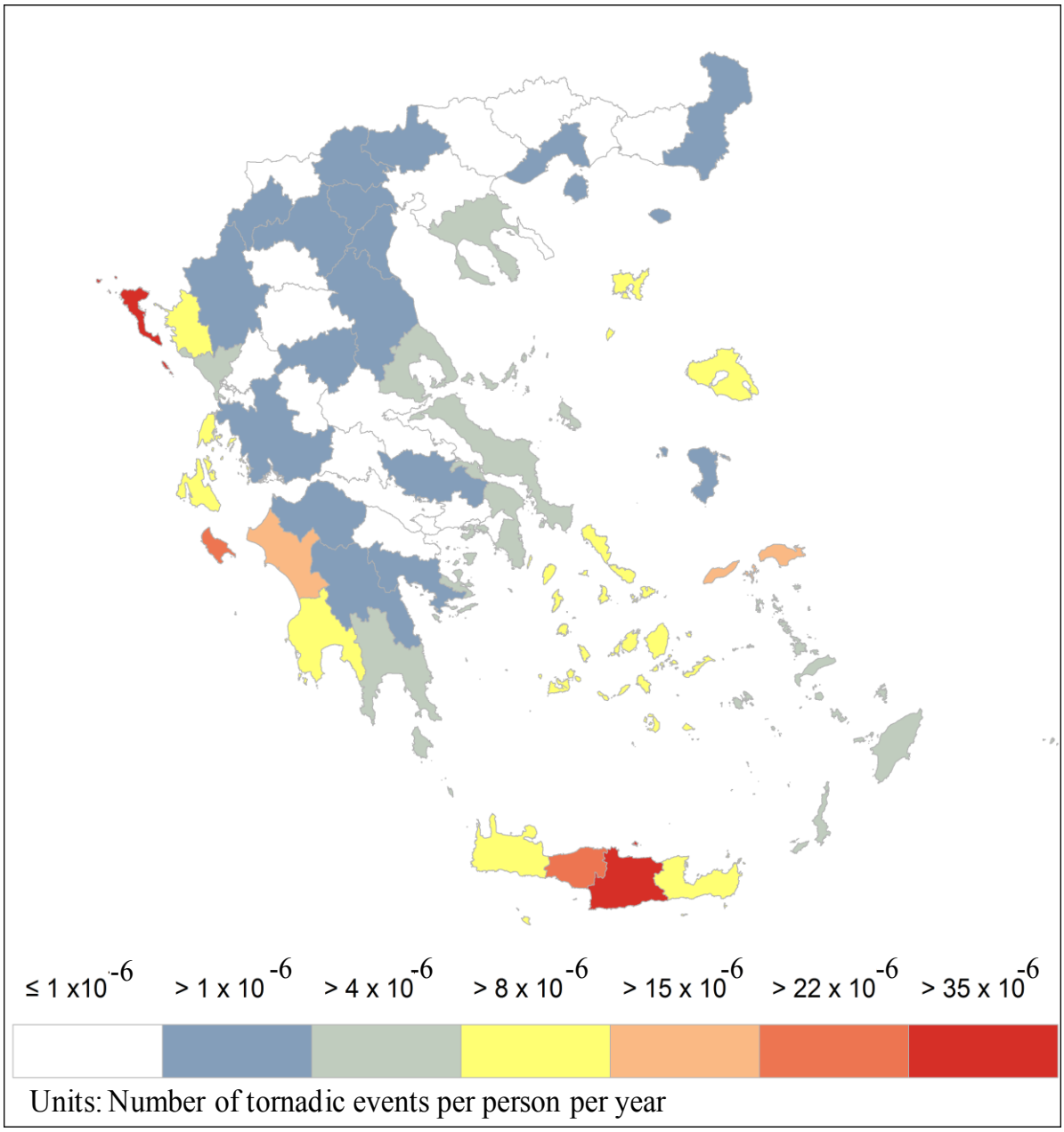
Η μέγιστη αυτή πυκνότητα των φαινομένων οφείλεται στην εμφάνιση πολλαπλών υδροσιφώνων κοντά στις ακτές του Ηρακλείου. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των περιοχών είναι η απουσία έντονου ανάγλυφου, το οποίο επιτρέπει ισχυρές στροβιλιζόμενες δίνες να εντοπίζονται από πολλά km μακριά. Επιπροσθέτως αυτές οι περιοχές χαρακτηρίζονται ως αρκετά πυκνοκατοικημένες (περισσότεροι από 70 κάτοικοι ανά km^2) σύμφωνα με την τελευταία καταγραφή (2011) πληθυσμού από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία.



Εικόνα 5.11: Χωρική κατανομή των ισοπληθών εμφάνισης σιφώνων ΤΕ για τη χρονική περίοδο 2000-2012. Επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης ΤΕ γεγονότων είναι η Κέρκυρα, η βόρεια Κρήτη, η ΒΔ Πελοπόννησος/κεντρικό Ιόνιο, η Αττική, η Θεσσαλία, τα νησιά των Σποράδων και η περιοχή της Ρόδου.

Η πυκνότητα εμφάνισης παραμένει χαμηλή στη βόρεια Ελλάδα και σε ορισμένες περιοχές της κεντρικής χώρας όπου η τοπογραφία είναι σημαντικά υψηλή και η πυκνότητα του πληθυσμού είναι χαμηλή. Στην Εικόνα 5.12 παρουσιάζεται η χωρική πληροφορία των περιοχών (με λευκό χρώμα) όπου αποτυπώνεται ο αριθμός των γεγονότων σιφώνων (ΤΕ) κανονικοποιημένος με βάση τον πληθυσμό ανά έτος και ανά νομό, σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2011, από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία.

Οι σίφωνες ξηράς εμφανίζονται συχνότερα πάνω από τη ΒΔ Πελοπόννησο και ακολούθως στις περιοχές της κεντρικής Μακεδονίας, στις νότιες περιοχές της Κέρκυρας, στη βόρεια Ρόδο και στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας. Επίσης, δημιουργούνται στην περιοχή της Αττικής (νότιες περιοχές) και στη νότια Πελοπόννησο.



Εικόνα 5.12: Ο αριθμός των γεγονότων σιφώνων (ΤΕ) κανονικοποιημένος με βάση των πληθυσμό ανά έτος και ανά νομό, σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2011, από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία.

Οι υδροσίφωνες μπορούν να εμφανιστούν πάνω από όλες τις θαλάσσιες περιοχές της χώρας μας (Ιονίου και Αιγαίου Πελάγους), αλλά εμφανίζονται συχνότερα γύρω από την Κρήτη και την Κέρκυρα. Παρουσιάζουν συχνή εμφάνιση στην περιοχή των Σποράδων, των Κυκλάδων και στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου. Η πλειοψηφία των υδροσιφώνων καταγράφηκε κοντά στις ακτές, ενώ μικρός είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων πάνω από ανοιχτές θάλασσες (αρκετά μακριά από τις ακτές). Ο μεγάλος αριθμός των παρατηρήσεων κοντά στις ακτές οφείλεται στον υψηλό αριθμό πυκνοκατοίκησης κοντά στις ακτές, ενώ ο αριθμός των γεγονότων σε σημαντική απόσταση από τις ακτές οφείλεται ότι στην παρατήρηση των ιστιοπλόων/θαλασσοπόρων. Επιπροσθέτως η παρατήρηση των υδροσιφώνων κοντά στις ακτές συσχετίζεται και με τον αριθμό των υδροσιφώνων που «βγήκαν» στη στεριά και προκάλεσαν σημαντικές υλικές ζημιές. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του υδροσίφωνα στον όρμο της Βλυχούς, στην Λευκάδα, τις απογευματινές ώρες τις 20 Σεπτεμβρίου 2011, που προκάλεσε σημαντικές

επιπτώσεις στα αγκυροβολημένα πλοιάρια και το θανάσιμο τραυματισμό ενός ιστιοπλόου.

Κατά την ανάλυση της χωρικής κατανομή των TR και WS για την χρονική περίοδο 2000-2013 καταλήξαμε σε σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά τη γεωγραφική τους συχνότητα. Στον Πίνακας 5-3, παρουσιάζεται η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης γεγονότων ανά γεωγραφική υποπεριοχή και ανά 10000 km^2. Η υποπεριοχή D10 (δυτική Ελλάδα) αποτελεί τη μεγαλύτερη περιοχή μελέτης και κατά την διάρκεια των τελευταίων 13 χρόνων ο μέσος ετήσιο αριθμός TE γεγονότων ισούται με 19,09 TE/έτος (9,69 WS/έτος και 5,08 TR/έτος (Πίνακας 5-3). Το 50% σχεδόν του μέσου ετήσιου αριθμού γεγονότων TE της υποπεριοχής D10 έλαβε χώρα μέσα στην υποπεριοχή D1 (8,53 γεγονότα/έτος). Οι σίφωνες ξηράς είναι συχνότεροι στην υποπεριοχή D2 με μέσο ετήσιο αριθμό 2,85, ενώ έπεται η κεντρική Μακεδονία και η περιοχή της Κέρκυρας.

Πίνακας 5-3: Ο μέσος ετήσιος αριθμός εμφάνισης γεγονότων σίφωνα (TE) και η συχνότητα εμφάνισης (γεγονότα/έτος/10.000 km^2) για κάθε υποπεριοχή για τη χρονική περίοδο 2000-2012. Επίσης, παρατίθεται και ο μέσος ετήσιος αριθμός εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων για κάθε υποπεριοχή για την χρονική περίοδο 2000-2012 (τα τελευταία 13 χρόνια)

Υποπεριοχή	Χρονική Περίοδος 2000-2012			
	Μέσος Ετήσιος Αριθμός			Συχνότητα εμφάνισης TE (γεγ./έτος/10000 km^2)
	TE γεγ.	TR γεγ.	WS γεγ.	
Ελλάδα	42,15	10	27,69	3,19
D1 (Κέρκυρα)	8,53	0,92	6,92	9,52
D2 (ΒΔ Πελοπόννησο)	5,54	2,85	2,38	2,68
D3 (Κρήτη)	12,92	0,46	11,23	4,64
D4 (Αττική)	2,38	0,69	1	2,54
D5 (Σποράδες)	1,85	0,15	1,62	1,32
D6 (κεντρική Μακεδονία)	2,23	1,38	0,77	0,85
D7 (νότια Πελοπόννησο)	1,54	0,85	0,77	1,27
D8 (Κυκλάδες)	1,31	0,07	1,23	0,46
D10 (δυτική Ελλάδα)	19,09	5,08	9,69	3,89
D11 (βόρεια Κρήτη)	11,38	0,31	10	7,71
D12 (περιοχή βόρεια του Ηρακλείου Κρήτης)	9,08	0,15	8	16,65

Οι υδροσίφωνες είναι συχνότεροι στην περιοχή της Κρήτης καθώς 11,23 WS/έτος δημιουργήθηκαν στην υποπεριοχή D3 (αποτελούν το 1/3 του μέσου ετήσιου αριθμού γεγονότων). Πιο συγκεκριμένα, 10 υδροσίφωνες/έτος αναπτύχθηκαν βόρεια του Ηρακλείου (D12), ένας αριθμός ο οποίος προσεγγίζει τον μέσο ετήσιο αριθμό υδροσιφώνων του Ιονίου Πελάγους (D10, ~9,69 WS/έτος). Η δεύτερη σημαντική υποπεριοχή είναι η περιοχή της Κέρκυρας όπου ο μέσος ετήσιος αριθμός υδροσιφώνων είναι 6,92 (Πίνακας 5-3), ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει το 1/4 των συνολικών γεγονότων.

Με βάση την παρούσα χωρική ανάλυση για την περίοδο 2000-2012, η Ελλάδα παρουσιάζει ένα μέσο ετήσιο αριθμό 42,15 γεγονότων ανά έτος, ο οποίος κατηγοριοποιείται σε 10 TR και 27,69 WS γεγονότα ανά έτος. Η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης TE γεγονότων ανά 10000 km^2 στην Ελλάδα είναι 3,19 (Πίνακας 5-3), τιμή αρκετά μεγαλύτερη συγκρινόμενη με αυτή λοιπών Ευρωπαϊκών χωρών. Ο [86] μέσα από μία συντηρητική προσέγγιση της δραστηριότητας TE γεγονότων στη Γερμανία ανέφερε το μέσο ετήσιο αριθμό γεγονότων TE ανά 10000 km^2 ίσο με 0,2. Ο [87] υπολόγισε το μέσο αριθμό για την Αυστρία στο 0,3 TR/έτος/10000 km^2, ενώ για την Γαλλία ο [95] τον εκτίμησε στο 0,66 και ο [96] για την Ιρλανδία στο 1,2.

Η μέγιστη συχνότητα (16,65) εντοπίζεται στην υποπεριοχή D12, ενώ έπεται η υποπεριοχή D1 (Κέρκυρα: 9,52) και D11 (βόρεια Κρήτη: 7,71). Επιπροσθέτως στη δυτική Ελλάδα η συχνότητα ισούται με 3,89 TE γεγονότα/έτος/10000 km^2, ενώ στη ΒΔ Πελοπόννησο παρατηρούνται 2,68 γεγονότα/έτος/10000 km^2.

Η χωρική κατανομή των TE γεγονότων για την χρονική περίοδο 1709-1999 (ιστορικά γεγονότα) είναι σε συμφωνία με την γεωγραφική κατανομή των γεγονότων της χρονικής περιόδου 2000-2012. Η ταύτιση των επιδεκτικών περιοχών αφορά την περιοχή βόρεια της Κρήτης, την περιοχή της Κέρκυρας, τη ΒΔ Πελοπόννησο, την Αττική, την νότια Πελοπόννησο και το νησιωτικό σύμπλεγμα των Σποράδων. Η χωρική κατανομή των ιστορικών γεγονότων είναι σε συμφωνία με την αρχική μελέτη χωρικής κατανομής των σιφώνων των [77] και [94].

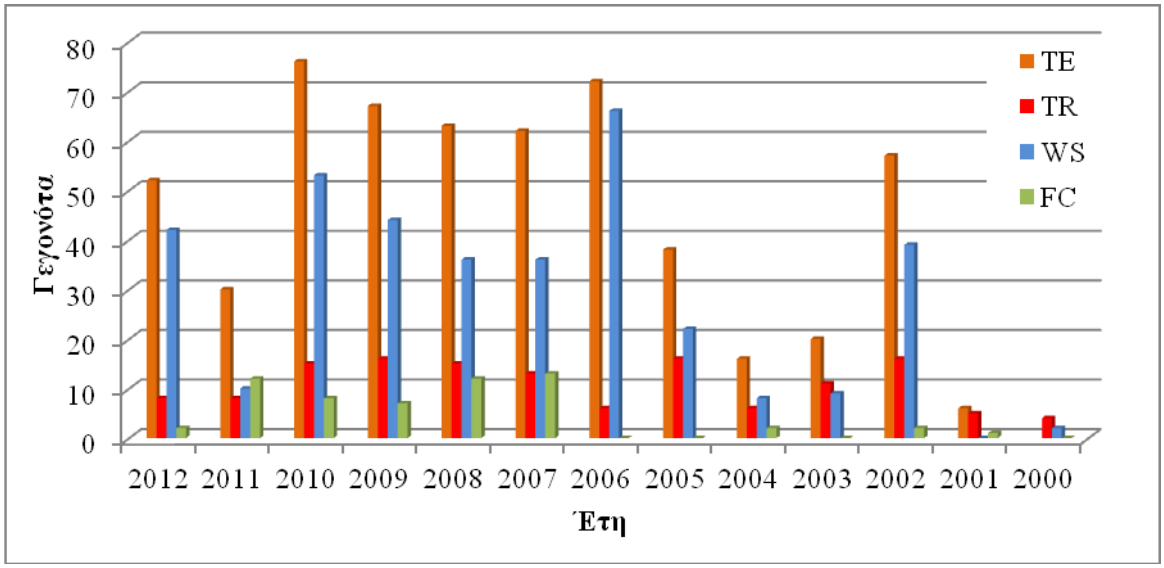
5.5.2 Χρονική κατανομή των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 2000-2012

Η χρονική κατανομή των σιφώνων για τη χρονική περίοδο 2000-2012 περιλαμβάνει αναλύσεις με βάση την ετήσια, εποχική, μηνιαία και ημερήσια διακύμανση των φαινομένων.

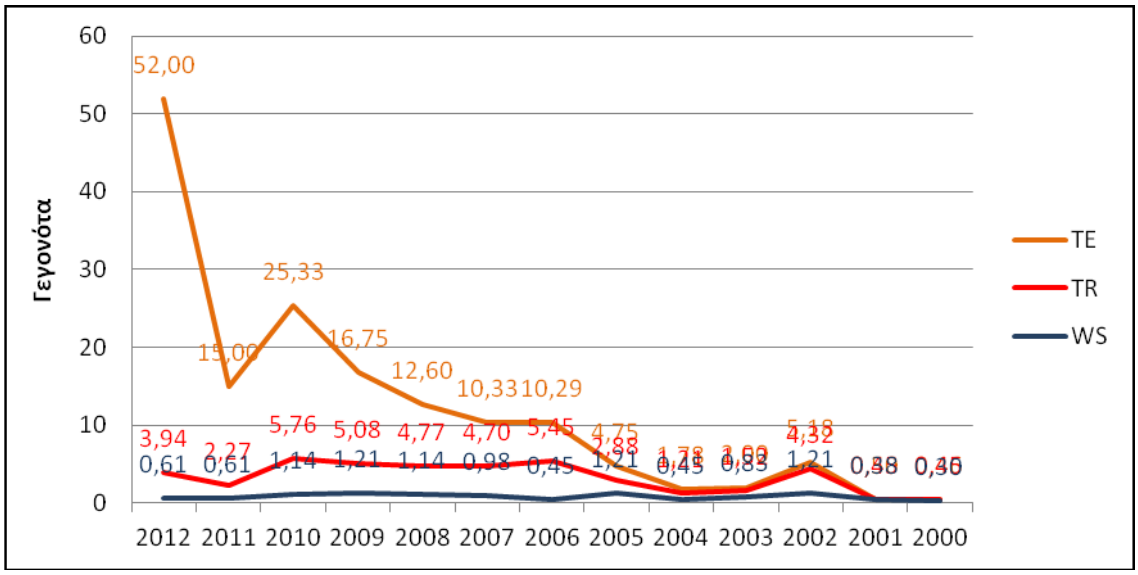
Η ετήσια κατανομή αποτυπώνει το 2010 ως το έτος με την μέγιστη δραστηριότητα καθώς 76 γεγονότα καταγράφθηκαν (Εικόνα 5.13). Έπονται του 2010, τα έτη 2006 και 2009 με 72 και 67 αντίστοιχα γεγονότα εμφάνισης σιφώνων. Οι περισσότεροι σίφωνες ξηράς παρατηρήθηκαν το 2009, 2005 και το 2002 με 16 TR ανά έτος, ενώ τα έτη 2010 και 2008 παρατηρήθηκαν 15 TR ανά έτος. Οι περισσότεροι υδροσίφωνες παρατηρήθηκαν το 2006 (66 γεγονότα) ενώ το 2009 και 2012 παρατηρήθηκαν 44 και 42 γεγονότα, αντίστοιχα. Τα περισσότερα χοανοειδή νέφη σίφωνα παρατηρήθηκαν το 2007 (13 περιπτώσεις) και έπεται το 2008 με 12 γεγονότα. Η ετήσια χρονική κατανομή των γεγονότων (συνολικών και ανά τύπο) για την χρονική περίοδο από $1^{η}$ Ιανουαρίου 2000 έως $31^{η}$ Δεκεμβρίου 2012, παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.13.

Κατά την ετήσια ανάλυση των γεγονότων των τελευταίων 13 ετών, παρατηρήθηκε μία σημαντική αύξηση εμφάνισης των γεγονότων τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο αυτή η σημαντική αύξηση παρατήρησης γεγονότων δεν βασίζεται ή ενέχει κάποια κλιματική ανωμαλία των ατμοσφαιρικών συνθηκών τα τελευταία χρόνια που ευνοούν την εμφάνιση σιφώνων. Οφείλεται στον αυξανόμενο ρυθμό ενασχόλησης όλων και περισσότερων χρηστών με τις νέες τεχνολογίες που εισβάλουν καθημερινά στη ζωή μας. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν όλες οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας είναι εξοπλισμένες με ψηφιακές εφαρμογές (λήψη φωτογραφιών και βιντεοσκοπήσεις) έτσι όσοι έχουν την ευκαιρία να συναντήσουν κάποιο φαινόμενο σίφωνα μπορούν άμεσα και εύκολα να το καταγράψουν ή κάθε άλλο ακραίο φαινόμενο. Οι δυνατότητες που δίνουν όλο και περισσότεροι ιστότοποι να φιλοξενήσουν φωτογραφικά αρχεία αλλά και συλλογή βιντεοσκοπήσεων επιτρέπουν σε όλους μας να τα αναζητήσουμε σε δεύτερο

χρόνο. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας αποτελεί ο αυξανόμενος ρυθμός νέων χρηστών στο διαδίκτυο και γενικότερα η όλο πιο εύκολη και φθηνή προσβασιμότητα στο διαδίκτυο. Η συνεχής αυξανόμενη παρατήρηση σιφώνων τα τελευταία χρόνια επιτρέπει στο μέσο ετήσιο αριθμό εμφάνισης σιφώνων ανά 10000 km^2 να διακυμαίνεται σημαντικά θετικά σε σχέση με την τιμή του τα πρώτα χρόνια καταγραφής του (Εικόνα 5.14).



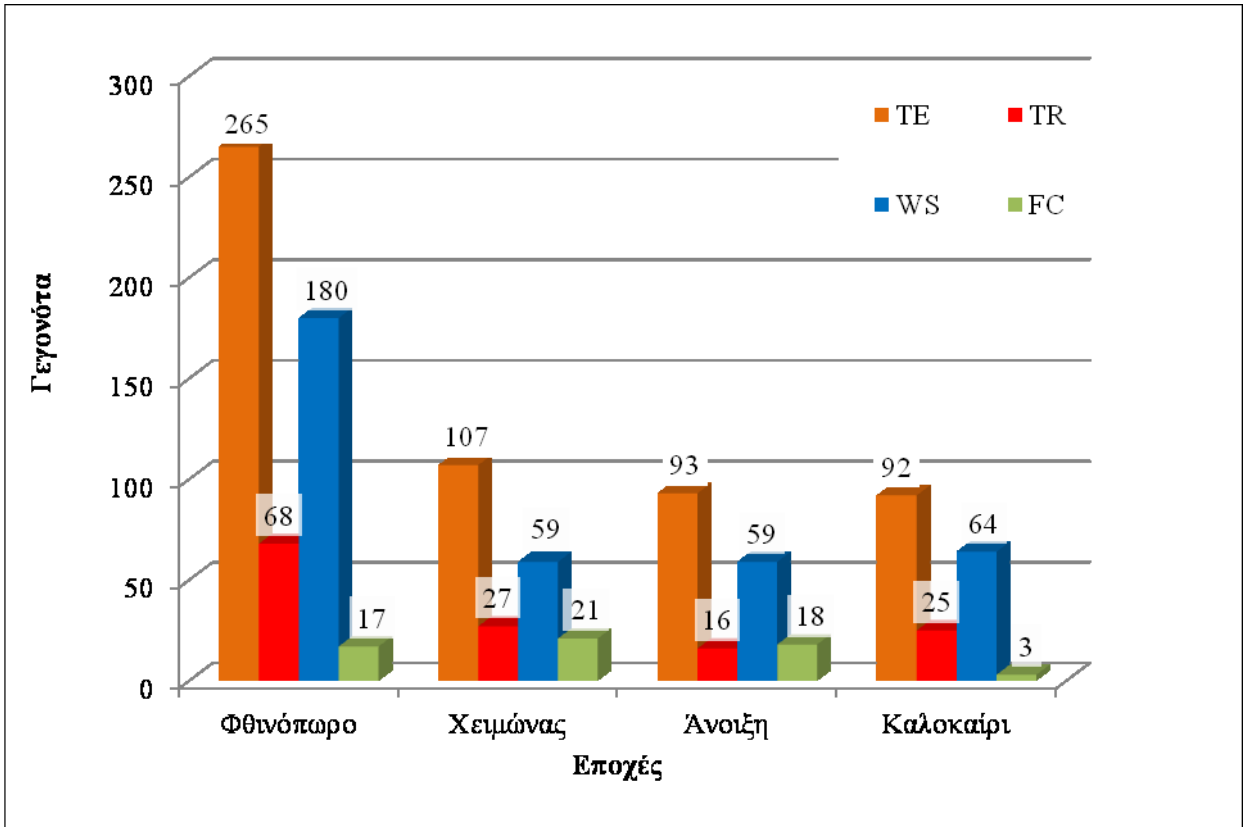
Εικόνα 5.13: Ετήσια κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012.



Εικόνα 5.14: Ετήσια κατανομή του μέσου ετήσιου αριθμού γεγονότων σίφωνα ανά 10000 km^2. Με κόκκινο χρώμα η χρονοσειρά για τους σίφωνες ξηράς, με μπλε για τους υδροσίφωνες και πορτοκαλί για τον συνολικό αριθμό γεγονότων. Παρατηρούμε τα τελευταία χρόνια (με εξαίρεση το 2002) μία σημαντική αύξηση εμφάνισης των γεγονότων.

Οι σίφωνες ξηράς και οι υδροσίφωνες εκδηλώνονται όλες τις εποχές στην Ελλάδα. Η εποχική κατανομή για τη χρονική περίοδο 2000-2012 αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.15. Το φθινόπωρο είναι η κυρίαρχη εποχή καθώς το 47 % των TE γεγονότων (δηλαδή 265 TE γεγονότα) εκδηλώνονται αυτή τη χρονική περίοδο του έτους. Ακολουθούν ο χειμώνας, η άνοιξη και το καλοκαίρι με 107, 93 και 92 γεγονότα, αντίστοιχα.

Η εποχική κατανομή των σιφώνων ξηράς αποτυπώνει επίσης το φθινόπωρο ως την πιο επιδεκτική εποχική περίοδο εμφάνισης, με 68 TR γεγονότα, ακολουθούμενη από το χειμώνα (26 γεγονότα TR), το καλοκαίρι (25 γεγονότα TR) και την άνοιξη (16 γεγονότα TR). Οι υδροσίφωνες παρουσιάζουν μέγιστο κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, με 180 WS γεγονότα, ενώ έπονται το καλοκαίρι (64 WS γεγονότα), η άνοιξη και ο χειμώνας με 59 γεγονότα WS. Τα FC παρουσιάζουν μέγιστο το χειμώνα (21 γεγονότα), ενώ ακολουθούν η περίοδο της άνοιξης (18 γεγονότα) και του φθινοπώρου (17 γεγονότα). Τα FC, παρουσιάζουν την ελάχιστη συχνότητα το καλοκαίρι με 3 γεγονότα, ενώ η συχνότητα τους είναι κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με την εποχική συχνότητα τόσο των σιφώνων ξηράς, όσο και των σιφώνων θαλάσσης.



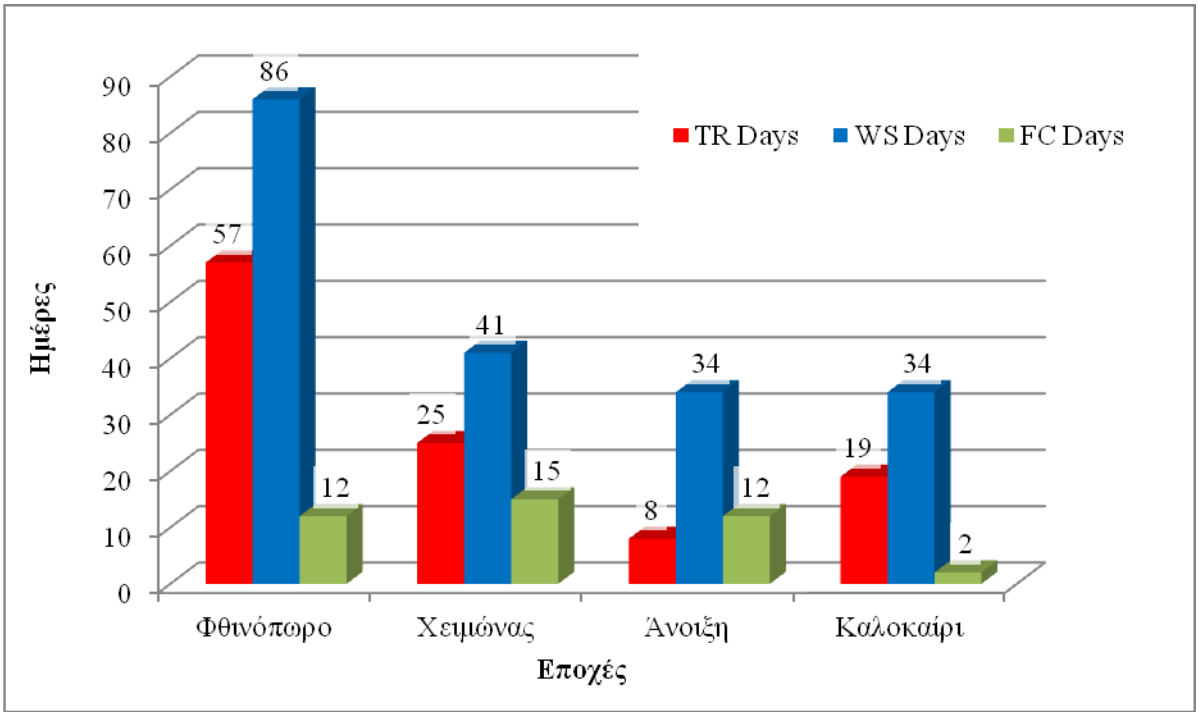
Εικόνα 5.15: Εποχική κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012.

Η εποχική κατανομή των ημερών εμφάνισης σιφώνων αποτυπώνει τη φθινοπωρινή εποχή ως την πιο επιδεκτική εποχή δημιουργίας σιφώνων TE με 155 ημέρες εκδήλωσης (Εικόνα 5.16). Ακολουθούν, ο χειμώνας με 81 ημέρες, το καλοκαίρι με 55 ημέρες και η άνοιξη με 54 ημέρες εμφάνισης. Το εποχιακό μοτίβο των ημερών εμφάνισης είναι σε συμφωνία με την εποχική κατανομή των γεγονότων και των σιφώνων ξηράς όπως παρουσίασε ο [94]. Οι ημέρες που εκδηλώθηκε σίφωνας ξηράς είναι περισσότερες τη φθινοπωρινή περίοδο (57 ημέρες TR) και ακολουθούν ο χειμώνας, το καλοκαίρι και η άνοιξη με 25, 19 και 8 ημέρες TR, αντίστοιχα.

Ο μέσος εποχικός αριθμός εμφάνισης τουλάχιστον ενός σίφωνα ξηράς τα τελευταία χρόνια (2000-2012) ισούται με 4,75 ημέρες το φθινόπωρο, 2,08 ημέρες το χειμώνα και 0,67 ημέρες κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Επίσης, οι ημέρες εκδήλωσης υδροσίφωνα είναι συχνότερες κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (86 ημέρες) και ακολουθούν ο χειμώνας, η άνοιξη και το καλοκαίρι με 41, 34 και 34 ημέρες, αντίστοιχα. Ο μέσος εποχικός αριθμός υδροσιφώνων τα τελευταία χρόνια (2000-2012) ισούται με 7,17

ημέρες το φθινόπωρο, 3,42 ημέρες το χειμώνα και 2,83 ημέρες κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού.

Τα FC παρατηρήθηκαν συνήθως σε ημέρες της χειμερινής περιόδου (15 ημέρες) και ακολούθησαν η άνοιξη (12 ημέρες) ενώ ο μέσος εποχικός αριθμός ημερών εμφάνισης τα τελευταία 13 χρόνια είναι 1,25 ημέρες το χειμώνα και 1 ημέρα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και της εαρινής περιόδου.



Εικόνα 5.16: Εποχική κατανομή των ημερών εμφάνισης σίφωνα (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012.

Μέσα από την ανάλυση της μηνιαίας κατανομής των φαινομένων παρατηρήσαμε ότι οι σίφωνες ξηράς, θάλασσας και τα νέφη FC εκδηλώνονται στην Ελλάδα σε όλους τους μήνες του έτους. Η κατανομή των συνολικών γεγονότων σιφώνων παρουσιάζει μέγιστο τον Οκτώβριο με 104 γεγονότα, ενώ έπεται ο Σεπτέμβριος (95 γεγονότα), ο Νοέμβριος (57 γεγονότα), ο Δεκέμβριος (53 γεγονότα) και ο Μάιος/Ιούλιος με 35 γεγονότα (Εικόνα 5.17).

Ο Οκτώβριος είναι ο μήνας με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης σιφώνων ξηράς (30 TR). Ακολουθούν ο Νοέμβριος, ο Ιούλιος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος με 28, 12, 11 και 9 γεγονότα TR, αντίστοιχα (Εικόνα 5.17). Αυτή η μέγιστη συχνότητα κατά τη διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών είναι σημαντικά διαφορετική με τη μηνιαία κατανομή των σιφώνων ξηράς σε σύγκριση με άλλες χώρες της κεντρικής Ευρώπης. Η κεντρική Ευρώπη παρουσιάζει ένα μέγιστο της μηνιαίας κατανομής κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών του έτους (από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο) όπως περιέγραψαν ο [9], [86] και οι [80].

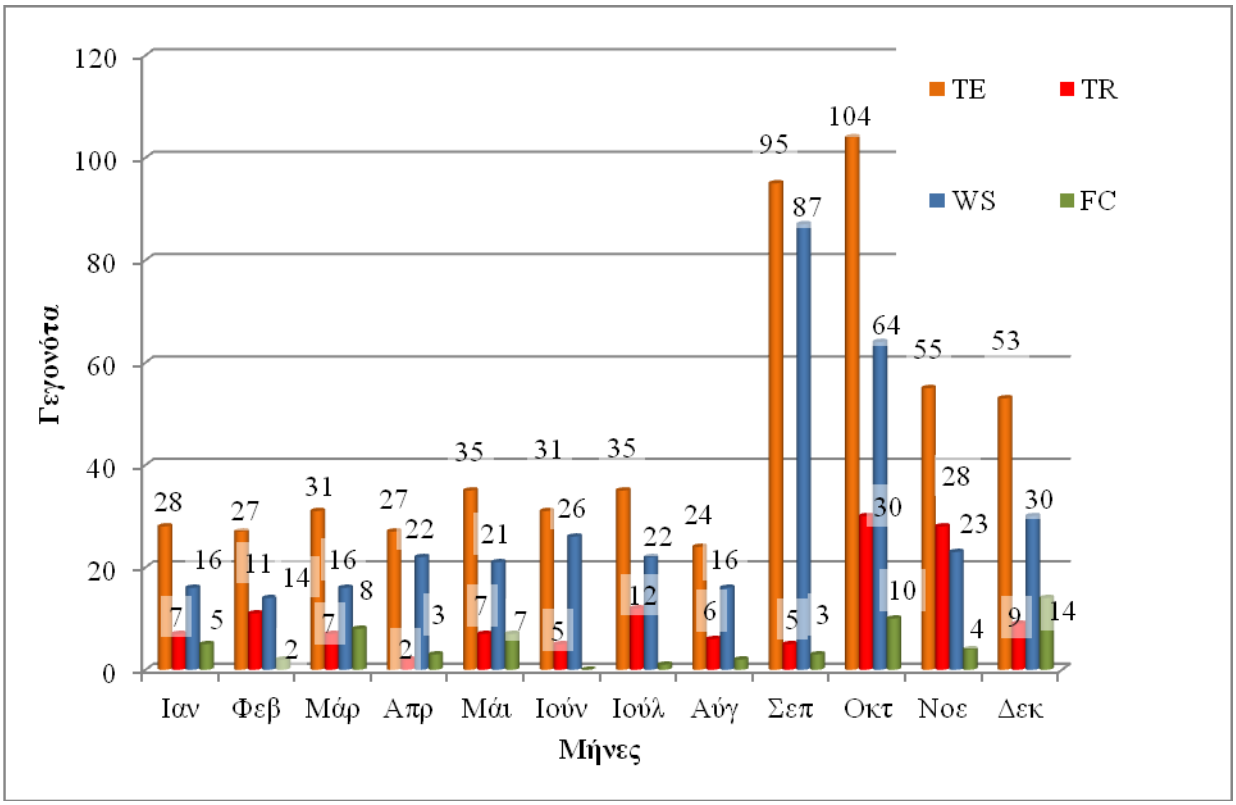
Ωστόσο το μοτίβο της μηνιαίας κατανομής με το μέγιστο να παρουσιάζεται τους θερινούς μήνες το συναντάμε στην περιοχή της Μακεδονίας (D6 υποπεριοχή), όπου η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης εντοπίζεται τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Αυτή τη χρονική περίοδο είναι έντονη η αστάθεια της ατμόσφαιρας λόγω θερμικών διεργασιών και επιτρέπουν τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης σιφώνων ξηράς.

Η μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης σιφώνων παρουσιάζει μέγιστο κατά τον Οκτώβριο (27 ημέρες) και έπονται ο Νοέμβριος, ο Φεβρουάριος, ο Δεκέμβριος και ο

Ιούνιος με 20, 11, 9 και 8 ημέρες, αντίστοιχα (Εικόνα 5.18). Ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών εμφάνισης σιφώνων για τη χρονική περίοδο 2000-2012 είναι 2,1 ημέρες για τον Οκτώβριο, 1,54 ημέρες το Σεπτέμβριο, 0,85 ημέρες κατά τη διάρκεια του Φεβρουαρίου, 0,69 για το μήνα Δεκέμβριο και 0,62 ημέρες για το μήνα Ιούλιο.

Όσον αφορά τη μηνιαία εμφάνιση των υδροσιφώνων σχεδόν το 24 % του συνολικού αριθμού εμφανίζεται το μήνα Σεπτέμβριο (87 γεγονότα) (Εικόνα 5.17). Ένα δεύτερο μέγιστο εμφάνισης υδροσιφώνων παρατηρείται τον Οκτώβριο (64 γεγονότα), ενώ ακολουθούν ο Δεκέμβριος, ο Ιούνιος, ο Νοέμβριος, ο Ιούλιος, ο Απρίλιος και ο Μάιος με 30, 26, 23, 22, 22 και 21 γεγονότα, αντίστοιχα.

Η μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (Εικόνα 5.18) παρουσιάζει ως συχνότερο μήνα εμφάνισης τον Οκτώβριο (37 ημέρες) και ακολουθούν ο Σεπτέμβριος (31 ημέρες), ο Νοέμβριος (19 ημέρες), ο Δεκέμβριος (17 ημέρες) και ο Ιούνιος (17 ημέρες). Με βάση τα παραπάνω δεδομένα ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων για τη χρονική περίοδο 2000-2012 είναι 2,85 μέρες τον Οκτώβριο, 2,4 ημέρες το Σεπτέμβριο, 1,46 ημέρες το Νοέμβριο και 1,31 ημέρες το Δεκέμβριο και τον Ιούνιο.

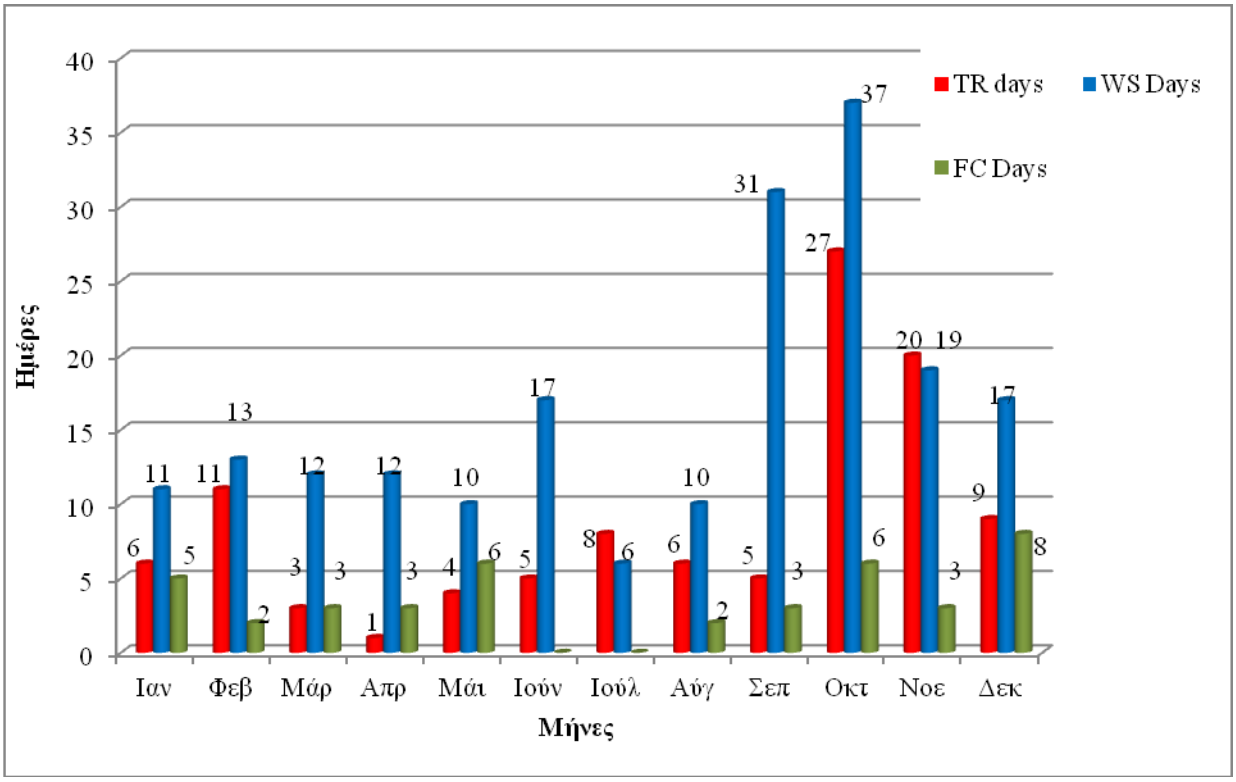


Εικόνα 5.17: Μηνιαία κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012.

Στον Πίνακας 5-4, αποτυπώνεται η μηνιαία κατανομή των φαινομένων σιφώνων ανά υποπεριοχή. Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, τα γεγονότα (TE) εμφανίζονται συχνότερα τη φθινοπωρινή περίοδο. Ωστόσο σημαντικές εξαιρέσεις υπάρχουν σε αυτόν τον κανόνα για τους σίφωνες (TE) που αναπτύσσονται στην υποπεριοχή D5 και D6, όπου εμφανίζονται συχνότερα κατά τη θερινή περίοδο του έτους. Επίσης οι σίφωνες ξηράς είναι συχνότεροι στην υποπεριοχή D3 κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές για την υποπεριοχή D9 δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για τη συχνότερη περίοδο εμφάνισης των σιφώνων. Ο λόγος είναι ο περιορισμένος αριθμός παρατηρήσεων υδροσιφώνων καθώς 10

γεγονότα στο σύνολο των 19 έλαβαν χώρα την ίδια ημέρα κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Αυτή η μηνιαία εμφάνιση επηρεάζει σημαντικά τη μηνιαία κατανομή και τοποθετεί την άνοιξη ως την επικρατέστερη περίοδο εμφάνισης και περιορίζει σημαντικά τον εντοπισμό συγκεκριμένων καιρικών συνθηκών που ευνοούν την ανάπτυξη τους. Οι [81] παρουσίασαν μία αντικειμενική ταξινόμηση των τύπων καιρού, που ευνοούν την ανάπτυξη των σιφώνων (ανά τύπο) για τη δυτική Ελλάδα (υποπεριοχή D10). Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται αναλυτικά οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που ευνοούν την εμφάνιση σιφώνων (ανά τύπο και εποχή) καθώς επίσης και μέσες ανωμαλίες των ημερών εμφάνισης σιφώνων από το 1948 έως το 2012.



Εικόνα 5.18: Μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης σίφωνα (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012.

Η ημερήσια διακύμανση των σιφώνων (TE) στην Ελλάδα, για τη χρονική περίοδο 2000-2012, παρουσιάζει μία ευρεία μέγιστη κατανομή μεταξύ 08:00 και 15:00 UTC (Εικόνα 5.19). Ωστόσο η ημερήσια αυτή κατανομή βασίστηκε μόνο στο 39% των συνολικών γεγονότων μέσα από τα οποία μπορούσαμε να αντλήσουμε πληροφορίες για την ακριβή ώρα παρατήρησής τους. Γεγονότα τα οποία εκδηλώθηκαν στα πρώτα 30 min της ώρας (δηλαδή από XX:01 έως XX:30) ταξινομήθηκαν στην πλησιέστερη ακέραια ώρα (δηλαδή XX), ενώ γεγονότα τα οποία εκδηλώθηκαν στο δεύτερο 30λεπτο της ώρας (δηλαδή από XX:31 έως XX:00) ταξινομήθηκαν στην πλησιέστερη ακέραια ώρα (δηλαδή XX:00+01:00).

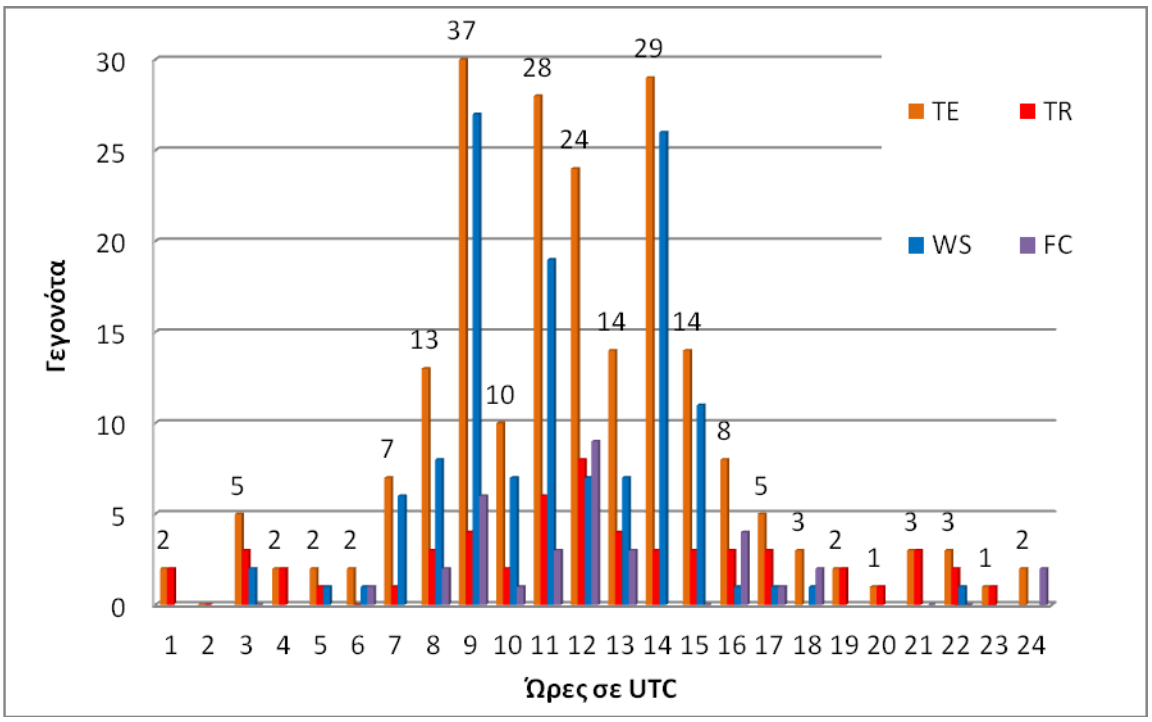
Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς ένα διακριτό μέγιστο στην ημερήσια εμφάνιση των σιφώνων παρατηρείται στις 12:00 τοπική ώρα (09:00 UTC), το οποίο είναι σε συμφωνία με την ημερήσια διακύμανση του [94]. Περισσότερα από 75 % των συνολικών γεγονότων αναπτύχθηκαν από τις 11:00-18:00 τοπική ώρα (08:00-15:00 UTC). Η ημερήσια διακύμανση των σιφώνων ξηράς παρουσιάζει μέγιστο από τις 14:00-16:00 τοπική ώρα (11:00-13:00 UTC), ενώ μία ομοιόμορφη κατανομή παρουσιάζεται τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας. Αυτή η μέγιστη ημερήσια συχνότητα εμφάνισης σχετίζεται με τη συχνότητα εμφάνισης των σιφώνων ξηράς στην περιοχή της Μακεδονίας καθώς οι

ασταθείς καιρικές συνθήκες είναι το κύριο χαρακτηριστικό αυτή την χρονική περίοδο της ημέρας.

Πίνακας 5-4: Εποχική και μηνιαία κατανομή των συνολικών γεγονότων σιφώνων (TE), των σιφώνων ξηράς (TR) και των υδροσιφώνων (WS) για κάθε υποπεριοχή που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση κατά την χρονική περίοδο 2000-2012.

Υποπεριοχή	Μέγιστη εποχική συχνότητα εμφάνισης			Μέγιστη μηνιαία συχνότητα εμφάνισης		
	TE	TR	WS	TE	TR	WS
Ελλάδα	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Σεπ	Νοε	Σεπ
D1 (Κέρκυρα)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Νοε	Νοε	Νοε
D2 (ΒΔ Πελοπόννησο)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Νοε	Νοε	Σεπ
D3 (Κρήτη)	Φθινόπ	Χειμών	Φθινόπ	Σεπ	Ιαν	Σεπ
D4 (Αττική)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Οκτ/ Νοε	Νοε	Οκτ
D5 (Σποράδες)	Καλοκαίρ	Χειμών	Καλοκαίρ	Ιούν	Δεκ	Ιούν
D6 (κεντρική Μακεδονία)	Καλοκαίρ	Καλοκαίρ	Καλοκαίρ	Ιούλ	Ιούλ	Ιούν
D7 (νότια Πελοπόννησο)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Νοε	Οκτ/ Νοε	Νοε
D8 (Κυκλάδες)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Οκτ	Οκτ	Νοε
D9 (ανατολικό Αιγαίο)	Φθινόπ	Φθινόπ	Άνοιξη	Σεπ	Οκτ/ Δεκ	Μάιο
D10 (δυτική Ελλάδα)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Οκτ	Νοε	Σεπ
D11 (βόρεια Κρήτη)	Φθινόπ	Φθινόπ	Φθινόπ	Σεπ	Νοε	Σεπ
D12 (βόρεια Ηρακλείου)	Φθινόπ	Φθινόπ/ Χειμών	Φθινόπ	Σεπ	Ιαν	Σεπ

Η ημερήσια κατανομή των υδροσιφώνων, σε αντίθεση με την ημερήσια κατανομή των σιφώνων ξηράς, παρουσιάζει 2 μέγιστα: το πρώτο 10:00-12:00 τοπική ώρα (07:00-09:00 UTC) και το δεύτερο τις πρώτες απογευματινές ώρες 17:00-18:00 τοπική ώρα (14:00-15:00 UTC). Αυτά τα 2 μέγιστα της ημερήσιας κατανομής παρουσιάζουν ένα μοτίβο ημερήσιας εμφάνισης παρόμοιο με τη συμπεριφορά των υδροσιφώνων στην ευρύτερη περιοχή του νησιωτικού συμπλέγματος Key West της Φλώριδας των Η.Π.Α. [118], στα νησιά Nassau των Μπαχάμας [119] και στην ευρύτερη περιοχή της Καταλονίας κατά τη διάρκεια των ετών 1950-2009 [78]. Ο [7], [8] και οι [120] παρουσίασαν ότι οι υδροσίφωνες δημιουργούνται από νεφικά συστήματα γραμμών cumulus καλοκαιρίας ή ανεπτυγμένα cumulus (cumulus congestus) και όχι αναγκαία από νέφη καταιγίδας. καθώς όπως περιγράψαμε και στο Κεφάλαιο 2 δημιουργίας των υδροσιφώνων η προϋπάρχουσα κατακόρυφη ταχύτητα μέσα στο οριακό στρώμα ενισχύεται από την επιμήκυνση του στροβίλου και την ανοδική κίνηση του cumulus. Πηγές για την δημιουργία των ανοδικών κινήσεων στο έδαφος είναι οι γραμμές σύγκλισης είτε εκροής αέρα (outflow boundaries) είτε από θαλάσσιες αύρες.



Εικόνα 5.19: Ημερήσια κατανομή των γεγονότων σιφώνων (συνολικών και ανά τύπο) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο από 1/1/2000 έως 31/12/2012.

Οι [92] περιέκλεισαν ένα μεγάλο αριθμό υδροσιφώνων σε μία μέσης κλίμακας κατάσταση, οφειλόμενη ως επί το πλείστον στις θαλάσσιες αύρες, τόσο για τους υδροσίφωνες που εμφανίστηκαν στην περιοχή του Αιγαίου, όσο και για τους υδροσίφωνες στην περιοχή του Ιονίου Πελάγους, εφαρμόζοντας το νομόγραμμα του Szilagyi [121] για την περίοδο 2002-2006. Στην έρευνά μας, τα γεγονότα υδροσίφωνα δημιουργήθηκαν από νέφη cumulus καλοκαιρίας (fair-weather cumuli) ή νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης.

Το προαναφερόμενο διπλό μέγιστο στην ημερήσια διακύμανση των υδροσιφώνων είναι σε συμφωνία με τις ώρες ανάπτυξης της θαλάσσιας αύρας (τοπικής κυκλοφορίας) και με την έλλειψη σημαντικού ασταθούς περιβάλλοντος, ή ανύψωσης λόγω διέλευσης μετωπικής δραστηριότητας. Η ημερήσια διακύμανση των νεφών σίφωνα είναι παρόμοια της κατανομής των υδροσιφώνων και παρουσιάζει δύο μέγιστα στις 09:00 και στις 14:00 UTC. Τα υπόλοιπα γεγονότα των FC είναι διάσπαρτα σε όλο το 24ωρο.

5.6 Οι επιπτώσεις της εμφάνισης των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-2012

Αναλύοντας τις πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις των σιφώνων στην τοπική κοινωνία βρήκαμε ότι οι σίφωνες ξηράς (ή οι υδροσίφωνες που συνέχισαν την πορεία τους στην ξηρά) προκάλεσαν σε πολλές περιπτώσεις σημαντικές επιπτώσεις στις περιοχές που εκδηλώθηκαν τόσο σε ανθρώπινα θύματα, όσο σε δομικές κατασκευές αλλά και καλλιέργειες. Αναλύοντας τα γεγονότα και τις πληροφορίες που περιέγραφαν τις επιπτώσεις τους για τη χρονική περίοδο 1709-2012, βρήκαμε ότι τουλάχιστον 114 άνθρωποι τραυματίστηκαν και 29 τραυματίστηκαν θανάσιμα.

Η γεωγραφική κατανομή των επιπτώσεων παρουσιάζει τις δυτικές και κεντρικές περιοχές της χώρας ως τις περισσότερο πληγείσες περιοχές όπως η ΒΔ Πελοπόννησος, η Αττική και η νότια Πελοπόννησο (D2, D4 και D7 υποπεριοχές στην

Εικόνα 5.1). Διάσπαρτα περιστατικά καταγράφηκαν στην Κρήτη, Κέρκυρα και βόρεια Ελλάδα (D3, D1 και D6 αντίστοιχες υποπεριοχές στην Εικόνα 5.1).

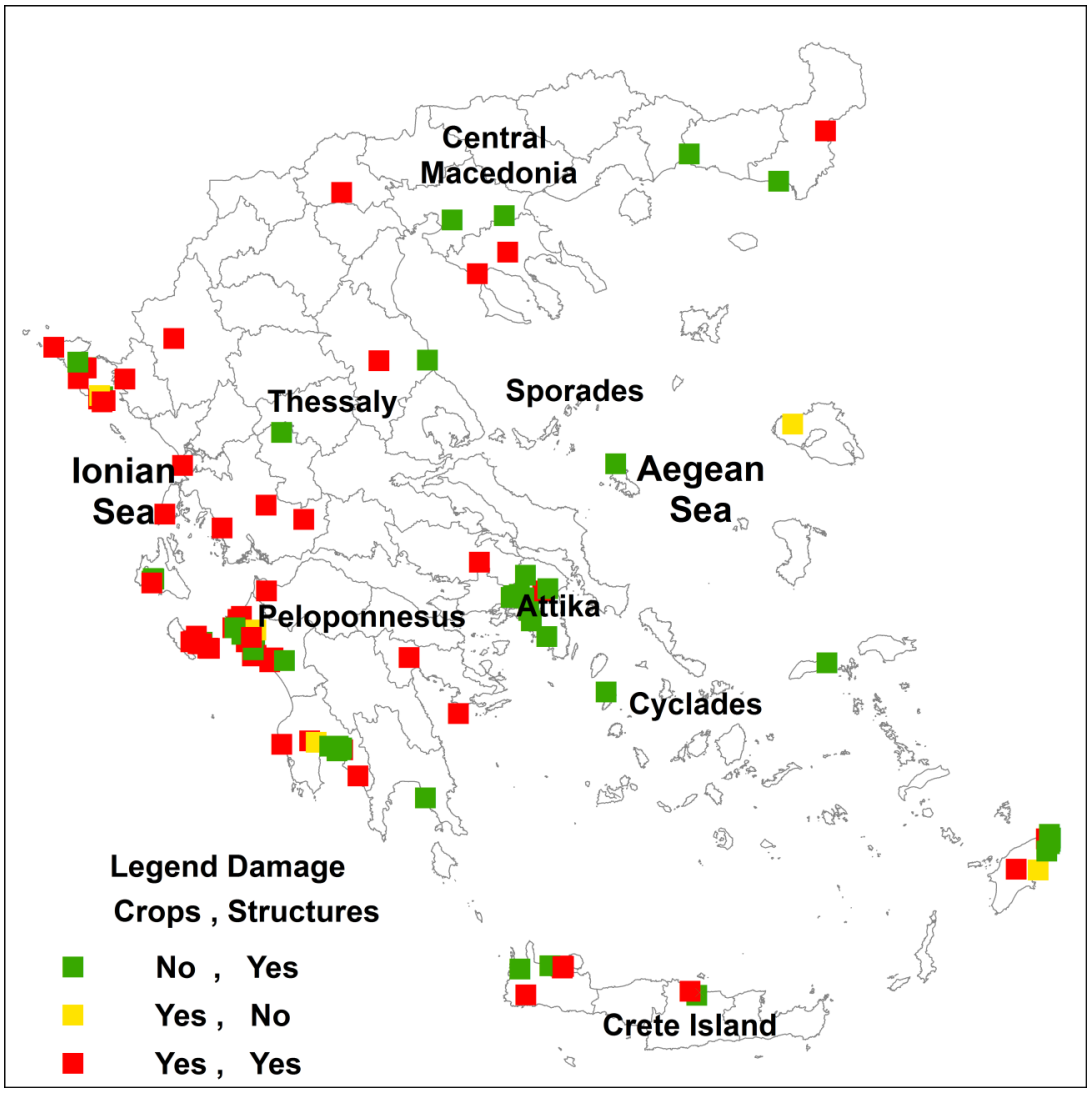
Από το σύνολο των 171 γεγονότων σιφώνων που εκδηλώθηκαν τη χρονική περίοδο 1709-2012, μόνο για τα 137 γεγονότα είχαμε αρκετές πληροφορίες για να προχωρήσουμε στην ταξινόμηση με βάση την κλίμακα Τ. Από το σύνολο των 137 σιφώνων, οι 48 προκάλεσαν μόνο ζημιές σε δομικές κατασκευές, οι 17 προκάλεσαν μόνο ζημιές σε καλλιέργειες και οι 72 προκάλεσαν ζημιές σε δομικές κατασκευές αλλά και σε καλλιέργειες. Η γεωγραφική κατανομή των συσχετιζόμενων επιπτώσεων δομικές κατασκευές-καλλιέργειες κατά την εμφάνιση σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-2012 παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.20.

Η εμφάνιση ασθενών σιφώνων στη βόρεια Ελλάδα δεν προκάλεσε σημαντικές επιπτώσεις στις δομικές κατασκευές και στις καλλιέργειες, με μικρές εξαιρέσεις κατά την εμφάνιση ισχυρών σιφώνων. Σε αντίθεση με τη βόρεια Ελλάδα, οι σίφωνες που εκδηλώθηκαν στη ΒΔ Πελοπόννησο προκάλεσαν σημαντικές επιπτώσεις τόσο σε δομικές κατασκευές όσο και σε καλλιέργειες, αυξάνοντας σημαντικά τις οικονομικές επιπτώσεις. Είναι χαρακτηριστική η οικονομική επίπτωση στους νομούς Ηλείας και Αχαΐας κατά την εμφάνιση του σίφωνα στις 25/3/2009 όπου οι υπηρεσίες εκτίμησαν το κόστος στο ποσό των 320.000 ευρώ. Η Αττική παρουσιάζει σημαντικές επιπτώσεις σε δομικές κατασκευές κατά τη χρονική περίοδο 1709-1950, ενώ αξιοσημείωτες είναι και οι καταγεγραμμένες επιπτώσεις στο νησί της Κέρκυρας (Εικόνα 5.20).

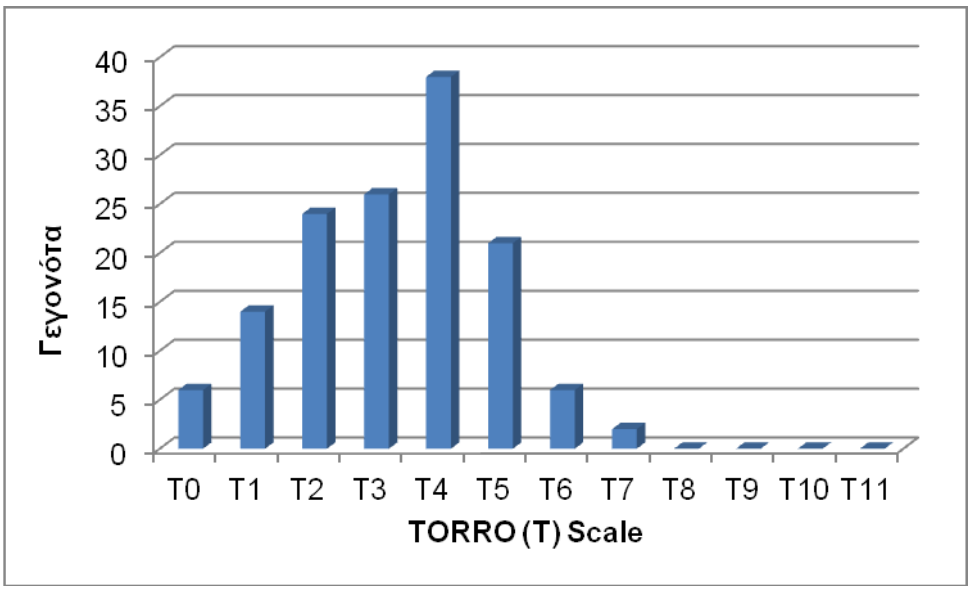
Η επικρατέστερη ένταση σιφώνων στην Ελλάδα, με βάση τη χρονική περίοδο 1709-2012, με ποσοστό 27,73 % είναι η ένταση Τ4 της κλίμακας Τ (Εικόνα 5.21). Το ποσοστό εμφάνισης ασθενών σιφώνων της κλίμακας Τ (Τ0-Τ3) είναι 51 % ενώ το ποσοστό των ισχυρών σιφώνων εκτιμάται στο 49 % (Τ4-Τ7). Τα παραπάνω ποσοστά δεν διαφοροποιούνται αν εξετάσουμε την περίοδο εμφάνισης των σιφώνων σε ιστορικά και πρόσφατα γεγονότα. Η επικρατέστερη ένταση σιφώνων για τα ιστορικά γεγονότα είναι η Τ4 και εμφανίζει ποσοστό συχνότητας ίσο με 31,76 %.

Η χωρική κατανομή της έντασης των σιφώνων στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 1709-2012 (Εικόνα 5.22), αποτυπώνει ότι ισχυροί σίφωνες της κλίμακας Τ, εκδηλώνονται κατά μήκος της δυτικής Ελλάδας (υποπεριοχή D10 στην Εικόνα 5.1). Η ΒΔ Πελοπόννησος (υποπεριοχή D2 στην Εικόνα 5.1) παρουσιάζει επίσης ισχυρούς σίφωνες με την πλειονότητα αυτών να κατηγοριοποιούνται ως Τ4-Τ5.

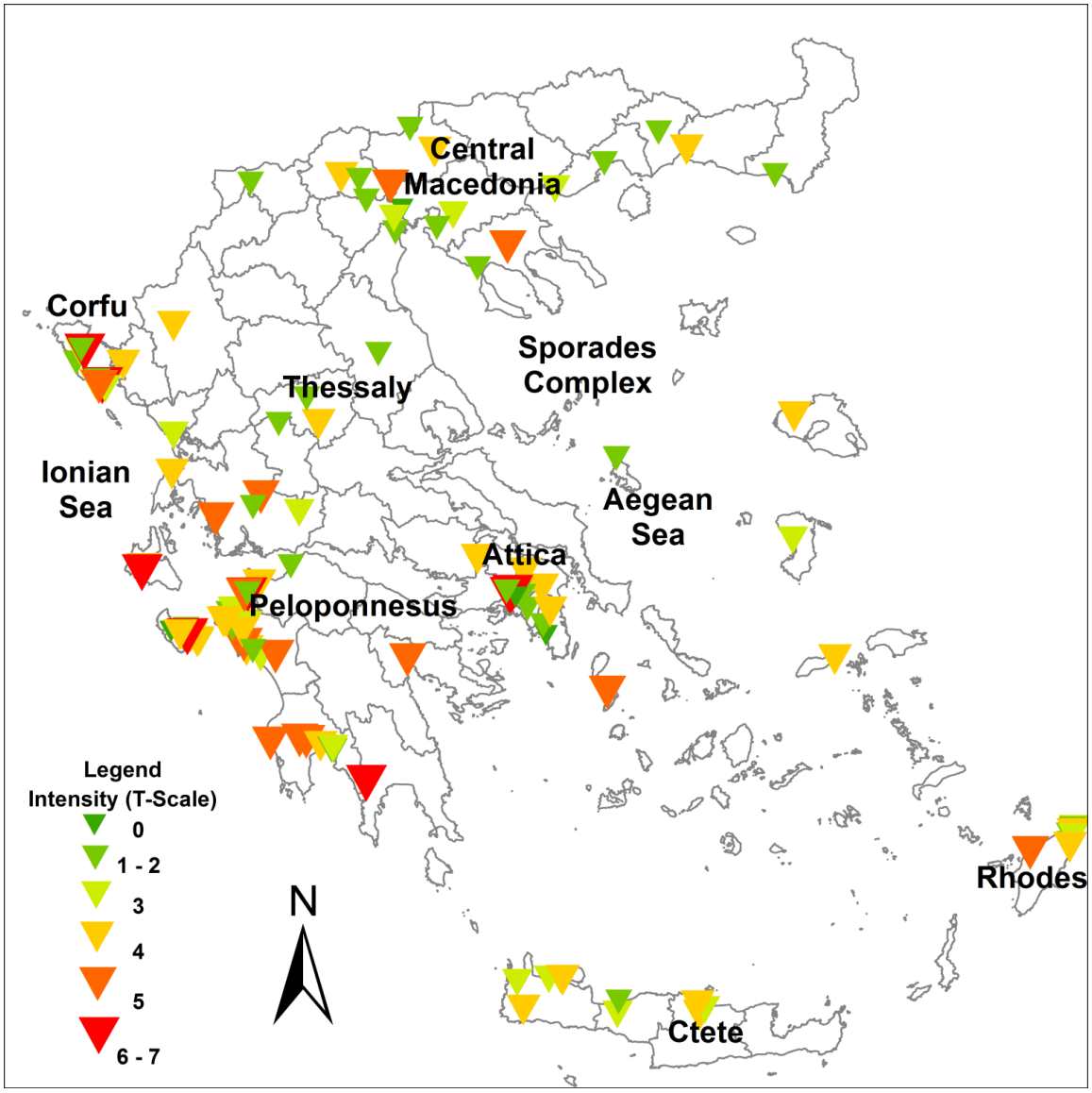
Στην περιοχή της Θεσσαλίας και της κεντρικής Μακεδονίας (υποπεριοχή D6 στην Εικόνα 5.1) εκδηλώθηκαν ασθενείς σίφωνες, με την πλειονότητα αυτών να χαρακτηρίζονται ως (Τ0-Τ3) (Εικόνα 5.22). Ωστόσο υπήρχαν σποραδικά γεγονότα στην κεντρική Μακεδονία τα οποία ταξινομήθηκαν ως Τ4 και Τ5 της κλίμακας Τ.



Εικόνα 5.20: Η χωρική κατανομή των επιπτώσεων της εμφάνισης των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο συσχετίζοντας τις ζημιές σε δομικές κατασκευές αλλά και σε καλλιέργειες για τη χρονική περίοδο 1709-2012.



Εικόνα 5.21: Κατανομή της έντασης των σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο για τη χρονική περίοδο 1709-2012 με βάση την κλίμακα Τ.



Εικόνα 5.22: Χωρική κατανομή της έντασης των σιφώνων στην Ελλάδα με βάση την κλίμακα Τ για τη χρονική περίοδο 1709-2012.

6 Ανάλυση των συνοπτικών καταστάσεων κατά την εμφάνιση σιφώνων στην ΒΔ Πελοπόννησο και το Νότιο Αιγαίο

6.1 Εισαγωγή

Η γνώση της χωρικής και χρονικής κατανομής των φαινομένων σιφώνων και υδροσιφώνων μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε την επιδεκτικότητα εμφάνισής τους, σε συγκεκριμένες περιοχές και συγκεκριμένες χρονικές περιόδους του έτους. Η χωρική και χρονική συχνότητά τους, σε συνδυασμό με τη γνώση των συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών που ευνοούν τη δημιουργία τους, μπορεί να χαρακτηριστεί ως το πρώτο βήμα στην ανάπτυξη ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησής/πρόγνωσής τους.

Μέσα από τη συνεχή αναζήτηση για εντοπισμό ακραίων φαινομένων γίναμε αποδέκτες πολλών προτάσεων από τους επιχειρησιακούς προγνώστες, οι οποίοι μας εξέθεσαν την βασική ανάγκη για τη γνώση των συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών (τύποι καιρού) που ευνοούν τη δημιουργία τους. Οι τύποι καιρού αποτελούν το βασικό εργαλείο στην καθημερινή διεργασία της πρόγνωσης καθώς επηρεάζουν σημαντικά διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν την βροχόπτωση, την επικράτηση ισχυρών ανέμων και ισχυρών καιρικών φαινομένων.

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζουμε τις μέσες συνοπτικές καταστάσεις που δημιούργησαν σίφωνες ή υδροσίφωνες, στις επιδεικτικότερες περιοχές εμφάνισής τους. Οι περιοχές αυτές, όπως αποτυπώθηκαν και στο 5° Κεφάλαιο, αφορούν τη δυτική Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή του νοτίου Αιγαίου (περιοχή Κρήτης). Η δημιουργία τύπων καιρού που ευνοούν την ανάπτυξη των σιφώνων και υδροσιφώνων θα βοηθήσει τους προγνώστες, ώστε να εκτιμήσουν την πιθανότητα εμφάνισης σιφώνων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Στη συνέχεια η μετεωρολογική επαγρύπνηση με τη χρήση των μετεωρολογικών Radar θα επιτρέψει τον έγκαιρο εντοπισμό του στροβίλου σε πολύ μικρό χρονικό βήμα (~10-20 min). Αρκετές είναι οι εργασίες που δημοσιεύθηκαν τα τελευταία χρόνια και παρουσιάζουν συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (τύπους καιρού), οι οποίοι ευνοούν τη δημιουργία σιφώνων για τις Η.Π.Α., τη Φιλανδία και την Ελλάδα [122], [123], [124], [94], [125].

6.2 Δεδομένα και Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας συνοπτικής κατάστασης και μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των ημερών εμφάνισης σιφώνων και υδροσιφώνων, τόσο στη δυτική Ελλάδα όσο και στην ευρύτερη περιοχή του νοτίου Αιγαίου, χρησιμοποιήθηκε η βάση γεγονότων με την οποία υπολογίστηκε η κλιματολογία των φαινομένων (όπως παρουσιάστηκε στο 5° Κεφάλαιο). Στη διαδικασία υπολογισμού της μέσης ημερήσιας και μέσης ημερήσιας ανωμαλίας, όλα τα χοανοειδή νέφη που εντοπίστηκαν πάνω από θαλάσσιες περιοχές χαρακτηρίστηκαν ως υδροσίφωνες, καθώς αποτυπώνουν το 1° -2° -3° στάδιο της δημιουργίας υδροσίφωνα.

Ως ημερήσια δεδομένα των ατμοσφαιρικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επανα-αναλύσεων (reanalyses data) από τα Εθνικά Κέντρα για Περιβαλλοντική Πρόγνωση και το Εθνικό Κέντρο Έρευνας της Ατμόσφαιρας των Η.Π.Α (National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research, NCEP–NCAR) όπως περιγράφεται από τους [126]. Οι οπτικοποιήσεις των μέσων ημερήσιων και μέσων ημερήσιων ανωμαλιών της ατμόσφαιρας, πραγματοποιήθηκαν μέσω της διαδικτυακής ιστοσελίδας του Τμήματος Φυσικών Επιστημών του Εργαστηρίου Έρευνας από τον Εθνικού Οργανισμού Ωκεανών και Ατμόσφαιρας

(Physical Sciences Division (PSD), Earth System Research Laboratory, North Oceanic and Atmosphere Administration). Η ηλεκτρονική διεύθυνση, της διαδικτυακής πλατφόρμας, που χρησιμοποιήθηκε για την οπτικοποίηση των γεγονότων είναι η ακόλουθη: http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/.

Το NCEP-NOAA, μέσω της παραπάνω διαδικτυακής πλατφόρμας, παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη με απλά και γρήγορα βήματα να επιλέξει μέσα από μία πληθώρα ατμοσφαιρικών παραμέτρων (π.χ. γεωδυναμικά ύψη, θερμοκρασία, πιέσεις, δείκτες αστάθειας, βροχόπτωση, κ.ά.) και για πολλαπλά κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας, τις επιθυμητές ημερήσιες συνοπτικές καταστάσεις. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να οπτικοποιήσει τη μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας για κάθε ημερομηνία από την 1^{η} Ιανουαρίου του 1948 έως σχεδόν την τρέχουσα ημερομηνία (μέχρι και 2 ημέρες παλαιότερα από την εκάστοτε τρέχουσα ημερομηνία).

Η μέση κλιματολογία βασίζεται στην κλιματολογία των 30 τελευταίων ετών και συγκεκριμένα από το 1981-2011. Οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες υπολογίζονται αφαιρώντας τη μέση ημερήσια συνοπτική ατμοσφαιρική κατάσταση από την προαναφερόμενη κλιματολογία των 30 ετών.

Στις αναλύσεις παρουσιάζεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση με παράμετρο τα γεωδυναμικά ύψη της ατμόσφαιρας σε συγκεκριμένα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας. Τα κατακόρυφα επίπεδα που επιλέχθηκαν είναι τα επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa. Επίσης, η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση υπολογίστηκε και στη μέση στάθμη θάλασσας (ΜΣΘ). Ομοίως, η ανωμαλία της μέσης ημερήσιας συνοπτικής κατάστασης υπολογίστηκε για τα προαναφερόμενα κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας.

Η επιλογή των συγκεκριμένων κατακόρυφων επιπέδων βασίστηκε στις προτάσεις των επιχειρησιακών προγνωστών, καθώς τα παραπάνω επίπεδα είναι αυτά που καθημερινά η πλειονότητα των προγνωστών μελετούν και οπτικοποιούνται άμεσα από τα επιχειρησιακά αριθμητικά προγνωστικά μοντέλα. Επιπροσθέτως είναι τα κατακόρυφα επίπεδα τα οποία αναλύονται δύο φορές σε ημερήσια βάση η επιχειρησιακή φυλακή στα μετεωρολογικά κέντρα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της χώρας μας (Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο/Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και Περιφερειακό Μετεωρολογικό Κέντρο Λάρισας/Αρχηγείου Τακτικής Αεροπορίας).

Η χωρική ανάλυση των μετεωρολογικών παραμέτρων για τον υπολογισμό των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών καταστάσεων είναι της τάξης των 2,5°. Ωστόσο έχοντας υπόψη ότι θα εξετάσουμε τη συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας, η χωρική ανάλυση των 2,5° θεωρούμε ότι είναι ικανοποιητική για την αποτύπωση της μέσης κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας.

Η ευκολία στην πρόσβαση, στην οπτικοποίηση, αλλά και η δυνατότητα χρήσης πολλών μετεωρολογικών παραμέτρων, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει κάποιος το δικό του αρχείο δεδομένων (ημερομηνιών), μας οδήγησε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα αναλύσεων από το NCEP-NOAA και όχι δεδομένα επανα-αναλύσεων με ακόμη καλύτερη χωρική ανάλυση από κάποιο άλλο μετεωρολογικό κέντρο.

Ως ημέρα σίφωνα ή υδροσίφωνα χαρακτηρίστηκε η ημέρα που παρατηρήθηκε τουλάχιστον ένα (1) γεγονός, συνεπώς ημέρα με πολλαπλά γεγονότα εμφάνισης χαρακτηρίστηκε ως μία (1) ημέρα σίφωνα ή υδροσίφωνα στη βάση δεδομένων.

6.3 Μέσες ημερήσιες συνοπτικές καταστάσεις και μέσες ημερήσιες ανωμαλίες αυτών κατά την εμφάνιση γεγονότων σιφώνων

Η ανάλυση των μέσων ημερήσιων συνοπτικών καταστάσεων αλλά και των μέσων ημερήσιων ανωμαλιών τους κατά την εκδήλωση φαινομένων σιφώνων ξηράς, υδροσιφώνων και νεφών σιφώνων παρουσιάζεται σε αυτή την ενότητα. Δεδομένου των διαφορετικών ατμοσφαιρικών συνθηκών και των σταδίων που διέπουν τη δημιουργία ενός σίφωνα και ενός υδροσίφωνα, η ανάλυση παρουσιάζεται με βάση τον τύπο του φαινομένου (σίφωνα ξηράς και υδροσίφωνα). Στις αναλύσεις όλα τα νέφη σίφωνα που παρατηρήθηκαν άνωθεν θαλάσσιας περιοχής ταξινομήθηκαν ως υδροσίφωνες.

Δεδομένου της επιδεκτικότητας που εμφανίζουν συγκεκριμένες υποπεριοχές της χώρας μας στην εκδήλωση σίφωνα και υδροσίφωνα, η ανάλυση επικεντρώθηκε στη δυτική Ελλάδα και στη θαλάσσια περιοχή του νοτίου Αιγαίου. Στις υποενότητες 6.3.1 και 6.3.2 παρουσιάζεται η ανάλυση των μέσων ημερήσιων και μέσων ημερήσιων ανωμαλιών των ατμοσφαιρικών συνθηκών για δυτική Ελλάδα και το νότιο Αιγαίο αντίστοιχα.

6.3.1 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση σιφώνων και υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα

Για την εκτίμηση της μέσης ημερήσιας συνοπτικής και μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των ημερών εμφάνισης σιφώνων και υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα χρησιμοποιήθηκε η κλιματολογία της υποπεριοχής D10. Η κλιματολογία αυτή, περιέχει 79 γεγονότα σίφωνα, 156 γεγονότα υδροσίφωνα σε 59 και 105 ημέρες εμφάνισης, αντίστοιχα. Τα γεγονότα εκδηλώθηκαν κατά τη χρονική περίοδο από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Στην υποενότητα 6.3.1.1 παρουσιάζονται οι μέσες συνοπτικές καταστάσεις και ανωμαλίες αυτών ανά εποχή για γεγονότα εμφάνισης σιφώνων, ενώ στην υποενότητα 6.3.1.2 παρουσιάζονται οι μέσες συνοπτικές καταστάσεις και ανωμαλίες αυτών ανά εποχή για γεγονότα εμφάνισης υδροσιφώνων.

6.3.1.1 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση σίφωνα στη δυτική Ελλάδα

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και η ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων παρουσιάζεται στην ενότητα αυτή ανά εποχή και ανά κατακόρυφο επίπεδο της ατμόσφαιρας στις ακόλουθες κατακόρυφες στάθμες των: 500 hPa – 700 hPa – 850 hPa – 925 hPa και SFC. Στις Εικόνες 6.1-6.4, στην αριστερή στήλη αποτυπώνεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και στη δεξιά στήλη αποτυπώνεται η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων στα κατακόρυφα επίπεδα των 500 hPa (α και β), των 700 hPa (γ και δ), των 850 hPa (ε και στ) και των 925 hPa (ζ και η).

Η μέση συνοπτική κατάσταση των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς κατά την φθινοπωρινή περίοδο στο κατακόρυφο επίπεδο των 500 hPa, χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος της κεντρικής και νότια Ιταλίας, προκαλώντας ΝΔ ανώτερο ρεύμα στη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.1α). Στα 700 hPa η διαταραχή οριοθετείται από τη βόρεια Αδριατική θάλασσα έως την περιοχή της Σικελίας (Εικόνα 6.1γ), σε αντίθεση με τις χαμηλότερες στάθμες των 850 hPa και 925 hPa (Εικόνα 6.1ε και 6.1ζ), όπου αποτυπώνεται μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία.

Η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο είναι μέγιστη (-120 m) στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας (Εικόνα 6.1β). Η μέγιστη μέση ανωμαλία στις στάθμες των 700, 850 και 925 hPa (Εικόνα 6.1δ, 6.1στ και 6.1η, αντίστοιχα) στην κατώτερη ατμόσφαιρα παρουσιάζεται πάνω από μία εκτεταμένη περιοχή της νότιας Αδριατικής θάλασσας και έχει τις αντίστοιχες τιμές -90 m, -70 m και -50 m. Στην Εικόνα Παρ. ΙΙ 1, του Παραρτήματος ΙΙ, αποτυπώνεται η κλιματολογία (1981-2011) για τη φθινοπωρινή περίοδο στις παραπάνω στάθμες.

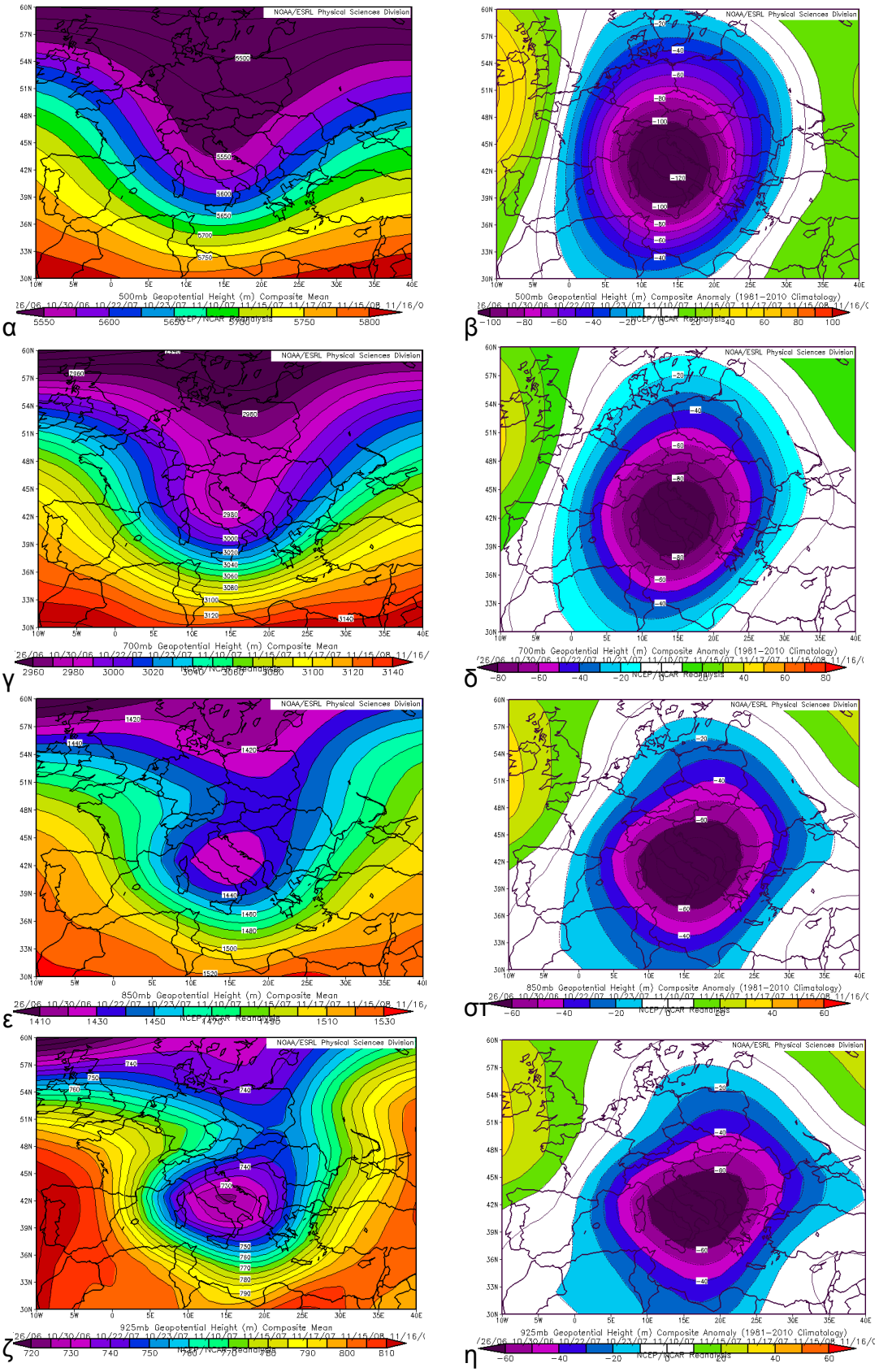
Κατά την χειμερινή περίοδο η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη βαρομετρική στάθμη των 500 hPa και 700 hPa (Εικόνα 6.2α και 6.2γ) χαρακτηρίζεται από μία διαταραχή η οποία εκτείνεται από τη βόρεια Ιταλία έως τη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κορσικής και νότιας Ιταλίας, τροφοδοτώντας με ΝΔ ανώτερο ρεύμα τη δυτική Ελλάδα. Στη στάθμη των 850 hPa (Εικόνα 6.2ε) μία εκτεταμένη κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία παρατηρείται από την ανατολική Κορσική έως την Αδριατική θάλασσα, σε αντίθεση με τη στάθμη των 925 hPa όπου περιορίζεται πάνω από την κεντρική Ιταλία (Εικόνα 6.2ζ), τροφοδοτώντας τη δυτική Ελλάδα με ΝΔ ρεύμα.

Η μέση ημερήσια ανωμαλία, κατά τη χειμερινή περίοδο, στα 500 hPa παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές (-160 m) στην βόρεια Ιταλία, ενώ οι τιμές στη δυτική Ελλάδα κυμαίνονται από -40 έως -90 γεωδυναμικά μέτρα. Καθώς εξετάζουμε τη χωρική κατανομή της μέσης ημερήσια ανωμαλίας των ημερών σιφώνων σε χαμηλότερα ατμοσφαιρικά επίπεδα (700 hPa, 850 hPa, 925 hPa) παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της μέσης ανωμαλίας, στη στάθμη των 500 hPa, μετατοπίζεται από τη βόρεια Ιταλία προς το κόλπο του Τάραντα (Εικόνα 6.2δ, 6.2στ και 6.2η). Στην Εικόνα Παρ. ΙΙ 2, του Παραρτήματος ΙΙ, αποτυπώνεται η κλιματολογία (1981-2011) για τη χειμερινή περίοδο.

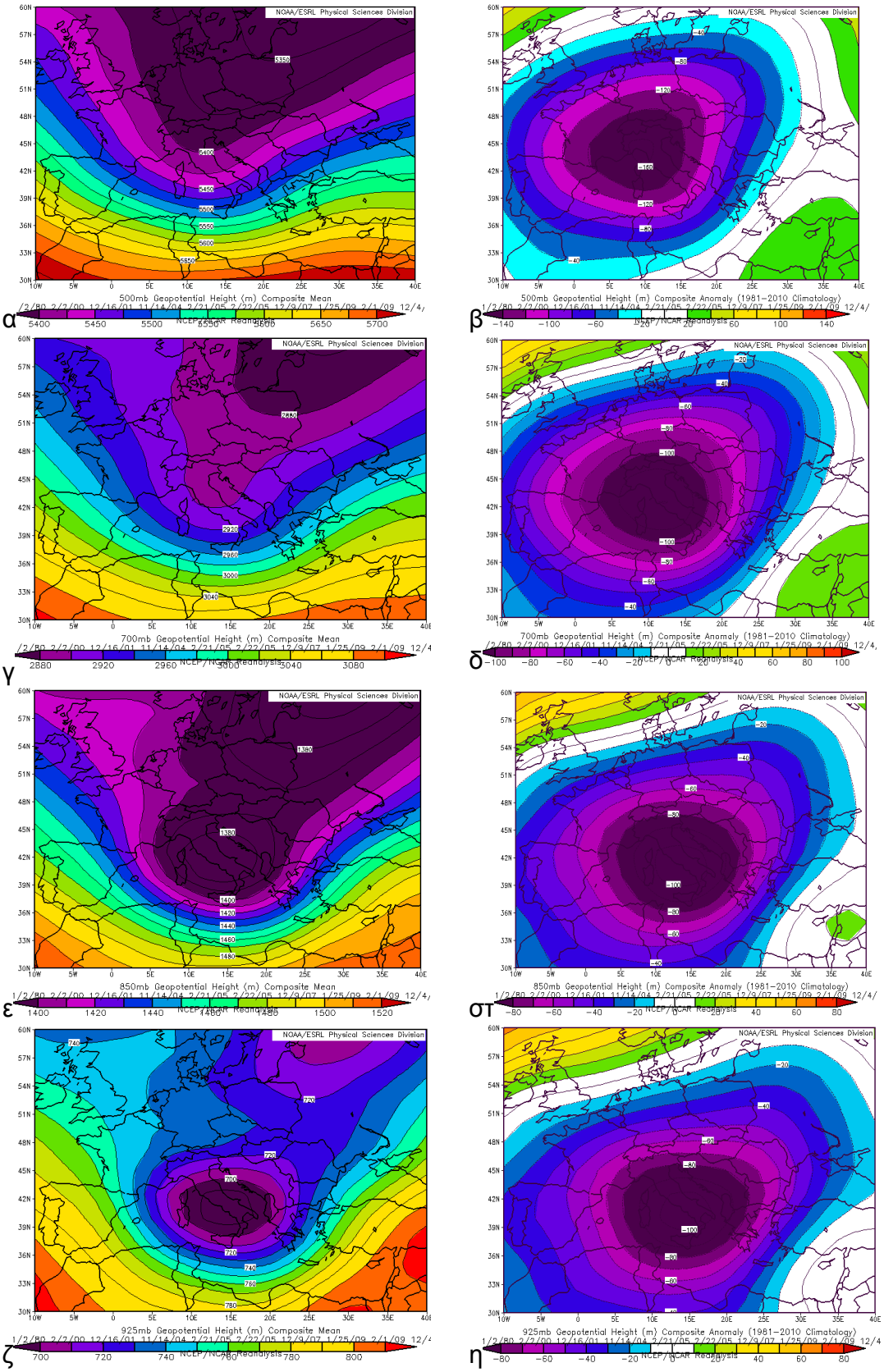
Κατά τη διάρκεια εκδήλωσης σιφώνων ξηράς την εαρινή περίοδο, η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στα 500 hPa αποτυπώνει μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία (Εικόνα 6.3α). Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία παρατηρείται επίσης και στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας (700-850-925 hPa) εγκαθιστώντας ΝΔ-Ν ροή πάνω από τη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.3 γ, 5.3ε και 5.3ζ).

Η μέση ημερήσια ανωμαλία, κατά την εαρινή περίοδο, στα 500 hPa αποτυπώνει τη μέγιστη ανωμαλία (-110 m) στη νότια Ιταλία, περιοχή βόρεια της Σικελίας (Εικόνα 6.3β). Στα υπόλοιπα κατακόρυφα επίπεδα της κατώτερης ατμόσφαιρας η μέγιστη ανωμαλία οριοθετείται ΝΑ της Σικελίας (Εικόνα 6.3δ, 6.3στ και 6.3η), ενώ η μέση ανωμαλία στη δυτική Ελλάδα είναι της τάξεως των -40 m. Στην Εικόνα Παρ. ΙΙ 3, του Παραρτήματος ΙΙ, αποτυπώνεται η κλιματολογία (1981-2011) για την εαρινή περίοδο για τα προαναφερόμενα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρα (Εικόνες 6.3δ, 6.3στ και 6.3η).

Οι σίφωνες στα βόρεια ηπειρωτικά τμήματα, κατά τη θερινή περίοδο, σχετίζονται με τις ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες οι οποίες προκαλούνται από τη σταδιακή θέρμανση της κατώτερης ατμόσφαιρας. Η σταδιακή θέρμανση των αερίων μαζών στα κατώτερα επίπεδα σε συνδυασμό με την ύπαρξη θερμοδυναμικών ασταθών ατμοσφαιρικών συνθηκών στην περιοχή του βορείου Ιονίου ευνοούν την δημιουργία σιφώνων ξηράς. Στα 500 hPa μία επιμήκης διαταραχή από την περιοχή της ανατολικής Ευρώπης έως τη νότια Ιταλία τροφοδοτεί τη χώρα μας με Δ-ΝΔ ανώτερο ρεύμα (Εικόνα 6.4α). Στο επίπεδο των 700 hPa, παρατηρούνται 2 μικρού μήκους διαταραχές: 1) η πρώτη κατά μήκος των βόρειων και ανατολικών τμημάτων της Ευρώπης και 2) η δεύτερη κατά μήκος της Αδριατικής και Κορσικής (Εικόνα 6.4γ). Στα επίπεδα των 850 hPa και 925 hPa, το βόρειο τμήμα της προαναφερόμενης διαταραχής στρέφεται, προκαλώντας μία μεσημβρινή κυκλοφορία στη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.4 και 6.4ζ).



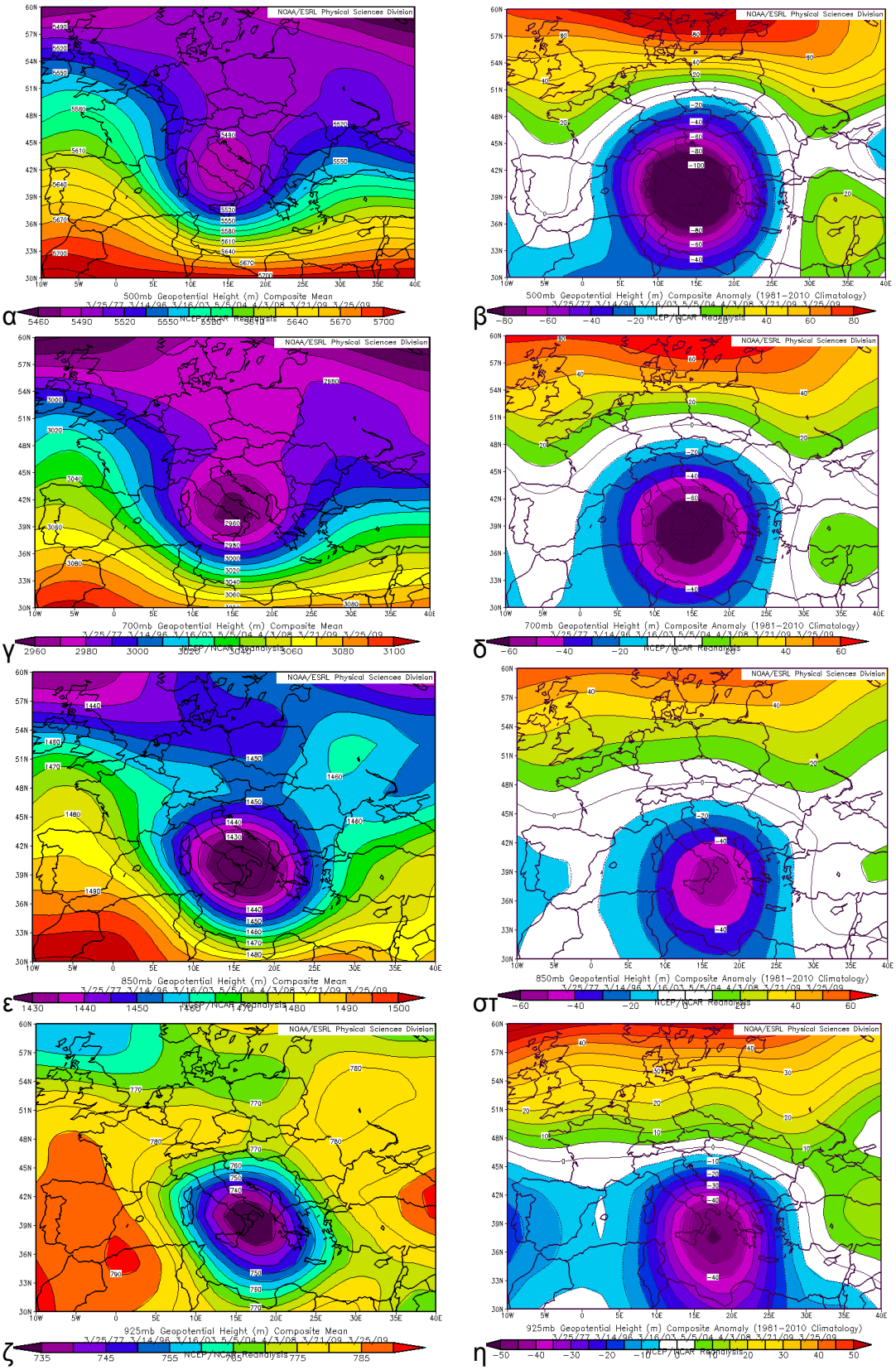
Εικόνα 6.1: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



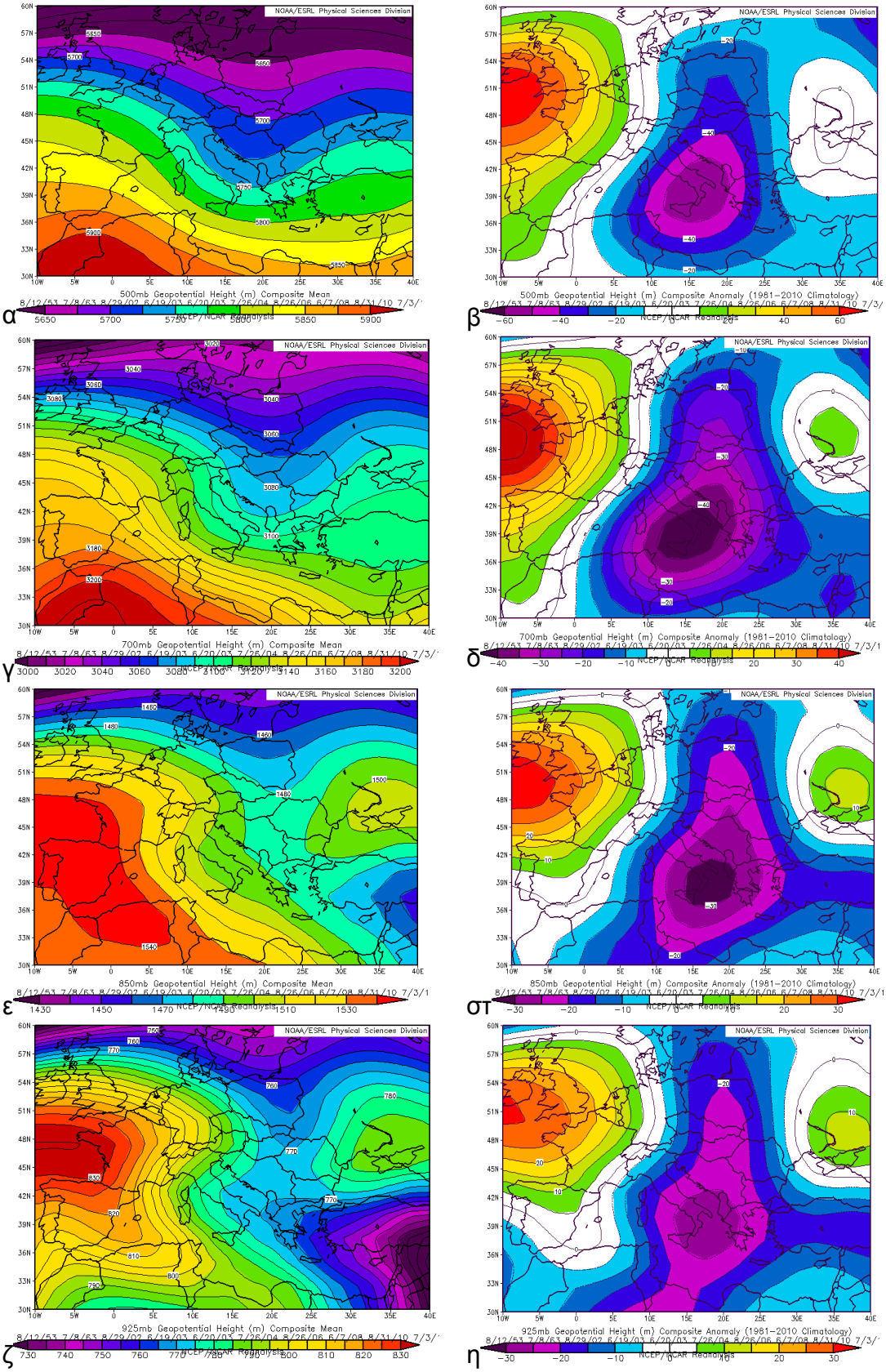
Εικόνα 6.2: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά τη χειμερινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Η μέση ημερήσια ανωμαλία, κατά τη θερινή περίοδο, στα 500 hPa εντοπίζεται στα κεντρικά και νότια τμήματα της Ιταλίας, με τιμές μικρότερες των -60 m και -40 m πάνω από τη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.4β). Στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας η μέση

ημερήσια ανωμαλία στη δυτική Ελλάδα κυμαινόταν από -40 έως -20 γεωδυναμικά μέτρα (Εικόνα 6.4δ, 6.4στ και 6.4η).



Εικόνα 6.3: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά την εαρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



Εικόνα 6.4: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, αντίστοιχα, κατά τη θερινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Στην Εικόνα Παρ. ΙΙ 4, του Παραρτήματος ΙΙ, αποτυπώνεται η κλιματολογία (1981-2011) για τη θερινή περίοδο για τα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας (500, 700, 850 και 925 hPa).

Κατά τη μελέτη των μέσων ημερήσιων συνοπτικών συνθηκών στη μέση στάθμη θάλασσας τη φθινοπωρινή, χειμερινή και εαρινή περίοδο παρατηρήθηκε μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας. Την φθινοπωρινή περίοδο το κέντρο της κυκλωνικής κυκλοφορίας στην επιφάνεια (1008 hPa) εντοπίστηκε στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας και του Κόλπου του Τάραντα (Εικόνα 6.5α), ενώ η μέση ημερήσια ανωμαλία της ΜΣΘ παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές πάνω από μία εκτεταμένη περιοχή της κεντρικής Ιταλίας και υπολογίζεται στα -8 hPa (Εικόνα 6.5β).

Κατά τη χειμερινή περίοδο, η μέση συνοπτική κατάσταση αποτυπώνει την κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία με κέντρο 1004 hPa (Εικόνα 6.5γ), ενώ η μέση ανωμαλία των ημερών παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στην ίδια περιοχή της κεντρικής Ιταλίας (-13 hPa). Η μέση ανωμαλία στις περιοχές της δυτικής Ελλάδας παρουσιάζει τα μέγιστα στις βορειότερες περιοχές (-12 hPa) και τις ελάχιστες τιμές στα νοτιότερα τμήματα (-8 hPa).

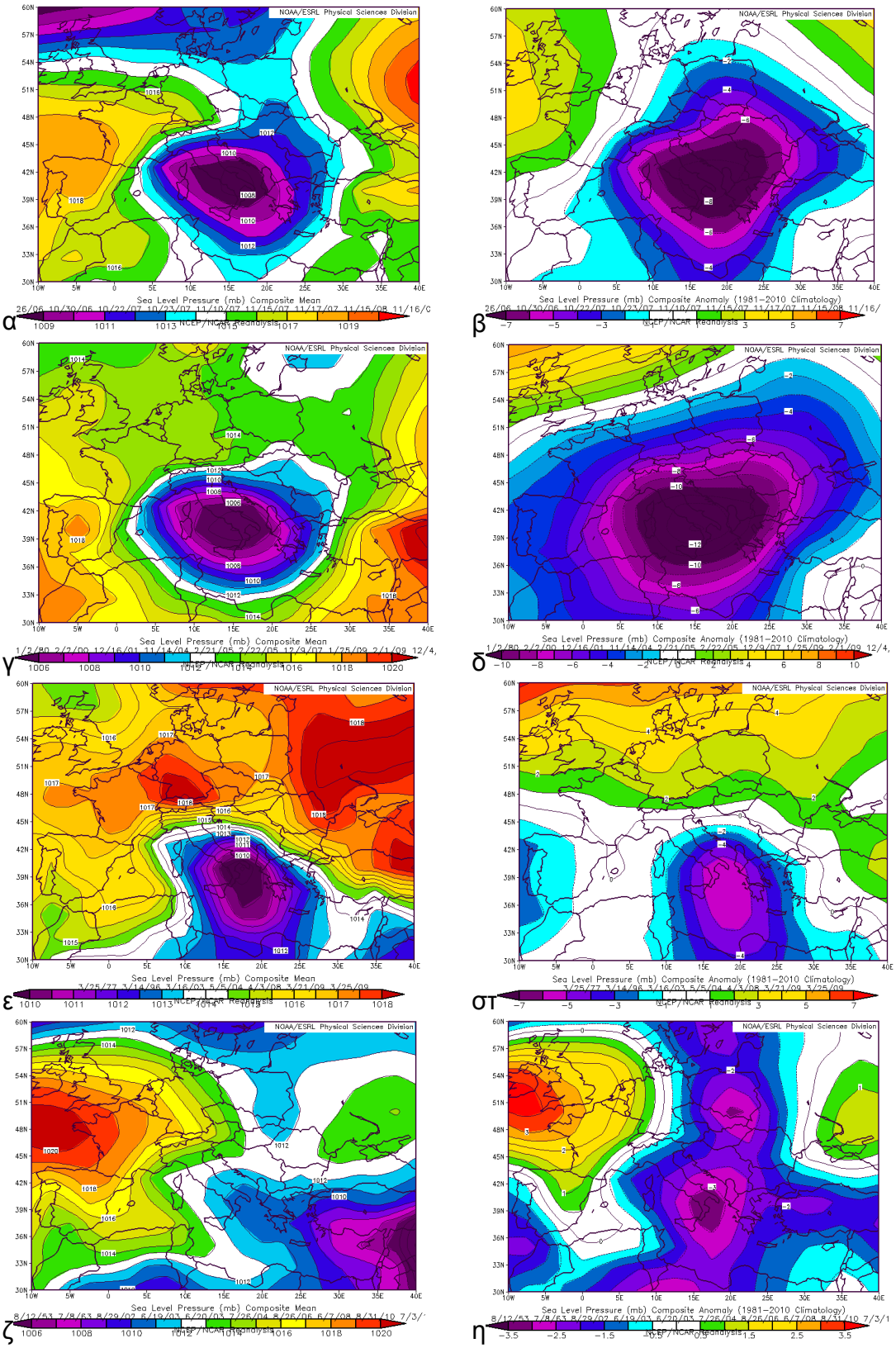
Κατά τη διάρκεια της εαρινής περιόδου (Εικόνα 6.5ε) το κέντρο της κυκλωνικής κυκλοφορίας εντοπίζεται στον κόλπο του Τάραντα (1008 hPa), τροφοδοτώντας τη δυτική Ελλάδα με ΝΔ επιφανειακό ρεύμα. Η μέση ανωμαλία αποτυπώνει τις μέγιστες τιμές (-5 hPa) μεταξύ της θαλάσσιας περιοχής του Ιονίου και του κόλπου του Τάραντα.

Κατά τη θερινή περίοδο η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη μέση στάθμη θάλασσας, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εποχές του έτους, αποτυπώνει μία ασθενή κυκλωνική κυκλοφορία μεταξύ της θαλάσσιας περιοχής του κόλπου του Τάραντα και του βορείου Ιονίου. Η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή της στην ευρύτερη περιοχή του κόλπου του Τάραντα και υπολογίζεται σε -3 hPa. Στην Εικόνα Παρ. ΙΙ 5, του Παραρτήματος ΙΙ, αποτυπώνεται η κλιματολογία (1981-2011) για τη ΜΣΘ για όλες της εποχές.

Παρά τη σημαντικότητα της εποχικής ανάλυσης των μέσων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών κατά την εμφάνιση σιφώνων ξηράς, είναι εξίσου σημαντική και απαραίτητη για κάθε επιχειρησιακό προγνώστη η γνώση της μέσης μηνιαίας συνοπτικής κατάστασης που δημιούργησε αυτά τα ακραία ισχυρά φαινόμενα.

Η γνώση των μέσων συνοπτικών καταστάσεων κατά τη διάρκεια της επιδεκτικής χρονικής περιόδου θα επιτρέψει, στον επιχειρησιακό προγνώστη. να αναγνωρίσει το συνοπτικό τύπο και να ενεργήσει στην περαιτέρω διερεύνηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών που θα προκαλέσουν τη δημιουργία σίφωνα.

Στην Εικόνα 6.6 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση ανά μήνα των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς για τη δυτική Ελλάδα στο κατακόρυφο επίπεδο των 500 hPa, για γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν τη χρονική περίοδο από 12/08/1983 έως 21/12/2012. Για την ίδια χρονική περίοδο (ίδια γεγονότα σιφώνων) στην Εικόνα 6.7 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη μέση επιφάνεια θάλασσας ανά μήνα.



Εικόνα 6.5: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) στη ΜΣΘ των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς (TR) κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού, αντίστοιχα, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Τους ψυχρούς μήνες του έτους (Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο), η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στα 500 hPa, αποτυπώνει μία εκτεταμένη κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη συνοδευόμενη από μία διαταραχή στην περιοχή της βόρειας Ιταλίας και της Αδριατικής θάλασσας. Σε αντίθεση με τους

ψυχρούς μήνες, το Μάρτιο το κέντρο του χαμηλού βρίσκεται στην κεντρική Ιταλία τροφοδοτώντας με ΝΔ ρεύμα τα δυτικά τμήματα. Τον Απρίλιο το κέντρο του χαμηλού εντοπίζεται στην κεντρική Ευρώπη και μία δεύτερη διαταραχή παρατηρούμε στο βόρειο Ιόνιο, ενώ το Μάιο το κέντρο του χαμηλού βρίσκεται στη δυτική Ευρώπη, με τη διαταραχή στην κεντρική Μεσόγειο (περιοχή Κορσικής), επιτρέποντας την τροφοδοσία των δυτικών τμημάτων της Ελλάδας με θερμές και υγρές αέριες μάζες.

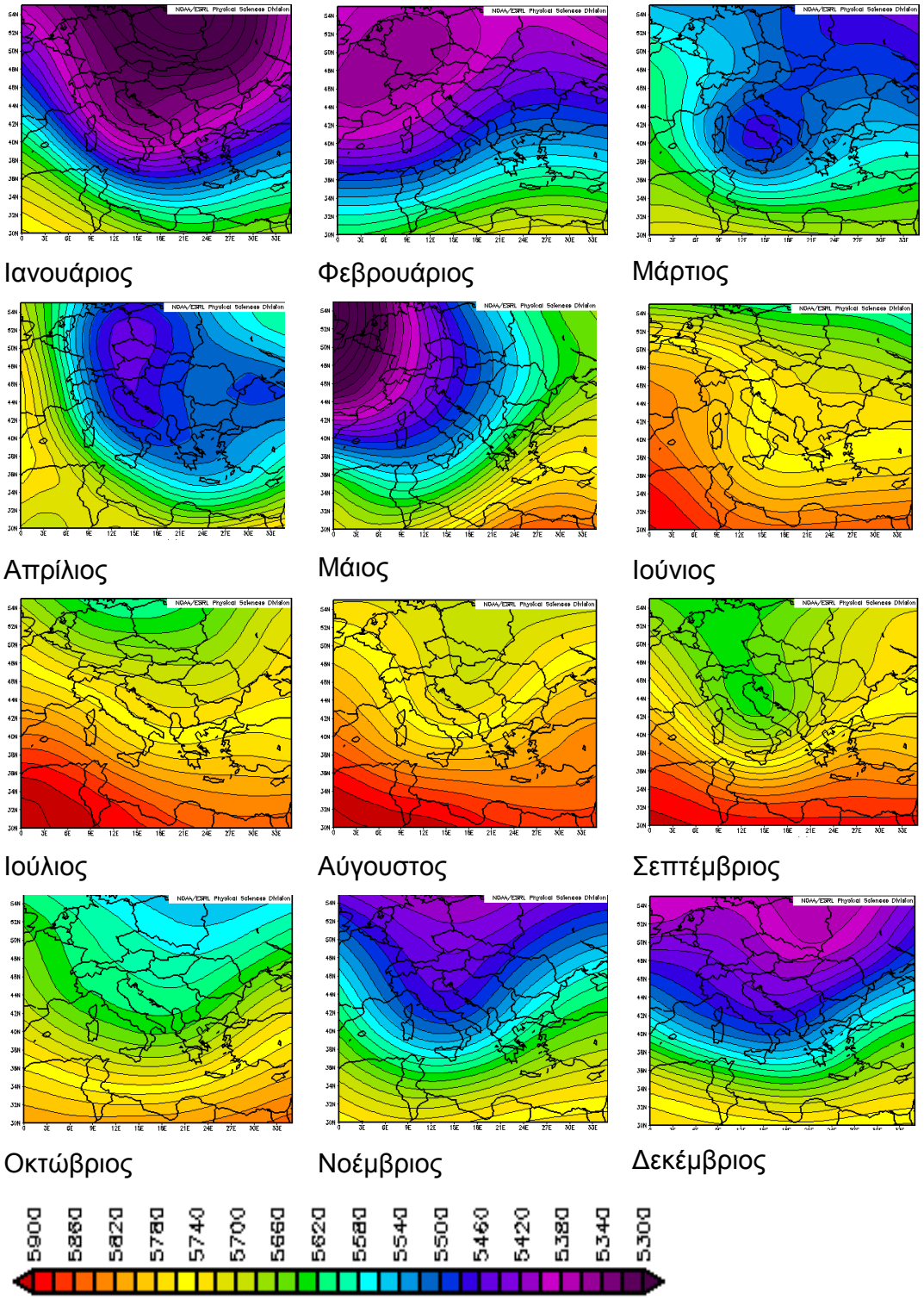
Κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών του έτους (Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο), διαταραχές της μέσης ατμόσφαιρας στα κεντρικά και βόρεια τμήματα της χώρας (και στην περιοχή της Αδριατικής) επιτρέπουν την εκδήλωση ασταθών ατμοσφαιρικών συνθηκών. Τον Αύγουστο, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους θερμούς μήνες, η διαταραχή εντοπίζεται στην περιοχή της κεντρικής Αδριατικής θάλασσας και κεντρικής Ιταλίας. Το Σεπτέμβριο κυκλωνική κυκλοφορία παρατηρείται στη βόρεια Ιταλία με τη διαταραχή να εκτείνεται έως τα νότια τμήματα, τροφοδοτώντας με ΝΔ ρεύμα τη δυτική Ελλάδα. Τις ημέρες του Οκτωβρίου η μέση συνοπτική κατάσταση αποτυπώνει τη διαταραχή, μεταξύ Ιταλίας και Ιονίου Πελάγους, σε αντίθεση με τις ημέρες σιφώνων που εκδηλώθηκαν το μήνα Νοέμβριο, όπου ισχυρό ΝΔ ρεύμα επικρατεί στο Ιόνιο καθώς η διαταραχή στα 500 hPa εκτείνεται από τη βόρεια Αδριατική θάλασσα έως τα κεντρικά ηπειρωτικά τμήματα της Ιταλίας. Κοινό στοιχείο όλων των συνοπτικών καταστάσεων της μέσης ατμόσφαιρας αποδεικνύεται το Ν-ΝΔ ρεύμα στην περιοχή του Ιονίου κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών, τρεπόμενο σταδιακά τους θερμούς μήνες σε Δ-ΝΔ.

Κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών (Δεκέμβριο και Ιανουάριο) η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη ΜΣΘ αποτύπωσε μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στο βόρειο Ιόνιο και στον κόλπο του Τάραντα (1006 hPa και 996 hPa, αντίστοιχα). Τις ημέρες του Φεβρουαρίου όπου εκδηλώθηκαν σίφωνες ξηράς, Ν-ΝΔ επιφανειακό ρεύμα εγκαθίσταται στη δυτική Ελλάδα καθώς κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία, με κέντρο στα 1005 hPa, υπάρχει πάνω από την περιοχή της Κορσικής. Κατά τη διάρκεια των μηνών Μαρτίου και Απριλίου ένα εκτεταμένο χαμηλό βαρομετρικό σύστημα (με αντίστοιχα κέντρα πιέσεων 1011 hPa και 1010 hPa) βρίσκεται στην περιοχή του Ιονίου και της νότιας Ιταλίας, σε αντίθεση με την κυκλωνική κυκλοφορία στον κόλπο της Γένοβας κατά τη διάρκεια των ημερών εκδήλωσης σίφωνα το μήνα Μάιο.

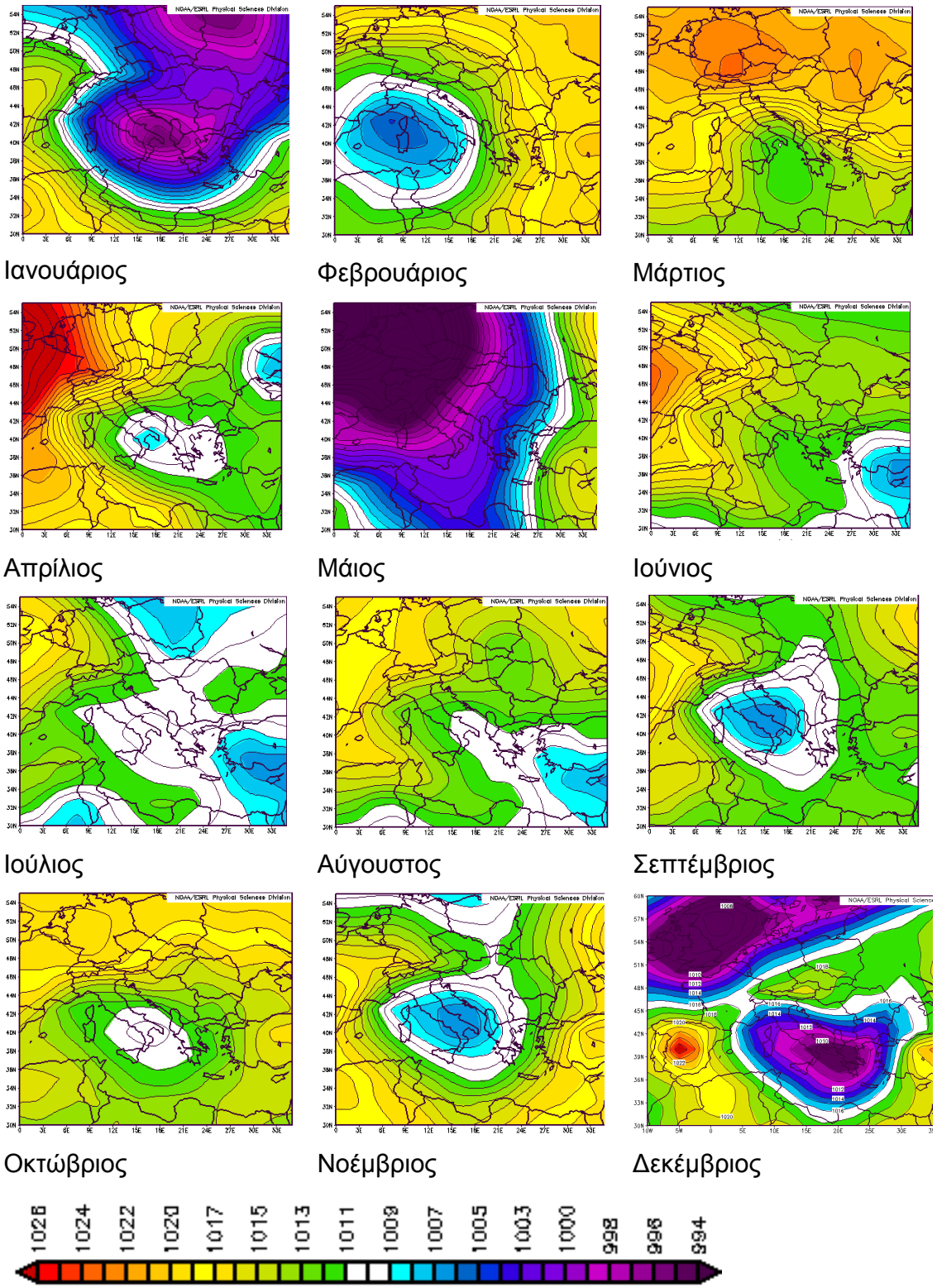
Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο) μία ρηχή ανοιχτή κυκλωνική κυκλοφορία εντοπίζεται στο βόρειο Ιόνιο και το κόλπο του Τάραντα, καθώς οι υψηλές πιέσεις της κεντρικής Ευρώπης συνδυάζονται με τις χαμηλές πιέσεις της ανατολικής Μεσογείου. Το Σεπτέμβριο η μέση συνοπτική κατάσταση αποτυπώνει μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην περιοχή της κεντρική Ιταλίας (κέντρο 1007 hPa), μετατοπιζόμενη σταδιακά προς το κόλπο του Τάραντα τον Οκτώβριο και Νοέμβριο μήνα. Η παρούσα μέση συνοπτική κατάσταση τροφοδοτεί με νότιο επιφανειακό ρεύμα την περιοχή του βορείου Ιονίου και με Ν-ΝΔ ανέμους τις νοτιότερες περιοχές του Ιονίου και της Δυτικής Ελλάδος.

Όπως παρουσιάστηκε στο 5^{ο} Κεφάλαιο, οι σίφωνες ξηράς στη δυτική Ελλάδα (υποπεριοχή D10), εμφανίζουν τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου και του Οκτωβρίου. Για το λόγω αυτό θεωρούμε σημαντικό να αναλύσουμε και να παραθέσουμε τη μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και ανωμαλία, τόσο στη ΜΣΘ όσο και στα υπόλοιπα κατακόρυφα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας. Η αποτύπωση των μέσων ημερήσιων συνοπτικών καταστάσεων θα βοηθήσει να κατανοήσουμε την κατακόρυφη δομή των συνοπτικών καταστάσεων που ευνοούν την εκδήλωση σιφώνων στη δυτική Ελλάδα. Ακολούθως στην Εικόνα 6.8 και στην Εικόνα 6.9 αποτυπώνεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση των 500, 700, 850, 925 hPa και ΜΣΘ του Οκτωβρίου και του Νοεμβρίου αντίστοιχα, για τα γεγονότα σιφώνων ξηράς που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012. Η κλιματολογία των τελευταίων 30 ετών (1981-20110) με βάση την οποία υπολογίστηκε η μέση ανωμαλία αποτυπώνεται

Εικόνα Παρ. ΙΙ 6 και Εικόνα Παρ. ΙΙ 7, για τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο, αντίστοιχα.



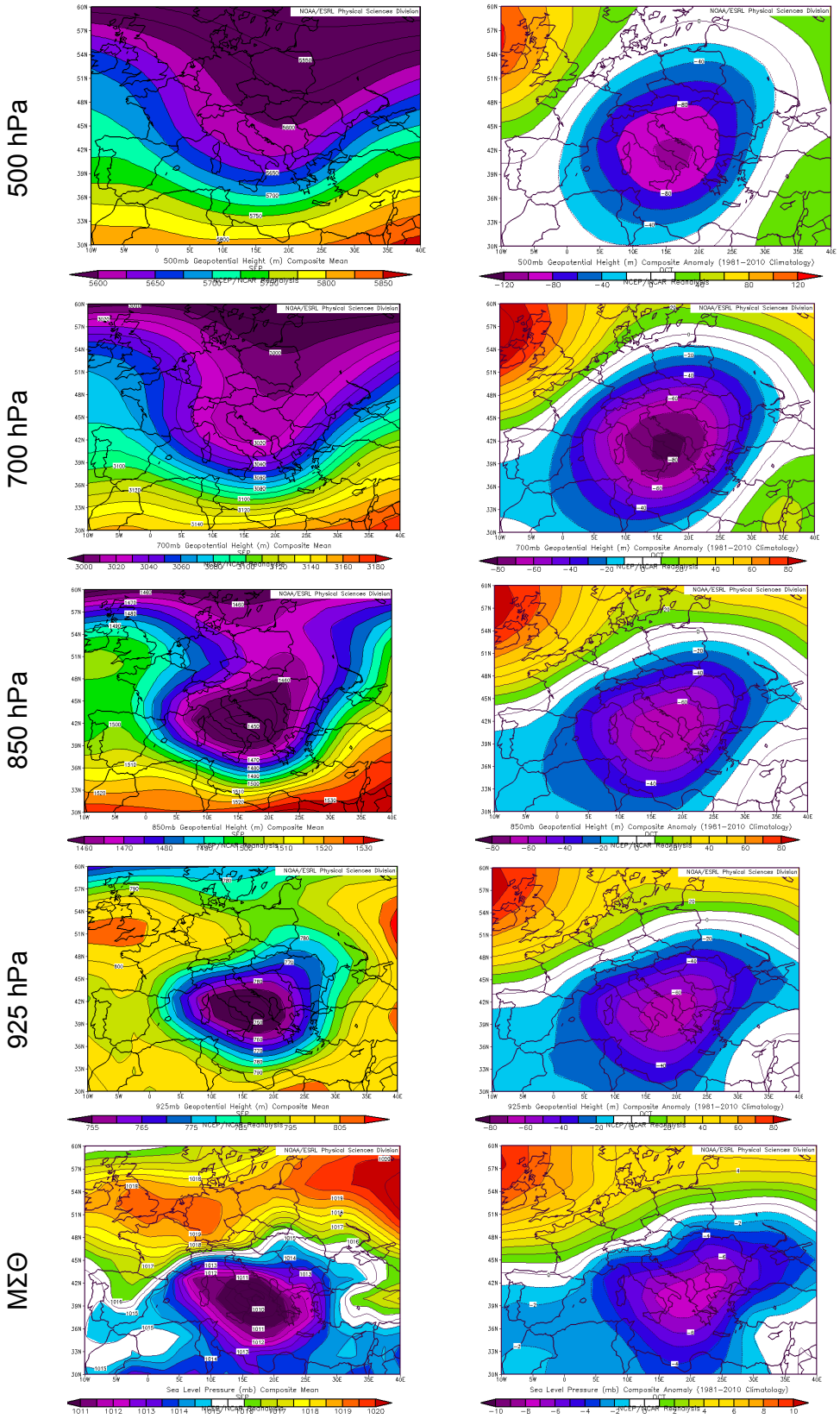
Εικόνα 6.6: Οι μέσες ημερήσιες συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR) στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa, στη δυτική Ελλάδα, ανά μήνα, με βάση τα γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



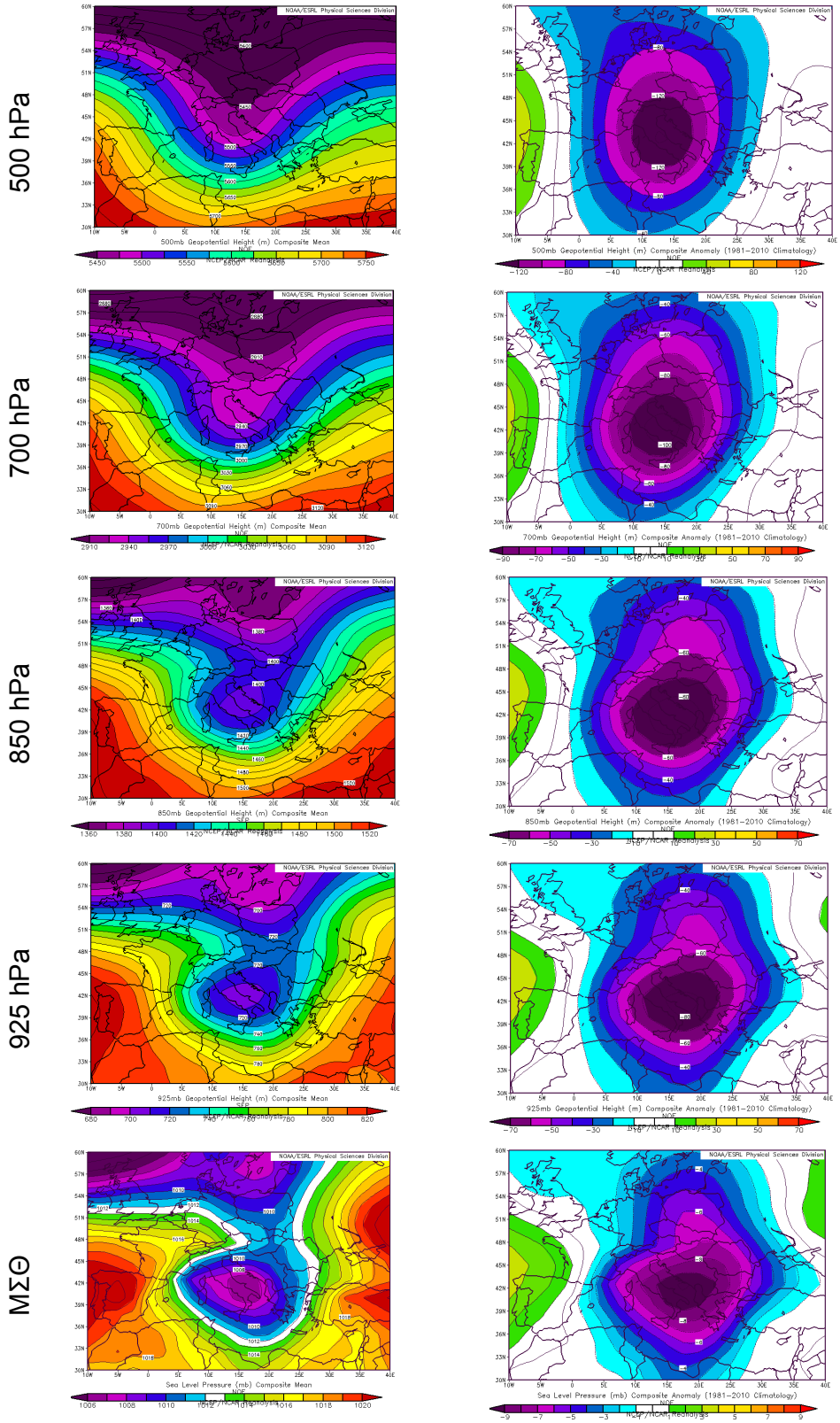
Εικόνα 6.7: Οι μέσες ημερήσιες συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR) στη μέση στάθμη θάλασσας, στη δυτική Ελλάδα, ανά μήνα, με βάση τα γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση σιφώνων των ημερών του Νοεμβρίου στη δυτική Ελλάδα στο επίπεδο των 500 hPa αποτυπώνει μία διαταραχή κατά μήκος της Ιταλίας (ΒΑ Ιταλία - βόρειες ακτές της Αφρικής), επιτρέποντας την τροφοδότηση με ΝΔ ρεύμα στην περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτή η διαταραχή αποτυπώνεται και στο κατακόρυφο επίπεδο των 700 hPa, σε αντίθεση με τα επίπεδα των 850 hPa και 925

hPa, όπου μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία υπάρχει πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας. Στη ΜΣΘ η μέση ημερήσια συνοπτική αποτυπώνει κέντρο κυκλωνικής κυκλοφορίας στην κεντρική Ιταλία με μέση πίεση 1004 hPa.



Εικόνα 6.8: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR), σε ισοβαρικές στάθμες της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας, στη δυτική Ελλάδα, για γεγονότα σιφώνων ξηράς που εκδηλώθηκαν τον Οκτώβριο μήνα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



Εικόνα 6.9: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) συνοπτικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών δημιουργίας σιφώνων ξηράς (TR) σε ισοβαρικές στάθμες της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας, στη δυτική Ελλάδα, για γεγονότα σιφώνων ξηράς που εκδηλώθηκαν τον Νοέμβριο μήνα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση εμφάνισης σιφώνων κατά το μήνα Οκτώβριο στη δυτική Ελλάδα στο επίπεδο των 500 hPa αποτυπώνει μία διαταραχή κατά μήκος

των δυτικών Βαλκανικών χωρών και των ανατολικών ακτών της Ιταλίας (Αδριατική θάλασσα), ενώ μία δεύτερη διαταραχή εντοπίζεται νότια της Γαλλίας και των βόρειων περιοχών της Κορσικής. Στη στάθμη των 700 hPa η μέση συνοπτική κατάσταση οριοθετεί τη διαταραχή κατά μήκος του κόλπου του Τάραντα και των ανατολικών ακτών της Σικελίας. Ενώ στο επίπεδο της ΜΣΘ, η μέση συνοπτική κατάσταση υποδηλώνει την ύπαρξη ενός χαμηλού βαρομετρικού συστήματος στον κόλπο του Τάραντα, με μέση πίεση στο κέντρου του 1008 hPa.

Η μέση ημερήσια ανωμαλία της συνοπτικής κατάστασης, στο επίπεδο των 500 hPa, των σιφώνων που εκδηλώθηκαν στη δυτική Ελλάδα το μήνα Νοέμβριο κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 12/8/1953 έως 21/12/2012, αποτυπώνει τη μέγιστη ανωμαλία (-140 γεωδυναμικά μέτρα) στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας. Η μέση ημερήσια ανωμαλία μετατοπίζεται προς την περιοχή της Αδριατικής θάλασσας και ακόμη νότιο-ανατολικότερα καθώς εξετάζουμε την ανωμαλία στα κατώτερα κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Σε αντίθεση με το Νοέμβριο, η μέση ανωμαλία, των γεγονότων που εκδηλώθηκαν κατά το μήνα Οκτώβριο, παρουσιάζει τη μέγιστη (-80 γεωδυναμικά μέτρα) ανωμαλία στη στάθμη των 500 hPa, ενώ στις υπόλοιπες στάθμες η ανωμαλία ήταν κατά 50% μικρότερη σε σχέση με την ανωμαλία της στάθμης των 500 hPa. Η μέση ημερήσια ανωμαλία στη ΜΣΘ κατά το μήνα Νοέμβριο ήταν υψηλότερη στα ΒΔ της χώρας συγκρινόμενη με τη μέση ανωμαλία κατά τη διάρκεια των γεγονότων σιφώνων ξηράς που έλαβαν χώρα το μήνα Οκτώβριο.

6.3.1.2 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα

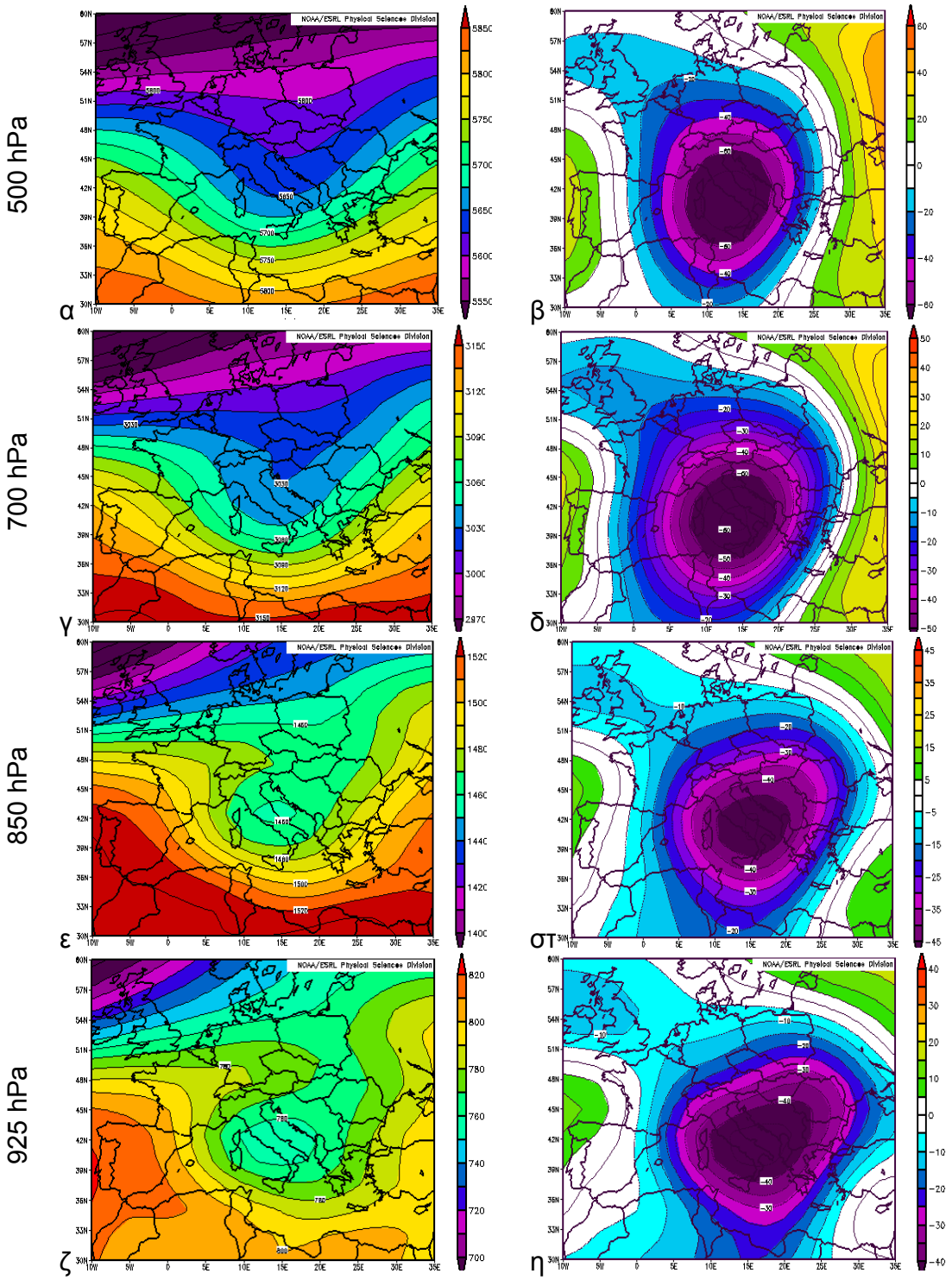
Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και η ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων παρουσιάζεται στην ενότητα αυτή ανά εποχή και ανά κατακόρυφο επίπεδο της ατμόσφαιρας για τις ακόλουθες στάθμες: 500–700–850–925 hPa και ΜΣΘ. Στις Εικόνα 6.10-6.14, στην αριστερή στήλη, αποτυπώνεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και στη δεξιά στήλη η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων στα κατακόρυφα επίπεδα των 500 hPa (α και β), των 700 hPa (γ και δ), των 850 hPa (ε και στ) και των 925 hPa (ζ και η). Στις Εικόνα Παρ. ΙΙ 8 και 9 (του Παραρτήματος ΙΙ), αποτυπώνεται η κλιματολογία (1981-2011) για τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο για τα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας (500 hPa, 700 hPa, 850 hPa και 925 hPa).

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη στάθμη των 500 hPa κατά την διάρκεια της φθινοπωρινής εποχής κατά τη διάρκεια εκδήλωσης των υδροσιφώνων χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος της κεντρικής και νότιας Ιταλίας, η οποία επιτρέπει την επικράτηση ΝΔ ρεύματος στη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.10α). Στη στάθμη των 700 hPa η διαταραχή εντοπίζεται κατά μήκος της βόρειας Αδριατικής – Σικελίας (Εικόνα 6.10γ), ενώ στις υπόλοιπες κατώτερες στάθμες (850 και 925 hPa) αποτυπώνεται κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία άνωθεν της κεντρικής Ιταλίας και της Αδριατικής (Εικόνα 6.10ε και 6.10ζ).

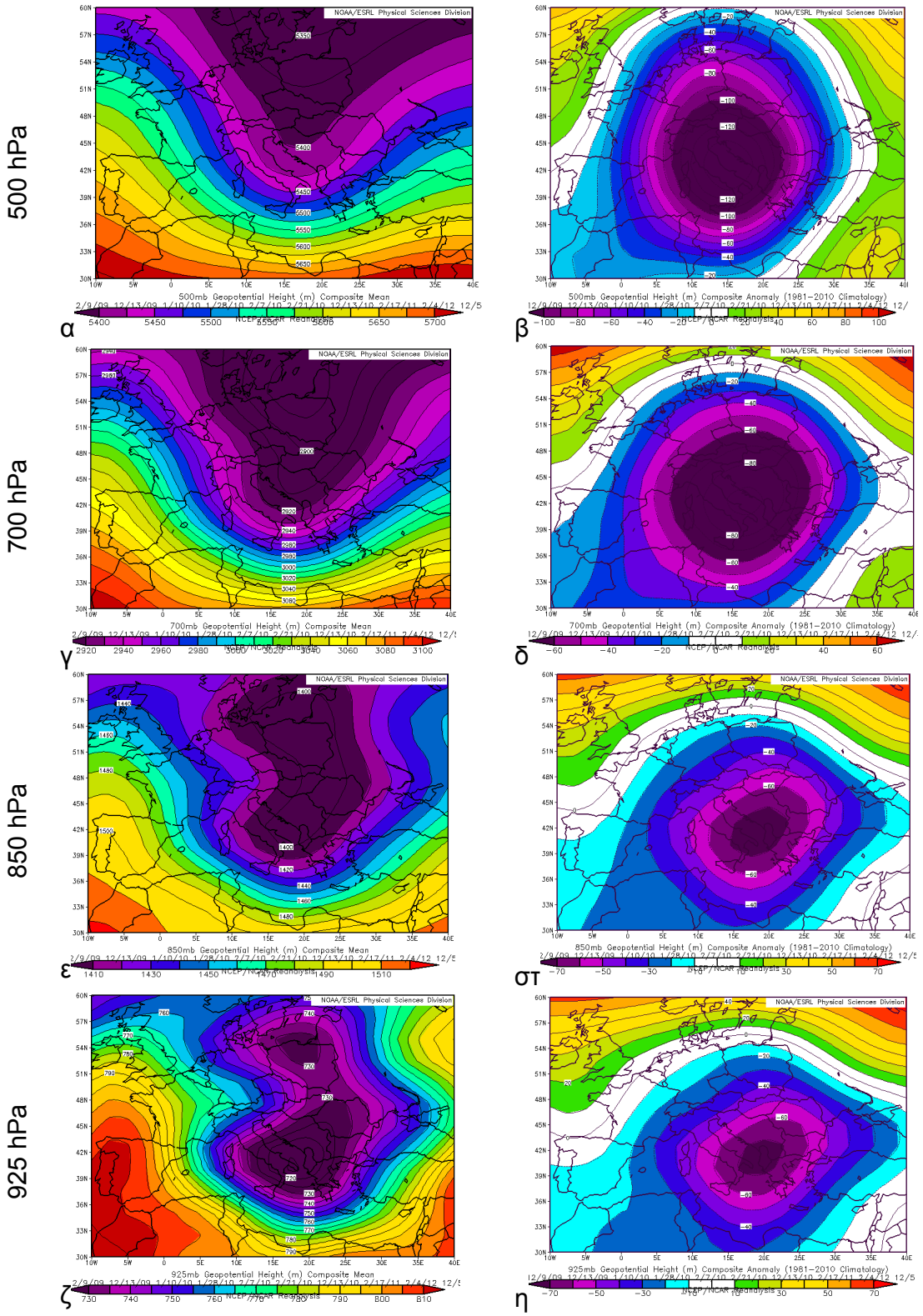
Η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων κατά τη φθινοπωρινή περίοδο παρουσιάζει τις μέγιστες αρνητικές τιμές στη στάθμη των 500 hPa (-130 γεωδυναμικά μέτρα). Στη στάθμη των 700 hPa η μέγιστη αρνητική ανωμαλία (-90 γεωδυναμικά μέτρα) εντοπίζεται στη νότια Αδριατική θάλασσα και στην ευρύτερη περιοχή του βορείου Ιονίου. Στις κατώτερες στάθμες η μέγιστη αρνητική ανωμαλία παρατηρείται ανατολικά του κόλπου του Τάραντα και στην περιοχή του βορείου Ιονίου και ισούται με -70 γεωδυναμικά μέτρα (Εικόνα 6.10στ και 6.10η).

Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στις στάθμες της μέσης ατμόσφαιρας (500 και 700 hPa) στη δυτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται

από την επικράτηση ενός ΝΔ ρεύματος το οποίο προκαλείται λόγω της ύπαρξης μιας διαταραχής κατά μήκος της Αδριατικής και νότιας Ιταλίας (Εικόνα 6.11α και 6.11γ). Στα 850 hPa και 925 hPa παρατηρούμε την ύπαρξη κλειστού χαμηλού στην περιοχή της Αδριατικής και στον κόλπο του Τάραντα, αντίστοιχα (Εικόνα 6.11ε και 6.11η).



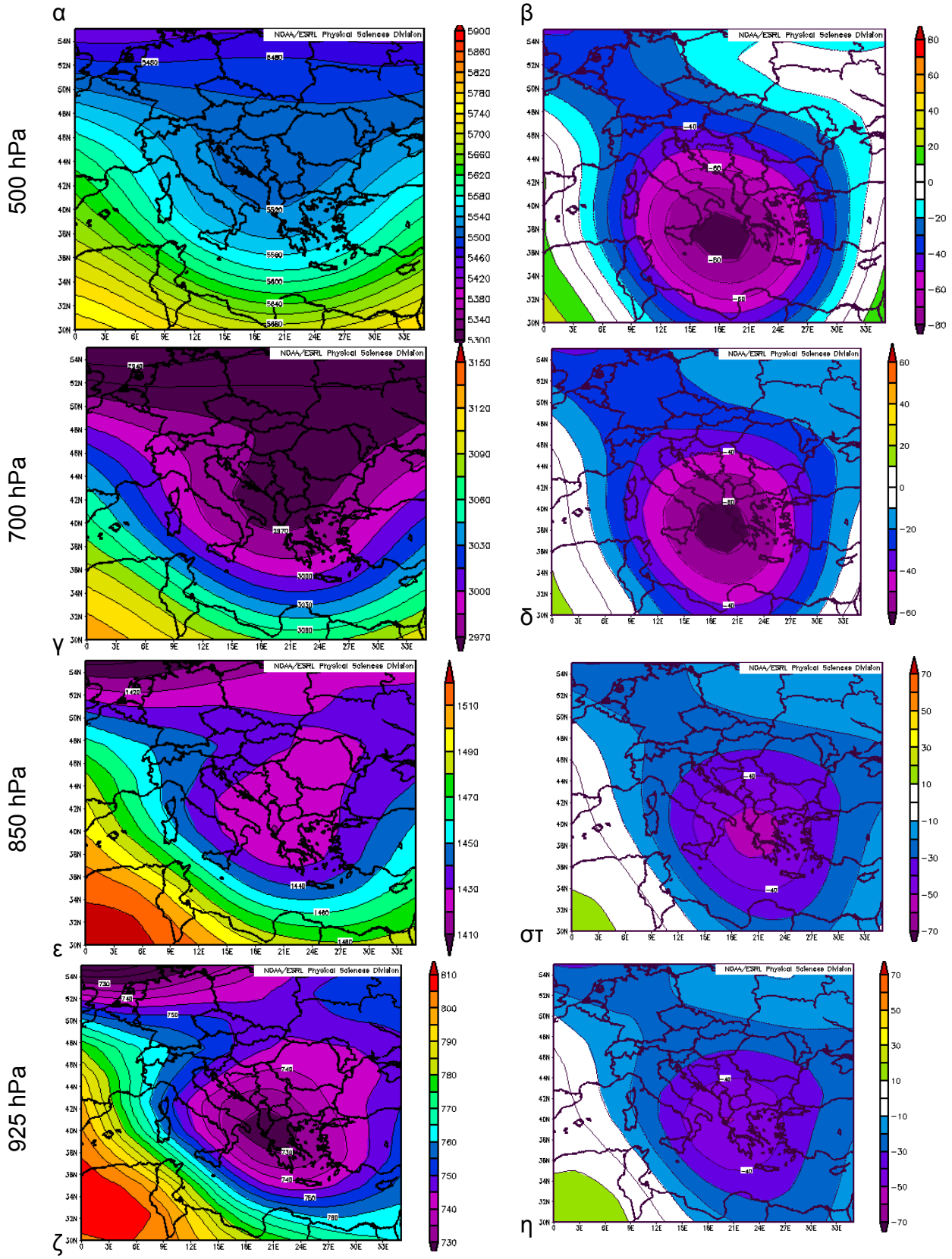
Εικόνα 6.10: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



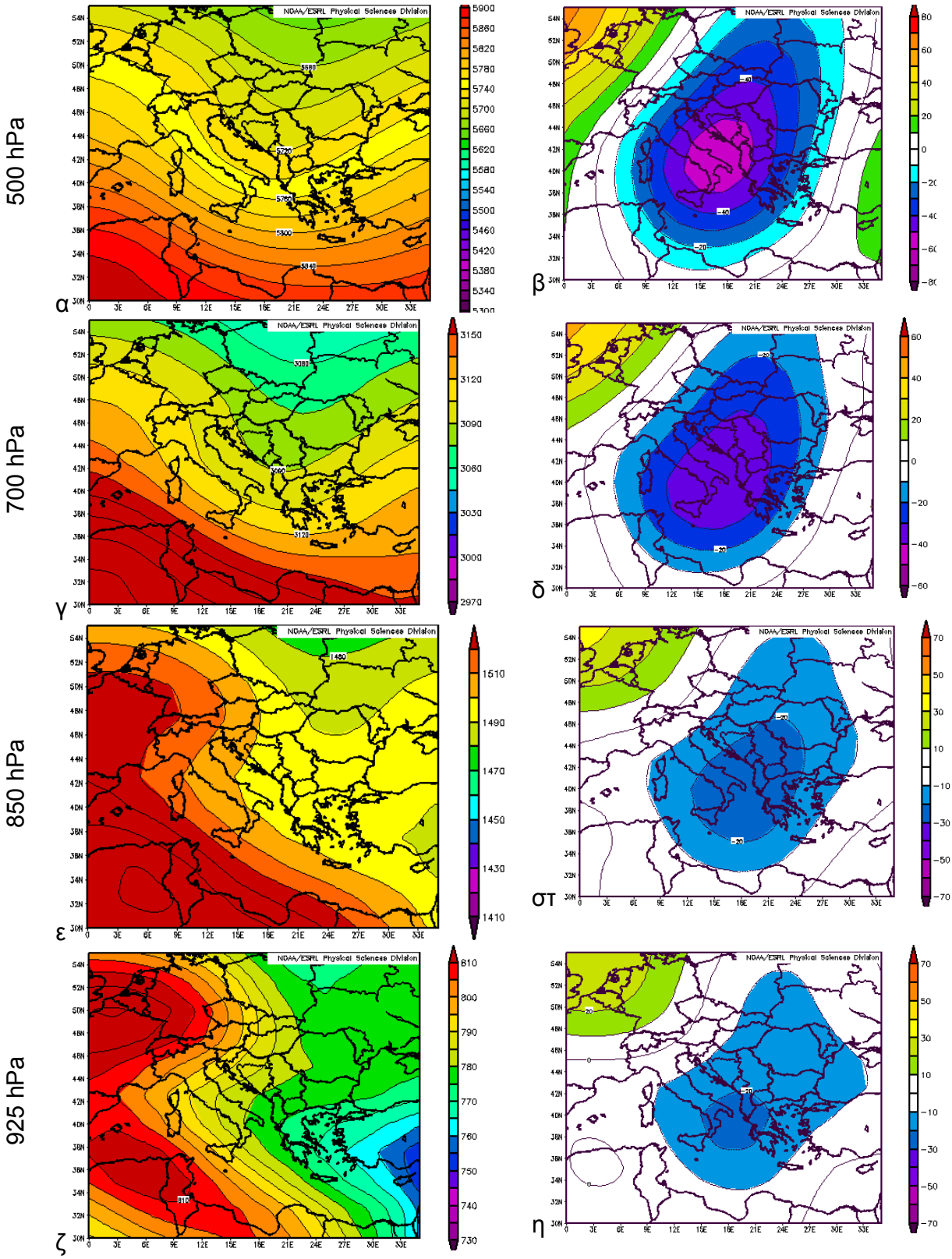
Εικόνα 6.11: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη χειμερινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Κατά τη διάρκεια των ημερών εκδήλωσης υδροσιφώνων την άνοιξη, η μέση συνοπτική κατάσταση (Εικόνα 6.12) στην κατώτερη ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μιας κλειστής κυκλωνικής κυκλοφορίας στην περιοχή του βορείου Ιονίου (ΒΔ Ελλάδα). Η μέση ατμόσφαιρα (500 και 700 hPa) χαρακτηρίζεται από μία διαταραχή στη θαλάσσια

περιοχή μεταξύ Ιταλίας-Ελλάδος, τροφοδοτώντας με ΝΔ ανώτερο ρεύμα την περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 6.12: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την εαρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



Εικόνα 6.13: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

Σε αντίθεση με την άνοιξη, η μέση συνοπτική κατάσταση των υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Εικόνα 6.13), το ανώτερο ρεύμα είναι Δ-ΝΔ πάνω από τη δυτική Ελλάδα, με ασθενή διαταραχή μικρού μήκους να εντοπίζεται δυτικά του Ιονίου Πελάγους. Στα 850 hPa και 925 hPa, ο συνδυασμός των υψηλών

πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο, επιτρέπουν την επικράτηση ενός ΒΔ ρεύματος στις στάθμες αυτές.

Οι μέσες ημερήσιες συνοπτικές καταστάσεις στη ΜΣΘ ανά εποχή αλλά και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες των ημερών εκδήλωσης υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα αποτυπώνεται στην Εικόνα 6.14. Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση κατά τη φθινοπωρινή περίοδο αποτυπώνει ένα κλειστό χαμηλό με κέντρο 1011 hPa στην κεντρική Ιταλία το οποίο μετατοπίζεται προς την περιοχή του κόλπου του Τάραντα και βαθαίνει (1008 hPa) τη χειμερινή περίοδο. Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση των ημερών εκδήλωσης υδροσιφώνων κατά την εαρινή περίοδο αποτυπώνει μία εκτεταμένη κυκλωνική κυκλοφορία (1010 hPa) από την κεντρική Ιταλία έως τις ανατολικές ακτές του Αιγαίου. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση διαφέρει σημαντικά με τις συνοπτικές καταστάσεις των υπόλοιπων εποχών καθώς ΒΔ ρεύμα επικρατεί στο Ιόνιο, ενώ αβαθής κυκλωνική κυκλοφορία εντοπίζεται στον κόλπο του Τάραντα, λόγω του συνδυασμού των υψηλών πιέσεων και των χαμηλών πιέσεων στη ΝΑ Μεσόγειο.

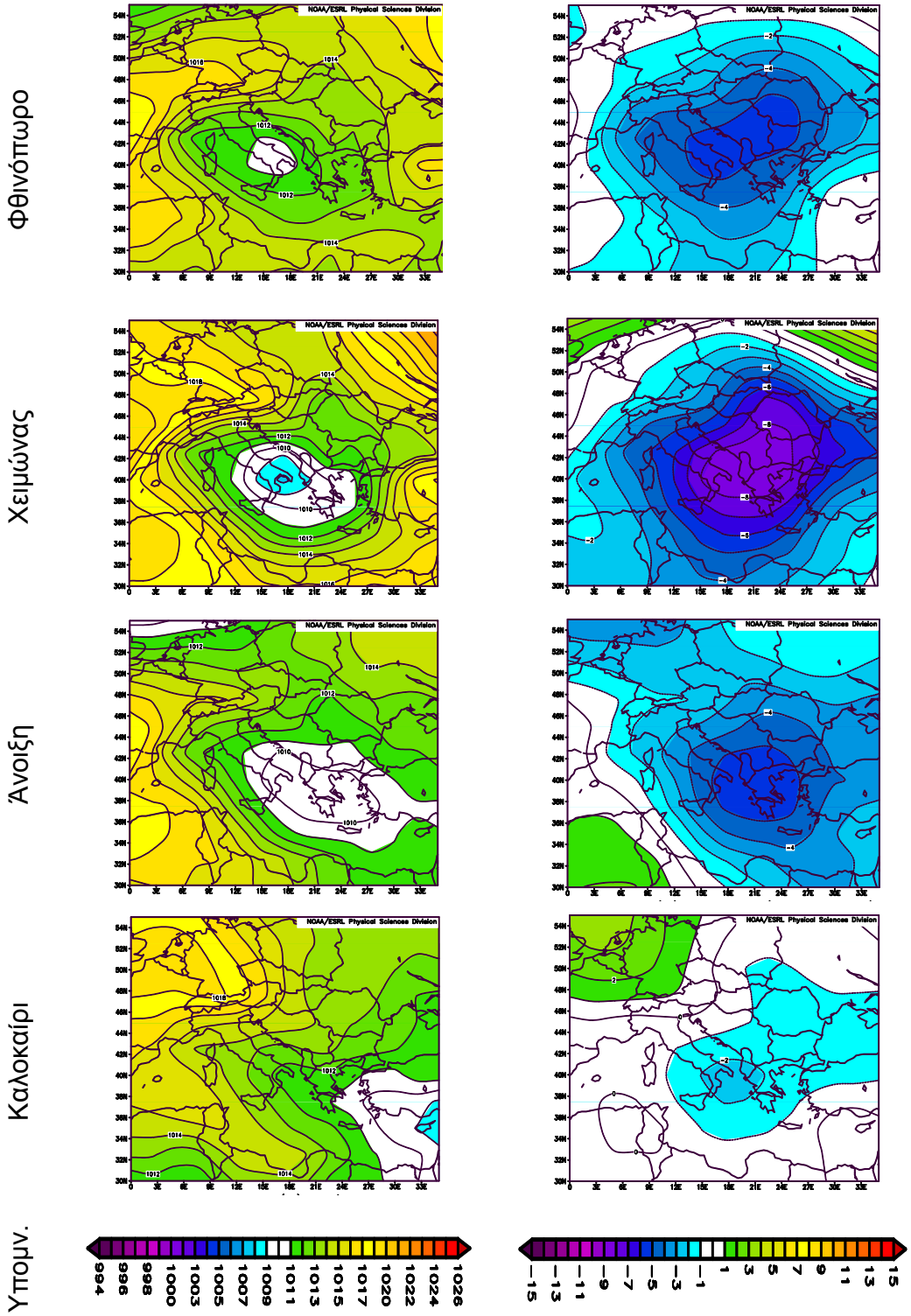
Η μέση ημερήσια ανωμαλία στη ΜΣΘ (Εικόνα 6.14) κατά τη διάρκεια των ψυχρών εποχών (φθινόπωρο και χειμώνα) εντοπίζεται άνωθεν της κεντρικής Ιταλίας, του κόλπου του Τάραντα και του βορείου Ιονίου. Οι τιμές της μέγιστης αρνητικής ανωμαλίας είναι ίσες με -5 hPa το φθινόπωρο και αυξάνεται σε -8 hPa το χειμώνα. Κατά την διάρκεια των θερμών εποχών (άνοιξη και καλοκαίρι) η αρνητική ανωμαλία υφίσταται αλλά σε μικρότερη ένταση και μετατοπίζεται προς την περιοχή του Ιονίου και των ηπειρωτικών τμημάτων της χώρας μας. Την άνοιξη η μέγιστη αρνητική ανωμαλία ισούται με -4 hPa και ελαττώνεται στα -2 hPa το καλοκαίρι με επίκεντρο τον κόλπο του Τάραντα.

Η μηνιαία μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση των ημερών εκδήλωσης υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα για την περίοδο από 12/08/1953 έως 31/12/2012, στη μέση και κατώτερη ατμόσφαιρα (500 hPa και ΜΣΘ), παρουσιάζεται στις Εικόνα 6.15-6.16, αντίστοιχα.

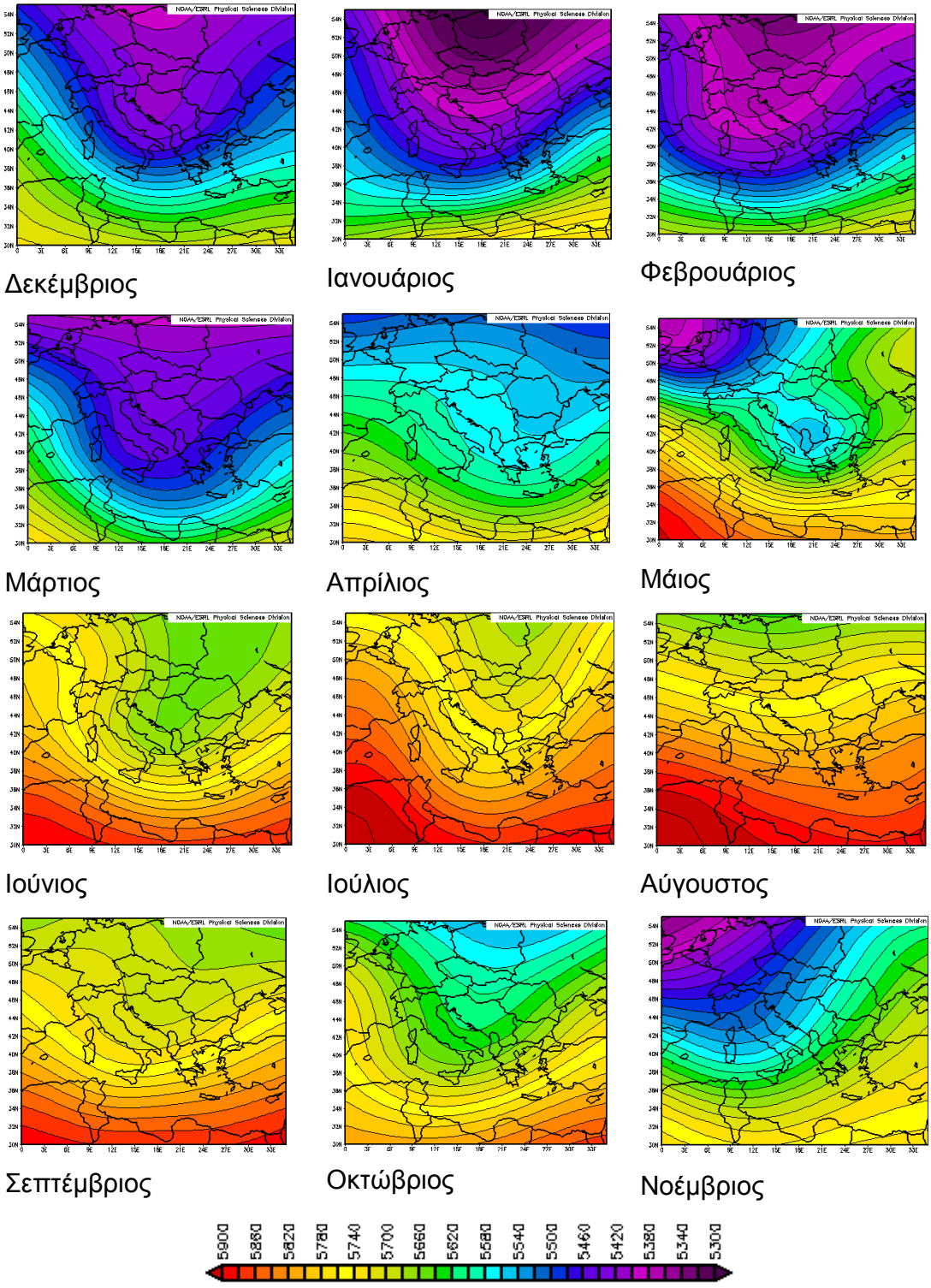
Στη μέση ατμόσφαιρα (500 hPa) η μέση συνοπτική κατάσταση κατά το μήνα Δεκέμβριο επιτρέπει την τροφοδοσία θερμών και υγρών αερίων μαζών από τα ΝΔ να κινούνται προς την περιοχή του Ιονίου καθώς μία εκτεταμένη διαταραχή βρίσκεται κατά μήκος της κεντρικής Αδριατικής θάλασσας και των νότιων τμημάτων της Ιταλίας. Κατά τη διάρκεια των μηνών Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου, η διαταραχή εκτείνεται περαιτέρω Δ-ΝΔ συνεχίζοντας να τροφοδοτεί τη δυτική Ελλάδα με ΝΔ ανώτερο ρεύμα. Τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο το ανώτερο ρεύμα στρέφεται σε δυτικό καθώς μικρού μήκους διαταραχή βρίσκεται στην περιοχή των Βαλκανίων, ενώ κατά τη διάρκεια των ημερών του Μαΐου κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία απαντάται στην περιοχή της Αλβανίας. Ο Ιούνιος και ο Ιούλιος χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μιας εκτεταμένης διαταραχής κατά μήκος των ανατολικών τμημάτων της Ευρώπης και των νοτίων τμημάτων της Ιταλίας. Η ζωνική κυκλοφορία στη μέση στάθμη της ατμόσφαιρας κατά το μήνα Αύγουστο στρέφεται σε ΝΔ διευθύνσεις καθώς μικρού μήκους διαταραχές άνωθεν της Ιταλίας κινούνται ανατολικότερα κατά τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο.

Στη ΜΣΘ η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση από το μήνα Δεκέμβριο έως το μήνα Μάρτιο αποτυπώνει μία κλειστή κυκλοφορία των αερίων μαζών στην περιοχή του κόλπου του Τάραντα, με την ελάχιστη τιμή βαρομετρικής πίεσης στο κέντρο του ίση με 1004 hPa το μήνα Φεβρουάριο. Ο συνδυασμός των υψηλών πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο, υποδηλώνουν μία αβαθή και ασθενή κυκλωνική κυκλοφορία στον κόλπο του Τάραντα και στο βόρειο Ιόνιο κατά τη διάρκεια των ημερών του Απριλίου, Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου. Σε αντίθεση με τους θερμούς μήνες, ο Οκτώβριος και ο Νοέμβριος χαρακτηρίζονται από μία κλειστή κυκλοφορία, με το κέντρο του χαμηλού να εντοπίζεται στον κόλπο του Τάραντα και των

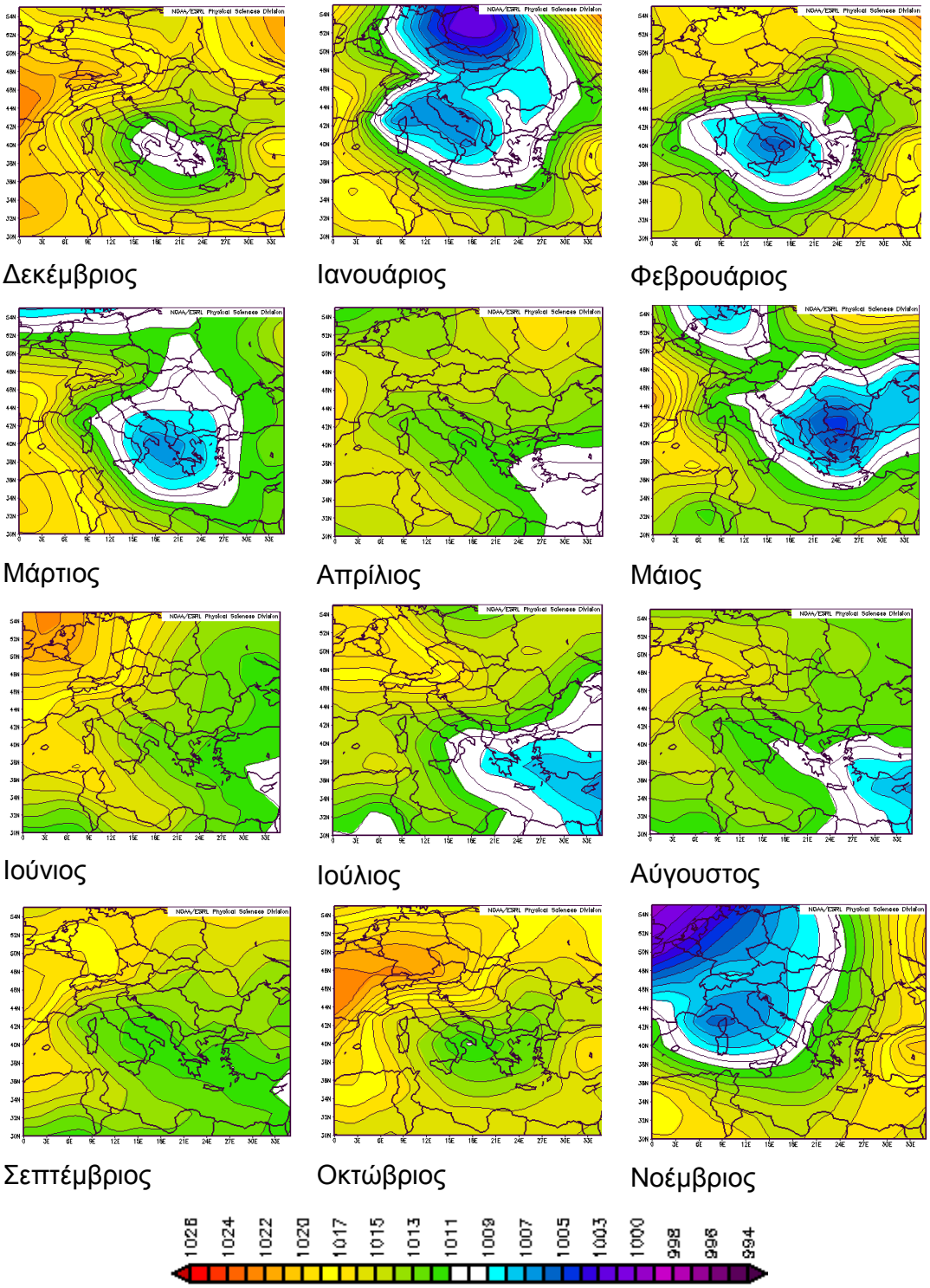
κεντρικών ηπειρωτικών τμημάτων της Ιταλίας, τροφοδοτώντας με ΝΔ επιφανειακό ρεύμα την περιοχή του Ιονίου.



Εικόνα 6.14: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), ανά εποχή, για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στη δυτική Ελλάδα (υποπεριοχή D10) από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



Εικόνα 6.15: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων (WS) στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa, στη δυτική Ελλάδα, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



Εικόνα 6.16: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων (WS) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ, hPa), στη δυτική Ελλάδα, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 12/8/1953 έως 31/12/2012.

6.3.2 Μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο.

Όπως παρουσιάστηκε στο 5° Κεφάλαιο η ευρύτερη θαλάσσια περιοχή γύρω από την Κρήτη και ιδιαίτερα το βόρειο Κρητικό πέλαγος αποτελούν μία επιδεκτική περιοχή στην

εμφάνιση υδροσιφώνων. Η συχνότερη εμφάνιση εντοπίζεται στη θαλάσσια περιοχή βόρεια των πόλεων του Ηρακλείου, του Ρεθύμνου και των Χανίων. Η κίνηση των υδροσιφώνων, μέσα από τις καταγεγραμμένες παρατηρήσεις των αυτοπτών μαρτύρων είναι είτε σχεδόν παράλληλη με τις ακτές, είτε κινούνται προς τις ακτές. Στο μεγαλύτερο ποσοστό τους οι υδροσίφωνες εξασθενούν σε ένταση και διαλύονται προτού φθάσουν στην παραλιακή ζώνη, αλλά ωστόσο ένα μικρό ποσοστό αυτών (~<6%) εισέρχεται στις ακτές και προκαλεί δομικές υλικές ζημιές στα καταστήματα και στις μαρίνες των ακτών. Η πλειονότητα των γεγονότων εντοπίζεται περί της νήσου Ντία του Ηρακλείου, ενώ διάσπαρτα γεγονότα παρατηρήθηκαν και στις νοτιότερες ακτές της Κρήτης. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε τη μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση αλλά και μέση ημερήσια συνοπτική ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στην περιοχή της Κρήτης.

Η μέση ημερήσια συνοπτική ανάλυση περιλαμβάνει 155 γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν σε 66 μοναδικές ημερολογιακές ημέρες. Θυμίζουμε ότι στην παρούσα ανάλυση (όσο και στην ανάλυση της συνοπτικής κατάστασης στη δυτική Ελλάδα) όλα τα γεγονότα FC ταξινομήθηκαν ως υδροσίφωνες. Το πρώτο γεγονός εκδηλώθηκε στις 2 Φεβρουαρίου 1954, στην παραλιακή ζώνη του Ρεθύμνου και το τελευταίο γεγονός αφορά τον υδροσίφωνα στις 23 Οκτωβρίου 2012, στο Ηράκλειο. Από το σύνολο των 155 γεγονότων μόνο 8 υδροσίφωνες, ένα ποσοστό ίσο με 5,6%, έφθασαν στις ακτές και προκάλεσαν σημαντικές υλικές ζημιές στην τοπική κοινωνία. Η εποχική κατανομή των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στις βόρειες ακτές της Κρήτης αφορά 35 ημέρες τη φθινοπωρινή περίοδο, 19 ημέρες το χειμώνα, 8 ημέρες την άνοιξη και 4 ημέρες την θερινή περίοδο του έτους κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου.

Η ανάλυση περιλαμβάνει την εποχική περιγραφή της συνοπτικής κατάστασης στα μέσα και κατώτερα κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή της μέσης ημερήσιας συνοπτικής κατάστασης στη στάθμη των 500 hPa και ΜΣΘ με σκοπό να αποτυπώσει συγκεκριμένες συνοπτικές καταστάσεις που θα μπορούν να αναγνωρίσουν έγκαιρα την επιδεκτικότητα εμφάνισης του φαινομένου. Στις Εικόνα 6.17-6.21 αποτυπώνεται η εποχική κατανομή της μέσης ημερήσιας συνοπτικής κατάστασης στην αριστερή στήλη, ενώ η ανωμαλία αυτής παρουσιάζεται στη δεξιά στήλη για το φθινόπωρο, το χειμώνα, την άνοιξη και το καλοκαίρι, αντίστοιχα.

Ωστόσο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερα η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση και η ανωμαλία κατά τη θερινή περίοδο, δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική ή υπολογίσιμη λόγω του μικρού αριθμού γεγονότων. Οι μέσες ημερήσιες κλιματολογικές συνοπτικές καταστάσεις ανά εποχή παρατίθενται στο Παράρτημα ΙΙ : Εικόνα Παρ. ΙΙ 12 έως Εικόνα Παρ. ΙΙ 15, για τις αντίστοιχες εποχές (όπως πιο πάνω). Στην Εικόνα 6.20 αποτυπώνεται η μέση ημερήσια (αριστερή στήλη) και μέση ημερήσια ανωμαλία (δεξιά στήλη) της συνοπτικής κατάστασης στη ΜΣΘ.

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο (Εικόνα 6.17α) η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη μέση ατμόσφαιρα αποτυπώνει μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος των ανατολικών τμημάτων της χώρας, η οποία τροφοδοτεί με Δ-ΒΔ ανώτερο ρεύμα τις βόρειες ακτές της Κρήτης. Η μέση ημερήσια ανωμαλία στη στάθμη των 500 hPa, παρουσιάζει τη μέγιστη ανωμαλία στο νότιο Αιγαίο (-60 m) (Εικόνα 6.17β). Λίγο χαμηλότερα, στη στάθμη των 700 hPa (Εικόνα 6.17γ), αποτυπώνεται η διαταραχή ανατολικότερα της Κρήτης και εμφανίζει μία δευτερεύουσα μεταξύ Πελοποννήσου και Κρήτης. Η μέση ημερήσια ανωμαλία εμφανίζει τη μέγιστη τιμή (-40 m) στην περιοχή της Κρήτης (ανατολικά Ρεθύμνου) (Εικόνα 6.17δ).

Στις στάθμες της κατώτερης ατμόσφαιρας (850 και 925 hPa, Εικόνα 6.17 και 6.17ζ) η σφήνα έξαρσης από τη περιοχή της Ιταλίας επεκτείνεται ανατολικότερα προς την περιοχή των βορείων Βαλκανίων, περιορίζοντας τη διαταραχή στα ΝΑ τμήματα και στην

ενδοχώρα της Τουρκίας. Η παρούσα συνοπτική κατάσταση επιτρέπει την επικράτηση βορείου ρεύματος στην περιοχή ενδιαφέροντος το οποίο στρέφεται σε ΒΔ–Δ νοτιότερα της Κρήτης. Η μέση ανωμαλία στη στάθμη των 850 hPa εμφανίζεται στα ΝΑ (μέγιστη τιμή -40 m) (Εικόνα 6.17στ), ενώ στα 925 hPa αποτυπώνεται ένα εκτεταμένο πεδίο καλύπτοντας τα Α και ΝΑ τμήματα της χώρας με τιμή ίση με -30 m (Εικόνα 6.17η).

Κατά τη χειμερινή περίοδο (Εικόνα 6.18), η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη στάθμη των 500 hPa αποτυπώνεται μία εκτεταμένη διαταραχή που εκτείνεται από την περιοχή της ανατολικής Ευρώπης έως το κόλπο της Σύρτης, διατρέχοντας τα ΒΔ ηπειρωτικά τμήματα και την περιοχή του Ιονίου (Εικόνα 6.18α). Η μέση μέγιστη ημερήσια ανωμαλία εντοπίζεται στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Ιταλίας, Σύρτης και Ιονίου, ενώ στις ακτές του Ηρακλείου η μέση ανωμαλία των γεωδυναμικών υψών ισούται περίπου με -50 m (Εικόνα 6.18β). Στα 700 hPa, η εκτεταμένη διαταραχή της στάθμης των 500 hPa, διαχωρίζεται σε 2 επιμέρους τμήματα με το βορειότερο να εντοπίζεται ΒΔ της Μαύρης Θάλασσας και το νοτιότερο τμήματα κατά μήκος της Πελοποννήσου και του κόλπου της Σύρτης, τροφοδοτώντας με ΝΔ-Δ ρεύμα το νότιο Αιγαίο (Εικόνα 6.18γ). Η μέση μέγιστη ανωμαλία (Εικόνα 6.18δ), παραμένει στη θαλάσσια περιοχή νοτίου Ιονίου και ΝΔ Αιγαίου, με τιμές ίσες με -50 m στην περιοχή του Ηρακλείου.

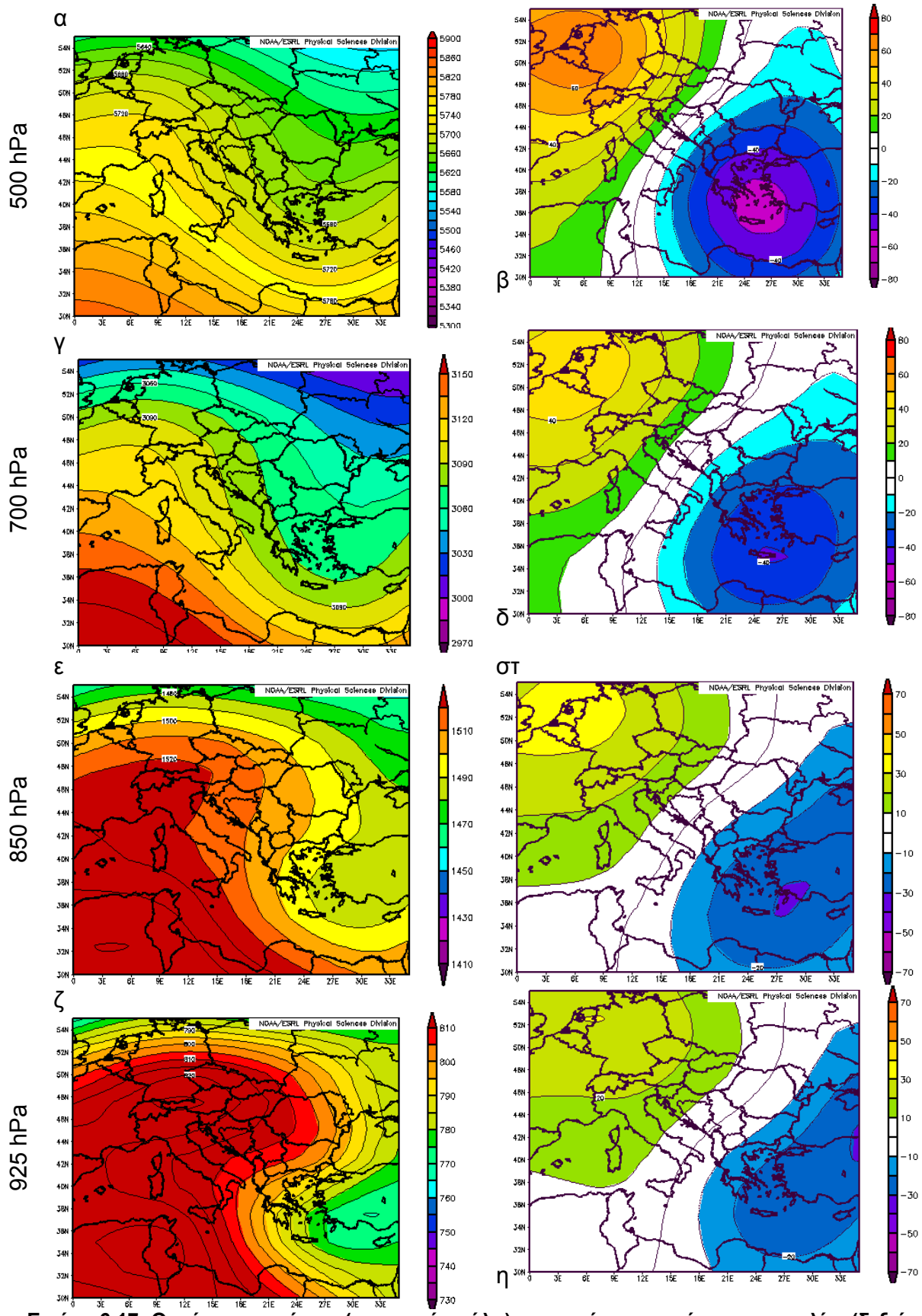
Τόσο στη στάθμη των 850 hPa όσο και στη στάθμη των 925 hPa (Εικόνα 6.18ε και 5.18ζ, αντίστοιχα) η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση, κατά τους χειμερινούς μήνες, αποτυπώνει μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στο νότιο Αιγαίο και σταδιακή επέκταση της σφήνας αντικυκλώνα από τα δυτικά (περιοχή Ιταλίας) προς την περιοχή των Βαλκανίων. Η μέση ημερήσια ανωμαλία στις στάθμες της κατώτερης ατμόσφαιρας εντοπίζεται στα νότια τμήματα της χώρας με τις μέγιστες τιμές να εντοπίζονται λίγο νοτιότερα της Κρήτης (Εικόνα 6.18στ και 6.18η).

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση, των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Εικόνα 6.19), στη στάθμη των 500 hPa (Εικόνα 6.19α) και 700 hPa (Εικόνα 6.19γ), παρουσιάζει ομοιότητα ως προς την εποχική μέση τιμή της φθινοπωρινής περιόδου. Όπως και τη φθινοπωρινή περίοδο κατά τη διάρκεια της άνοιξης εκτεταμένη διαταραχή εντοπίζεται τόσο στη στάθμη των 500 hPa, όσο και στη στάθμη των 700 hPa στο ανατολικό Αιγαίο, τροφοδοτώντας με Δ-ΒΔ ανώτερο ρεύμα τη περιοχή της Κρήτης. Η μέση μέγιστη ημερήσια ανωμαλία εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου στα 500 hPa (Εικόνα 6.19β) με μέγιστη τιμή ίση με -80 m και περιορίζεται στο ΝΑ Αιγαίο καθώς μελετάμε τη στάθμη των 700 hPa με μέγιστη ανωμαλία ίση με -60 m (Εικόνα 6.19δ).

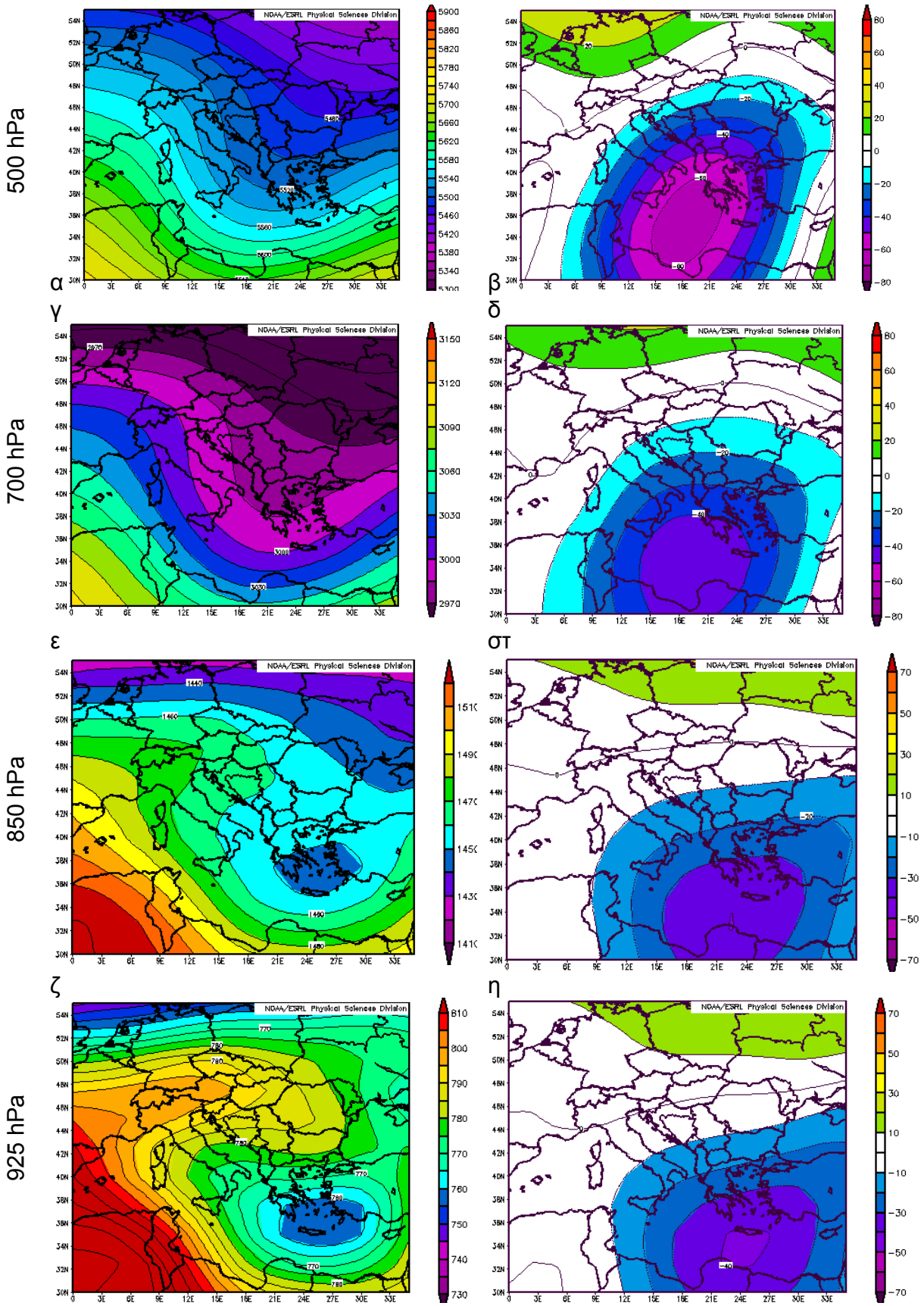
Στη στάθμη των 850 hPa και 925 hPa (Εικόνα 6.19ε και Εικόνα 6.19ζ, αντίστοιχα), η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση απεικονίζει την έξαρση στα δυτικά τμήματα να προκαλεί Β-ΒΔ ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου, καθώς η κυκλωνική κυκλοφορία περιορίζεται στα ΝΑ και τα ηπειρωτικά τμήματα της Τουρκίας. Η μέση ημερήσια ανωμαλία παρουσιάζει μέγιστες τιμές στα ΝΑ και την ενδοχώρα της Τουρκίας ενώ οι μέσες τιμές στην περιοχή της Κρήτης κυμαίνεται από -40 m στα 850 hPa έως τα -30 m στη στάθμη των 925 hPa (Εικόνα 6.19στ και 6.19η, αντίστοιχα).

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση, των υδροσιφώνων που δημιουργήθηκαν στις βόρειες ακτές της Κρήτης κατά τους θερινούς μήνες, στη στάθμη των 500 hPa παρουσιάζει μία διαταραχή κατά μήκος των ηπειρωτικών τμημάτων της χώρας, εκτρέποντας το ανώτερο ρεύμα πάνω από την Κρήτη σε δυτικών διευθύνσεων (Εικόνα 6.20). Η μέση ημερήσια ανωμαλία αποτυπώνει τις μέγιστες τιμές βόρεια της χώρας, ενώ η μέση ημερήσια ανωμαλία στις βόρειες ακτές της Κρήτης ισούται με -10 m (Εικόνα 6.20β). Στη στάθμη των 700 hPa (Εικόνα 6.20γ), η διαταραχή εντοπίζεται στα ΝΑ της

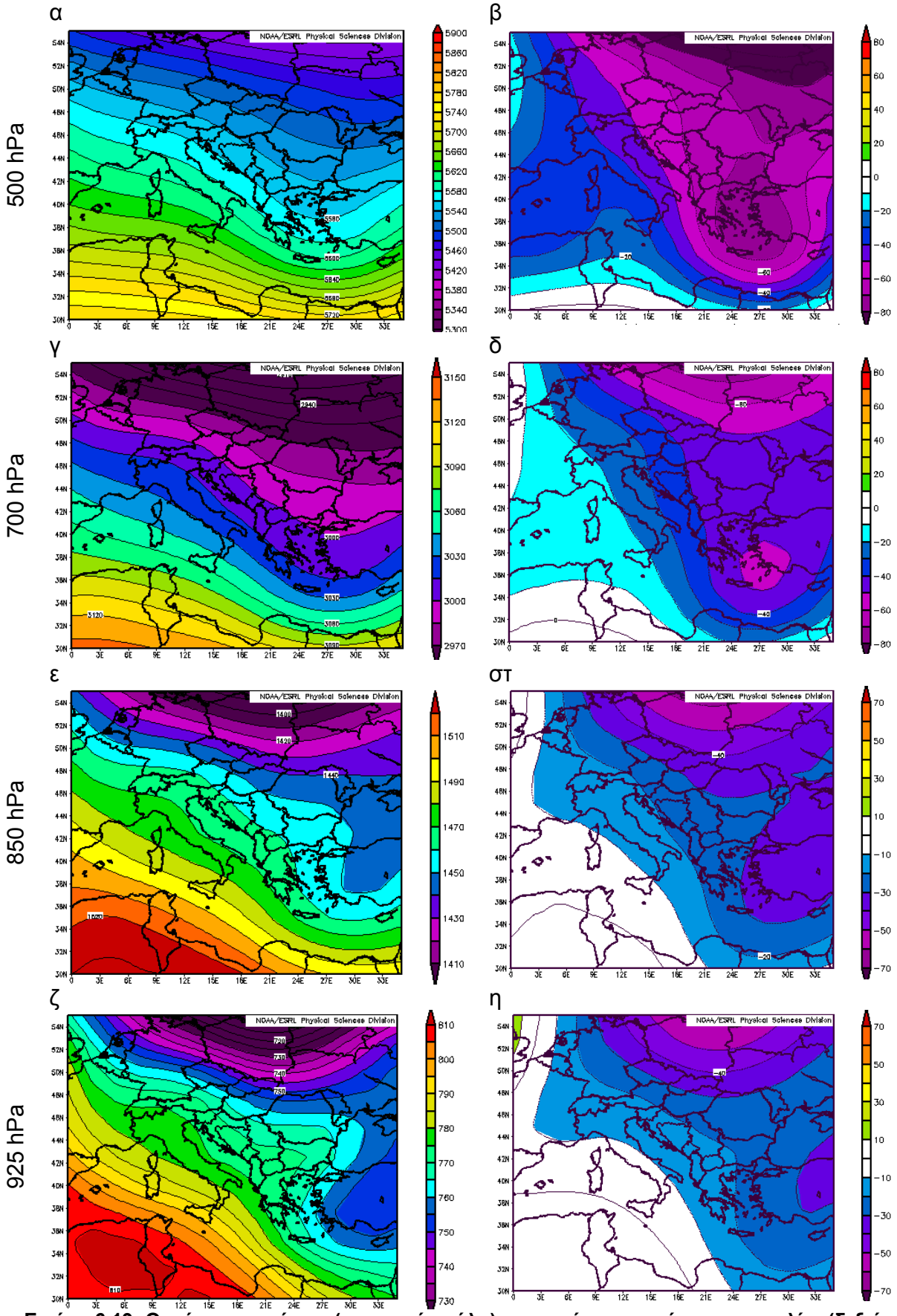
χώρας ενώ η μέση ημερήσια ανωμαλία στο νότιο Αιγαίο εκτιμάται περίπου σε -20 m (Εικόνα 6.20δ).



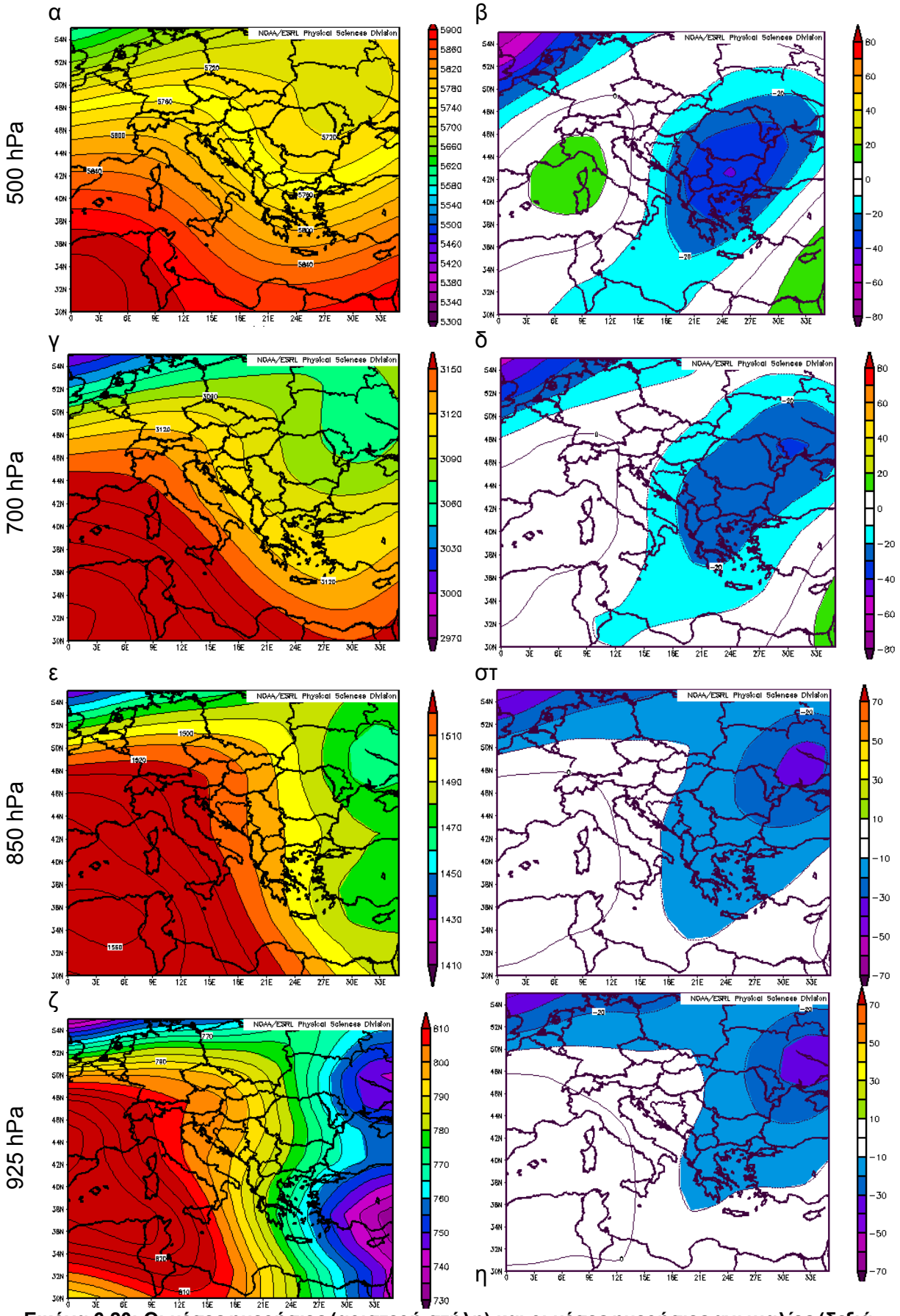
Εικόνα 6.17: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012.



Εικόνα 6.18: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά τη χειμερινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012.



Εικόνα 6.19: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την εαρινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012.



Εικόνα 6.20: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στα ισοβαρικά επίπεδα των 500, 700, 850 και 925 hPa, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, για γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο από 2/2/1954 έως 23/10/2012.

Στις στάθμες των 850 hPa (Εικόνα 6.20ε) και 925 hPa (Εικόνα 6.20ζ) της κατώτερης ατμόσφαιρας, η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση παρουσιάζει την επικράτηση βορείου ρεύματος καθώς η κυκλωνική κυκλοφορία περιορίζεται στη ΝΑ Μεσόγειο και η έξαρση στην περιοχή της Ιταλίας εκτείνεται προς τα ΒΑ. Η μέση ημερήσια ανωμαλία στην κατώτερη ατμόσφαιρα κατά τους θερινούς μήνες παρουσιάζει την ελάχιστη τιμή του έτους και στα 700 hPa εκτιμάται στα -20 m (Εικόνα 6.20στ) και στη στάθμη των 925 hPa από 0 έως -10 m (Εικόνα 6.20η).

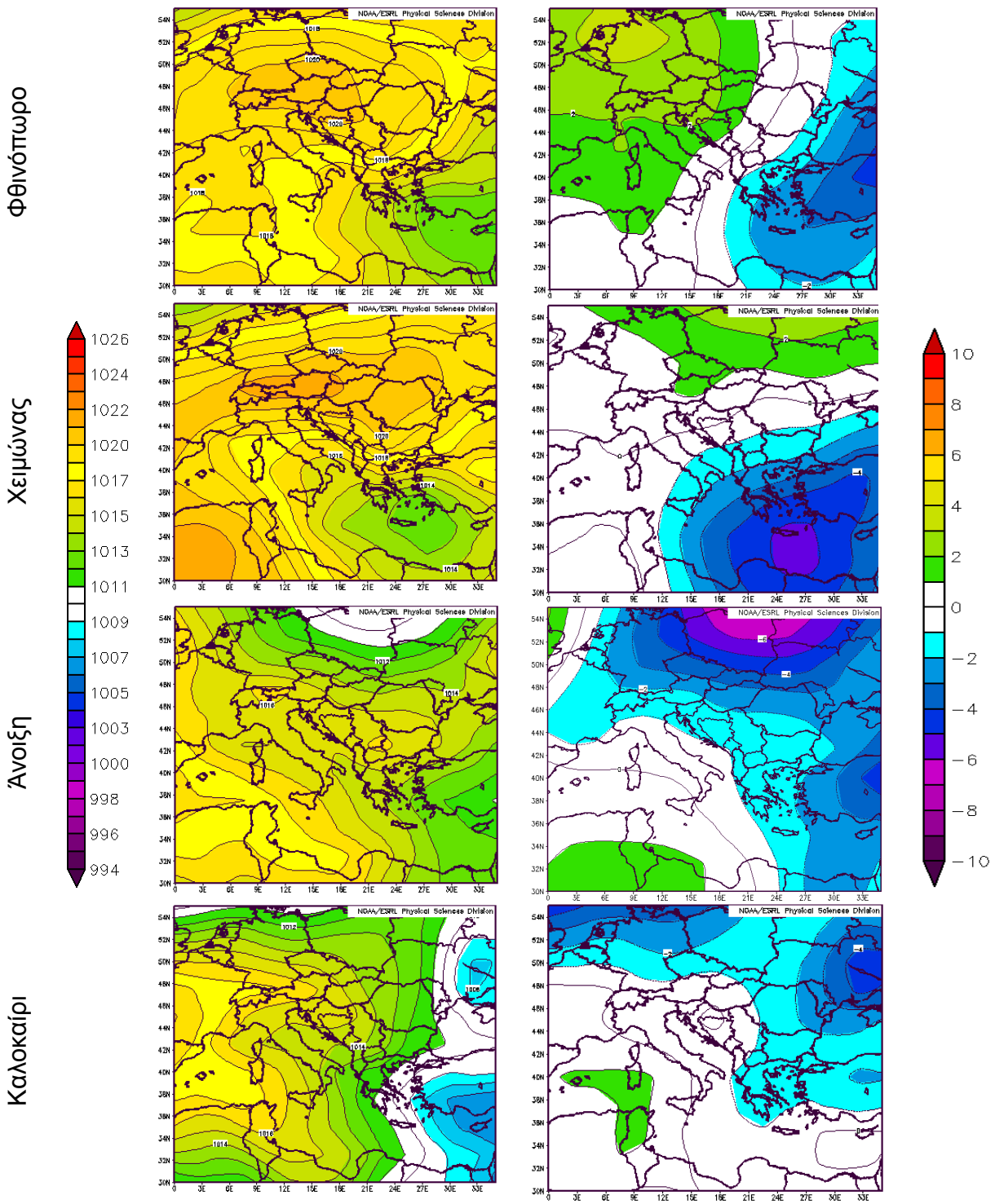
Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη ΜΣΘ, κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στις βόρειες ακτές της Κρήτης, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αποτυπώνεται με την ύπαρξη ενός συνδυασμού υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο (Εικόνα 6.21, αριστερή στήλη). Ωστόσο κατά τη χειμερινή περίοδο το κέντρο χαμηλών πιέσεων από τη ΝΑ Μεσόγειο εγκαθίσταται στο νότιο-νοτιοανατολικό Αιγαίο. Το επιφανειακό ρεύμα στην περιοχή της Κρήτης το φθινόπωρο, την άνοιξη και το καλοκαίρι είναι από Β-ΒΔ διευθύνσεις, ενώ τη χειμερινή περίοδο στρέφεται σε Δ-ΒΔ λόγω της ύπαρξης του κέντρου κυκλωνικής κυκλοφορίας στα νότια της χώρας.

Η μέση ημερήσια ανωμαλία στη ΜΣΘ (Εικόνα 6.21, δεξιά στήλη) παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές (-6 hPa) κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών στην περιοχή της Κρήτης, ενώ η ελάχιστη ανωμαλία παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες και κυμαίνεται από 0 έως -1 hPa. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο η μέση ημερήσια ανωμαλία παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή στην ενδοχώρα της Τουρκίας ενώ στο νότιο Αιγαίο κυμαίνεται περίπου στα -3 hPa. Η μέση ημερήσια ανωμαλία μειώνεται στα -2 hPa κατά τους θερινούς μήνες, με τη μέγιστη ανωμαλία να εντοπίζεται επίσης στην περιοχή της Τουρκίας.

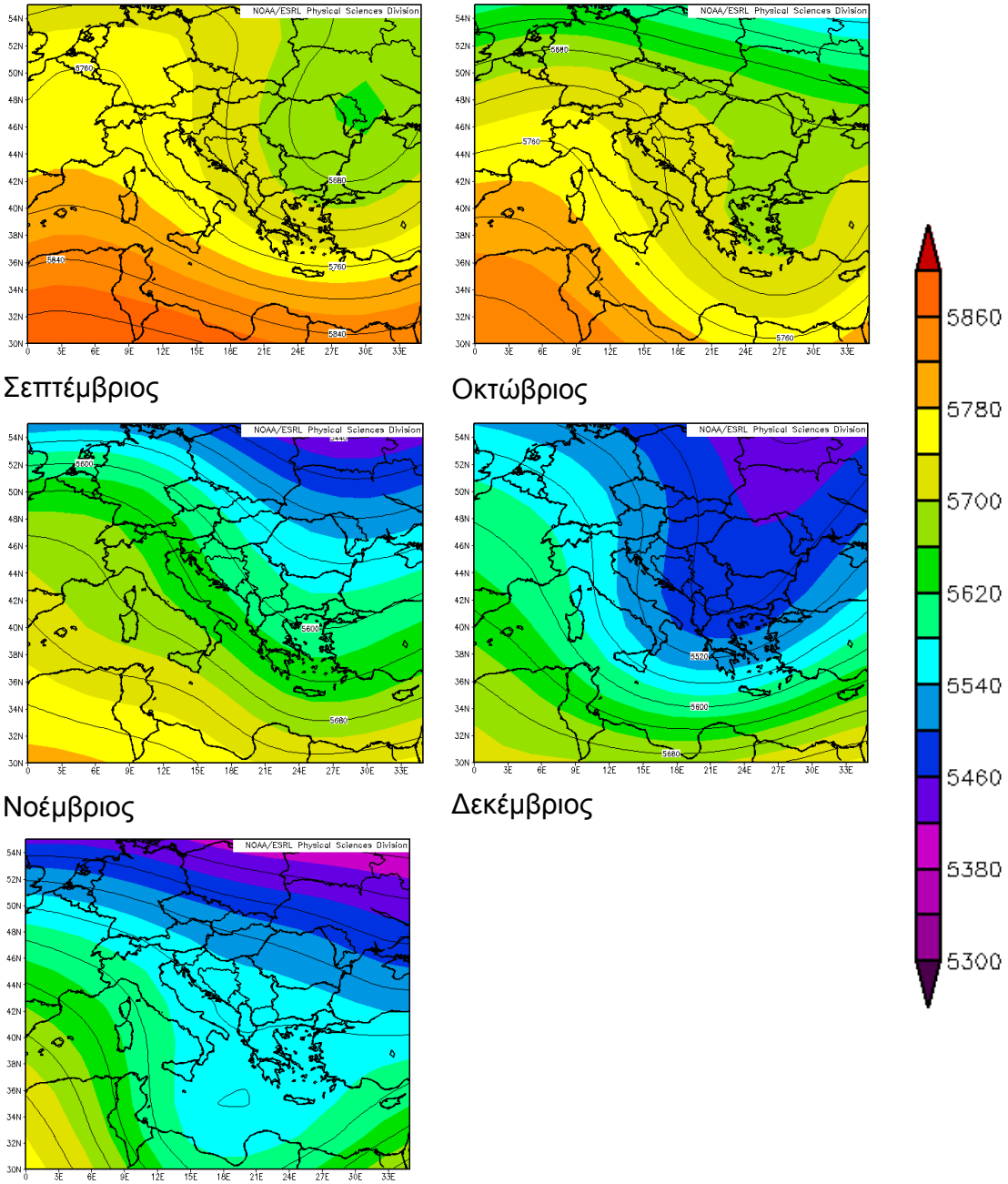
Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών καταστάσεων στη μέση ατμόσφαιρα (500 hPa) παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.22, ενώ η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών καταστάσεων στη ΜΣΘ αποτυπώνεται στην Εικόνα 6.23. Στις εικόνες αυτές αποτυπώνεται η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση για των μηνών που εμφανίζουν ποσοστό ημερών μεγαλύτερο του 20 % επί του συνολικού ετήσιου αριθμού ημερών εκδήλωσης υδροσιφώνων. Συνεπώς, αποτυπώνεται η συνοπτική κατάσταση για τους μήνες: Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο.

Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στα 500 hPa τους μήνες Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο αποτυπώνει μία διαταραχή στη μέση ατμόσφαιρα κατά μήκος της Ρουμανίας, Βουλγαρίας και ΒΔ τμημάτων της χώρας. Σε αντίθεση με τους προαναφερόμενους μήνες, ο Οκτώβριος και ο Νοέμβριος χαρακτηρίζονται από μία διαταραχή κατά μήκος του ανατολικού Αιγαίου. Τον Ιανουάριο η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση χαρακτηρίζεται από μία αποκοπτόμενη (cut off) κυκλωνική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στην περιοχή του νοτίου Ιονίου.

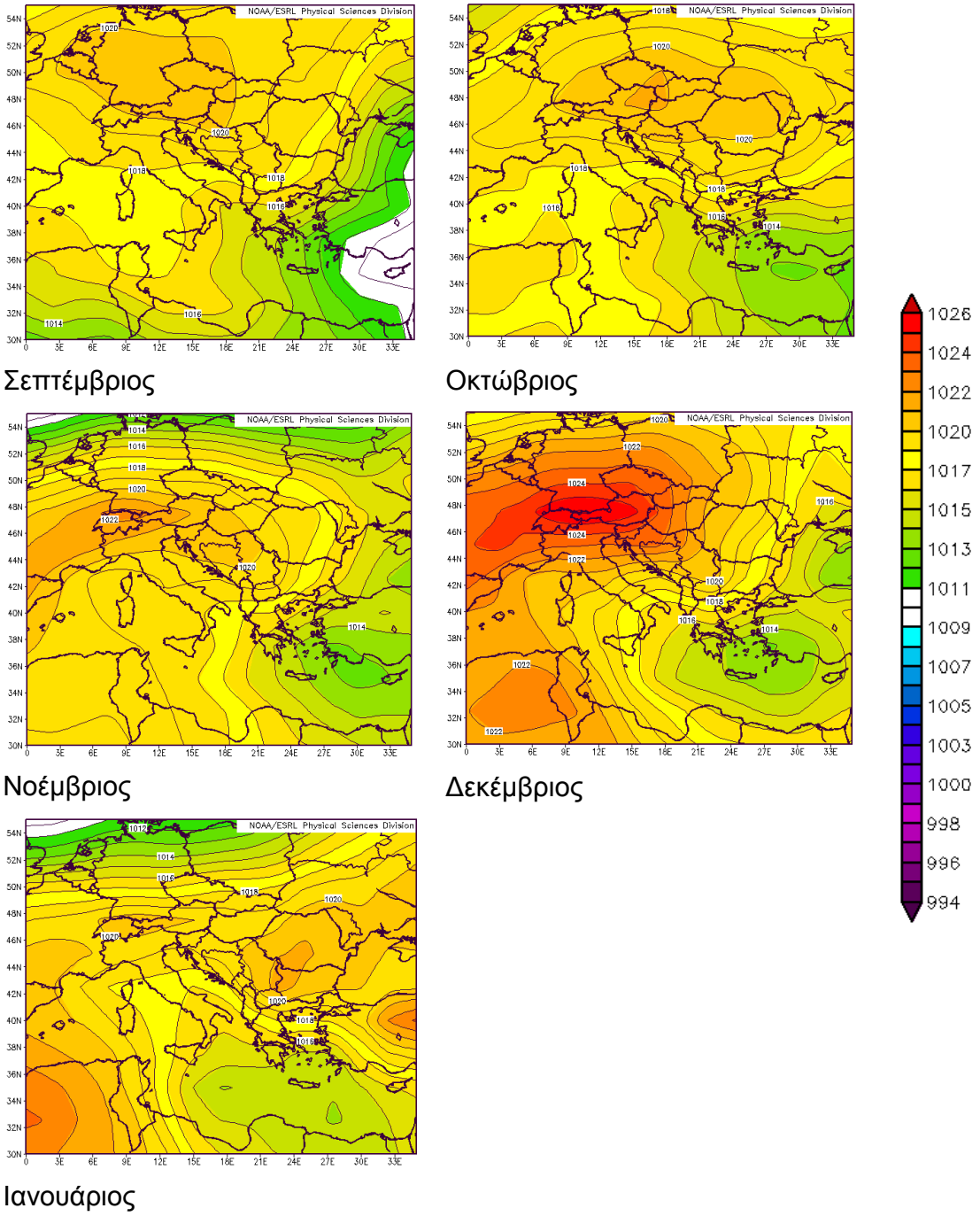
Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη ΜΣΘ, για τους μήνες Σεπτέμβριο-Ιανουάριο, δεν διαφέρει από τη μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση που περιγράφτηκε προγενέστερα και αφορούσε την εποχική κατανομή της. Όλοι οι μήνες χαρακτηρίζονται από το συνδυασμό των υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη και τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο. Ωστόσο κατά το μήνα Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο το κέντρο των χαμηλών πιέσεων μετατοπίζεται δυτικότερα προς ΝΑ τμήματα της χώρας, διατηρώντας ωστόσο το συνδυασμό των υψηλών και χαμηλών πιέσεων.



Εικόνα 6.21: Οι μέσες ημερήσιες (αριστερή στήλη) και οι μέσες ημερήσιες ανωμαλίες (δεξιά στήλη) των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ, hPa), ανά εποχή, για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν στο νότιο Αιγαίο (υποπεριοχή D3) από 2/2/1954 έως 23/10/2012.



Εικόνα 6.22: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων (WS) στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa, στο Νότιο Αιγαίο, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012.



Εικόνα 6.23: Η μηνιαία κατανομή των μέσων ημερήσιων συνοπτικών ατμοσφαιρικών συνθηκών των ημερών δημιουργίας υδροσιφώνων στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ, hPa), στο νότιο Αιγαίο, με βάση τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012.

6.4 Ανάλυση και συζήτηση αποτελεσμάτων

Η φθινοπωρινή περίοδος χαρακτηρίζεται ως η πιο επιδεκτική χρονική περίοδο για την εκδήλωση σιφώνων ξηράς και η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στα 500 hPa, την περίοδο αυτή, χαρακτηρίζεται από μία διαταραχή κατά μήκος της βόρειας Αδριατικής θάλασσας και των κεντρικών περιοχών της Ιταλίας. Αυτή η συνοπτική κατάσταση σχετίζεται με την επικράτηση ΝΔ ανώτερου ρεύματος πάνω από τη δυτική Ελλάδα. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο η μέγιστη μέση ημερήσια ανωμαλία στο κατακόρυφο επίπεδο των 500 hPa εντοπίζεται πάνω από τα κεντρικά τμήματα της Ιταλίας. Στη ΜΣΘ η επικράτηση ΝΔ ρεύματος είναι το κύριο χαρακτηριστικό της κατώτερης ατμόσφαιρας

κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο, καθώς κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία παρατηρείται στον κόλπο του Τάραντα.

Ο Νοέμβριος είναι ο επικρατέστερος μήνας εμφάνισης των σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα ενώ έπεται ο Οκτώβριος. Το Νοέμβριο η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας στη μέση ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή από τα ΒΑ τμήματα της Ιταλίας έως τις βόρειες ακτές της Αφρικής. Αυτή η διαταραχή της ατμόσφαιρας επίσης εντοπίστηκε και σε χαμηλότερη στάθμη (των 700 hPa) ενώ στην κατώτερη ατμόσφαιρα (850 hPa και 925 hPa) η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται από μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία πάνω από τα ηπειρωτικά τμήματα της κεντρικής Ιταλίας. Στην ίδια περιοχή (στη κεντρική Ιταλία), εντοπίζεται επίσης και το κέντρο των χαμηλών πιέσεων (με κέντρο 1004 hPa).

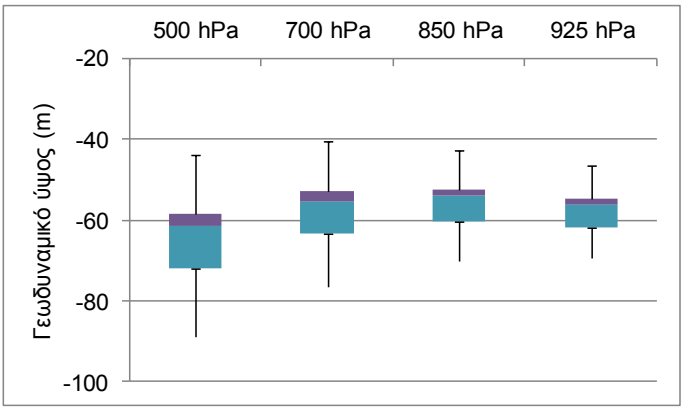
Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά την εκδήλωση υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο στη στάθμη των 500 hPa χαρακτηρίζεται από ΝΔ ρεύμα (στα δυτικά τμήματα) και την ύπαρξη μιας εκτεταμένης διαταραχής κατά μήκος της κεντρικής και νότιας Ιταλίας. Στη στάθμη των 700 hPa η διαταραχή εντοπίζεται κατά μήκος της βόρειας Αδριατικής – Σικελίας, ενώ η κυκλοφορία στην κατώτερη ατμόσφαιρα (850 hPa και 925 hPa) αποτυπώνει μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία άνωθεν της κεντρικής Ιταλίας και της Αδριατικής. Στη ΜΣΘ η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση αποτυπώνει ένα κλειστό χαμηλό με κέντρο 1011 hPa στην κεντρική Ιταλία.

Εκτός των αναλύσεων της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των ημερών εκδήλωσης σίφωνα / υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα, που παρουσιάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο 6.3.1 και 6.3.2, όπου έγινε αναφορά στη μέγιστη ανωμαλία προχωρήσαμε στον υπολογισμό της ημερήσιας ανωμαλίας για κάθε γεγονός. Με τη χρήση των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ, ArcGis) και των διαθέσιμων δεδομένων από το NCEP-NCAR, σε συμβατή μορφή με το ΓΠΣ, υπολογίσαμε την ανωμαλία σε κάθε περίπτωση/γεγονός σε όλα τα κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας, με σκοπό να εξετάσουμε την εποχική διακύμανση της ανωμαλίας στη δυτική Ελλάδα. Στην Εικόνα 6.24 παρουσιάζονται τα διαγράμματα διακύμανσης της εποχικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (σε m) της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των συνοπτικών καταστάσεων στα κατακόρυφα επίπεδα 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa και 925 hPa κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα. Ομοίως, στην Εικόνα 6.25 παρουσιάζεται το διάγραμμα διακύμανσης της εποχικής κατανομής των πιέσεων (σε hPa) της μέσης ημερήσιας στη ΜΣΘ.

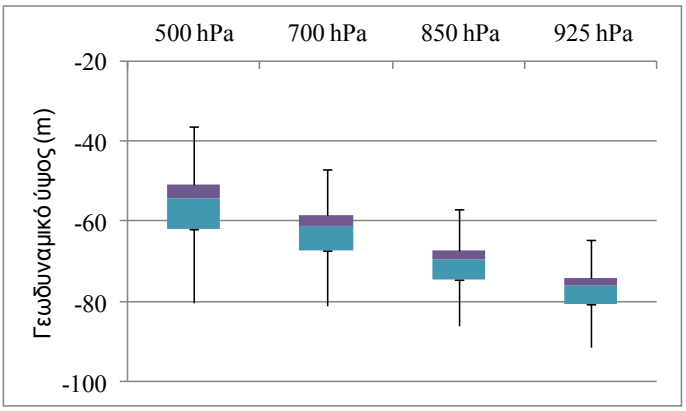
Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο (Εικόνα 6.24α), τις ημέρες δημιουργίας σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα, η μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στα 500 hPa και ισούται με -110 m ενώ η μέση τιμής είναι περίπου στα -65 m. Στις υπόλοιπες στάθμες η μέση ανωμαλία δεν παρουσίασε σημαντικές αποκλίσεις και κυμάνθηκε περίπου στα -55 m.

Σε αντίθεση με το φθινόπωρο, τη χειμερινή περίοδο (Εικόνα 6.24β) η μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στην κατώτερη ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα στη στάθμη των 925 hPa, όπου καταγράφθηκε η μέγιστη τιμή της ίση με -90 m, ενώ η μέση τιμή της κυμάνθηκε στα -75 m. Μετά τη στάθμη των 925 hPa, έπεται η στάθμη των 850 hPa, 700 hPa και 500 hPa. Την ίδια διακύμανση ακολούθησε και η μέση τιμή των γεγονότων στη δυτική Ελλάδα, υποδεικνύοντας ότι κατά την εμφάνιση σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα τα συνοπτικά συστήματα εμφανίζουν τη μέγιστη ανωμαλία στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Επιπροσθέτως, υποδηλώνουν ότι τα συνοπτικά συστήματα που σχετίζονται με την δημιουργία σίφωνα ξηράς, είναι βαθύτερα από τα μέσα συνοπτικά συστήματα της εποχής και συνεπώς περισσότερα οργανωμένα, αποκτώντας μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια.

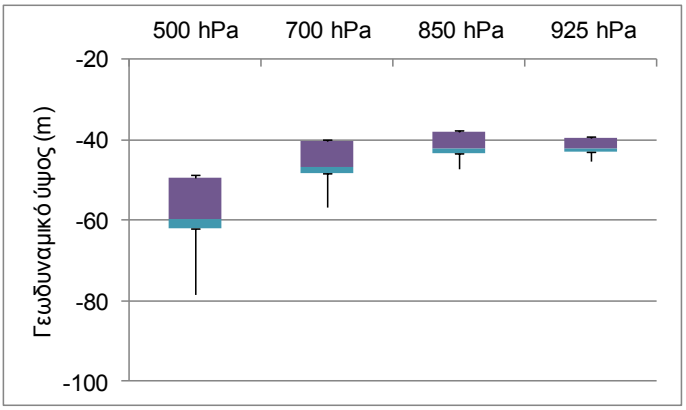
α) Φθινόπωρο



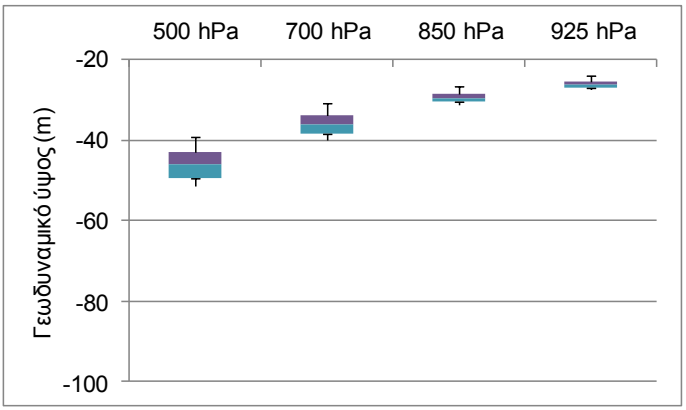
β) Χειμώνας



γ) Άνοιξη



δ) Καλοκαίρι

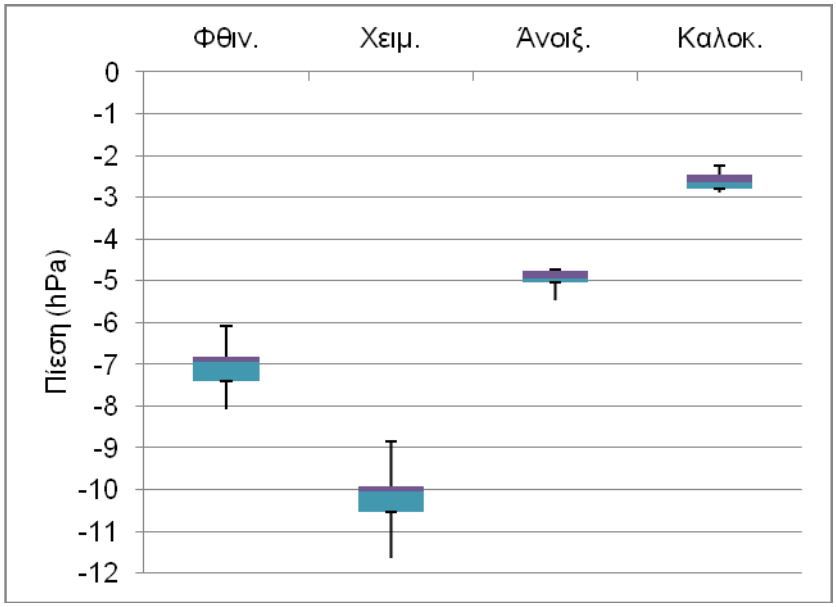


Εικόνα 6.24: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των γεωδυναμικών υψών (m) στα ισοβαρικά επίπεδα 500, 700, 850, 925 hPa κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα.

Την εαρινή περίοδο (Εικόνα 6.24γ) η μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στα 500 hPa (-80 m), με μέση τιμή ίση με -60 m, ενώ η μέση διακύμανση στα 700 hPa ήταν ίση με -50 m. Η διακύμανση της μέσης τιμής στις κατώτερες στάθμες της ατμόσφαιρας δεν παρουσίασε σημαντική διακύμανση και υπολογίστηκε σε -40 m. Τους θερμούς μήνες του έτους η μέση τιμή της ανωμαλίας (Εικόνα 6.24δ) περιορίστηκε σημαντικά σε όλες τις κατακόρυφες στάθμες με την μέγιστη μέση τιμή να παρατηρείται στη στάθμη των 500 hPa, ενώ έπονται τα 700, 850 και 925 hPa.

Η μέγιστη ανωμαλία στη ΜΣΘ (Εικόνα 6.25), πάνω από τη δυτική Ελλάδα, παρατηρήθηκε τους χειμερινούς μήνες (~-12 hPa), ενώ η μέση τιμή της ανωμαλίας ισούταν με -10 hPa. Μετά τη χειμερινή περίοδο έπεται η φθινοπωρινή περίοδο όπου τα βαρομετρικά συστήματα παρουσιάζουν μία μέση τιμή ανωμαλίας ίση με -7 hPa. Η τιμή αυτή ελαττώνεται καθώς μεταβαίνουμε στη θερμή περίοδο και ισούται με -5 και -2,5 hPa για την άνοιξη και το καλοκαίρι αντίστοιχα. Αυτή η ελάττωση της μέσης ανωμαλίας στη ΜΣΘ σε συνδυασμό με τη μέγιστη ανωμαλία στη στάθμη των 500 hPa υποδηλώνει τη δημιουργία σίφωνα ξηράς λόγω της θερμοδυναμικής αστάθειας της ατμόσφαιρας τη χρονική αυτή περίοδο και όχι στην έλευση κάποιου σημαντικού βαρομετρικού συστήματος στην κατώτερη ατμόσφαιρα.

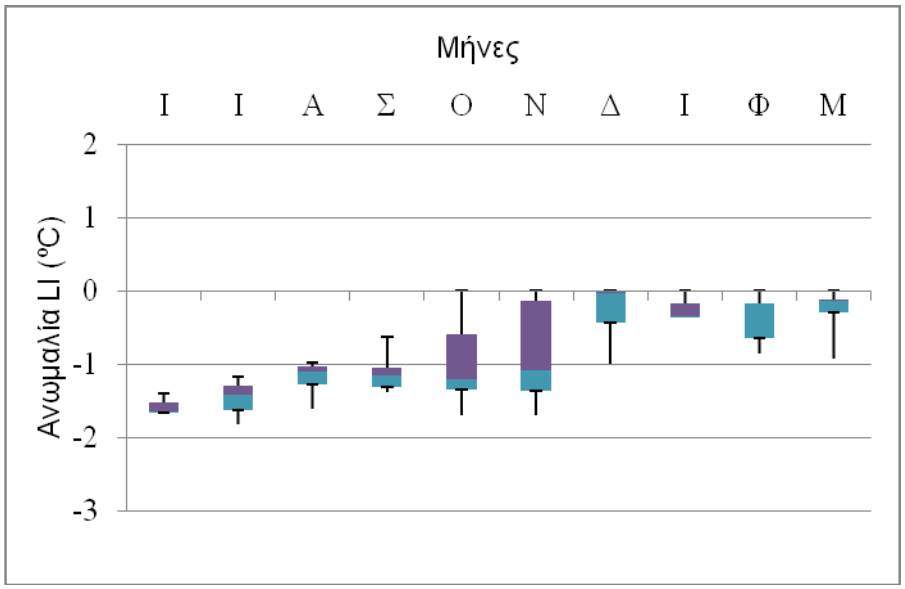
Συμπέρασμα το οποίο ενισχύθηκε με τον υπολογισμό της ημερήσιας ανωμαλίας του θερμοδυναμικού δείκτη αστάθειας (Lifted Index, LI) [127], για τα γεγονότα σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.26). Η μέση μηνιαία διακύμανση του LI αποτυπώνει αρνητικές τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους κατά την εμφάνιση σιφώνων ξηράς, με τις μέγιστες τιμές να καταγράφονται τους θερινούς μήνες (~ -1,5). Η μέση τιμή μειώνεται σημαντικά καθώς μεταβαίνουμε χρονικά στην ψυχρή περίοδο του έτους και περιορίζεται στη μέση τιμή των -0,5.



Εικόνα 6.25: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των πιέσεων (hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα.

Εξετάζοντας την εποχική διακύμανση της ημερήσιας ανωμαλίας για της ημέρες που εκδηλώθηκαν υδροσίφωνες στη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.27α έως 6.27δ), παρατηρούμε ότι η μέση τιμή της ανωμαλίας κατά τη φθινοπωρινή περίοδο παρουσιάζει την ίδια σχεδόν κατανομή τόσο στη μέση όσο και στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Μικρή διαφοροποίηση παρατηρείται στη μέση τιμή στη στάθμη των 500 hPa (~ -50 m) σε σύγκριση με τη μέση τιμή ανωμαλίας στις υπόλοιπες κατακόρυφες στάθμες (~ -45 m).

Ωστόσο κατά τη χειμερινή περίοδο του έτους, η μέγιστη ανωμαλία εντοπίζεται στα 500 hPa (~ -115 m) ενώ η μέση τιμή της ισούται με ~ -110 m. Όπως τη φθινοπωρινή περίοδο έτσι και τη χειμερινή περίοδο, η μέση τιμή της ανωμαλίας δεν παρουσιάζει σημαντική διακύμανση και η μέση τιμή είναι για όλες τις υπόλοιπες στάθμες ίση με ~ -70 m.

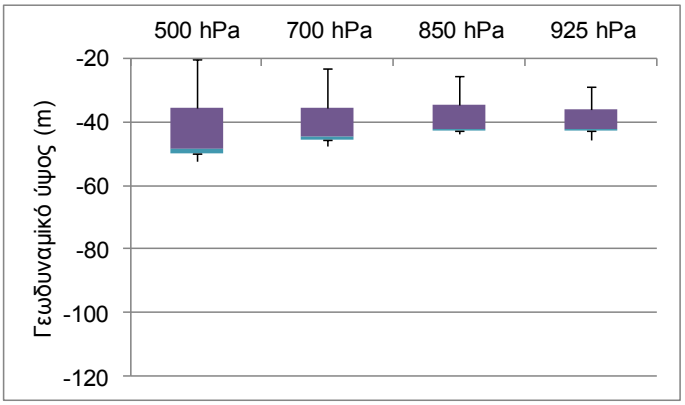


Εικόνα 6.26: Θηκογράμματα ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας του θερμοδυναμικού δείκτη ασταθείας LI (° C), κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στη δυτική Ελλάδα.

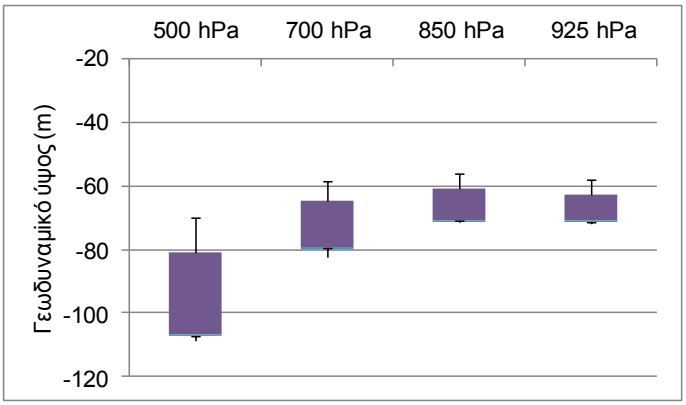
Σε αντίθεση με τις ψυχρές περιόδους, οι θερμές περίοδοι του έτους (άνοιξη και καλοκαίρι) αποτυπώνουν τη μέγιστη ανωμαλία να εντοπίζεται στη στάθμη των 500 hPa και σταδιακά με μέσες τιμές -75 m και -50 m, αντίστοιχα. Και τις 2 περιόδους η μέση τιμή ελαττώνεται σημαντικά καθώς κατερχόμαστε στην κατώτερη ατμόσφαιρα και μεταβαίνουμε από την άνοιξη στο καλοκαίρι (Εικόνα 6.27γ και 6.27δ).

Η εποχική διακύμανση της ημερήσιας ανωμαλίας στη ΜΣΘ κατά τη διάρκεια των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα (Εικόνα 6.28) παρουσιάζει τη μέγιστη ανωμαλία κατά τη χειμερινή περίοδο (-8,5 hPa), ενώ έπεται η εαρινή, η φθινοπωρινή και η θερινή περίοδος του έτους. Η εποχική κατανομή των υδροσιφώνων δεν είναι σε πλήρη συμφωνία με την εποχική κατανομή των σιφώνων ξηράς (θυμίζουμε χειμώνας, φθινόπωρο, άνοιξη και καλοκαίρι). Η μέση ανωμαλία τους χειμερινούς μήνες αποτυπώνει ότι η εμφάνιση των υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα σχετίζεται με την σημαντική πτώση της πίεσης στη ΜΣΘ και επομένως με τη διέλευση χαμηλών ατμοσφαιρικών βαρομετρικών συστημάτων.

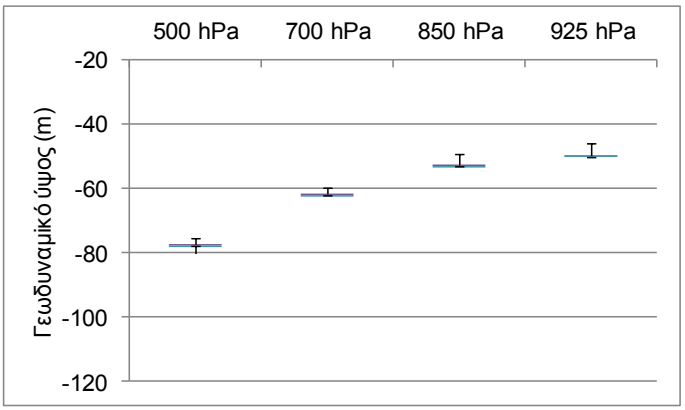
Η μηνιαία κατανομή του LI (Εικόνα 6.29) είναι σε συμφωνία με την εποχική κατανομή της ημερήσιας ανωμαλίας της ΜΣΘ, παρουσιάζει δε τη μέση ανωμαλία να ελαττώνεται καθώς εισερχόμαστε στη φθινοπωρινή περίοδο με τη μέση μέγιστη τους ψυχρότερους μήνες (Δεκέμβριο και Ιανουάριο). Η μέση ημερήσια τιμή της ανωμαλίας του δείκτη αστάθειας είναι σε σταδιακή άνοδο κατά τη μετάβαση στους θερμούς μήνες του έτους, αλλά ωστόσο παραμένει συνεχώς σε αρνητικές τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η μέση ημερήσια τιμή του LI κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, η οποία χαρακτηρίζεται ως η επιδεκτικότερη περίοδος εμφάνισης υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα παρουσιάζει μέση τιμή ~ -3 °C, υποδηλώνοντας σχετικά ασταθείς καιρικές συνθήκες.



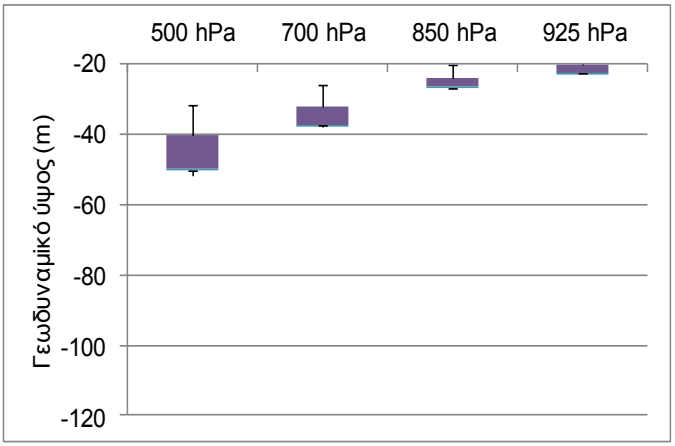
α) Φθινόπωρο



β) Χειμώνας

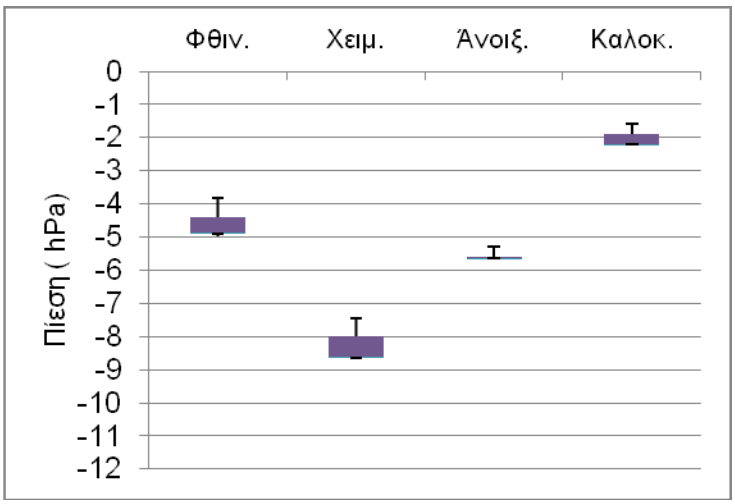


γ) Άνοιξη

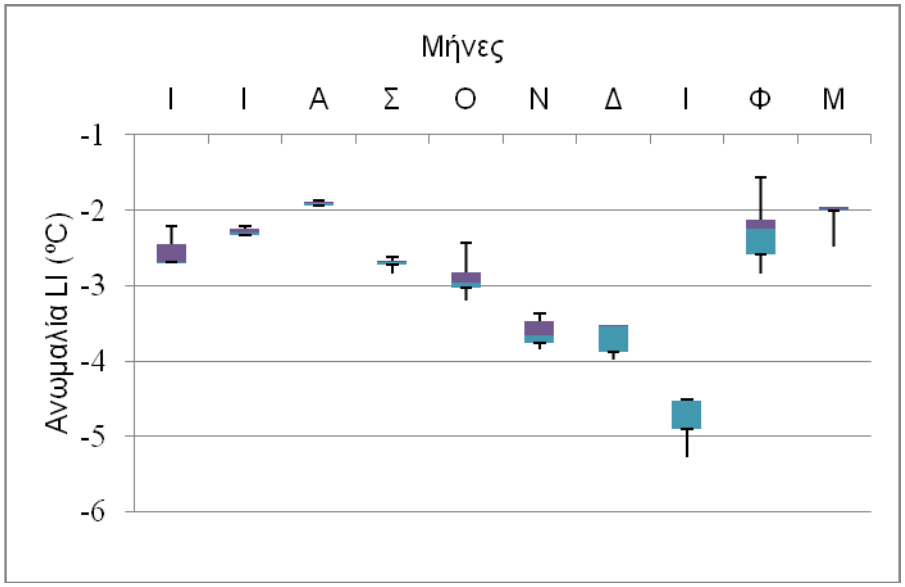


δ) Καλοκαίρι

Εικόνα 6.27: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των γεωδυναμικών υψών (m) στα ισοβαρικά επίπεδα 500, 700, 850, 925 hPa κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα.



Εικόνα 6.28: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των πιέσεων (hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα.



Εικόνα 6.29: Θηκογράμματα ενδοετήσιας μεταβολής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας του θερμοδυναμικού δείκτη ασταθείας LI (° C), κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στη δυτική Ελλάδα.

Η ανάλυση της μέσης ημερήσιας συνοπτικής κατάστασης κατά την φθινοπωρινή περίοδο και η συσχετιζόμενη μέση ανωμαλία της ΜΣΘ και του δείκτη αστάθειας LI, μας ώθησε σε περαιτέρω έρευνα να εξετάσουμε την θέση της μετωπικής δραστηριότητας, σε σχέση με την περιοχή δημιουργίας του σίφωνα ξηράς. Ως αναλύσεις των συνοπτικών καταστάσεων στη ΜΣΘ χρησιμοποιήσαμε τις αναλύσεις επιφανείας του μετεωρολογικού κέντρου του Ηνωμένου Βασιλείου (UK Metoffice) ανά 6 ώρες (δηλαδή 4 αναλύσεις σε ένα 24ωρο). Με τη χρήση ΓΠΣ, όλες οι αναλύσεις με τη μέθοδο της γεωαναφοράς, γεωαναφέρθηκαν στο σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε κατά τη δημιουργία της γεωγραφικής βάσης δεομένων των σιφώνων και εισήχθησαν στο ArcGis. Στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν όλες οι μετωπικές δραστηριότητες τις ημέρες όπου εκδηλώθηκε σίφωνας. Για την επιλογή των αναλύσεων και το συσχετισμό των φαινομένων, βασιστήκαμε στο χρόνο δημιουργίας του σίφωνα με βάση την ακόλουθη κατανομή:

- Για γεγονότα σίφωνα που εκδηλώθηκαν από 03:01 έως 09:00 UTC, δηλαδή ± 3 ώρες από τις 06:00 UTC, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση των 06:00 UTC.
- Για γεγονότα σίφωνα που εκδηλώθηκαν από 09:01 έως 15:00 UTC, δηλαδή ± 3 ώρες από τις 12:00 UTC, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση των 12:00 UTC.
- Για γεγονότα σίφωνα που εκδηλώθηκαν από 15:01 έως 21:00 UTC, δηλαδή ± 3 ώρες από τις 18:00 UTC, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση των 18:00 UTC.
- Για γεγονότα σίφωνα που εκδηλώθηκαν από 21:01 έως 03:00 UTC (της επόμενης ημέρας), δηλαδή ± 3 ώρες από τις 24:00 UTC, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση των 00:00 UTC της επόμενης ημερολογιακής ημέρας.

Η μελέτη αφορά τα γεγονότα σιφώνων που εκδηλώθηκαν μόνο τη φθινοπωρινή περίοδο από το 2006 έως το 2012. Η φθινοπωρινή περίοδος επιλέχθηκε καθώς είναι η πιο επιδεκτική περίοδος του έτους στην εμφάνιση των σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα. Στην Εικόνα 6.30 αποτυπώνεται η θέση των μετωπικών δραστηριοτήτων και η χωρική κατανομή των επιπτώσεων της εμφάνισης των σιφώνων σε δομικές κατασκευές και καλλιέργειες στη δυτική Ελλάδα.

Πρόσφατες μελέτες στην Ευρώπη [128], [129], [130], απέδειξαν τη συσχέτιση των μετωπικών δραστηριοτήτων με την εμφάνιση σιφώνων ξηράς. Οι [131] ανέφεραν ότι σχεδόν το 70% των σιφώνων ξηράς κατά τη διάρκεια του πειράματος για την επαλήθευση και δημιουργία των σιφώνων (Verification of the Origins of Rotation in Tornadoes EXperiment, VORTEX) στις Η.Π.Α, εμφανίστηκαν κοντά σε προ-υπάρχων στρώμα βαροκλινικότητας και σε ακτίνα μικρότερη των 30 χιλιομέτρων.

Κατά το συσχετισμό των γεγονότων εμφάνισης σιφώνων και μετωπικών δραστηριοτήτων υπολογίσαμε ότι:

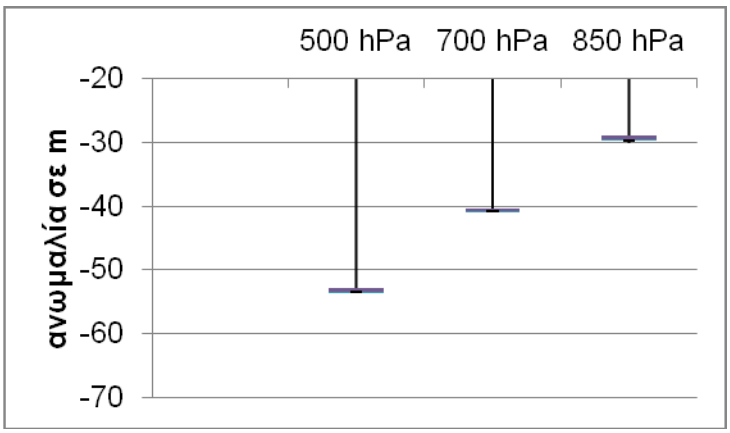
- Το 48% των γεγονότων σιφώνων στη δυτική Ελλάδα εκδηλώθηκαν στο θερμό τομέα του ψυχρού μετώπου (προ-μετωπικό περιβάλλον) με τη θέση του ψυχρού μετώπου να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 50 χιλιομέτρων.
- Ενώ το 27% των περιπτώσεων εκδηλώθηκε στον ψυχρό τομέα του ψυχρού μετώπου (μετά τη διέλευση του μετώπου).
- Δεν εντοπίστηκε συσχέτιση μεταξύ θερμού μετώπου (προ-μετωπικά και μετα-μετωπικά) και εκδήλωσης σίφωνα.

Εξετάζοντας την εποχική διακύμανση της ημερήσιας ανωμαλίας για τις ημέρες που εκδηλώθηκαν υδροσίφωνες στο νότιο Αιγαίο (Εικόνα 6.31) κατά φθινοπωρινή περίοδο η μέγιστη ανωμαλία παρατηρείται στο κατακόρυφο επίπεδο των 500 hPa, ενώ έπονται τα επίπεδα των 700 hPa, 850 hPa και 925 hPa. Η μέση ανωμαλία στη στάθμη των 500 hPa είναι -52 m, στα 700 hPa είναι -41 m, στα 850 hPa είναι -28 m και στα 925 hPa είναι -25 m. Σε όλες τις στάθμες το εύρος διακύμανσης των ανωμαλιών είναι σημαντικά μικρό καθώς τόσο οι ελάχιστες, όσο και οι μέγιστες ανωμαλίες δεν παρουσίασαν σημαντικές αποκλίσεις. Κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται το ίδιο μοτίβο κατανομής της ημερήσιας ανωμαλίας σε όλα τα κατακόρυφα επίπεδα, ωστόσο η διακύμανση της ανωμαλίας στα 500 hPa παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση ως προς τις ακραίες τιμές της κατανομής. Την άνοιξη η μέγιστη μέση ημερήσια ανωμαλία παρατηρείται στα 500 hPa, ενώ η ελάχιστη στα 925 hPa και το εύρος των μέσων ημερήσιων τιμών είναι σημαντικά μικρό σε όλα τα επίπεδα. Η μικρή διακύμανση σε κάθε επίπεδο οφείλεται στο μικρό αριθμό περιπτώσεων (15 ημέρες). Οι σίφωνες που εκδηλώθηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο παρουσιάζουν τις ελάχιστες τιμές ημερήσιας ανωμαλίας στα κατακόρυφα επίπεδα των 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa και 925 hPa σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές. Η μέγιστη ημερήσια ανωμαλία

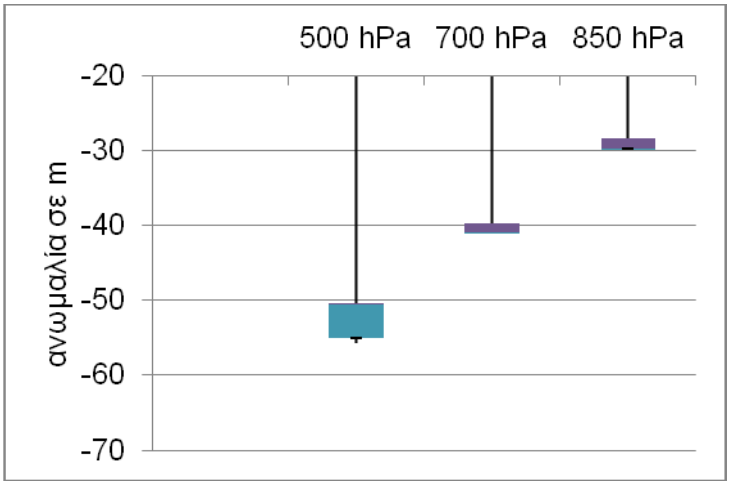
παρατηρείται στο επίπεδο των 700 hPa και έπονται οι βαρομετρικές στάθμες των 500 hPa, 850 hPa και 925 hPa.

Εικόνα 6.30: Οπτικοποίηση της δραστηριότητας των ψυχρών μετώπων που σχετίζονται με την προμετωπική εμφάνιση σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα για τη χρονική περίοδο 2006-2012. Τα σύμβολα (σημαιάκια) κατηγοριοποιούν τις επιπτώσεις των σιφώνων ξηράς.

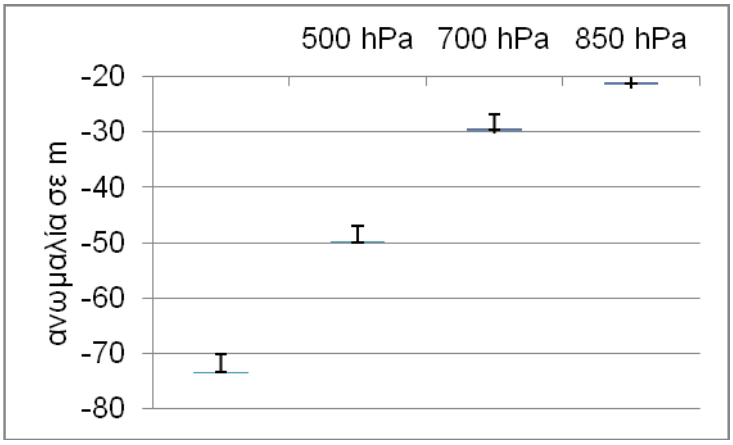
Η μέση ημερήσια ανωμαλία στη ΜΣΘ τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο (Εικόνα 6.32), είναι μέγιστη κατά την χειμερινή περίοδο και η μέση τιμή της υπολογίζεται σε -0,5 hPa. Η εποχική διακύμανση αποτυπώνει το φθινόπωρο και την άνοιξη να έπονται του χειμώνα και να ακολουθούν το καλοκαίρι, με μέσες τιμές μικρότερες των -1 hPa. Η εποχική διακύμανση του δείκτη αστάθειας LI κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων αποτυπώνει θετικές τιμές του δείκτη (Εικόνα 6.33) και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1ºC.



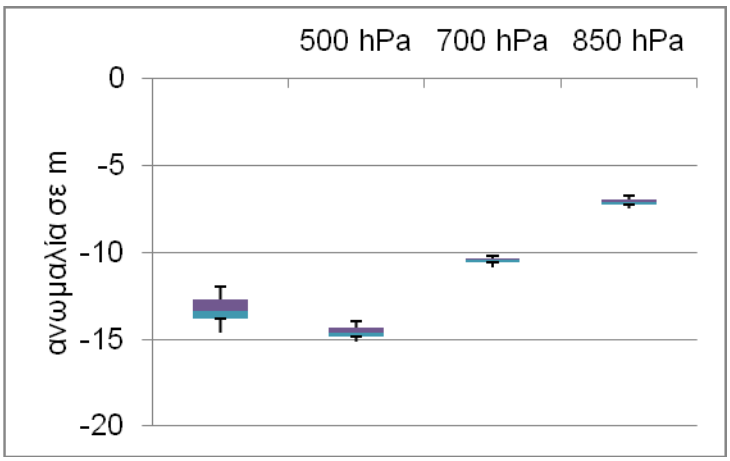
α) Φθινόπωρο



β) Χειμώνας

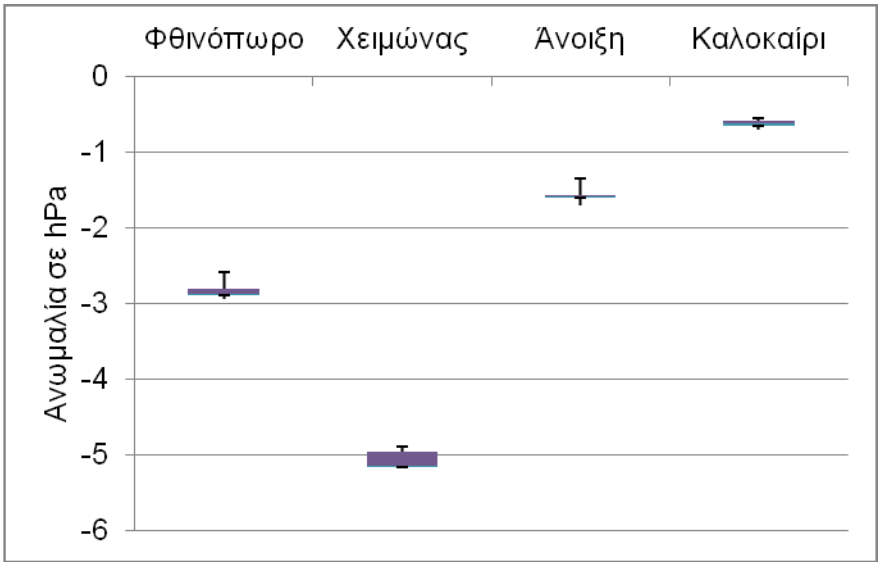


γ) Άνοιξη

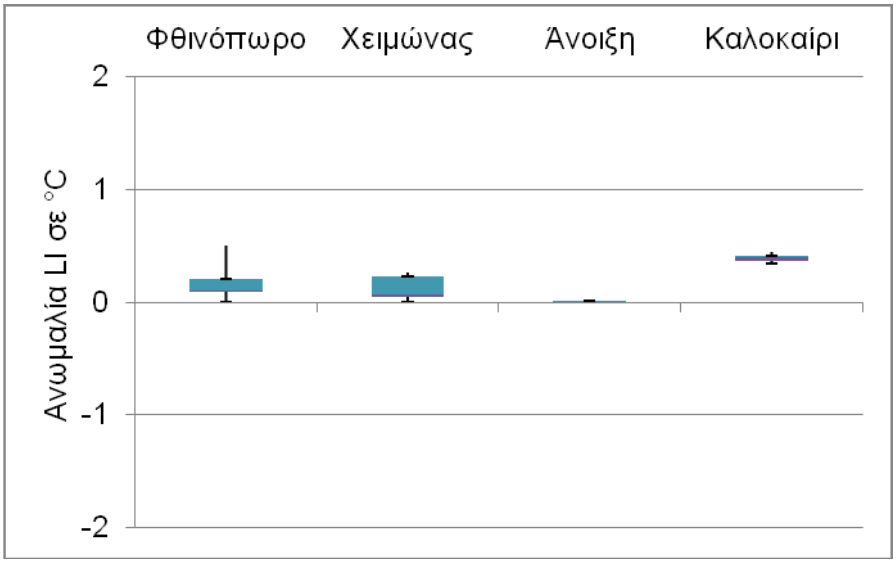


δ) Καλοκαίρι

Εικόνα 6.31: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των γεωδυναμικών υψών (m) στα ισοβαρικά επίπεδα 500, 700, 850, 925 hPa, κατά την εμφάνιση υδροσίφωνα στο νότιο Αιγαίο.



Εικόνα 6.32: Θηκογράμματα εποχικής κατανομής της μέσης ημερήσιας ανωμαλίας των πιέσεων (hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ), κατά την εμφάνιση σίφωνα ξηράς στο νότιο Αιγαίο.



Εικόνα 6.33: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης του δείκτη ασταθείας LI (ºC) κατά της ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων (WS) στο νότιο Αιγαίο.

7 Τύποι καιρού που σχετίζονται με την δημιουργία σιφώνων και υδροσιφώνων στην Ελλάδα

7.1 Εισαγωγή

Η χρήση της συνοπτικής ταξινόμησης τύπων καιρού με σκοπό την ανάλυση κλιματολογικών συνθηκών έχει πολύ καλά αναλυθεί και παρουσιαστεί σε πολυάριθμες μελέτες, ενώ η βελτιστοποίηση των αυτοματοποιημένων μαθηματικών και στατιστικών διαδικασιών ταξινόμησης, όπως η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (principal components analysis) και η ανάλυση της διασποράς (cluster analysis) προτείνονται ως ιδανικές μέθοδοι ταξινόμησης τύπων καιρού. Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία εποχικών τύπων καιρού και η συχνότητα εμφάνισης σιφώνων και υδροσιφώνων ανά τύπο στη δυτική Ελλάδα και στο νότιο Αιγαίο (θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου).

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί τη δεύτερη προσέγγιση της συνοπτικής κλιματολογίας με σκοπό την ταξινόμηση των τύπων καιρού με την ατμοσφαιρική συνοπτική κατάσταση κατά την εκδήλωση σίφωνα ή υδροσίφωνα. Η ταξινόμηση της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζεται με βάση την εποχική διακύμανση. Οι τύποι καιρού αφορούν συνοπτικές καταστάσεις στο μέσο επίπεδο της ατμόσφαιρας και στη ΜΣΘ.

Η μελέτη της Συνοπτικής Κλιματολογίας αποτελεί αντικείμενο ευρέως διαδεδομένο και χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές σε πολλούς κλάδους των επιστημών. Με την ανάλυση μοτίβων κυκλοφορίας και τη συσχέτιση τους με την ατμόσφαιρα και το οριακό στρώμα, η Συνοπτική Κλιματολογία συνδέεται με λοιπά επιστημονικά πεδία όπως η Βιολογία, η Γεωλογία κ.ά. με σκοπό την εξήγηση της σύνδεσης των ατμοσφαιρικών συστημάτων και τη μεταβολή τους στο χρόνο όσον αφορά το σχήμα, τη μορφή και τη θέση των ατμοσφαιρικών συστημάτων πιέσεων.

Ο [132] αναφέρει ότι η σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών στην ατμόσφαιρα είναι τόσο ισχυρή, όσο η σχέση μεταξύ αυτών των μεταβλητών και του τεράστιου αριθμού των μεταβλητών που υφίστανται στο «υπόβαθρο» συνεχώς. Με άλλα λόγια, οι Κλιματολόγοι χρειάζονται έναν τρόπο για την εξέταση του κλίματος από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες για να εξασφαλίσουν ότι τα ευρήματά τους είναι αντικειμενικά και ακριβή. Ωστόσο, για να μελετήσουμε όλες τις μεταβλητές της ατμόσφαιρας θα ήταν πολύ χρονοβόρο και τα αποτελέσματα θα ήταν αρκετά σύνθετα ώστε να συγκεντρωθούν πολύτιμα συμπεράσματα από αυτή την ανάλυση. Συνεπώς, οι Κλιματολόγοι συχνά εφαρμόζουν ένα σύστημα ταξινόμησης που καθορίζει τα βασικά πρότυπα της ατμόσφαιρας που εξηγούν το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των μεταβλητών της. Εξάγοντας βασικά μοτίβα καιρού μέσα από τους ημερήσιους μετεωρολογικούς χάρτες, προσφέρεται ένας χρήσιμος οδηγός γρήγορης αναγνώρισης/εντοπισμού και εξήγησης των ατμοσφαιρικών διεργασιών.

Ως Συνοπτική Κλιματολογία ορίζεται η μελέτη της συσχέτισης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας με την επιφάνεια ή το οριακό στρώμα [133]. Ωστόσο η Συνοπτική Κλιματολογία δύναται να οριστεί ποικιλοτρόπως, όπως για παράδειγμα η μελέτη των συνοπτικών τύπων καιρού για μετεωρολογικές εφαρμογές και έτσι να μπορούμε να αποτυπώσουμε τη συσχέτιση της ανώτερης ατμόσφαιρας και τον μετεωρολογικών φαινομένων στο έδαφος. Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να ορίσουμε ως τις συνοπτικές μελέτες με αντικειμενικό σκοπό την καταγραφή τύπων καιρού σε συνοπτική κλίμακα ώστε να εξηγήσουν τη μεταβολή μίας ή περισσότερων ατμοσφαιρικών μεταβλητών στην επιφάνεια.

Ο [132] διατύπωσε ότι η Συνοπτική Κλιματολογία αποτελεί μία υποκειμενική μελέτη του κλίματος καθώς επηρεάζεται από τον τρόπο συλλογής και ανάλυσης των

μετεωρολογικών δεδομένων. Περιοχές με ελάχιστους μετεωρολογικούς σταθμούς (π.χ. ωκεανοί, Αφρική, Ασία) επηρεάζουν σημαντικά τις αναλύσεις καθώς τα συμπεράσματά των προκύπτουν από μία διαδικασία παρεμβολής. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων βασίζεται στην ικανότητα να διακρίνουμε χρήσιμα και όχι τόσο χρήσιμα συμπεράσματα που στοιχειοθετούν τη συνοπτική ανάλυση.

7.1.1 Ατμοσφαιρική Συνοπτική ταξινόμηση

Η ατμοσφαιρική συνοπτική ταξινόμηση αποτελεί μία διαδικασία κατά την οποία μειώνουμε την πολυπλοκότητα των τύπων καιρού που συναντούμε σε συνοπτική κλίμακα με την ομαδοποίησή τους με βάση την ομοιότητα διάταξης των συστημάτων. Η βασική ιδέα πίσω από την ταξινόμηση είναι η προσπάθεια να ανιχνεύσουμε τις πιο ισχυρές συνδέσεις της ατμόσφαιρας που ευθύνονται για τη μεταβολή μειώνοντας μία σειρά από δεδομένα τα οποία θεωρούνται ως μη σχετικά με τη διαδικασία της ταξινόμησης.

Η διαδικασία ταξινόμησης δύναται να υλοποιηθεί είτε με την ταξινόμηση εξ όψεως (manual classification), είτε αυτόματα (automated classification) μέσω λογισμικού. Παράδειγμα εξ όψεως τεχνικής ταξινόμησης αποτελεί η ταξινόμηση του [134] για τύπους καιρού Συνοπτικής Κλιματολογίας για την περιοχή των Βρετανικών νησιών. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα κατά την εκτέλεση της ταξινόμησης εξ όψεως, με το σημαντικότερο να είναι η μεγάλη χρονική διάρκεια για την ολοκλήρωσή της. Επιπροσθέτως, αν θελήσουμε να επανα-ταξινομήσουμε τους τύπους καιρού με μία διαφορετική παράμετρο θα πρέπει να ακολουθήσουμε την όλη διαδικασία από την αρχή [135]. Επίσης η εγγενής υποκειμενικότητα της κατάταξης αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό μειονέκτημα [132] και η ταξινόμηση είναι επιδεκτική στη συσσώρευση λαθών συγκρινόμενη με την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση.

Η αυτόματη ταξινόμηση με λογισμικό αποτελεί την εξέλιξη της Συνοπτικής Κλιματολογίας με την ομαδοποίηση των τύπων καιρού με βάση τη στατιστική, καθώς εμπεριέχει αλγόριθμους και συναρτήσεις που οριοθετούν τους τύπους καιρού. Μία από της πρώτες τεχνικές ταξινόμησης αποτέλεσε η αυτοματοποιημένη ταξινόμηση από τον [136]. Η τεχνική του Lund βασίστηκε στον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ κάθε χάρτη κατά τη διάρκεια της περιόδου της μελέτης. Ο χάρτης με το μεγαλύτερο αριθμό των συσχετιζόμενων χαρτών συσχετίζεται με αυτό με μία τιμή συσχέτισης τουλάχιστον 0,7 και ορίστηκε ως Τύπος Καιρού 1. Αυτοί οι χάρτες στη συνέχεια αφαιρέθηκαν και η διαδικασία επαναλήφθηκε για τους υπόλοιπους χάρτες. Η διαδικασία θα συνεχιστεί έως ότου όλοι οι χάρτες να έχουν ομαδοποιηθεί. Αν ο Lund ήθελε να ταξινομήσει τους χάρτες σε περισσότερες κατηγορίες, απλά χρειάζεται να αυξήσει τη συσχέτιση τιμής/αποκοπής. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής ήταν στην ευκολία υπολογισμού και τον εκ νέου υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης.

Ο) [132] εντόπισε δύο μεγάλα μειονεκτήματα της τεχνικής Lund. Το πρώτο μειονέκτημα αφορούσε την υποκειμενική φύση της επιλογής της τιμής αποκοπής μεταξύ των τύπων χάρτη, ενώ το δεύτερο μειονέκτημα αφορούσε τον αριθμό των σημείων πλέγματος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των συσχετίσεων καθώς επηρεάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Περισσότερες αυτοματοποιημένες τεχνικές ακολούθησαν την τεχνική συσχέτισης του Lund. Ο [137], το 1974, προσδιόρισε μία ανώτερη τεχνική συσχέτισης. Ωστόσο, ο [138] απέδειξε ότι οι υπολογισμοί Kirchhofer ήταν πανομοιότυποι με του Lund. Ως εκ τούτο οι δύο τεχνικές θεωρούνται πλέον ως ταυτόσημες.

Ο [139] προσδιόρισε μία νέα τεχνική ανώτερη των [137] και [136], την τεχνική ανάλυσης κυρίων συνιστωσών. Είναι πλέον γενικά αποδεκτό ότι η ανάλυση κύριων συνιστωσών

αποτελεί τη μέθοδο επιλογής για την μείωση των δεδομένων και χρησιμοποιείται ευρέως στη συνοπτική ταξινόμηση των τύπων καιρού.

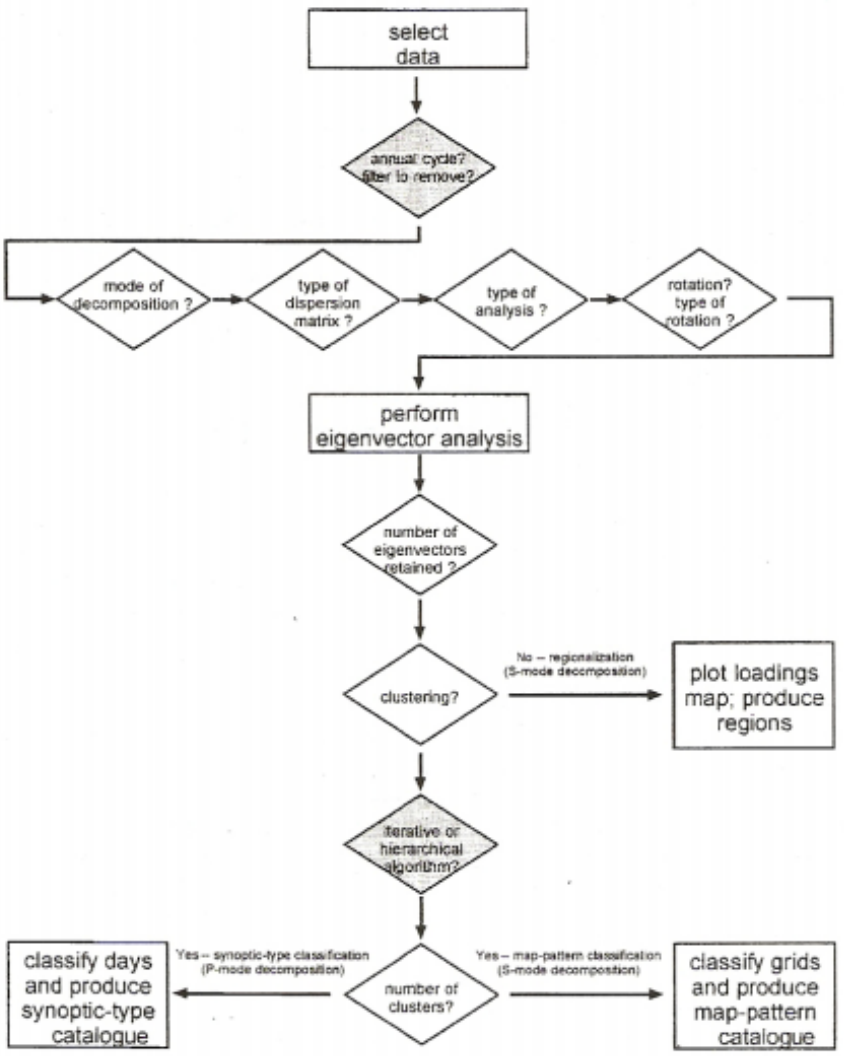
7.1.2 Ανάλυση κύριων συνιστωσών (PC)

Η τεχνική ανάλυσης κύριων συνιστωσών (μερικές φορές αναφέρεται και ως τεχνική ανάλυσης ιδιοδιανύσματος) είναι γνωστή ως ένα εργαλείο ανασυγκρότησης μοτίβων, με την τεχνική μείωσης δεδομένων. Μία ικανή τεχνική μείωσης πολύπλοκων συνόλων δεδομένων από πολλές διαφορετικές διαστάσεις σε ένα μικρότερο αριθμό διαστάσεων. Για παράδειγμα, στην ατμόσφαιρα υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαστάσεις των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατμοσφαιρικών μεταβλητών. Η διάσταση με την οποία τα σημεία δεδομένων συσχετίζονται καλύτερα θα είναι πιθανώς η διάσταση με τη μεγαλύτερη κλιματολογική σημασία. Κατά την τεχνική PC αναλύεται κάθε διάσταση συσχέτισης μεταξύ τιμών και δημιουργείται μία ιεραρχική λίστα των διαστάσεων με βάση τη σημασία τους. Μία τυπική ανάλυση συνιστωσών που χρησιμοποιείται στην ανάλυση κλιματικών δεδομένων φαίνεται στην Εικόνα 7.1.

Η PC ανάλυση απαιτεί υπολογισμούς πολύπλοκους και πολυδιάστατους, οι οποίοι μέσω της τεχνολογίας των υπολογιστών και την ικανότητά τους να διαχειρίζονται μεγάλους πίνακες δεδομένων έχουν ως αποτέλεσμα την εύκολη εφαρμογή της PC ανάλυσης με σκοπό τη συνοπτική ταξινόμηση. Η ανάλυση PC έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές κλιματολογικές μελέτες. Οι [140] έχουν χρησιμοποιήσει την ανάλυση PC σε συνδυασμό με την K-means ανάλυση διασποράς για να εντοπίσουν πως οι συνοπτικοί τύποι καιρού επηρεάζουν τη βροχόπτωση στην Πορτογαλία. Συμπέραναν ότι η τεχνική τους ήταν αποτελεσματική στην ταξινόμηση τύπων καιρού στα 500 hPa και στη ΜΣΘ. Οι [141] χρησιμοποίησαν την PC ανάλυση σε συνδυασμό με άλλες αυτόματες τεχνικές στην ταξινόμηση των τύπων καιρού στην Ελλάδα.

Ο [142] περιγράφει τις βασικές οδηγίες για την ολοκλήρωση της διαδικασία της PC ανάλυσης. Για να μπορέσουμε να παράγουμε αποτελέσματα τα οποία θα πρέπει να αποτυπωθούν χωρικά σε χάρτες, θα πρέπει τα δεδομένα μας να μετατραπούν σε τιμές ή διανύσματα ώστε να καταχωρηθούν μέσω ενός πλέγματος σε διακριτά δεδομένα σε συγκεκριμένα διαστήματα του χρόνου. Τέτοια δεδομένα είναι τα μετεωρολογικά δεδομένα του ECMWF και του NCEP/NCAR.

Τα πλεγματικά μετεωρολογικά δεδομένα στη συνέχεια αποστέλλονται για αποσύνθεση [132]. Η αποσύνθεση είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αναδιοργάνωση, το φιλτράρισμα και την επεξεργασία της συστοιχίας των τιμών για ανάλυση σε κύριες συνιστώσες. Διάφοροι τρόποι υπάρχουν για να γίνει η αποσύνθεση των τιμών. Η S-mode αποσύνθεση είναι η λειτουργία που χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα οργανώνονται σε σειρές του χρόνου ως εξαρτημένες μεταβλητές και τις στήλες των χωρικά εξαρτημένων μεταβλητών. Τα περισσότερα περιβαλλοντικά δεδομένα που συλλέγονται είναι αυτού του είδους της συστοιχίας και έτσι η S-mode αποσύνθεση είναι η πιο κοινή [132]. Ωστόσο, οι [140] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αποσύνθεση T-mode (μεταξύ των ημερών του πίνακα συσχέτισης) θα μπορούσε να παράγει καλύτερα ποιοτικά αποτελέσματα. Κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης, οι τιμές εντός της συστοιχίας είναι τυποποιημένες και τοποθετούνται σε μία νέα συστοιχία αποτελούμενη από συσχέτιση ή συνδιακύμανση τιμών.



(Yarnal *et al.*, 2001)

Εικόνα 7.1: Διάγραμμα ροής ανάλυσης κύριων συνιστωσών κατά την καταχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων σε πλέγμα αναφοράς [135].

Ο πίνακας συνδιασποράς ή συσχέτισης στη συνέχεια ταυτίζεται με ένα ιδιοδιάνυσμα. Το ιδιοδιάνυσμα, όπως υποδηλώνει το όνομα, είναι ένα διάνυσμα μέσα από ένα σύνολο τιμών (ιδιοτιμές). Συνεπώς, τα ιδιοδιανύσματα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά των απλών φορέων, ωστόσο αυτά καταλαμβάνουν μόνο μία ορθογώνια θέση για τον εαυτό τους. Με άλλα λόγια, κάθε ιδιοδιάνυσμα υπάρχει σε ορθές γωνίες προς κάθε άλλο ιδιοδιάνυσμα (σε τρισδιάστατο χώρο και ορθογώνιοι σε διαστάσεις μεγαλύτερο του τρία) [142]. Το πρώτο ιδιοδιάνυσμα ονομάζεται χαρακτηριστικό ιδιοδιάνυσμα και υπάρχει κατά μήκος της διάστασης της μεγαλύτερης συνδιακύμανσης / συσχέτισης των δεδομένων. Το δεύτερο ιδιοδιάνυσμα έχει συνταχθεί στη διάσταση που εξηγεί το δεύτερο μεγαλύτερο ποσό συνδιακύμανσης / συσχέτισης κ.ο.κ.

Τα ιδιοδιανύσματα στη συνέχεια μετατρέπονται σε μοτίβα που ονομάζονται κύριες συνιστώσες. Σε κάθε ανάλυση κυρίων συνιστωσών, θα υπάρχει ένα κύριο συστατικό για κάθε διάσταση στον αρχικό πίνακα δεδομένων. Για παράδειγμα, εάν η αρχική συστοιχία δεδομένων αποτελείται από 9 οριζόντια σημεία πλέγματος και 15 κάθετα σημεία πλέγματος, τότε θα υπάρχουν 135 πιθανές διαστάσεις στο σύνολο των δεδομένων και 135 πιθανές κύριες συνιστώσες, εξηγώντας το καθένα κάποιο τμήμα της συνολικής

διακύμανσης. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο όλες οι κύριες συνιστώσες να διατηρηθούν καθώς σε μία τυπική συνοπτική κλιματολογική μελέτη, το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης μπορεί να εξηγηθεί με λιγότερους από 6 κύριες συνιστώσες [143] και περισσότερα από 15 για πολύπλοκες αποτυπώσεις της κυκλοφορίας [140].

Πολλοί ερευνητές επιχειρούν την περιστροφή του παράγοντα του πολυδιάστατου χώρου που πρέπει να παράγουν διαφορετικά, ελπίζοντας στη βελτίωση των αποτελεσμάτων [144]. Αυτό γίνεται επειδή η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες για δεδομένα του κλίματος μπορεί να παράγει ψευδή μοτίβα, που ονομάζεται Buell patterns [132]. Η varimax περιστροφή, προτάθηκε από τον [145], επιδιώκοντας τη μεγιστοποίηση των βαθμολογιών της διακύμανσης των PC.

Η Varimax περιστροφή αποτελεί μία τεχνική κατά την οποία περιστρέφονται κατά 90° ο πίνακας δεδομένων, όπου οι νέοι άξονες του περιστρεφόμενου πίνακα είναι κάθετοι προς τους άξονες του αρχικού πίνακα δεδομένων. Άλλη τεχνική περιστροφής αποτελεί η PROMAX, η οποία είναι μία λοξή περιστροφή, είναι απλούστερη μαθηματικά και οδηγεί προς μία «τοποθέτηση» των μεταβλητών ώστε να επάγουν τεχνητά τη μέγιστη διακύμανση [146]. Για τους λόγους αυτούς, για κλιματολογικές έρευνες χρησιμοποιείται η ορθογώνια περιστροφή (Varimax) αντί της λοξής περιστροφής (PROMAX). Οι ερευνητές επιθυμούν τα αποτελέσματά τους να προσεγγίζουν αυτά που συναντάμε στην πραγματική ατμοσφαιρική κυκλοφορία και έτσι επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν την περιστροφή [144]. Ωστόσο, ορισμένοι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι η μη-περιστροφική ανάλυση των κύριων συνιστωσών παράγουν εξίσου σημαντικά αποτελέσματα [140].

7.1.3 K-means ανάλυση διασποράς (cluster analysis, CA)

Για κάθε κύρια συνιστώσα υπάρχει μία βαθμολογία που συνδέεται με καθένα από τα αρχικά πλέγματα. Αυτά τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των πλεγμάτων σε συνοπτικούς τύπους καιρού. Μία κοινώς αποδεκτή μέθοδος ταξινόμησης κάθε σημείο του πλέγματος ονομάζεται K-means ανάλυση διασποράς (cluster analysis, CA). Ο στόχος της CA είναι να ομαδοποιήσει σημεία του πλέγματος με παρόμοιες τιμές σύμφωνα με τον αριθμό των κυρίων συνιστωσών που διατηρούνται. Αυτό γίνεται με τη μέτρηση της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των κέντρων διασποράς και τα αποτελέσματα του πλέγματος, ενώ η ερμηνεία του τύπου βασίζεται στις πληροφορίες από τις PC [140].

Η K-means ανάλυση διασποράς είναι γνωστή ως μία μη-ιεραρχική μέθοδος ομαδοποίησης των δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης επιλέγει πόσες ομάδες επιθυμεί να διατηρήσει, και ο υπολογιστής ταξινομεί κάθε χάρτη σε αυτές τις ομάδες. Το μειονέκτημα της χρήσης της μη-ιεραρχικής προσέγγισης είναι ότι ο χρήστης θα πρέπει να αναλύσει την κατάταξη που παρήγαγε ώστε να δει εάν : (α) πάρα πολλές ομάδες επιλέχθηκαν και εξαπλώνεται η συνοπτική ταξινόμηση σε μικρό αριθμό ημερών, ή (β) πολύ λίγες ομάδες επελέγησαν και ενδεχομένως με τον τρόπο αυτό εμποδίστηκαν ορισμένες σημαντικές συνοπτικές καταστάσεις να.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της K-means ανάλυσης διασποράς είναι ότι μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως και ως εκ τούτου μπορεί να εισαχθεί εύκολα σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα, το οποίο να συνδυάζει και την PC ανάλυση. Για το λόγω αυτό, οι Κλιματολόγοι που χρησιμοποιούν την PC ανάλυση πολύ συχνά χρησιμοποιούν την K-means ανάλυση διασποράς και είναι ευρέως αποδεκτή στη Συνοπτική Κλιματολογία [140].

7.2 Δεδομένα και μέθοδος ταξινόμησης

Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται η περιοχή μελέτης, τα μετεωρολογικά δεδομένα και το λογισμικό συνοπτικής ταξινόμησης. Τα μετεωρολογικά δεδομένα έχουν ως προέλευση το NCEP/NCAR και το λογισμικό ταξινόμησης είναι το εργαλείο Συνοπτικής Ταξινόμησης (Synoptic Typer Tool, STT) 4^{ης} έκδοσης.

7.2.1 Δεδομένα NCEP/NCAR

Οι αναλύσεις του NCEP/NCAR αποτελούν μία συνεχή μελέτη των παρελθόντων μετεωρολογικών μεταβλητών, παράγοντας σύνολα μετεωρολογικών δεδομένων σε μορφή πλέγματος από το 1948 έως το παρόν. Τα δεδομένα καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης, σε πλέγμα με χωρική ανάλυση ανά 2,5° γεωγραφικού πλάτους / μήκους σε 17 κατακόρυφα επίπεδα, τέσσερις φορές την ημέρα. Για τη δημιουργία του πλέγματος δεδομένων χρησιμοποιούνται μετεωρολογικές παρατηρήσεις από ραδιοβολίσεις, μετεωρολογικούς σταθμούς και δορυφορικά δεδομένα [126].

Η επιλογή των δεδομένων από το NCEP/NCAR έγινε με βάση τη συνέχεια του προηγούμενου κεφαλαίου καθώς τα δεδομένα του είχαν χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση του καιρού από τις ημέρες σίφωνα προς τη μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση (αντίστροφη κατηγοριοποίηση).

Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία ειδική μορφή αρχείου που ονομάζεται δεδομένα δικτύου κοινής μορφής (network common data form, netCDF). Σε κάθε αρχείο netCDF, οι μεταβλητές αποθηκεύονται σε μία συγκεκριμένη μορφή έτσι ώστε συμβατά λογισμικά με netCDF δεδομένα να μπορούν εύκολα να τα «διαβάσουν». Δεδομένου ότι η επανα-ανάλυση των δεδομένων είναι σημαντικά μεγάλη, ενδέχεται να έχουν συμπεριληφθεί και περιοδικά λάθη. Αυτά τα σφάλματα που προβάλλονται στην ιστοσελίδα του NCEP/NCAR εύκολα μπορεί ο ερευνητής να αξιολογήσει την επίδρασή τους στη μελέτη του. Στη μελέτη μας υπάρχουν περιορισμένα λάθη και αφορούν επανα-αναλύσεις ελάχιστων αριθμών ημερών και δεν επηρεάζουν την εποχική ταξινόμηση και ανάλυση των αποτελεσμάτων μας.

Τα δεδομένα επανα-αναλύσεων του NCEP/NCAR είναι διαθέσιμα για πολλές μετεωρολογικές μεταβλητές. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά σύνολα μεταβλητών: α) τα γεωδυναμικά ύψη (ύψη σε δεκάμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης σε ένα σταθερό επίπεδο πίεσης) για το βαρομετρικό επίπεδο των 500 hPa και 2) οι αναλύσεις της ΜΣΘ. Και οι δύο σειρές δεδομένων καλύπτουν όλη την επιφάνεια της Γης με χωρική ανάλυση ανά 2,5° γεωγραφικού πλάτους / μήκους και χρονική ανάλυση τέσσερις φορές την ημέρα (00:00Z, 00:06Z, 12:00Z, 18:00Z). Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα αναλύσεων για τη σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα των αναλύσεων του Κεφαλαίου 4.

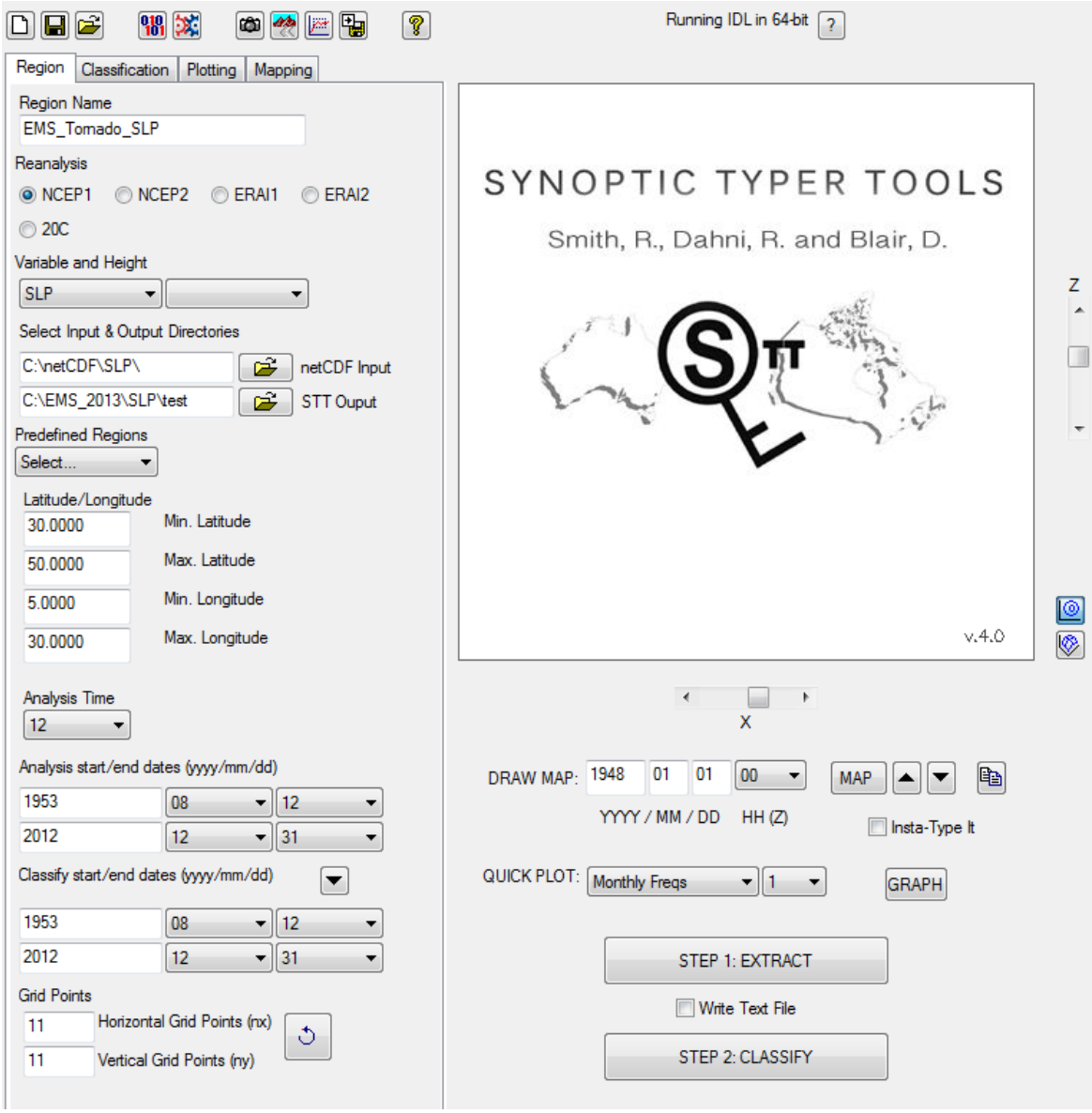
7.2.2 Synoptic Typer Tool (STT)

Το STT είναι ένα λογισμικό με αντικειμενικό σκοπό την ταξινόμηση συνοπτικών μοτίβων σε τύπους καιρού χρησιμοποιώντας δεδομένα επανα-αναλύσεων του ECMWF και του NCEP/NCAR. Επίσης χρησιμοποιεί τεχνικές αναλύσεων κυρίων συνιστωσών και K-means ανάλυση διασποράς όπως περιγράφησαν σε προηγούμενες ενότητες.

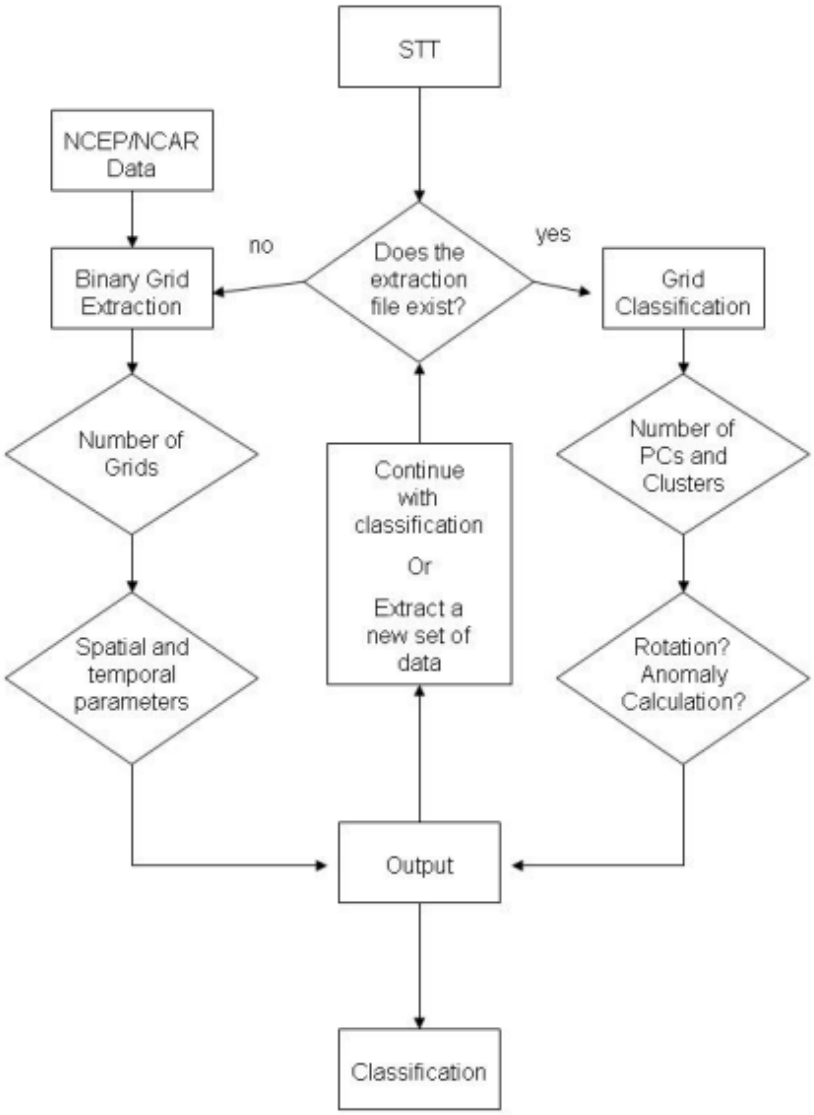
Το STT είναι ένα πρόγραμμα γραμμένο με τη Διαδραστική Γλώσσα Σχεδιασμού (Interactive Design Language, IDL) και αποτελεί την εξέλιξη του αρχικού προγράμματος Συνοπτικού Εργαλείου (Synoptic Tool, ST) του Δρα Robert Dahni της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της Αυστραλίας. Η IDL είναι μία γλώσσα προγραμματισμού σχεδιασμένη να λειτουργεί με γεωφυσικά δεδομένα. Το πλεονέκτημα της χρήσης της IDL για κλιματολογικά αναλύσεις αποτελεί η αποτελεσματική διαχείριση εκτεταμένων και

πολύπλοκων συνόλων δεδομένων. Επίσης, παρέχει την δυνατότητα να κατασκευαστούν χάρτες και γραφήματα, με την χρήση εκτεταμένων βιβλιοθηκών στατιστικών και εργαλείων ανασυγκρότησης μοτίβων (PC).

Για την χρήση του STT απαιτείται από τον χρήστη η κατασκευή ενός αρχείου σε μορφή IDL το οποίο θα περιέχει πληροφορίες σχετικά με την περιοχή μελέτης, τη σχετική διαδρομή των αρχείων των επανα-αναλύσεων (δεδομένα εισαγωγής) και τη σχετική διαδρομή των αποτελεσμάτων. Το βασικό μειονέκτημα του είναι η επανεγγραφή των νέων αποτελεσμάτων στον ίδιο φάκελο όταν επιθυμείς να προχωρήσεις σε νέα ταξινόμηση τύπων καιρού. Στη συνέχεια το αρχείο εισάγεται στο λογισμικό και με τη χρήση γραφικού περιβάλλοντος (Graphical User Interface, GUI), οδηγείται στην αποκωδικοποίηση των επανα-αναλύσεων, στην ανάλυση κύριων συνιστωσών και στη συνέχεια στην ανάλυση διασποράς με τους τύπους καιρού να οπτικοποιούνται. Στην Εικόνα 7.2, παρουσιάζεται το GUI του STT προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε στη διατριβή, ενώ στην Εικόνα 7.3 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής υπολογισμού των τύπων καιρού.



Εικόνα 7.2: Το GUI περιβάλλον του λογισμικού STTv4.



Εικόνα 7.3: Διάγραμμα ροής ταξινόμησης τύπων καιρού με την χρήση του STT.

Η επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού για την εποχική ταξινόμηση των τύπων καιρού κατά την εμφάνιση σιφώνων και υδροσιφώνων στη δυτική και νότια Ελλάδα βασίστηκε στα 4 ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1) Το STT υπολογίζει και ταξινομεί σε λίγο χρόνο (10-30 λεπτά, εξαρτάται την υπολογιστική δύναμη του Η/Υ σας) το σύνολο δεδομένων επανα-αναλύσεων του NCEP/NCAR. Η ταξινόμηση είναι πολύ πιο γρήγορη από τις άλλες μεθόδους, όπως για παράδειγμα η χρήση του SPSS PC, η οποία απαιτεί τα δεδομένα επανα-αναλύσεων πρώτα να μετατραπούν από τη netCDF μορφή τους σε συμβατή μορφή ASCII και στη συνέχεια απαιτείται η PC ανάλυση να εισαχθεί σε άλλο πρόγραμμα για την πραγματοποίηση της ομαδοποίησης με την K-means ανάλυση διασποράς.

2) Το STT προσφέρει υψηλής ποιότητας γραφικά αποτελέσματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια χωρίς επιπλέον γραφική επεξεργασία.

3) Το STT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε περιοχή του πλανήτη, καθιστώντας παγκόσμια εφαρμογή συνοπτικής ταξινόμησης καθώς εύκολα τα αποτελέσματα του μπορούν να συγκριθούν με αποτελέσματα άλλων μελετών στο ίδιο αντικείμενο έρευνας.

Η ταξινόμηση των τύπων καιρού αφορά την φθινοπωρινή περίοδο, δηλαδή την επιδεκτικότερη περίοδο εμφάνισης σιφώνων και υδροσιφώνων τόσο στη δυτική Ελλάδα, όσο και στο νότιο Αιγαίο. Η περιοχή μελέτης ορίστηκε στο πλέγμα της κεντρικής και νότιας Ευρώπης με συντεταγμένες:

ΒΔ σημείο πλέγματος: 5°γεωγ. μήκος / 55° γεωγ. πλάτος,

ΝΔ σημείο πλέγματος: 5°γεωγ. μήκος / 35° γεωγ. πλάτος,

ΒΑ σημείο πλέγματος: 35°γεωγ. μήκος / 55° γεωγ. πλάτος και

ΝΑ σημείο πλέγματος: 35°γεωγ. μήκος / 55° γεωγ. πλάτος.

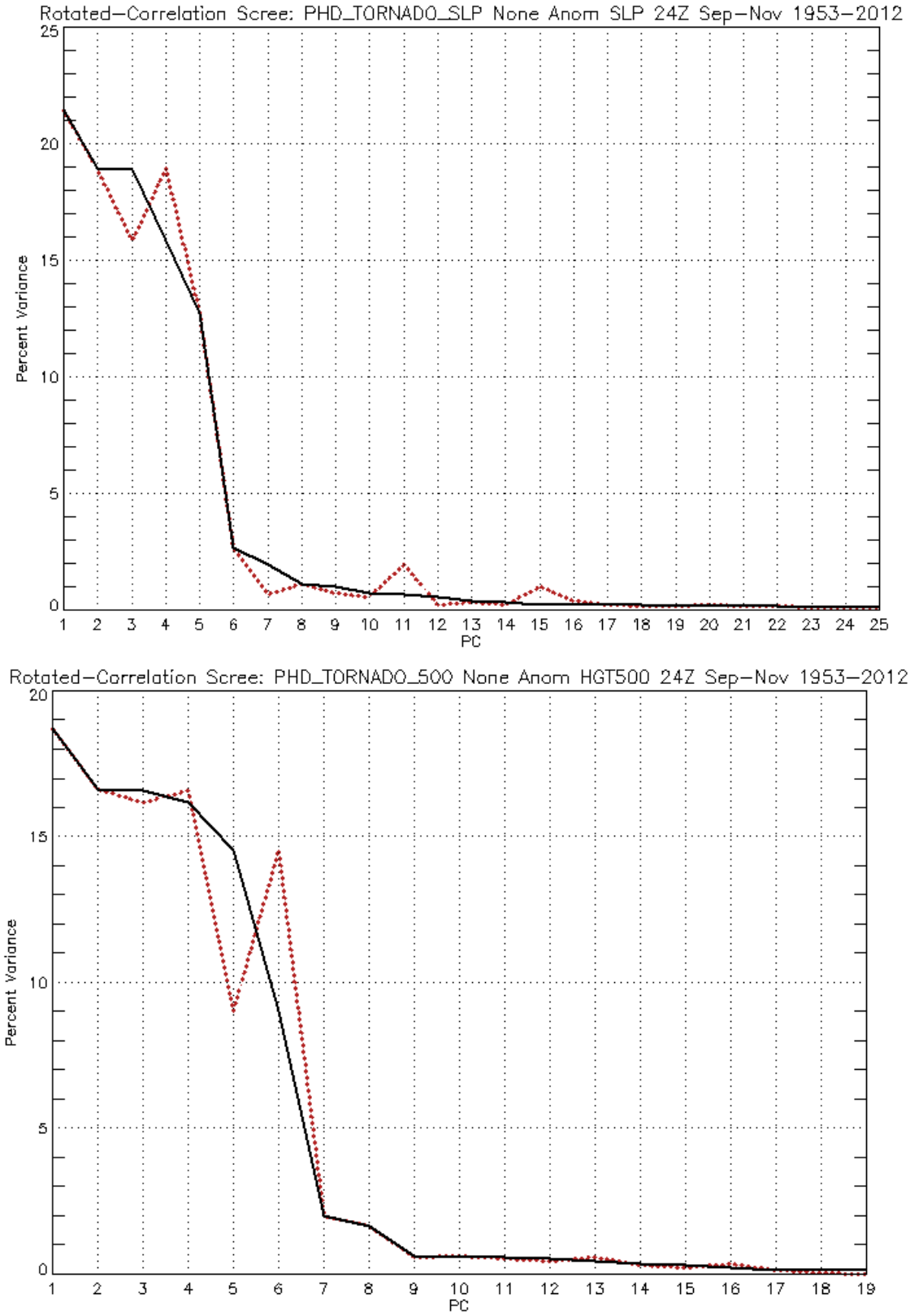
Η περιοχή περιλαμβάνει 13 σημεία πλέγματος στον οριζόντιο άξονα (γεωγραφικό μήκος) και 13 σημεία πλέγματος στον κάθετο άξονα (γεωγραφικό πλάτος). Το σύνολο των σημείων πλέγματος στη μελέτη είναι 139 σημεία πλέγματος (13x13=169), τα οποία καλύπτουν την κεντρική και νότια Ευρώπη (από τις ακτές της Γαλλίας έως την Κύπρο και από τις ακτές της Νορβηγίας έως τις βόρειες ακτές της Αφρικής).

Η χρονική περίοδος των μετεωρολογικών δεδομένων περιλαμβάνει δεδομένα από τις 12/8/1953 έως τις 31/12/2012. Η ημερομηνία της 12/8/1953 επιλέχθηκε ως η πρώτη ημερομηνία καταγραφής φαινομένου σίφωνα/υδροσίφωνα μετά το 1948 (ημερομηνία που ήταν διαθέσιμες οι πρώτες επαν-αναλύσεις του NCEP/NCAR). Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης σιφώνων και υδροσιφώνων αφορά γεγονότα που εκδηλώθηκαν στην δυτική Ελλάδα και στο νότιο Αιγαίο (τα ίδια γεγονότα χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση του 6^{ου} Κεφαλαίου). Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν και οι 4 ημερήσιες επαν-αναλύσεις (00:00Z, 06:00Z, 12:00Z, 18:00Z) του NCEP / NCAR.

Ο αριθμός των κύριων συνιστωσών για την ταξινόμηση των δεδομένων της ΜΣΘ υπολογίστηκε σε 6 με ποσοστό εμπιστοσύνης μεγαλύτερου του 97 % (Εικόνα 7.4α) ενώ χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της περιστροφής που αναφέρθηκε παραπάνω (7.1.2). Για τον υπολογισμό των αριθμών των κύριων συνιστωσών για την ταξινόμηση των δεδομένων της μέσης στάθμης της ατμόσφαιρας (500 hPa) χρησιμοποιήθηκε ομοίως η περιστροφή και οι κύριες συνιστώσες υπολογίστηκαν σε 7 με ποσοστό εμπιστοσύνης ίσο του 98 % (Εικόνα 7.4β).

Ο καθορισμός του αριθμού των τύπων καιρού (clusters) αποτελεί μία υποκειμενική επιλογή, καθώς η επιλογή σημαντικού αριθμού τύπου (π.χ. περισσότεροι από 15) θα οδηγήσει στον κατακερματισμό των συνολικών ημερών ανάλυσης, με αποτέλεσμα να έχουμε πολλούς τύπους με λίγες ημέρες εμφάνισης. Στην αντίθετη περίπτωση η επιλογή μικρού αριθμού τύπων καιρού (π.χ. < 4) μπορεί να ταξινομήσει χαρακτηριστικές περιπτώσεις ατμοσφαιρικών συνθηκών, αλλοιώνοντας σημαντικά το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στην ανάλυση που ακολουθεί η ταξινόμηση έγινε με βάση την εποχική διακύμανση και αφορούσε το φθινόπωρο και τη χειμερινή περίοδο τόσο για τη δυτική Ελλάδα, όσο και για την περιοχή του νοτίου Αιγαίου. Με την χρήση του STT ταξινομήθηκαν από 6 έως 15 τύποι καιρού ανά εποχή και ακολούθησε συγκριτική ανάλυση των σημαντικών ατμοσφαιρικών κυκλοφοριών αλλά και ανάλυση με διακριτή διαφορά μεταξύ των τύπων καιρού και αριθμού ημερών. Όπως για παράδειγμα η ομαδοποίηση ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια της άνοιξης με κοινά χαρακτηριστικά, σε σύνολο 50 ημερών, δεν θεωρήθηκε σημαντικός τύπος καιρού και προχωρήσαμε στην περαιτέρω αξιολόγηση. Ωστόσο το λογισμικό STT παρέχει μία σειρά στατιστικών αναλύσεων οι οποίες σε βοηθούν στην επιλογή του αριθμού των τύπων καιρού μειώνοντας σημαντικά την υποκειμενικότητα που περιγράφτηκε προηγουμένως. Τα στατιστικά παραγόμενα προϊόντα αφορούν τη σημαντικότητα και τη συνοχή των τύπων καιρού με βάση τον αριθμό των ημερών. Σύμφωνα με αυτά οι τύποι καιρού κατά την φθινοπωρινή περίοδο περιορίστηκαν σε 13, για το χειμώνα 12 και 12

επίσης για το καλοκαίρι και την άνοιξη. Στον Πίνακας 7-1 αποτυπώνονται τα χαρακτηριστικά / δεδομένα με βάση τα οποία πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των τύπων καιρού.



Εικόνα 7.4: Scree-Plot ανάλυση της σημαντικότητας των PC κατά τη διαδικασία ταξινόμησης των δεδομένων επανα-αναλύσεων στη μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ) (πάνω διάγραμμα) και στη σταθμη των 500 hPa (κάτω διάγαρμμα) της μέσης ατμόσφαιρας, μέσω του λογισμικού STT.

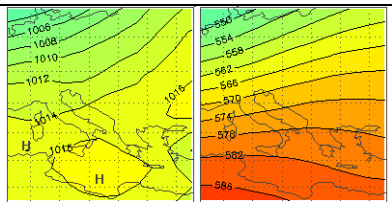
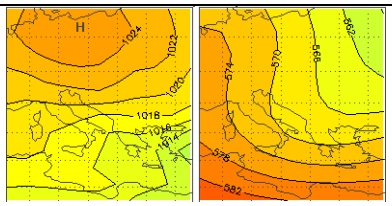
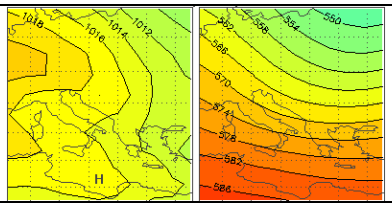
Πίνακας 7-1: Συνοπτικός πίνακας περιγραφής των δεδομένων / χαρακτηριστικών για την ταξινόμηση των τύπων καιρού

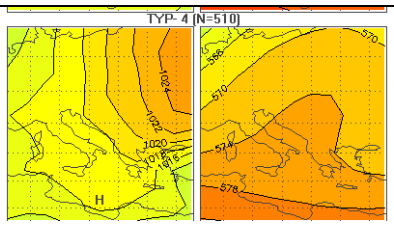
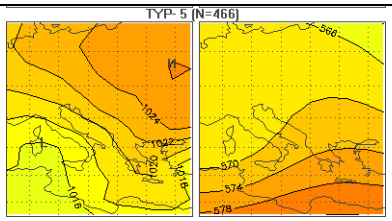
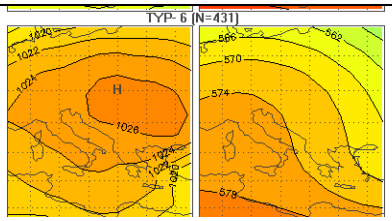
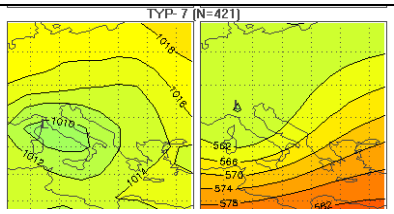
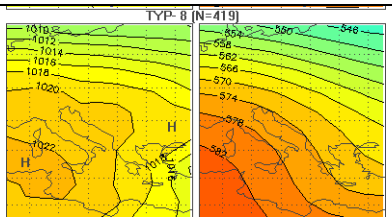
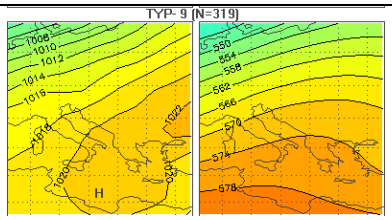
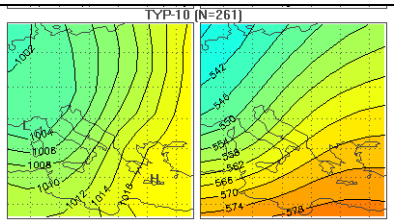
Περιοχή μελέτης	ΒΔ σημείο πλέγματος: 5°γεωγ. μήκος / 55° γεωγ. πλάτος, ΝΔ σημείο πλέγματος: 5°γεωγ. μήκος / 35° γεωγ. πλάτος, ΒΑ σημείο πλέγματος: 35°γεωγ. μήκος / 55° γεωγ. πλάτος και ΝΑ σημείο πλέγματος: 35°γεωγ. μήκος / 55° γεωγ. πλάτος.
Περίοδος μελέτης	1953-2012
Συνοπτικές ώρες αναλύσεων	00:00Z, 06:00Z, 12:00Z και 18:00Z
Κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας	500 hPa και ΜΣΘ
Σημεία αναφοράς	13X13
Δεδομένα επανα-αναλύσεων	NCEP/NCAR
PC για το επίπεδο των 500 hPa	6
PC για το επίπεδο της ΜΣΘ	7
Ταξινόμηση	Εποχική
Παραγόμενοι Τύποι καιρού	13 για το φθινόπωρο 10 για τις υπόλοιπες εποχές

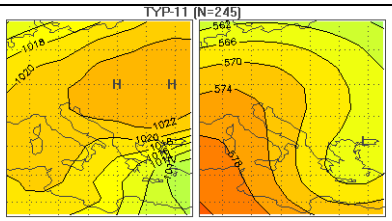
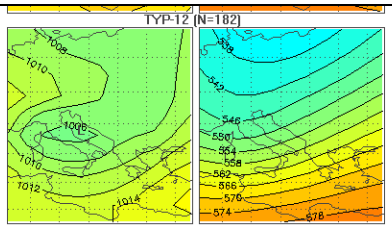
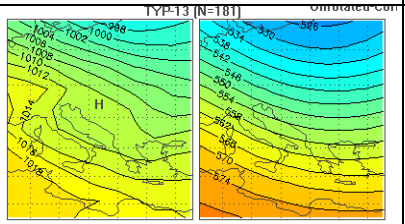
7.3 Εποχική ταξινόμηση τύπων καιρού

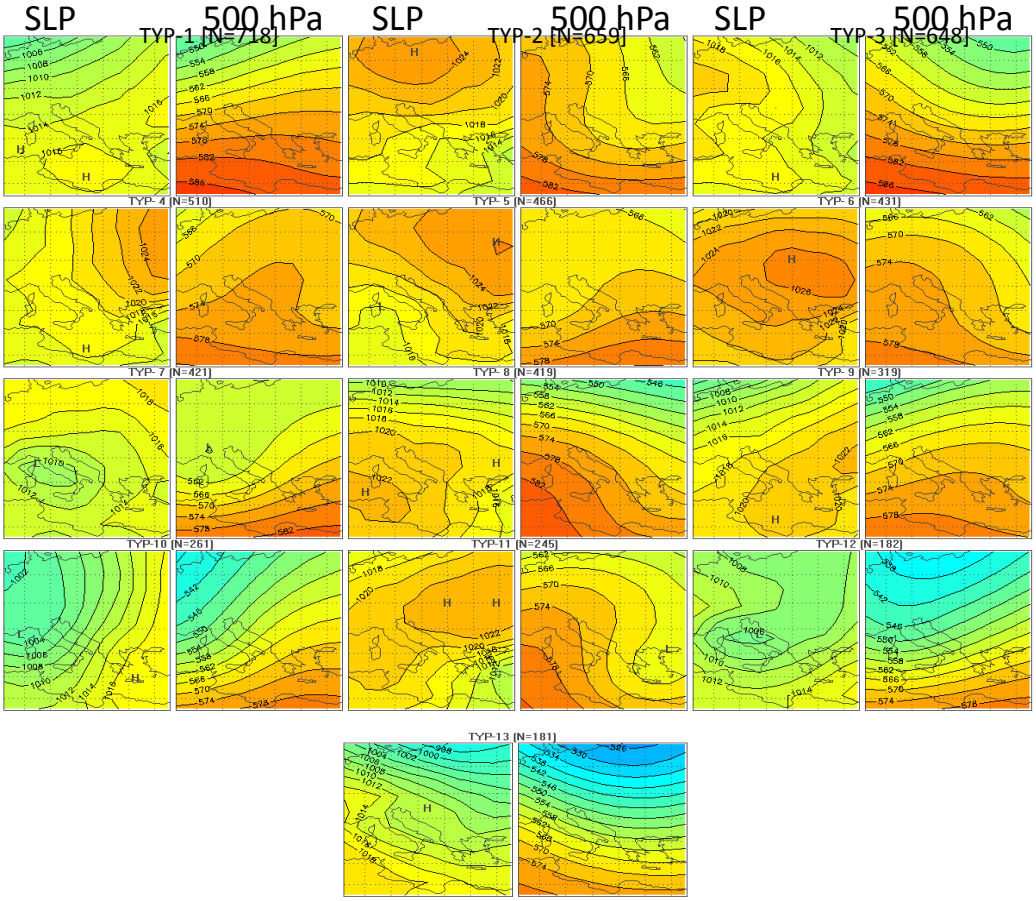
Με βάση τα χαρακτηριστικά που παρατέθηκαν παραπάνω μέσω της εποχικής ταξινόμησης προέκυψαν 13 τύποι καιρού για το φθινόπωρο και 10 τύποι καιρού για τις υπόλοιπες εποχές του έτους. Κάθε τύπος καιρού περιλαμβάνει συνοπτική αποτύπωση στο μέσο κατακόρυφο επίπεδο της ατμόσφαιρας (500 hPa) καθώς επίσης και στη ΜΣΘ. Οι τύποι καιρού αποτυπώνονται στις παρακάτω εικόνες και αφορούν τη φθινοπωρινή (Εικόνα 7.5), χειμερινή (Εικόνα 7.6), εαρινή (Εικόνα 7.7) και θερινή (Εικόνα 7.8) ταξινόμησή τους. Στον Πίνακας 7-2 παραθέτουμε μία σύντομη συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού για τη φθινοπωρινή περίοδο.

Πίνακας 7-2: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού κατά την περίοδο του φθινοπώρου.

Ονομασία	Συνοπτική Κατάσταση	Συνοπτική Περιγραφή
Τύπος-1		500 hPa: Ζωνική κυκλοφορία στη δυτική Ευρώπη με ασθενή έξαρση στα ανατολικά τμήματα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο πιέσεων με ασθενείς βόρειους ανέμους στην περιοχή του Αιγαίου.
Τύπος-2		500 hPa: Διαταραχή στην περιοχή των Βαλκανίων και Ιταλίας τροφοδοτεί την Ελλάδα με δυτικό ανώτερο ρεύμα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στην κεν. Ευρώπη με χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ προκαλούν ΒΑ ρεύμα στα ανατ. και βόρεια.
Τύπος-3		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκος στην ανατ. Ευρώπη μέχρι την περιοχή των Βαλκανίων καθιστά το ρεύμα στην Ελλάδα Δ. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στην κεν. Ευρώπη με τις χαμηλές στα ΝΑ

		καθιστούν βόρειο ρεύμα στο Αιγαίο.
Τύπος-4		500 hPa: Έξαρση δυτικά της χώρας επιτρέπει τη διέλευση μικρής διαταραχής στο ανατ. Αιγαίο. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στα ΒΑ (Μαύρης Θάλασσας) με τις χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ έχουν ως αποτέλεσμα ΒΑ ανέμους στα ανατολικά τμήματα.
Τύπος-5		500 hPa: Έξαρση πάνω από τη χώρα μας τροφοδοτεί με ΝΔ ρεύμα τα δυτικά τμήματα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων με (κέντρο αν. Ρουμανία) και χαμηλών στα ΝΑ προκαλούν Β-ΒΑ ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου.
Τύπος-6		500 hPa: Έξαρση στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου επιτρέπει τη διέλευση ασθενών διαταραχών στα ανατολικά τμήματα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων (με κέντρο τα βόρεια Βαλκάνια προκαλεί Β-ΒΑ ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου.
Τύπος-7		500 hPa: Κέντρο κυκλωνικής κυκλοφορίας στη Β. Ιταλία συνοδευόμενο από διαταραχή κατά μήκος της Κορσικής-Ιταλίας τροφοδοτεί τη χώρα μας με ΝΔ ανώτερο ρεύμα. ΜΣΘ: Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεν. Ιταλία τροφοδοτεί με ΝΔ ρεύμα τη χώρα.
Τύπος-8		500 hPa: Έξαρση στη δυτική Μεσόγειο τροφοδοτεί τη χώρα μας με ΒΔ ανώτερο ρεύμα με ασθενείς διαταραχές στα ΝΑ. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων καλύπτει την κεν. Μεσόγειο με βόρειο επιφανειακό ρεύμα στο Αιγαίο.
Τύπος-9		500 hPa: Έξαρση πάνω από τη χώρα με ΝΔ ανώτερο ρεύμα στα δυτικά τμήματα της. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο υψηλών πιέσεων καλύπτει την περιοχή μεταξύ Ιταλίας και Ελλάδος με ασθενές βόρειο ρεύμα στα ανατολικά.
Τύπος-10		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους στη δυτική Μεσόγειο και ασθενή έξαρση στα ΝΑ τροφοδοτεί τη χώρα μας με ΝΔ ρεύμα. ΜΣΘ: Κέντρο χαμηλών πιέσεων στη βόρεια Ιταλία τροφοδοτεί τη χώρα μας με Ν-ΝΔ ρεύμα.

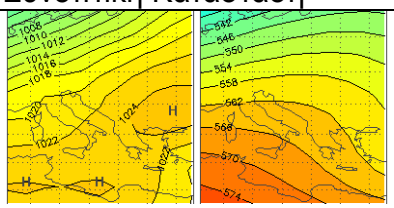
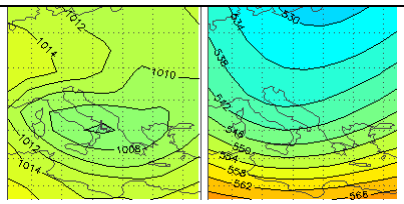
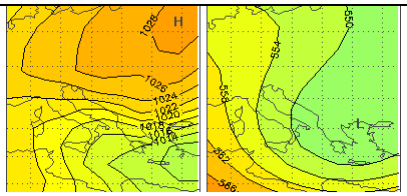
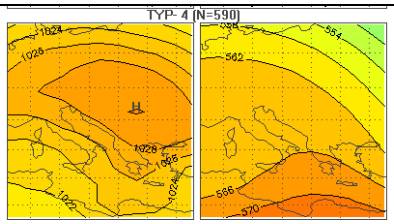
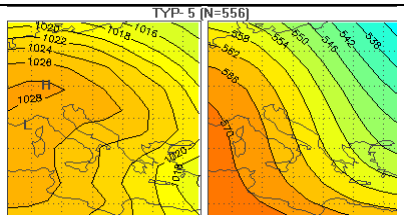
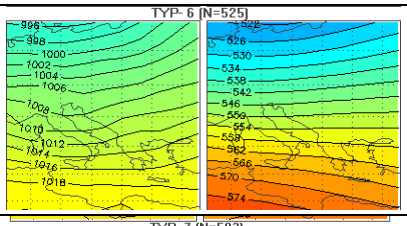
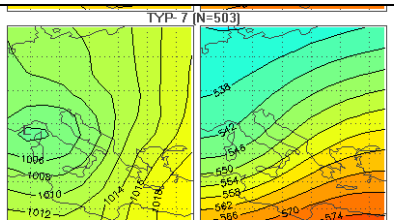
Τύπος-11		500 hPa: Έξαρση στην κεν. Μεσόγειο σε συνδυασμό με την κυκλωνική κυκλοφορία στα ΝΑ τροφοδοτεί τη χώρα με Β ρεύμα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών και χαμηλών πιέσεων (Βαλκάνια-ΝΑ Μεσόγειο) προκαλεί ισχυρό επιφανειακό ΒΑ ρεύμα το Αιγαίο.
Τύπος-12		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους στην κεν. Ευρώπη (με τα κράσπεδά της να επηρεάζουν την κεντρική Ιταλία) προκαλεί ισχυρό ΝΔ ανώτερο ρεύμα στα ανατολικά. ΜΣΘ: Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεν. Ιταλία τροφοδοτεί με ΝΔ ρεύμα τη χώρα.
Τύπος-13		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους στην ανατολική Ευρώπη (με τα κράσπεδα της να επηρεάζουν την χώρα μας) προκαλεί ισχυρό Δ ανώτερο ρεύμα στη νότια Ευρώπη. ΜΣΘ: Κέντρο χαμηλών πιέσεων στη βόρεια Ευρώπη προκαλεί δυτικό επιφανειακό ρεύμα στη ΝΑ Μεσόγειο

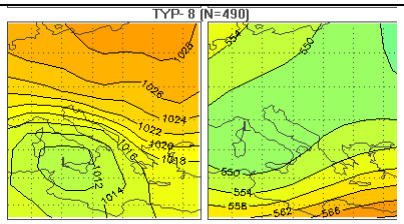
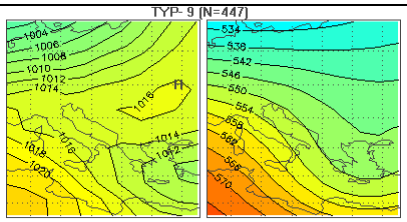
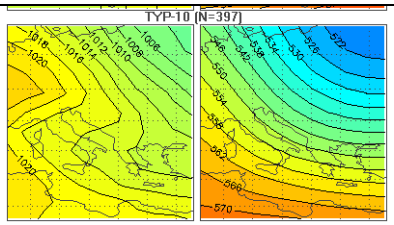


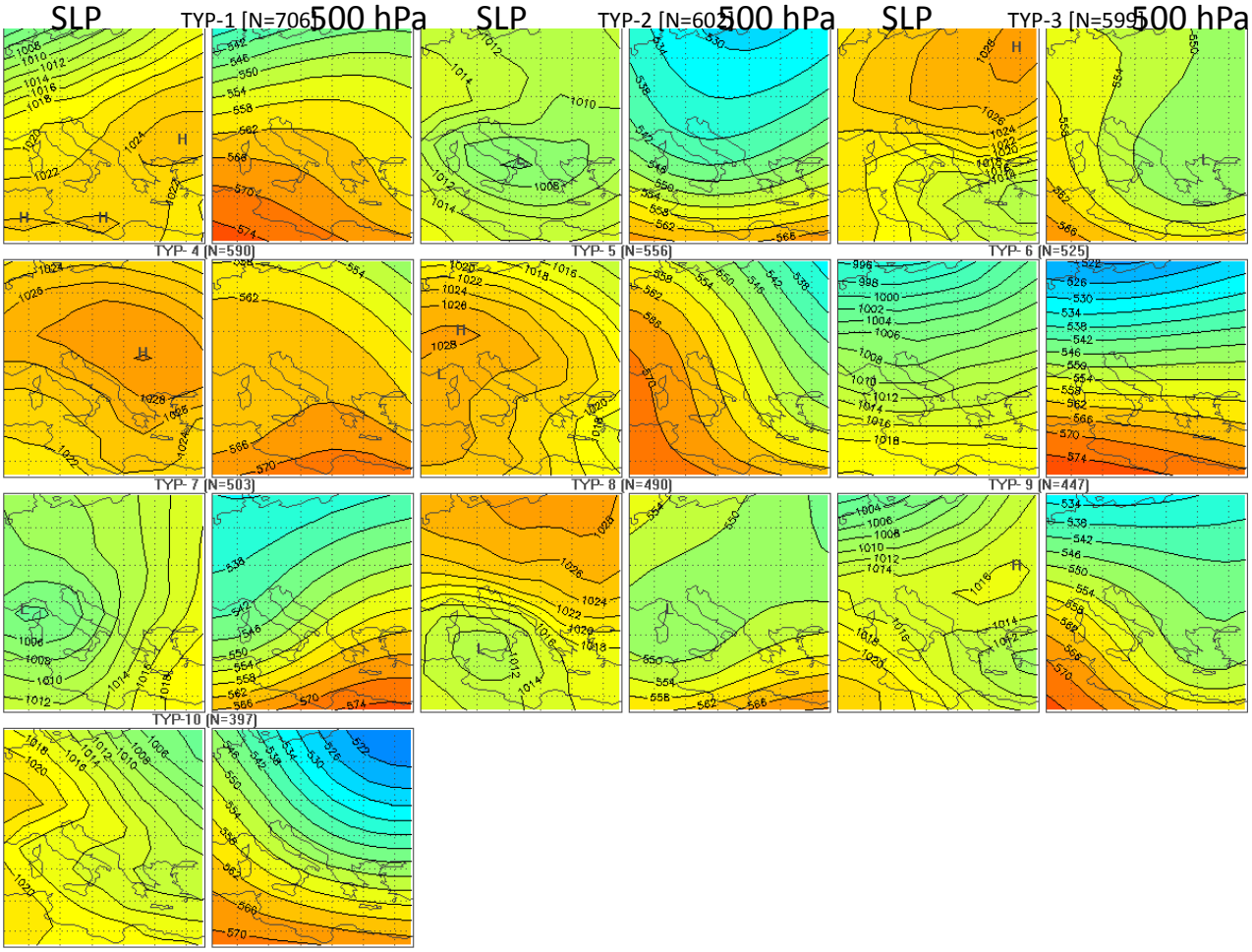
Εικόνα 7.5: Οι 13 τύποι καιρού κατά τη φθινοπωρινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012.

Στον Πίνακας 7-3 παραθέτουμε μία σύντομη συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού για τη χειμερινή περίοδο.

Πίνακας 7-3: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού κατά την περίοδο του χειμώνα.

Ονομασία	Συνοπτική Κατάσταση	Συνοπτική Περιγραφή
Τύπος-1		500 hPa: Έξαρση κατά μήκος του Ιονίου τροφοδοτεί με ΒΔ ρεύμα τα ανατολικά τμήματα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων προκαλεί ασθενείς βόρειους ανέμους στην περιοχή του Αιγαίου.
Τύπος-2		500 hPa: Διαταραχή κατά μήκος της ανατολικής Ευρώπης μέχρι την περιοχή της βόρειας Αδριατικής τροφοδοτεί τη χώρα μας με Δ-ΝΔ ρεύμα. ΜΣΘ: Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στον κόλπο του Τάραντα προκαλεί ΝΔ ρεύμα στη χώρα μας.
Τύπος-3		500 hPa: Λεκάνη χαμηλών υψών πάνω από τη χώρα μας με εκτεταμένη διαταραχή στα δυτικά τμήματα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στην ανατ. Ευρώπη με τις χαμηλές στα ΝΑ καθιστούν ισχυρό ΒΑ ρεύμα στα ανατολικά.
Τύπος-4		500 hPa: Έξαρση στην περιοχή του Ιονίου με ΝΔ ρεύμα στα ΝΑ τμήματα της χώρας. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στην περιοχή των Βαλκανίων με τις χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ έχουν ως αποτέλεσμα την επικράτηση ΒΑ ανέμων στα ανατολικά τμήματα.
Τύπος-5		500 hPa: Εκτεταμένη διαταραχή στην Α-ΝΑ Ευρώπη επηρεάζει με τα κράσπεδα της το ΝΑ Αιγαίο. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη με τις χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ προκαλούν Β-ΒΑ ρεύμα στα ανατολικά.
Τύπος-6		500 hPa: Ισχυρή ζωνική κυκλοφορία τόσο στην κεντρική, όσο και στη νότια Ευρώπη. ΜΣΘ: Ζωνική κυκλοφορία και στην επιφάνεια με την επικράτηση Δ επιφανειακών ανέμων σε όλη τη χώρα.
Τύπος-7		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο προκαλεί ΝΔ ρεύμα στα δυτικά τμήματα. ΜΣΘ: Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στον κόλπο της Γένοβας τροφοδοτεί με ισχυρό Ν-ΝΔ ρεύμα τη χώρα.

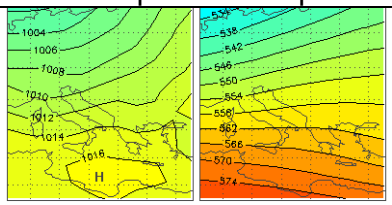
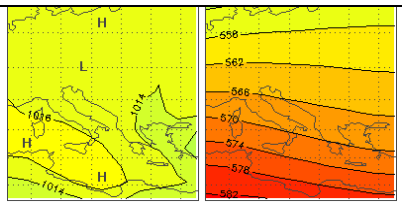
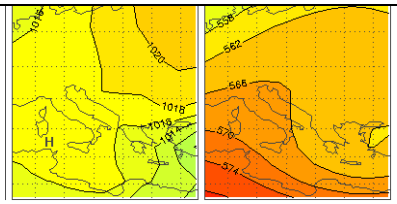
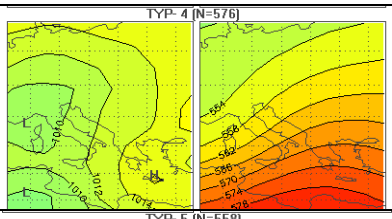
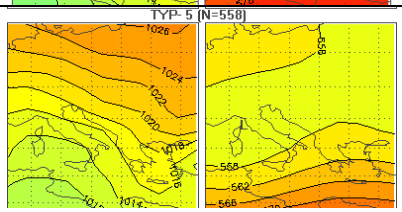
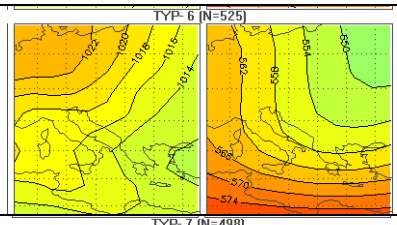
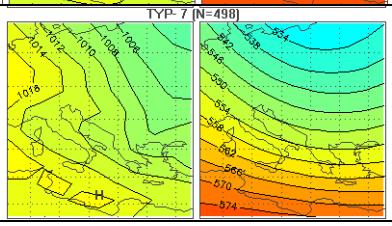
Τύπος-8		500 hPa: Λεκάνη χαμηλών υψών στην περιοχή της Κορσικής σε συνδυασμό με την έξαρση στα ανατολικά προκαλεί ΝΔ ρεύμα στα δυτικά. ΜΣΘ: Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στη Ν. Ιταλία προκαλεί Ν-ΝΑ επιφανειακό ρεύμα.
Τύπος-9		500 hPa: Διαταραχή μικρού μήκους κατά μήκος του Αιγαίου προκαλεί ΒΔ ρεύμα στη δυτική Ελλάδα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο υψηλών πιέσεων καλύπτει την περιοχή μεταξύ Ιταλίας και Ελλάδος με ασθενές βόρειο ρεύμα στα ανατολικά.
Τύπος-10		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους κατά μήκος της αν. Ευρώπης προκαλεί ΒΔ ρεύμα πάνω από τη χώρα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο πιέσεων με ΒΔ επιφανειακούς ανέμους στα βόρεια και Δ στη νότια Ελλάδα.

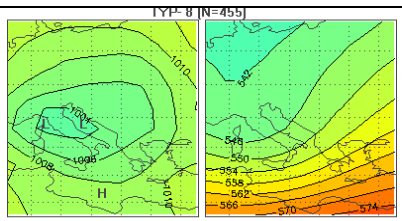
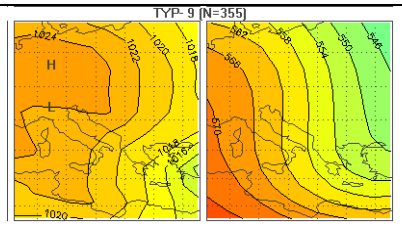
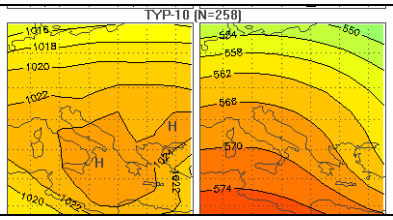


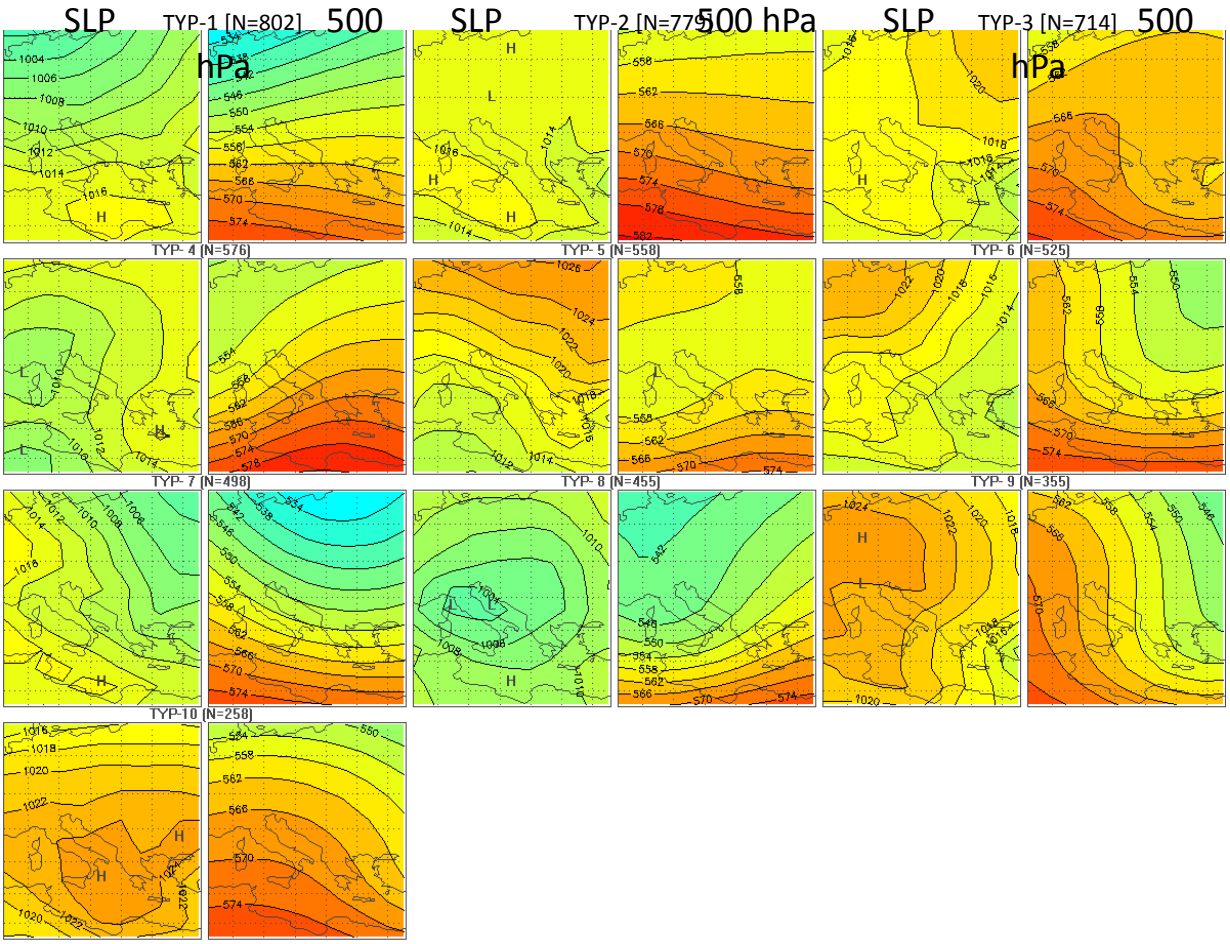
Εικόνα 7.6: Οι 10 τύποι καιρού κατά τη χειμερινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012.

Στον Πίνακας 7-4 παραθέτουμε μία σύντομη συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού για τη χειμερινή περίοδο.

Πίνακας 7-4: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού την περίοδο της άνοιξης.

Ονομασία	Συνοπτική Κατάσταση	Συνοπτική Περιγραφή
Τύπος-1		500 hPa: Ζωνική κυκλοφορία στην κεντρική Μεσόγειο με ασθενή έξαρση στο νότιο Αιγαίο τροφοδοτεί τη χώρα με Δ-ΒΔ ρεύμα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων στα ΝΔ προκαλεί ασθενείς δυτικούς ανέμους.
Τύπος-2		500 hPa: Έξαρση στην κεντρική Μεσόγειο εκτρέπει το ανώτερο ρεύμα πάνω από τη ΝΑ Μεσόγειο σε Δ-ΒΔ. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο υψηλών πιέσεων στην κεν. Μεσόγειο με ασθενές Β ρεύμα στο Αιγαίο.
Τύπος-3		500 hPa: Λεκάνη χαμηλών υψών καλύπτει τη ΝΑ Μεσόγειο με ασθενή διαταραχή στην περιοχή του Αιγαίου. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στη Μ. Θάλασσα με τις χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ.
Τύπος-4		500 hPa: Έξαρση στο Αν. Αιγαίο τροφοδοτεί τα δυτικά τμήματα με ΝΔ ρεύμα. ΜΣΘ: Αβαθή κυκλωνική κυκλοφορία στη ΒΔ Ιταλία προκαλεί Ν ρεύμα στα δυτικά.
Τύπος-5		500 hPa: Ασθενής έξαρση στα νότια της χώρας ΜΣΘ: Υψηλές πιέσεις στην ΒΑ Ευρώπη και αβαθής κυκλωνική κυκλοφορία στις βόρειες ακτές της Αφρικής με ΒΑ ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου.
Τύπος-6		500 hPa: Εκτεταμένη διαταραχή μεγάλου μήκους στην Αν. Ευρώπη μέχρι την κεν. Ιταλία τροφοδοτεί τη χώρα μας με Δ ρεύμα. ΜΣΘ: Ασθενής συνδυασμός υψηλών πιέσεων στη βόρεια Ευρώπη με τις χαμηλές στα ΝΑ.
Τύπος-7		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους κατά μήκος της ανατ. Ευρώπης. ΜΣΘ: Εκτεταμένες χαμηλές πιέσεις καλύπτουν την ΒΑ Ευρώπη και συνδυάζονται με τις υψηλές πιέσεις στην κεντρική Μεσόγειο.

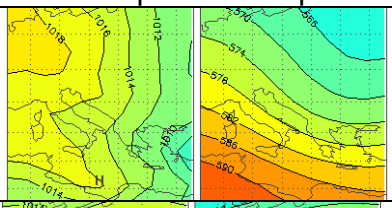
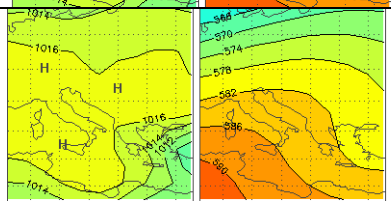
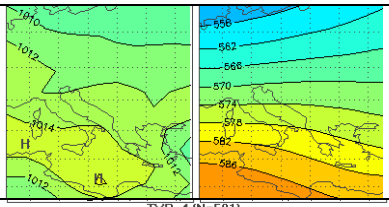
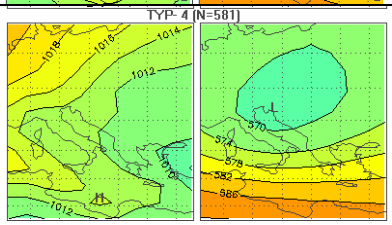
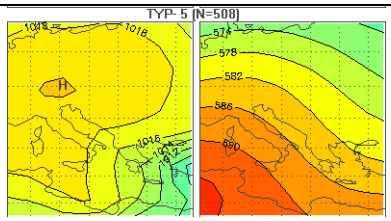
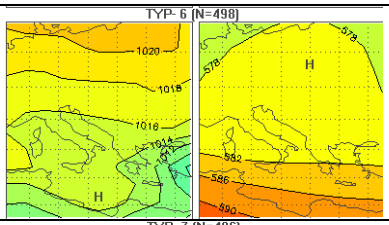
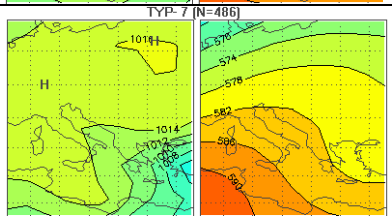
Τύπος-8		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους στην περιοχή της Ιταλίας τροφοδοτεί με ΝΔ ρεύμα τη χώρα μας. ΜΣΘ: κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στη βόρεια Ιταλία προκαλεί ΝΔ ρεύμα στη δυτική Ελλάδα.
Τύπος-9		500 hPa: Εκτεταμένη έξαρση στην κεντρική Μεσόγειο προκαλεί ΒΔ ρεύμα στα αν. τμήματα της χώρας με ασθενή διαταραχή στα νότια. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων με το κέντρο υψηλών στην κεν. Ευρώπη και τις χαμηλές στα ΝΑ, προκαλεί ΒΑ ρεύμα στα ανατολικά.
Τύπος-10		500 hPa: Έξαρση στην κεν. Μεσόγειο προκαλεί ΒΔ ανώτερο ρεύμα στην Ελλάδα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων με ΒΑ ρεύμα στο ανατολικό Αιγαίο.

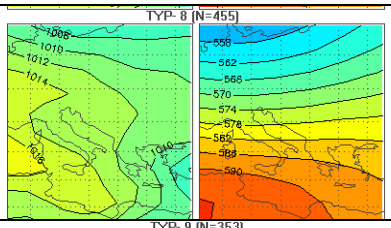
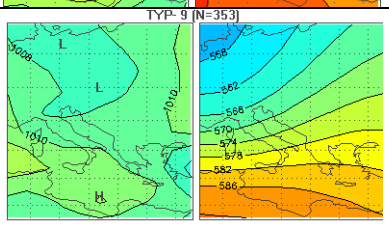
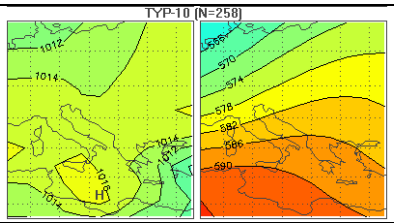


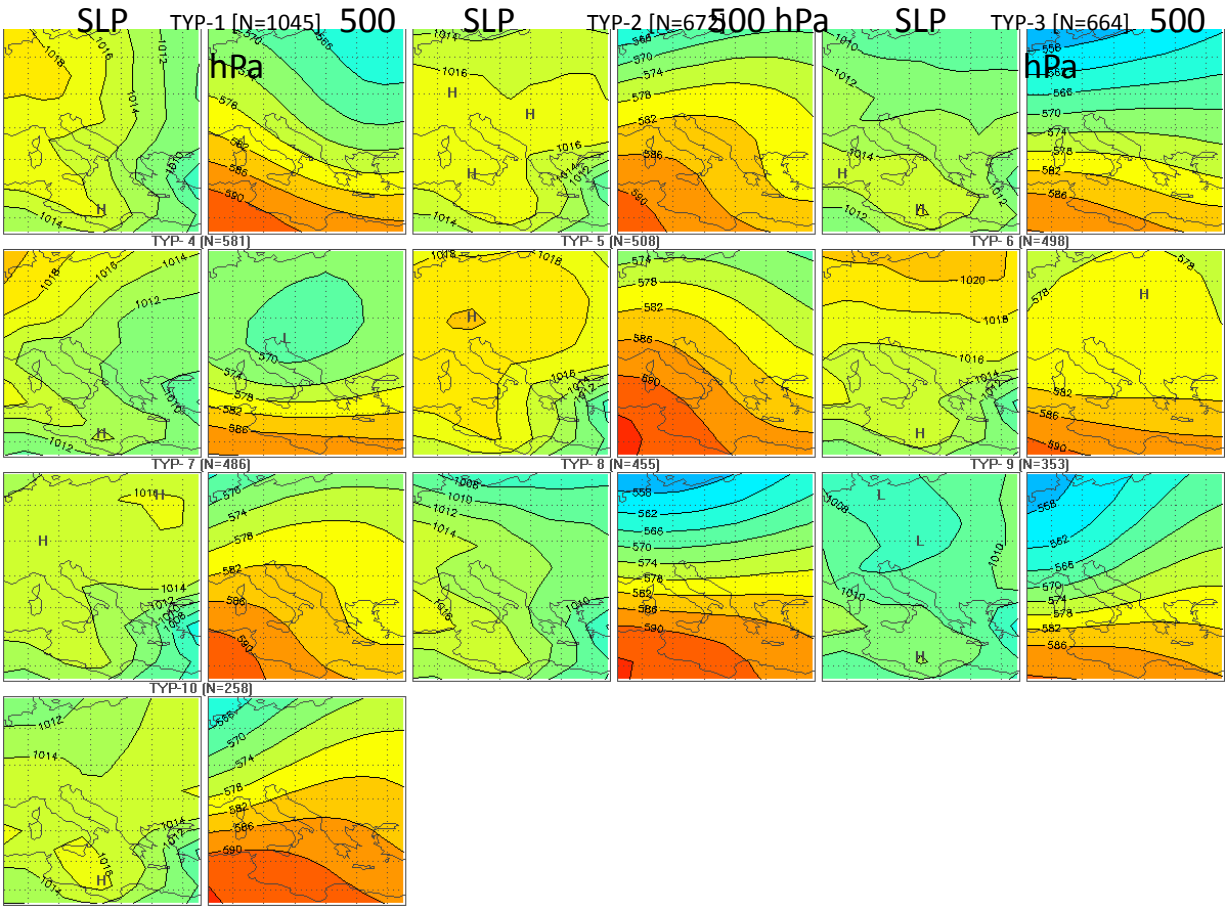
Εικόνα 7.7: Οι 10 τύποι καιρού κατά την εαρινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012.

Στον Πίνακας 7-5 παραθέτουμε μία σύντομη συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού για τη θερινή περίοδο.

Πίνακας 7-5: Συνοπτική περιγραφή ανά τύπο καιρού την περίοδο του καλοκαιριού.

Ονομασία	Συνοπτική Κατάσταση	Συνοπτική Περιγραφή
Τύπος-1		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκος κατά μήκος της ΝΑ Ευρώπης προκαλεί ΒΔ ρεύμα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές στα ΝΑ.
Τύπος-2		500 hPa: Έξαρση κατά μήκος Ν. Ιταλίας-Αδριατικής προκαλεί ΒΔ ρεύμα στο Αιγαίο. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο.
Τύπος-3		500 hPa: Ζωνική κυκλοφορία στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο πιέσεων με σχετικά υψηλές πιέσεις ΝΑ της χώρας.
Τύπος-4		500 hPa: Κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στη Β. Αδριατική προκαλεί ΝΔ ρεύμα στη δυτική Ελλάδα. ΜΣΘ: Βαθιά κυκλωνική κυκλοφορία στη Β. Ιταλία συνδυάζεται με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο.
Τύπος-5		500 hPa: Έξαρση κατά μήκος της κεν. Ευρώπης προκαλεί ΒΔ ρεύμα στα ανατολικά τμήματα συνοδευόμενο από μικρή διαταραχή. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο, προκαλεί ΒΑ ρεύμα στο Αιγαίο.
Τύπος-6		500 hPa: Ασθενή ζωνική κυκλοφορία στη νότια Ευρώπη. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων της Β. Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο.
Τύπος-7		500 hPa: Έξαρση κατά μήκος Ιταλίας προκαλεί ΒΔ στη δυτική Ελλάδα, συνοδευόμενο από μία μικρή διαταραχή στο Ν. Αιγαίο ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων της κεν. Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ, προκαλεί ΒΑ ισχυρό ρεύμα στο Αιγαίο.

Τύπος-8		500 hPa: Ασθενή έξαρση νότια της Ιταλίας προκαλεί δυτική ροή πάνω από την Ελλάδα. ΜΣΘ: Ασθενής συνδυασμός με βόρειο ρεύμα στο Αιγαίο με τις υψηλές πιέσεις στην κεν. Ευρώπη και τις χαμηλές στη ΝΑ Μεσόγειο.
Τύπος-9		500 hPa: Διαταραχή μεγάλου μήκους κατά μήκος της κεντρικής Ευρώπης προκαλεί δυτική ροή πάνω από την Ελλάδα. ΜΣΘ: Ομαλό πεδίο πιέσεων με ασθενές βόρειο ρεύμα στο Αιγαίο.
Τύπος-10		500 hPa: Έξαρση πάνω από την Ελλάδα. ΜΣΘ: Συνδυασμός υψηλών πιέσεων στη Ν. Ιταλία με τις χαμηλές στα ΝΑ προκαλούν ΒΑ ρεύμα στα ανατολικά τμήματα.



Εικόνα 7.8: Οι 10 τύποι καιρού κατά τη θερινή περίοδο βάσει των NCEP/NCAR επανα-αναλύσεων για τη χρονική περίοδο ανάλυσης 1953-2012.

7.4 Τύποι καιρού κατά την εμφάνιση σιφώνων και υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα

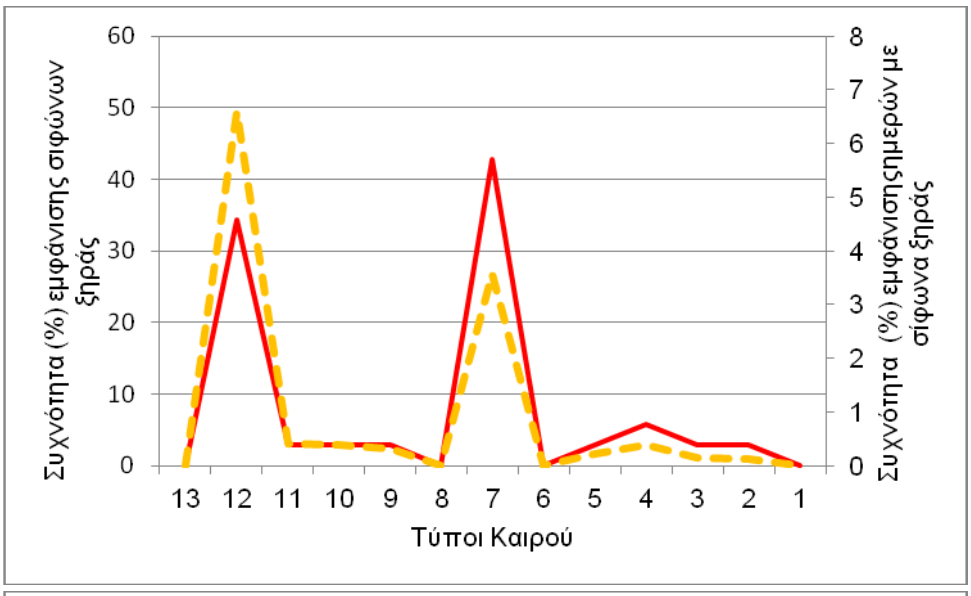
Η ταξινόμηση των τύπων καιρού για τον υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου έγινε με βάση την εποχική ανάλυση τόσο για τους υδροσίφωνες, όσο και για τους σίφωνες ξηράς. Η εκτίμηση εμφάνισης σίφωνα υπολογίστηκε τόσο στο ποσοστό εμφάνισης των φαινομένων ανά τύπο, όσο και στο ποσοστό εμφάνισης ημερών με σίφωνα ανά τύπο καιρού. Με τον τρόπο αυτό εντοπίστηκαν οι επικρατέστεροι τύποι καιρού με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σιφώνων αλλά και την συχνότητα εμφάνισης (%) ανά τύπο για την εμφάνιση σίφωνα ή υδροσίφωνα.

Κατά την φθινοπωρινή περίοδο ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση σιφώνων ήταν ο Τύπος-7 και ο Τύπος-12. Οι σίφωνες εκδηλώθηκαν κατά την επικράτηση συνοπτικών καταστάσεων σε ποσοστό 42,86 % (Τύπος-7) και 34,29 % (Τύπος-12) επί του συνολικού αριθμού ημερών σίφωνα στη δυτική Ελλάδα από το 1953-2012 τη φθινοπωρινή περίοδο του έτους. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τύπο-7, η συχνότητα εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς υπολογίστηκε σε 6,79 % (Τύπος-7) και 3,59 % (Τύπο-12).

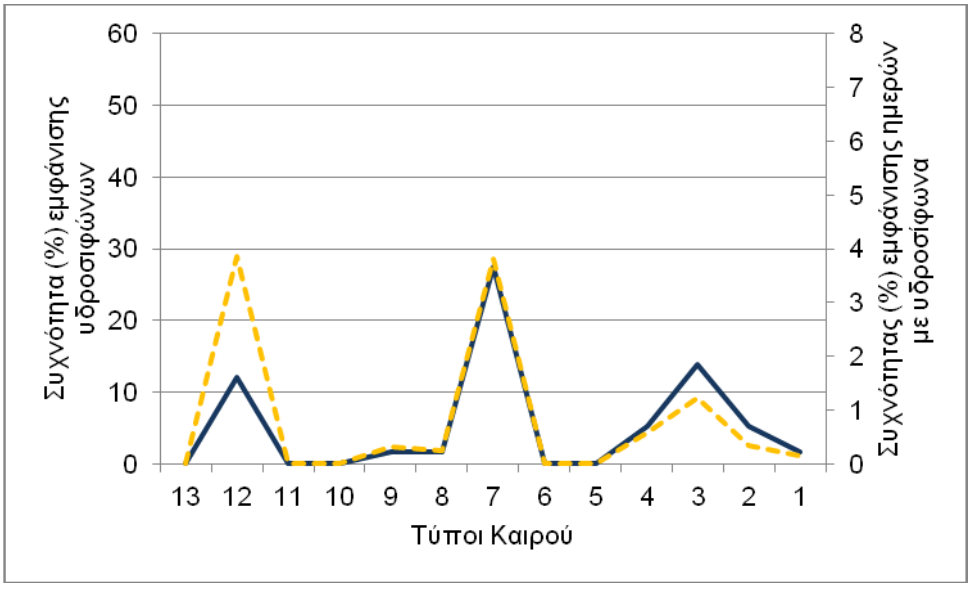
Η ανάλυση των υδροσιφώνων κατά τη φθινοπωρινή περίοδο αποτύπωσε τον Τύπο-7 ως τον επικρατέστερο τύπο καιρού ακολουθούμενο από τους Τύπους-3 και 12. Η συχνότητα εκδήλωσης ημερών με υδροσίφωνα με συνοπτική κατάσταση Τύπου-12 είναι 3,85 % ενώ για τον Τύπο-7 είναι 3,80 %. Στον Πίνακας 7-6 αποτυπώνονται η συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς/υδροσιφώνων ανά τύπο αλλά και αυτή των ημερών με σίφωνα ξηράς/υδροσίφωνα ανά τύπο, ενώ στην Εικόνα 7.9 αποτυπώνονται τα σχετικά διαγράμματα για τη φθινοπωρινή περίοδο.

Πίνακας 7-6: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Τύπος	Συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα
1	0,00	0,00	1,72	0,14
2	2,86	0,12	5,17	0,35
3	2,86	0,15	13,79	1,23
4	5,71	0,39	5,17	0,59
5	2,86	0,21	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	42,86	3,56	27,59	3,80
8	0,00	0,00	1,72	0,24
9	2,86	0,31	1,72	0,31
10	2,86	0,38	0,00	0,00
11	2,86	0,41	0,00	0,00
12	34,29	6,59	12,07	3,85
13	0,00	0,00	0,00	0,00



(α)



(β)

Εικόνα 7.9: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Κατά την χειμερινή περίοδο ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση σιφώνων ήταν ο Τύπος-2 και ο Τύπος-8. Οι σίφωνες εκδηλώθηκαν κατά την επικράτηση των παραπάνω τύπων καιρού αφορούσε συνοπτικές καταστάσεις σε ποσοστό 41,67 % (Τύπος-2) και 25 % (Τύπος-8) επί του συνολικού αριθμού ημερών σίφωνα στη δυτική Ελλάδα από το 1953-2012 τη χειμερινή περίοδο του έτους. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τύπο-2, η συχνότητα εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς υπολογίστηκε στο 0,83 % και στο 0,40 % για τον Τύπο-8.

Η ανάλυση των υδροσιφώνων κατά τη χειμερινή περίοδο αποτύπωσε ομοίως τον Τύπο-2 ως τον επικρατέστερο τύπο καιρού ακολουθούμενο από τους Τύπους-8, 5 και 10. Η συχνότητα εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα με συνοπτική κατάσταση Τύπο-2 είναι 0,12 % ενώ για τον Τύπο-8 είναι 1,02 %. Στον Πίνακας 7-7 αποτυπώνονται η συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς/υδροσιφώνων ανά τύπο, αλλά και αυτή των ημερών με σίφωνα ξηράς/υδροσίφωνα ανά τύπο, ενώ στην Εικόνα 7.10 αποτυπώνονται τα σχετικά διαγράμματα για τη χειμερινή περίοδο.

Πίνακας 7-7: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά τη χειμερινή περίοδο με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

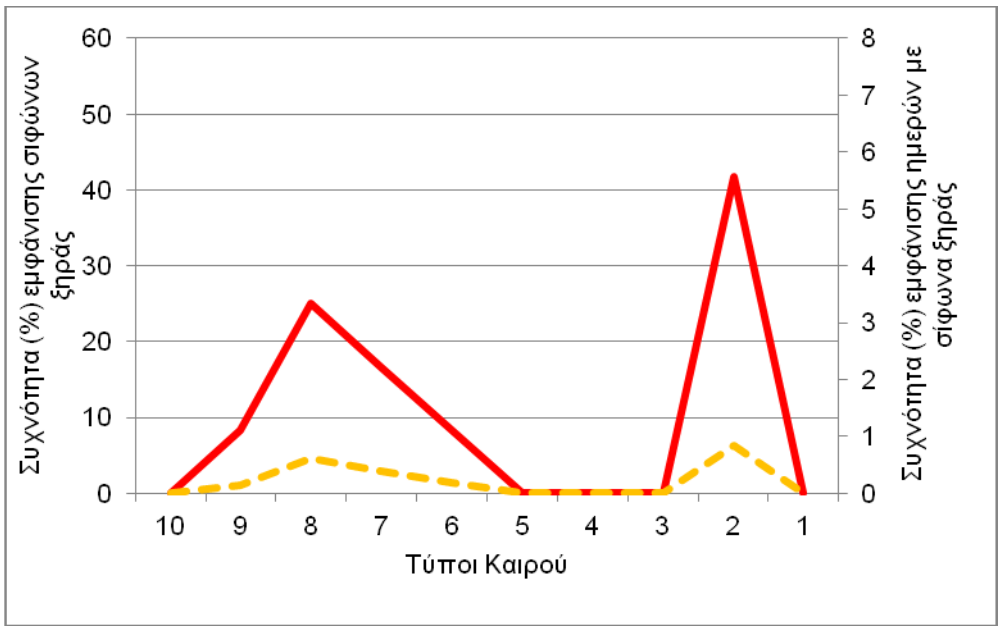
Τύπος	Συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	41,67	0,83	47,83	0,12
3	0,00	0,00	4,35	0,33
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	8,7	0,54
6	8,33	0,19	4,35	0,19
7	16,67	0,40	4,35	0,2
8	25,00	0,61	21,74	1,02
9	8,33	0,14	0,00	0,00
10	0,00	0,00	8,70	0,28

Κατά την περίοδο της άνοιξης ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση σιφώνων ήταν ο Τύπος-8 και ο Τύπος-4. Οι σίφωνες εκδηλώθηκαν κατά την επικράτηση των παραπάνω τύπων καιρού αφορούσε συνοπτικές καταστάσεις σε ποσοστό 42,86 % (Τύπος-8) και 28,57 % (Τύπος-4) επί του συνολικού αριθμού ημερών σίφωνα στη δυτική Ελλάδα από το 1953-2012 την περίοδο της άνοιξης. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τύπο-8, η συχνότητα εμφάνισης ημερών σίφωνα ξηράς υπολογίστηκε στο 2,20 % και στο 0,48 % για τον Τύπο-4.

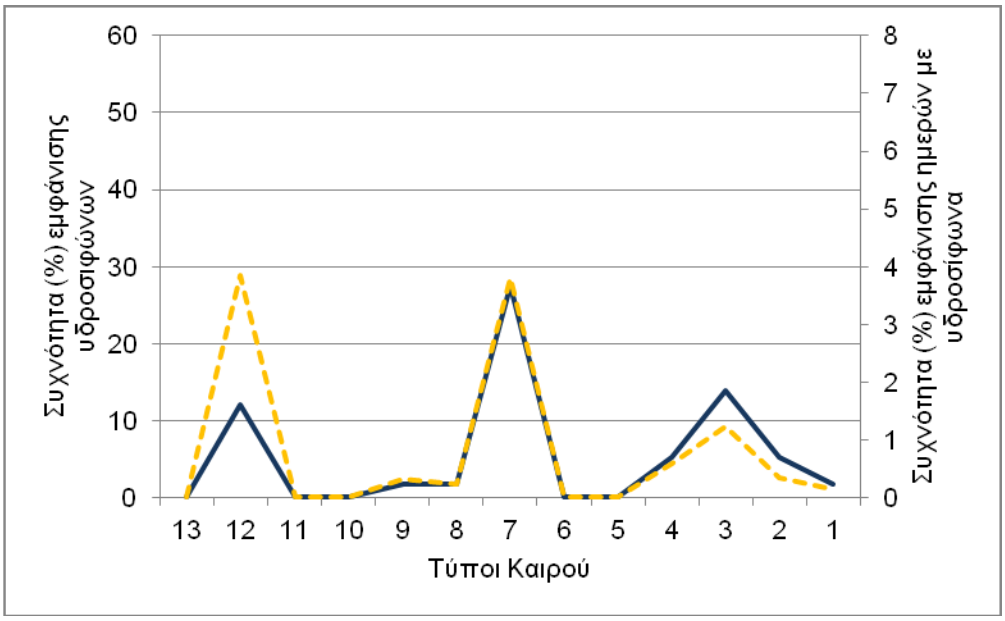
Η ανάλυση των υδροσιφώνων κατά την περίοδο της άνοιξης αποτύπωσε τον Τύπο-8 ως τον επικρατέστερο τύπο καιρού ακολουθούμενο από τον Τύπους 6. Η συχνότητα εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα με συνοπτική κατάσταση Τύπου 8 είναι 2,20 % ενώ για τον Τύπο-6 είναι 1,02 %.

Στον Πίνακας 7-8 αποτυπώνονται η συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς/υδροσιφώνων ανά τύπο αλλά και αυτή των ημερών με σίφωνα ξηράς/υδροσίφωνα ανά τύπο, ενώ στην Εικόνα 7.11 αποτυπώνονται τα σχετικά διαγράμματα για την εαρινή περίοδο.

Κατά την περίοδο του καλοκαιριού ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση σιφώνων ήταν ο Τύπος-9 και ο Τύπος-7. Οι σίφωνες εκδηλώθηκαν κατά την επικράτηση των παραπάνω τύπων καιρού αφορούσε συνοπτικές καταστάσεις σε ποσοστό 50 % (Τύπος-9) και 40 % (Τύπος-7) επί του συνολικού αριθμού ημερών σίφωνα στη δυτική Ελλάδα από το 1953-2012 την περίοδο του καλοκαιριού. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τύπο-9, η συχνότητα εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς υπολογίστηκε στο 1,42 % και στο 0,82 % για τον Τύπο-7.



(α)



(β)

Εικόνα 7.10: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη χειμερινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Η ανάλυση των υδροσιφώνων κατά την περίοδο του καλοκαιριού αποτύπωσε τον Τύπο-4 ως τον επικρατέστερο τύπο καιρού ακολουθούμενο από τον Τύπου-9. Η συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα, με συνοπτική κατάσταση Τύπου-8 είναι 1,89 % ενώ για τον Τύπο-6 είναι 1,13 %.

Στον Πίνακας 7-9 αποτυπώνονται η συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς/υδροσιφώνων ανά τύπο αλλά και αυτή των ημερών με σίφωνα ξηράς/υδροσίφωνα ανά τύπο, ενώ στην Εικόνα 7.12 αποτυπώνονται τα σχετικά διαγράμματα για την καλοκαιρινή περίοδο.

Πίνακας 7-8: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά την περίοδο της άνοιξης με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Τύπος	Συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα
1	0,00	0,00	9,09	0,25
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	9,09	0,28
4	28,57	0,48	4,54	0,17
5	14,29	0,18	0,00	0,00
6	0,00	0,00	27,27	1,22
7	14,29	0,20	0,00	0,00
8	42,86	0,66	45,45	2,20
9	0,00	0,00	9,09	0,56
10	0,00	0,00	0,00	0,00

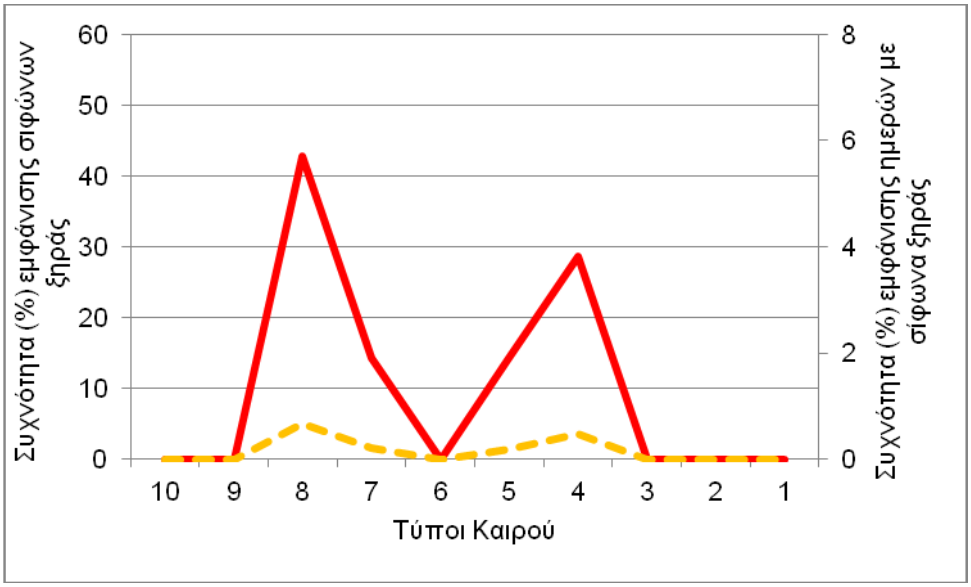
Πίνακας 7-9: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς και υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών με σίφωνα ή υδροσίφωνα κατά την περίοδο του καλοκαιριού με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Τύπος	Συχνότητα (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με σίφωνα ξηράς	Συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα
1	0,00	0,00	4,55	0,10
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	4,55	0,15
4	0,00	0,00	50,00	1,89
5	0,00	0,00	13,64	0,59
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	40,00	0,82	4,55	0,21
8	0,00	0,00	0,00	0,00
9	50,00	1,42	18,18	1,13
10	10,00	0,39	4,55	0,39

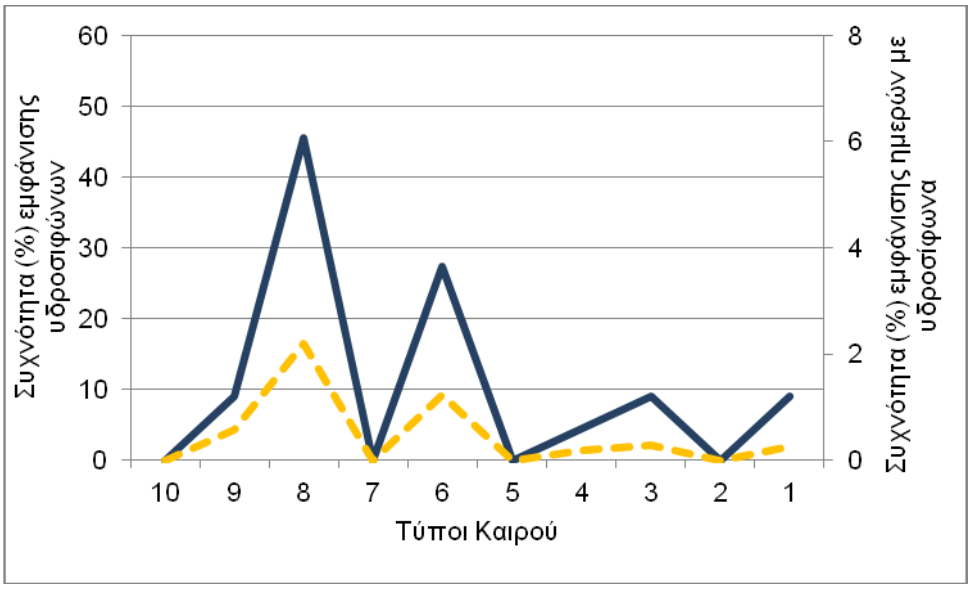
7.5 Τύποι καιρού κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο (θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου)

Η ταξινόμηση των τύπων καιρού για τον υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης των υδροσιφώνων έγινε με βάση την εποχική ανάλυση του φαινομένου. Δεδομένου του περιορισμένου αριθμού ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων κατά την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, η εποχική ανάλυση θα περιοριστεί στην περίοδο του φθινοπώρου και του χειμώνα. Η εκτίμηση εμφάνισης υδροσίφωνα υπολογίστηκε τόσο στο ποσοστό εμφάνισης του φαινομένου ανά τύπο, όσο και στο ποσοστό εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα (ανά τύπο καιρού). Με τον τρόπο αυτό εντοπίστηκαν οι επικρατέστεροι

τύποι καιρού με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης υδροσιφώνων αλλά και η συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού.



(α)

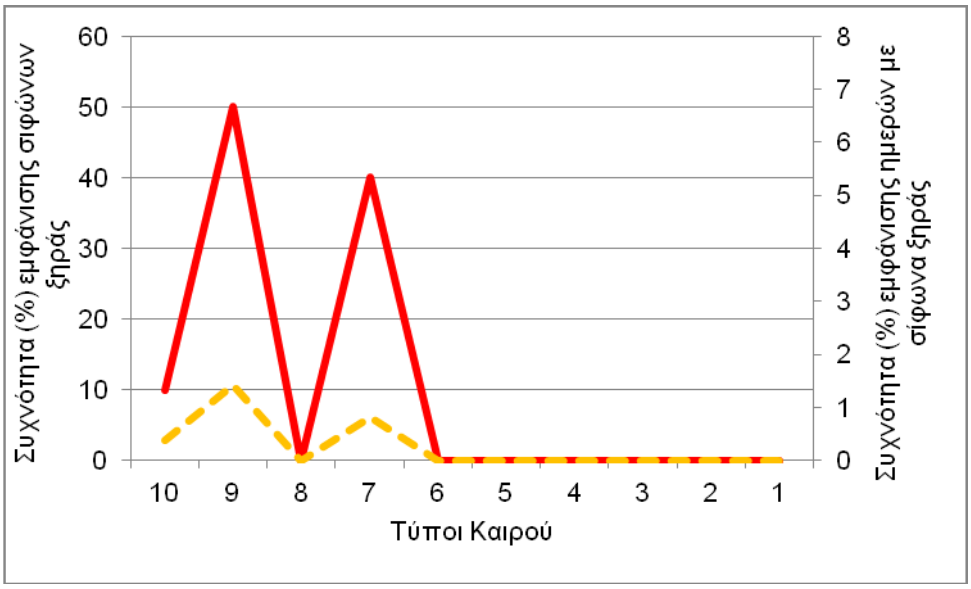


(β)

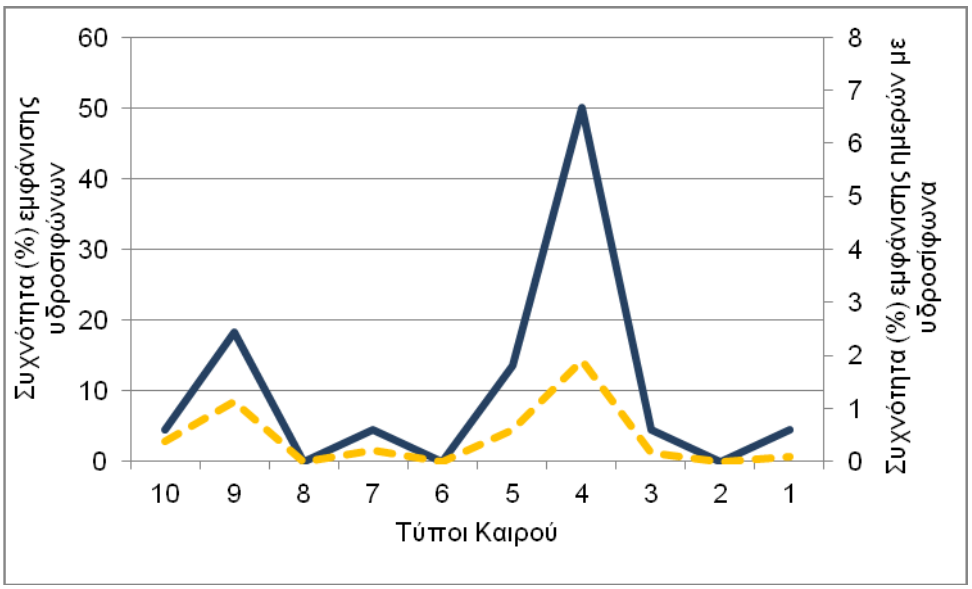
Εικόνα 7.11: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά την περίοδο της άνοιξης, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Κατά την φθινοπωρινή περίοδο ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση υδροσιφώνων ήταν ο Τύπος-11,ο Τύπος-6 και ο Τύπος-13. Το ποσοστό εκδήλωσης υδροσίφωνα Τύπου-11 αντιπροσωπεύει ποσοστό 38,89 % επί του συνόλου των υδροσιφώνων που εκδηλώνονται στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τύπο-11, Τύπο-6 και τον Τύπο-13, η συχνότητα εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα εκτιμάται στο ποσοστό των 2,86 %, 0,70 % και 1,66 %, αντίστοιχα. Στον Πίνακας 7-10 αποτυπώνονται η συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο

αλλά και των ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο, ενώ στην Εικόνα 7.13 αποτυπώνονται τα σχετικά διαγράμματα για τη φθινοπωρινή περίοδο.



(α)



(β)

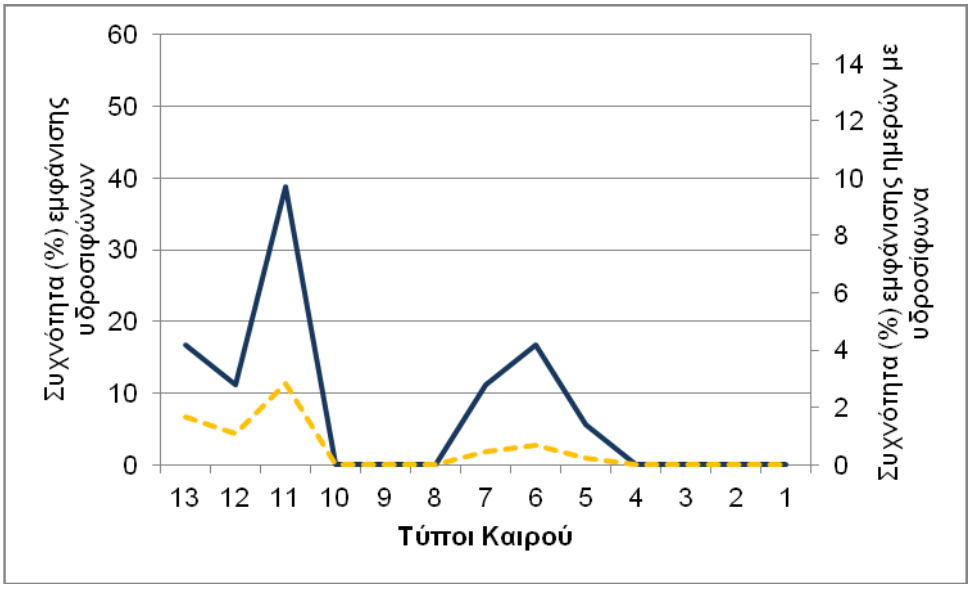
Εικόνα 7.12: Συχνότητες (%) εμφάνισης σιφώνων ξηράς (πάνω) και υδροσιφώνων (κάτω) ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με σίφωνα ξηράς / υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη θερινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στη δυτική Ελλάδα.

Κατά τη χειμερινή περίοδο ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση υδροσιφώνων ήταν ο Τύπος-9 και ο Τύπος-8. Το ποσοστό εκδήλωσης υδροσίφωνα Τύπου-9 αντιπροσωπεύει ποσοστό 37,50% επί του συνόλου των υδροσιφώνων που εκδηλώνονται στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου κατά τη χειμερινή περίοδο. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τύπο-9 και Τύπο-8, η συχνότητα εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα εκτιμάται στο ποσοστό των 1,34% και 0,89 % αντίστοιχα.

Στον Πίνακας 7-11 αποτυπώνονται η συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο αλλά και αυτή των ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο, ενώ στην Εικόνα 7.14 αποτυπώνονται τα σχετικά διαγράμματα για τη φθινοπωρινή περίοδο ανάλυσης.

Πίνακας 7-10: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών υδροσίφωνα κατά την περίοδο του φθινοπώρου με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο.

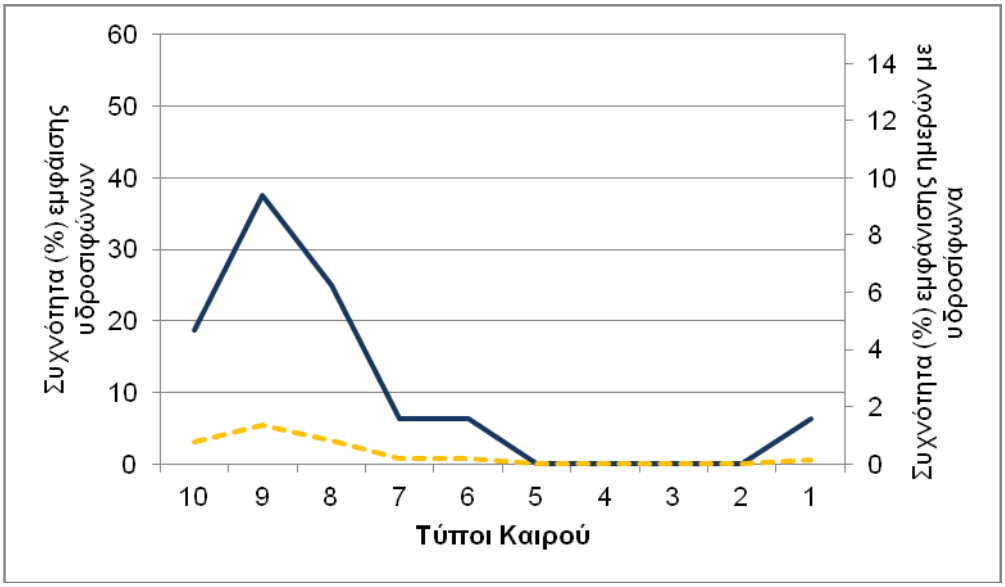
Τύπος	Συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,00	0,00
4	0,00	0,00
5	5,56	0,21
6	16,67	0,70
7	11,11	0,48
8	0,00	0,00
9	0,00	0,00
10	0,00	0,00
11	38,89	2,86
12	11,11	1,10
13	16,67	1,66



Εικόνα 7.13: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά την περίοδο του φθινοπωρου, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο.

Πίνακας 7-11: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού και των ημερών υδροσίφωνα κατά τη χειμερινή περίοδο με βάση τη χρονική περίοδο 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο.

Τύπος	Συχνότητα (%) εμφάνισης υδροσιφώνων	Συχνότητα (%) εμφάνισης ημερών με υδροσίφωνα
1	0,00	0,00
2	0,00	0,00
3	0,00	0,00
4	0,00	0,00
5	0,00	0,00
6	6,25	0,19
7	6,25	0,20
8	25,00	0,82
9	37,5	1,34
10	18,75	0,76



Εικόνα 7.14: Συχνότητες (%) εμφάνισης υδροσιφώνων ανά τύπο καιρού (συνεχής γραμμή) και των ημερών με υδροσίφωνα ανά τύπο καιρού (διακεκομμένη γραμμή) κατά τη χειμερινή περίοδο, με βάση τη χρονική ανάλυση 1953-2012 στο νότιο Αιγαίο.

8 Μελέτη ατμοσφαιρικών συνθηκών κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας τις ημέρες που δημιουργήθηκαν υδροσίφωνες στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου καθώς επίσης και η κυκλοφορία των θαλάσσιων ρευμάτων που καθορίζουν τη θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας. Η περιοχή αυτή (όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια) αποτελεί μία από τις πιο επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης υδροσιφώνων.

Η μελέτη των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας περιλαμβάνει την ανάλυση παραμέτρων που αφορούν τη θερμοκρασία, τον άνεμο σε βασικά επίπεδα της κατώτερης ατμόσφαιρας καθώς επίσης και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Δεδομένης της εγγύτητας της περιοχής μελέτης και του μετεωρολογικού σταθμού του Ηρακλείου με δεδομένα παρατηρήσεων ανώτερης ατμόσφαιρας, όλα τα παραπάνω ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά/μεταβλητές προήλθαν από τις ραδιοβολίσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Δεδομένου του πλήθους των φαινομένων υδροσιφώνων που παρατηρήθηκαν σε συνδυασμό με τη διάθεση πολλών ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών της κατώτερης ατμόσφαιρας σε χρόνο πολύ κοντά με το χρόνο παρατήρησης της ανώτερης ατμόσφαιρας, θεωρούμε τα δεδομένα σημαντικά και ικανά για την ολοκλήρωση μιας κλιματολογικής μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 5, έγιναν αναφορές σε μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια και αφορούν τη συσχέτιση της θερμοκρασίας θάλασσας κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων και μεθόδους πρόγνωσης βασισμένες σε νομογράμματα [121]. Θεωρούμε λοιπόν απαραίτητη την παρουσίαση της κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων τα οποία καθορίζουν τη θερμοκρασία επιφανείας θάλασσας αλλά και την εποχική της διακύμανση της μέσω δεδομένων τηλεπισκόπησης.

8.1 Δεδομένα και μεθοδολογία

Για την ολοκλήρωση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούν την εμφάνιση υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου (υποπεριοχή D3, στο 5^{ο} Κεφάλαιο). Η χρονική διακύμανση των υδροσιφώνων για την υποπεριοχή αυτή παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.5.2 του 5^{ου} Κεφαλαίου.

Η χρονική περίοδος μελέτης δεν αφορά όλα τα γεγονότα που παρατηρήθηκαν στην περιοχή, αλλά αφορά γεγονότα υδροσίφωνα που εκδηλώθηκαν σε χρόνο ± 6 ώρες από τις ημέρες και ώρες παρατήρησης του μετεωρολογικού σταθμού ανώτερης ατμόσφαιρας. Δηλαδή επιλέχθηκαν γεγονότα υδροσίφωνα που γνωρίζαμε τον ακριβή χρόνο δημιουργίας τους και εκδηλώθηκαν σε χρόνο ± 6 ώρες από τα διαθέσιμα δεδομένα της ραδιοβόλισης του Ηρακλείου (WMO : 16754, κωδικός μετεωρολογικού σταθμού). Γεγονότα υδροσίφωνα που εκδηλώθηκαν σε χρόνο μεγαλύτερο των 6 ωρών δεν συμπεριλήφθηκαν διότι θεωρούμε ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν μεταβληθεί σημαντικά (π.χ. κατά τη διέλευση διαταραχής μικρού μήκους) και η συμπερίληψή τους στην ανάλυση θα μας οδηγούσε σε λανθασμένα συμπεράσματα. Συνεπώς, το σύνολο των ημερών που εκδηλώθηκαν υδροσίφωνες και ικανοποιούν την παραπάνω συνθήκη ανέρχεται σε 46 ημερολογιακές ημέρες, με εκδήλωση 117 συνολικών υδροσιφώνων, από τις 19 Μαΐου 2004 έως 31 Δεκεμβρίου 2012.

Τα ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά που αναλύονται αφορούν τη θερμοκρασία στα βαρομετρικά επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa και 1000 hPa. Τα στοιχεία ανέμου αφορούν τη διεύθυνση και ένταση του

στα παραπάνω βαρομετρικά επίπεδα της ατμόσφαιρας. Η ανάλυση των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών έγινε για τους θερμοδυναμικούς δείκτες: CAPE, BRN, LI, SW, K, VT, CT, TT, CIN και SWEAT. Οι θερμοδυναμικοί δείκτες και οι εξισώσεις που τους διέπουν αποτυπώνονται στον Πίνακας 8-1. Επίσης, η ανάλυση αφορά και παραμέτρους υγρασίας όπως το περιεχόμενο υδρομετέωρο στη στήλη του αέρα (Precibitable Water, PW) και η μέση μεικτή αναλογία (Mean Mixed Ratio, MMR).

Επιπροσθέτως αναλύονται σημαντικά επίπεδα τα οποία αποδίδουν χαρακτηριστικά ανωμεταφοράς και συμπύκνωσης όπως το επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς (Level of Free Convection, LFC), επίπεδο ισορροπίας (Equilibrium Level) και το πάχος του στρώματος από το επίπεδο των 1000 hPa έως το επίπεδο της μέσης ατμόσφαιρας 500 hPa.

Πίνακας 8-1: Επιλογή των δεικτών αστάθειας που χρησιμοποιούνται γενικώς για συνθήκες αστάθειας. Στις εξισώσεις η παράμετρος Τα ισοδυναμεί με την θερμοκρασία και D η θερμοκρασία του σημείου δρόσου σε ºC, ενώ ο δείκτης σε κάθε παράμετρο παριστάνει το κύριο ατμοσφαιρικό επίπεδο (hPa) από το οποίο υπολογίστηκε. Ως LFC ορίζεται το επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς (Level of Free convection) και EL το επίπεδο ισορροπίας (Equilibrium Level). Για το δείκτη Bulk Richardson number, Ū ισοδυναμεί με τη μέση ταχύτητα του διανύσματος του ανέμου στο στρώμα 0–6 km, και U_0 ισοδυναμεί με την ταχύτητα του ανέμου από την επιφάνεια έως τα 500 m.

Θερμοδυναμικός δείκτης	Εξίσωση	Αναφορά
Convective Potential Available Energy (CAPE)	$CAPE = \int_{LFC}^{EL} (\alpha_{lp} - \alpha) dp$	[11], [147]
Bulk Richardson Number (BRN)	$BRN = \frac{CAPE}{\frac{1}{2}(\bar{U} - U_0)^2}$	[148]
Lifted index (LI)	$LI = T_{lp} - T_{500}$	[127]
Showalter index (SW)	$SW = T_{500} - T_{lp(850\ hPa)}$	[149]
K-index (K)	$K = (T_{850} - T_{500}) + D_{850} - (T_{700}\ D_{700})$	[150]
Vertical totals (VT)	$VT = T_{850} - T_{500}$	[122]
Cross totals (CT)	$CT = D_{850} - T_{500}$	[122]
Total totals (TT)	TT=VT+CT	[122]
Convective Inhibition (CIN)	$CIN = \int_{SFC}^{LFC} (a - \alpha_{lp}) dp$	[151]

Οι παραπάνω μεταβλητές (δείκτες κ.τ.λ.) αποτελούν αυτοματοποιημένα προϊόντα κατά την ανάκτηση των δεδομένων ραδιοβόλισης. Όλα τα δεδομένα ραδιοβόλισης προέρχονται από τη βάση δεδομένων ραδιοβολίσεων του Πανεπιστημίου του Γουαϊόμινγκ (Wyoming's University) και είναι εύκολα προσβάσιμα μέσω του ακόλουθου ιστότοπου http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html.

Όσον αφορά την εκτίμηση της θερμοκρασίας επιφανείας της θάλασσας (Sea Surface Temperature, STT) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης / Κλάδου Θαλάσσιας Μοντελοποίησης και Ανάλυσης (National Centers for Environmental Prediction/Marine Modeling and Analysis Branch, NCEP / MMAB). Η χωρική ανάλυση των δεδομένων STT αφορά δεδομένα υψηλής γεωγραφικής ανάλυσης, ίσης με 1/12 της μοίρας. Η ανάλυση των δεδομένων SST έγινε από το NCEP και τέθηκε σε πλήρη επιχειρησιακή λειτουργία και χρησιμοποιείται ως δεδομένα σε περιοχικά ή παγκόσμια μοντέλα μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης από τις 27

Σεπτεμβρίου 2005. Τα δεδομένα SST μπορείς κανείς να τα ανακτήσει μέσω του ιστότοπου http://polar.ncep.noaa.gov/sst/rtg_high_res/. Συνεπώς η ανάλυση της SST και των διαφορών STT με τα βαρομετρικά επίπεδα αφορούν γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από τις 27 Σεπτεμβρίου 2005 έως 31 Δεκ. 2012. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορά την εποχική διακύμανση των παραμέτρων, ενώ η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με ρουτίνες του στατιστικού πακέτου IBM SPSS Statistics 22 που προσφέρεται μέσω του Πανεπιστημίου Αθηνών.

8.2 Εποχική ανάλυση των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με την εμφάνιση υδροσίφωνα στο νότιο Αιγαίο

Η ανάλυση όλων των χαρακτηριστικών/παραμέτρων της ατμόσφαιρας που περιγράφησαν στην υποενότητα 8.1, γίνεται με βάση την εποχική διακύμανσή τους. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αποτυπώνονται σε μορφή πίνακα με τιμές που αφορούν τη μέση τιμή, την ελάχιστη τιμή, τη μέγιστη τιμή αλλά και την τυπική τους απόκλιση. Επιπροσθέτως, τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτυπώνονται επίσης σε μορφή θηκογραμμάτων διακύμανσης τιμών (box plots γραφήματα).

Στον Πίνακας 8-2 και στον Πίνακας 8-3 παραθέτονται οι μέσες, οι ελάχιστες, οι μέγιστες τιμές και οι τιμή της τυπικής απόκλισης των παραμέτρων της ατμόσφαιρας για τη φθινοπωρινή και την χειμερινή εποχή, αντίστοιχα. Στις Εικόνα 8.1-8.5 αποτυπώνονται τα διαγράμματα της εποχικής διακύμανσης των δεικτών/παραμέτρων/μεταβλητών που παραθέτονται στους Πίνακες 8-2 και 8-3.

Ο δείκτης SW αποτελεί ένα δείκτη εκτίμησης της ευστάθειας στο κατώτερο μισό στρώμα της τροπόσφαιρας. Το δείγμα της αέριας μάζας ανέρχεται από την 850 hPa (αρχική θέση, οι επιρροές από τα χαμηλότερα στρώματα έχει μειωθεί σημαντικά) ξηρό αδιαβατικά μέχρι το επίπεδο LCL. Στη συνέχεια ανέρχεται ψευδό-αδιαβατικά μέχρι το επίπεδο των 500 hPa. Η θερμοκρασία περιβάλλοντος στη συνέχεια αφαιρείται από τη θερμοκρασία που αποκτά το ανερχόμενο δείγμα.

Η μέση τιμή του δείκτη SW κατά τη φθινοπωρινή περίοδο είναι 4,04 ºC και παρουσιάζει υψηλότερη τιμή 5,9 ºC κατά τη χειμερινή περίοδο, αποτυπώνοντας συνθήκες ευστάθειας καθώς οι μέσες εποχιακές τιμές του δείκτη δεν μπορούν να χαρακτηριστούν σημαντικές και ούτε θα μπορούσαν να αποτυπώσουν συνθήκες αστάθειας στην ατμόσφαιρα.

Οι [153] υπολόγισαν τη μέση τιμή του δείκτη SW για όλες τις ημέρες με περισσότερους από δύο υδροσίφωνες για τις περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου στους 2,6 ºC, υποδηλώνοντας συνθήκες μερικής αστάθειας και είναι πιθανόν να αναπτυχθούν σωρειτόμορφα νέφη με εκδήλωση όμβρων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αριθμός εμφάνισης υδροσιφώνων βόρεια του Ηρακλείου αποτελεί μεγάλο ποσοστό των υδροσιφώνων στην Ελλάδα είναι προφανές ότι η τιμή του SW είναι σημαντικά χαμηλότερη από την τιμή του SW στην περιοχή του Αιγαίου ώστε η μέση του τιμή να υπολογιστεί στο 2,6 ºC, αποτυπώνοντας περισσότερο ασταθείς συνθήκες στο Ιόνιο σε σχέση με το Αιγαίο Πέλαγος.

Όπως ο δείκτης SW έτσι και ο δείκτης LI αποτυπώνει την ευστάθεια/αστάθεια της κατώτερης τροπόσφαιρας. Το δείγμα αέρα ανυψώνεται από την επιφάνεια με τη θερμοκρασία και τις αναλογίες μίξης αντιπροσωπευτικές των μέσων τιμών του κατώτερου στρώματος των 100 hPa της ατμόσφαιρας. Αυτό γίνεται προκειμένου να αποτυπώσουμε τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του χαμηλού επιπέδου του οριακού στρώματος μειώνοντας την επιρροή από τις ημερήσιες διακυμάνσεις. Αυτή η υποθετική αέρια μάζα ανυψώνεται ξηρά αδιαβατικά στο LCL και ψευδό-αδιαβατικώς στα

500 hPa. Η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας των 500 hPa και της θερμοκρασίας του ανερχόμενου δείγματος αποτυπώνει το δείκτη, ενσωματώνοντας την υγρασία και την θερμοβαθμίδα σε ένα νούμερο. Ωστόσο, οι τιμές του δείκτη εξαρτώνται από το επίπεδο ανύψωσης και δεν μπορεί να αποτυπώσει όλο το θερμοκρασιακό προφίλ της καμπύλης από το LCL έως τα 500 hPa. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτυπώνει τη μέση κατάσταση της θερμοκρασίας και υγρασίας στο κατώτερο οριακό στρώμα και η τιμή του είναι λίγο χαμηλότερη από την τιμή του δείκτη SW.

Πίνακας 8-2: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των ατμοσφαιρικών παραμέτρων θερμοκρασίας, έντασης και διεύθυνσης ανέμου στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, αλλά και θερμοδυναμικών δεικτών κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

Παράμετρος	Μέση τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπική Απόκλιση
SW (ºC)	4,04	9,67	1,93	1,84
LI (ºC)	-0,63	4,82	-2,72	2,35
SWEAT	133,2	158	-6,1	28,56
K (ºC)	20,95	29,9	-13	11,54
CT (ºC)	18,79	22,6	11,5	1,84
VT (ºC)	24,38	26,5	20,50	1,58
TT (ºC)	43,57	47,6	35,8	2,71
CAPE (J/Kg)	364,16	688,37	12,38	148,67
CINS (J/Kg)	-21,56	-37,59	-0,69	5,36
EL (hPa)	338,12	225,15	609,13	106,83
LFC (hPa)	832,24	788,66	933,6	29,17
LCL (hPa)	922,72	833,82	939,4	28,7
BRCH	42,12	81,74	0,17	15,67
T_{LCL} (ºC)	15,07	17,08	7,04	3,09
MMR (g/Kg)	12,01	13,28	7,45	1,9
PW (mm)	27,65	33,26	15,46	3,82
T_{500} (ºC)	-12,35	-8,9	-18,3	1,9
T_{700} (ºC)	2,67	9,4	-3,5	2,61
T_{850} (ºC)	12,03	13,4	6	2,34
T_{925} (ºC)	16,32	17,6	10,6	1,81
T_{1000} (ºC)	21,57	23,2	15,2	1,37
WD_{500} (º)	288,93	310	265	5,93
WD_{700} (º)	317	330	150	33,42
WD_{850} (º)	320,38	340	265	15
WD_{925} (º)	217,38	345	30	65,14
WD_{1000} (º)	311,35	360	65	71,27
WS_{500} (knots)	35,5	73	21	7,89
WS_{700} (knots)	16,93	28	3	3,64
WS_{850} (knots)	8,8	16	6	2,4
WS_{925} (knots)	10,05	14	7	1,55
WS_{1000} (knots)	8,08	15	4	0,75
T_{1000}-T_{925} (ºC)	5,25	7,2	4,6	0,75
T_{1000}-T_{850} (ºC)	9,54	13	8,6	1,47
T_{1000}-T_{700} (ºC)	18,9	21,9	13,8	1,69
T_{1000}-T_{500} (ºC)	33,91	36,9	32,1	1,15
$Thick_{1000-500}$(m)	5637,31	5693	5509	44,25

Πίνακας 8-3: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των ατμοσφαιρικών παραμέτρων θερμοκρασίας, έντασης και διεύθυνσης ανέμου στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, αλλά και θερμοδυναμικών δεικτών κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη χειμερινή περίοδο.

Παράμετρος	Μέση τιμή	Μέγιστη Τιμή	Ελάχιστη Τιμή	Τυπ. Απόκλιση
SW (ºC)	5,98	17,7	1,66	4,69
LI (ºC)	3,07	16,83	-1,45	4,88
SWEAT	85,93	126,2	41,61	38,16
K (ºC)	8,56	28,6	-16,3	17,9
CT (ºC)	20,92	26,9	12,1	5,01
VT (ºC)	24,78	28,5	15,6	3,41
TT (ºC)	45,7	55	27,7	8,2
CAPE (J/Kg)	71,15	233,71	3,62	85,67
CINS (J/Kg)	-17,11	-28,64	-2,47	10,12
EL (hPa)	617,38	357,18	856,23	146,75
LFC (hPa)	851,39	787,34	925,6	47,81
LCL (hPa)	891,87	838,61	948,18	41,2
BRCH	17,92	48,13	0,22	23,47
TLCL (ºC)	4,99	9,85	-7,42	4,13
MMR (g/Kg)	6,35	8,17	2,58	1,33
PW (mm)	15,55	21,8	7,15	3,48
T_{500} (ºC)	-21,62	-14,5	-25,9	2,8
T_{700} (ºC)	-5,31	2,6	-18,1	3,99
T_{850} (ºC)	3,61	13	-7,5	3,71
T_{925} (ºC)	8,91	15	-1,5	3,23
T_{1000} (ºC)	14,56	21,4	4,6	3,99
WD_{500} (º)	211,13	320	70	93,12
WD_{700} (º)	186	315	40	111,47
WD_{850} (º)	194	295	20	105,52
WD_{925} (º)	215	345	50	130,05
WD_{1000} (º)	209,13	320	34	139,47
WS_{500} (knots)	22,25	48	9	12,94
WS_{700} (knots)	17,38	29	6	8,91
WS_{850} (knots)	10,25	16	5	4,77
WS_{925} (knots)	9,5	12	8	2,88
WS_{1000} (knots)	9,5	17	2	6,12
T_{1000}-T_{925} (ºC)	5,65	7,6	3,8	1,06
T_{1000}-T_{850} (ºC)	10,96	12,8	8,4	1,16
T_{1000}-T_{700} (ºC)	19,87	22,7	15,7	1,48
T_{1000}-T_{500} (ºC)	36,18	38,9	27,7	2,64
$Thick_{1000-500}$ (m)	5446,23	5522	5245	70,51

Η μέση τιμή του δείκτη LI κατά τη φθινοπωρινή περίοδο είναι -0,63 ºC και παρουσιάζει υψηλότερη τιμή 3,07 ºC κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ελάχιστη τιμή της φθινοπωρινής περιόδου υπολογίστηκε στους -2,72 ºC ενώ η μέγιστη στους 4,82 ºC, ενώ για τη χειμερινή περίοδο οι τιμές είναι -1,45 και 16,83, αντίστοιχα. Η μέση τιμή του LI στις περιοχές του Ιονίου και Αιγαίου κατά τις ημέρες εμφάνισης πολλαπλών γεγονότων υδροσιφώνων είναι 0,3 ºC [152].

Ο δείκτης TT, ο οποίος αποτελείται από το άθροισμα των δεικτών VT και CT. Ως VT υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας των κατακόρυφων επιπέδων 850 και 500 hPa, ενώ ο δείκτης CT υπολογίζει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ σημείου δρόσου των 850 hPa και της στάθμης των 500 hPa. Όπως οι προηγούμενοι δείκτες έτσι και ο

TT δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη του την ύπαρξη διατμητικού ανέμου και ιδιαίτερα ο TT δεν λαμβάνει υπόψη του το ποσό της υγρασίας κάτω από το επίπεδο των 850 hPa. Ο δείκτης TT παρουσιάζει μέση τιμή ίση με 45,7 ºC τη χειμερινή περίοδο και 43,57 ºC τη φθινοπωρινή περίοδο.

Η μέση τιμή στον Ελλαδικό χώρο κατά την εκδήλωση πολλαπλών γεγονότων υδροσιφώνων είναι ίση με 48,4 ºC [152] τιμή υψηλότερη σε σχέση με την περιοχή βόρεια του Ηρακλείου. Αυτή η διαφορά θεωρείται αναμενόμενη καθώς η περιοχή του Ιονίου στα χαμηλότερα στρώματα της μέσης κατώτερης ατμόσφαιρας περιέχει μεγαλύτερα ποσά υγρασίας λόγω της επικράτησης ΝΔ θερμών και υγρών επιφανειακών και ανώτερων ρευμάτων.

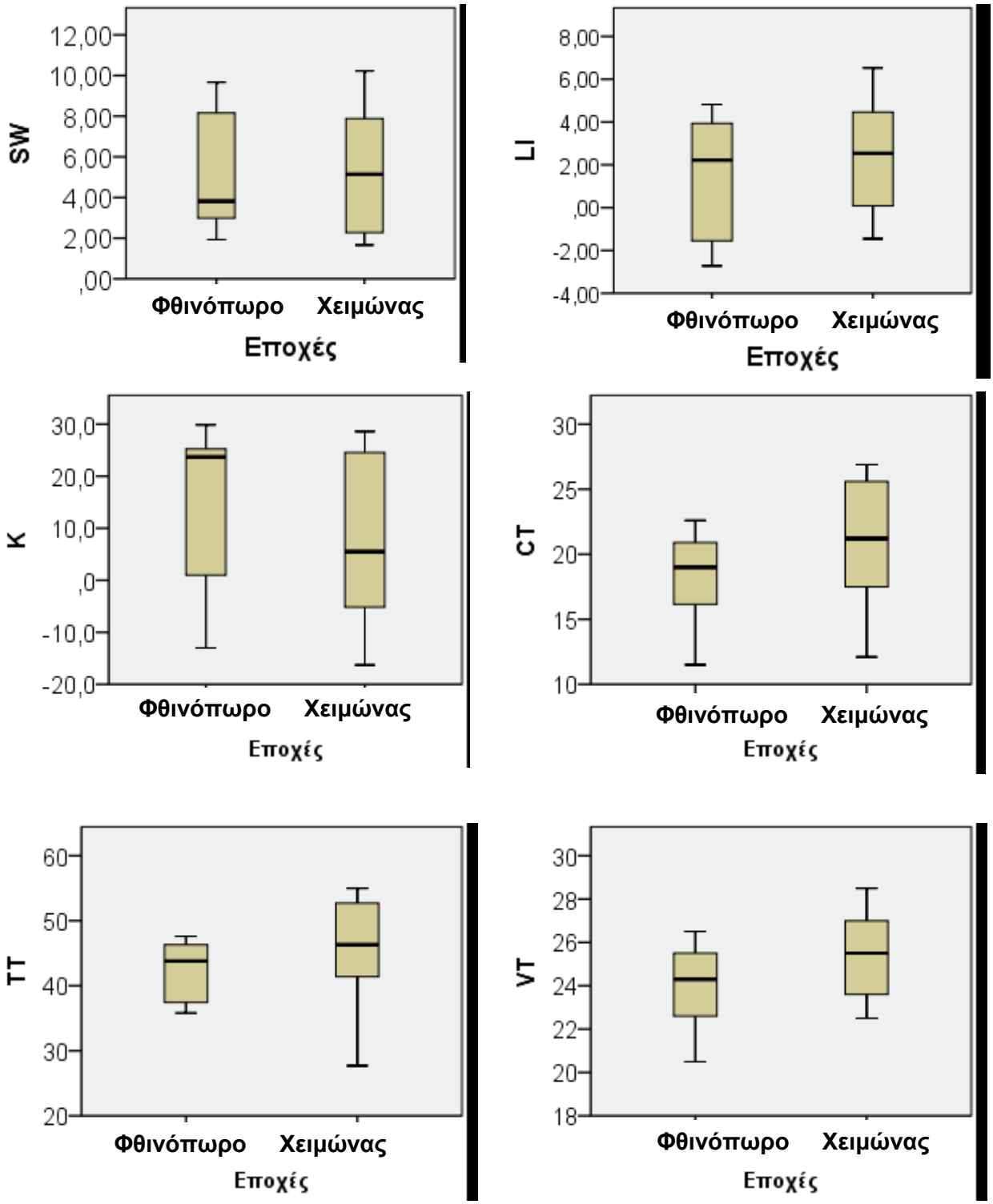
Η εποχική διακύμανση του δείκτη K είναι σε συμφωνία με την εποχική διακύμανση των υπολοίπων δεικτών. Ο δείκτης K εμπεριέχει το δείκτη TT καθώς επίσης και την περιεχόμενη υγρασία στο στρώμα των 700 hPa. Παρουσιάζει μέση τιμή ίση με 20,95 ºC τη φθινοπωρινή περίοδο και 8,56 ºC τη χειμερινή περίοδο. Οι [152] υπολόγισαν τη μέση ετήσια τιμή του δείκτη K για την περιοχή του Ιονίου και του Αιγαίου πελάγους σε 27,8 ºC. Ωστόσο όλες οι παραπάνω τιμές δεν αποτυπώνουν ένα ιδιαίτερο ασταθές περιβάλλον το οποίο θα προκαλούσε έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη καταιγιδοφόρων νεφών.

Ο δείκτης SWEAT αποτυπώνει τη δυναμική της ατμόσφαιρας για την εκδήλωση ισχυρών καταιγίδων συνδυάζοντας θερμικές και κινηματικές πληροφορίες της ατμόσφαιρας. Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη αφορούν την υγρασία στην κατώτερη ατμόσφαιρα, το δείκτη TT, την ταχύτητα ανέμου στα επίπεδα των 850 και 500 hPa και τη θερμή μεταφορά μεταξύ των 850 και 500 hPa. Ο τελευταίος όρος της εξίσωσης ορίζεται ως 0 εάν ένας από τους παρακάτω όρους δεν ισχύει: 1) η διεύθυνση του ανέμου στα 850 κυμαίνεται από 130° έως 250°, 2) η διεύθυνση του ανέμου στα 500 κυμαίνεται από 210°-310°, 3) η διαφορά της διεύθυνσης των 850 και 500 hPa είναι θετικός αριθμός και 4) οι ταχύτητες και στα 2 επίπεδα των 850 και 500 hPa είναι τουλάχιστον 15 κόμβοι.

Ισχυρές καταιγίδες εκδηλώνονται με τιμές μεγαλύτερες των 300 ενώ οι σίφωνες στις Η.Π.Α. εκδηλώνονται με τιμές υψηλότερες των 400. Οι τιμές του δείκτη μπορούν να αυξάνονται σημαντικά μέσα στη διάρκεια της ημέρας ενώ οι χαμηλές τιμές που εμφανίζονται στις ραδιοβολίσεις των 12:00 UTC δεν είναι τόσο αντιπροσωπευτικές καθώς σημαντικές μεταβολές στην υγρασία, στην ευστάθεια και στον διατμητικό άνεμο λαμβάνουν χώρα ιδιαίτερα τις μετά-μεσημβρινές ώρες.

Η μέση τιμή του φθινόπωρο είναι 133 με μέγιστη τιμή 158 ενώ το χειμώνα μειώνεται σημαντικά στους 85,93 με μέγιστη τιμή τους 125,26. Οι τιμές ιδιαίτερα τη φθινοπωρινή περίοδο αποτυπώνουν οριακές συνθήκες αστάθειας, εάν λάβουμε υπόψη ότι στους 300 εκδηλώνονται ισχυρές καταιγίδες, ενώ οι υδροσίφωνες εκδηλώνονται με την εκδήλωση σωρειτόμορφων νεφών μέχρι τα 12.000 πόδια περίπου (τύπου cumulus ή Tower cumulus). Εξετάζοντας τις περιοχές του Ιονίου και του Αιγαίου Πελάγους η μέση τιμή του δείκτη είναι 138 [152].

Οι [152] εκτίμησαν το δείκτη CAPE για τις περιπτώσεις υδροσίφωνα στην περιοχή του Ιονίου και του Αιγαίου σε 264,2 J/kg ενώ η τυπική απόκλιση ήταν ίση με 329,9 J/kg. Η εποχική διακύμανση του δείκτη για τις περιπτώσεις υδροσίφωνα αποτυπώνει την εποχή του φθινοπώρου μέση τιμή ίση με 364,16 J/kg και τη χειμερινή περίοδο ίση με 72,75 J/kg αποτυπώνοντας οριακές ασταθείς συνθήκες ιδιαίτερα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

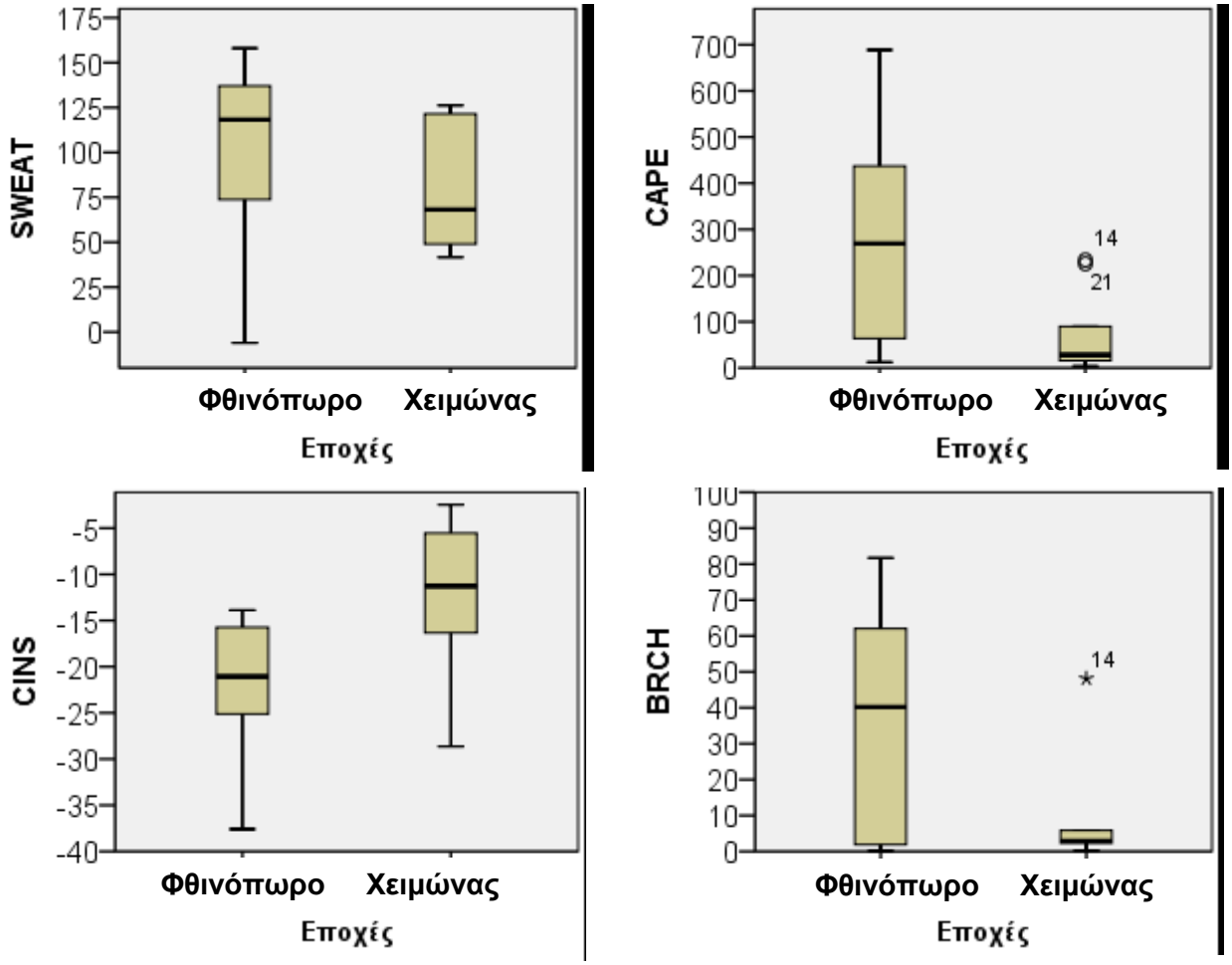


Εικόνα 8.1: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης θερμοδυναμικών δεικτών ασταθείας (SW, LI, K, VT, CT και TT) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.

Ο δείκτης CIN αποτυπώνει την αρνητική τιμή άνω-μεταφοράς που θα πρέπει να ξεπεράσει μία αέρια μάζα για να φθάσει στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς όπου θα μετατρέψει τη θερμική ενέργεια σε κινητική και στη δημιουργία έντονης αστάθειας/καταιγίδας. Τόσο τη χειμερινή, όσο και τη φθινοπωρινή περίοδο η μέση τιμή του αποτυπώνει χαμηλά ποσά ενέργειας (-17,11 και -21,56, αντίστοιχα) τα οποία θα πρέπει να υπερνικήσει η αέρια μάζα για την περαιτέρω άνω-μεταφορά της στο

επιπέδου +CAPE. Κάτι το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία όπως θα δούμε παρακάτω εξετάζοντας το κατακόρυφο προφίλ των ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα (925-1000 hPa). Ο δείκτης BRN περιλαμβάνει τον δείκτη CAPE και υποδιαιρείται με παραμέτρους του διατμητικού ανέμου (μέση ταχύτητα) τόσο για το οριακό στρώμα όσο και για τα πρώτα 6 km της ατμόσφαιρας.

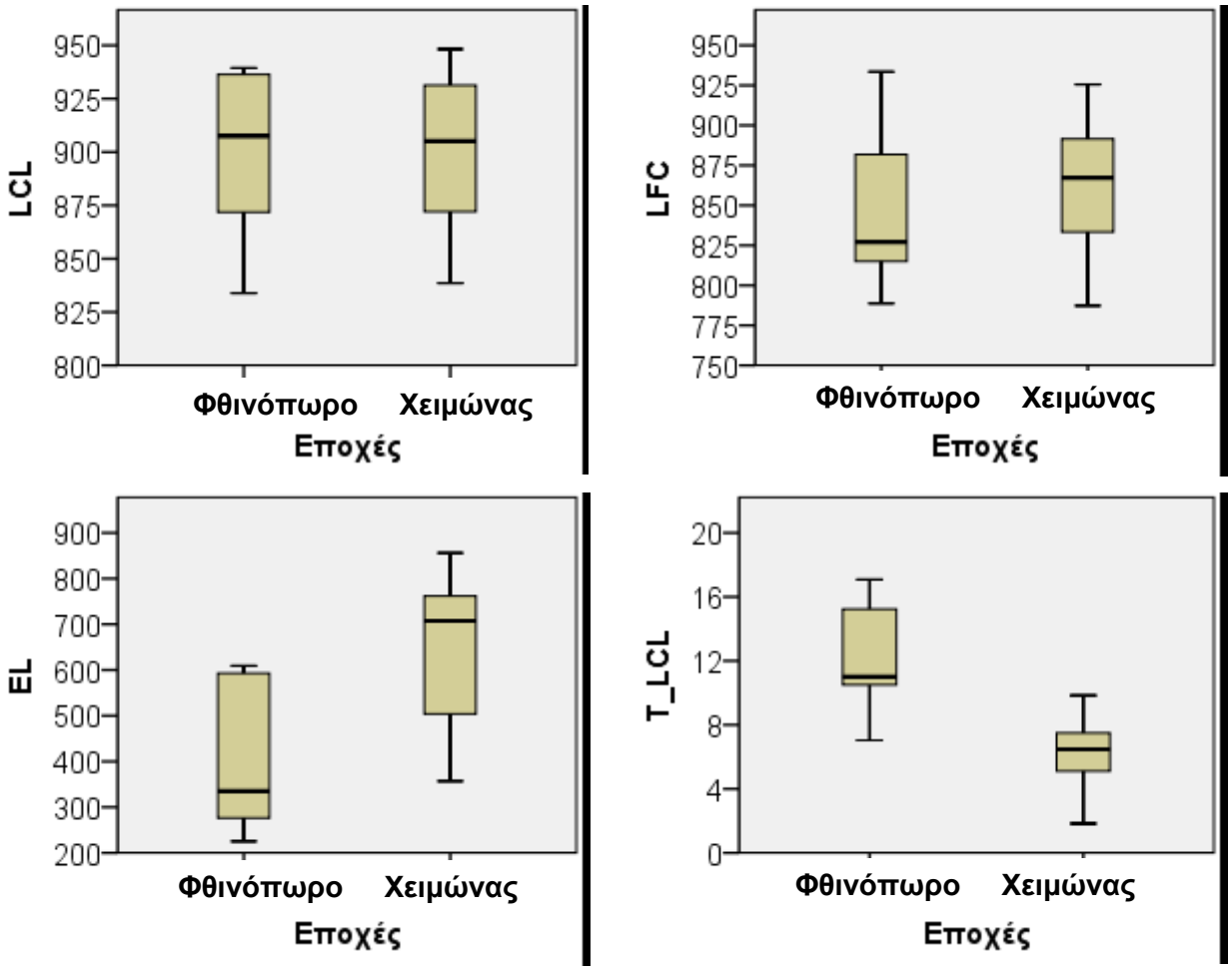
Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο η τιμή του υπολογίστηκε στα 42,12 J/kg, με μέγιστη τα 81,74 J/kg, ενώ το χειμώνα περιορίζεται στην τιμή των 17,92 J/kg. Οι παραπάνω τιμές είναι αναμενόμενες καθώς η εποχική διακύμανση του CAPE αποτύπωσε υψηλότερες τιμές το φθινόπωρο. Επίσης, υποδηλώνει ότι το περιβάλλον του διατμητικού ανέμου στη μέση και κατώτερη ατμόσφαιρα είναι σχεδόν το διπλάσιο σε σύγκριση με τις συνθήκες του διατμητικού ανέμου τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Οι [152] υπολόγισαν τη μέση τιμή του δείκτη BRN για την περιοχή του Ιονίου και Αιγαίου σε 31,2 το οποίο είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματά μας καθώς η μέση τιμή φθινοπώρου και χειμώνα είναι 29.



Εικόνα 8.2: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης θερμοδυναμικών δεικτών ασταθείας (CINS, BRCH, SWEAT και CAPE) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.

Το μέσο επίπεδο LCL κατά τη φθινοπωρινή περίοδο εντοπίζεται στα 922 hPa και τη χειμερινή περίοδο υψηλότερα στα 890 hPa, το οποίο είναι σε γενικότερη συμφωνία με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες δημιουργίας σιφώνων σε περιβάλλον με χαμηλό επίπεδο LCL. Το μέσο επίπεδο EL κατά τη φθινοπωρινή περίοδο υπολογίστηκε στα 338 hPa ενώ τη χειμερινή περίοδο σε χαμηλότερο επίπεδο, στα 617 hPa, αποτυπώνοντας ότι το επίπεδο ισορροπίας της ατμόσφαιρας κατά τη φθινοπωρινή περίοδο εντοπίζεται πολύ

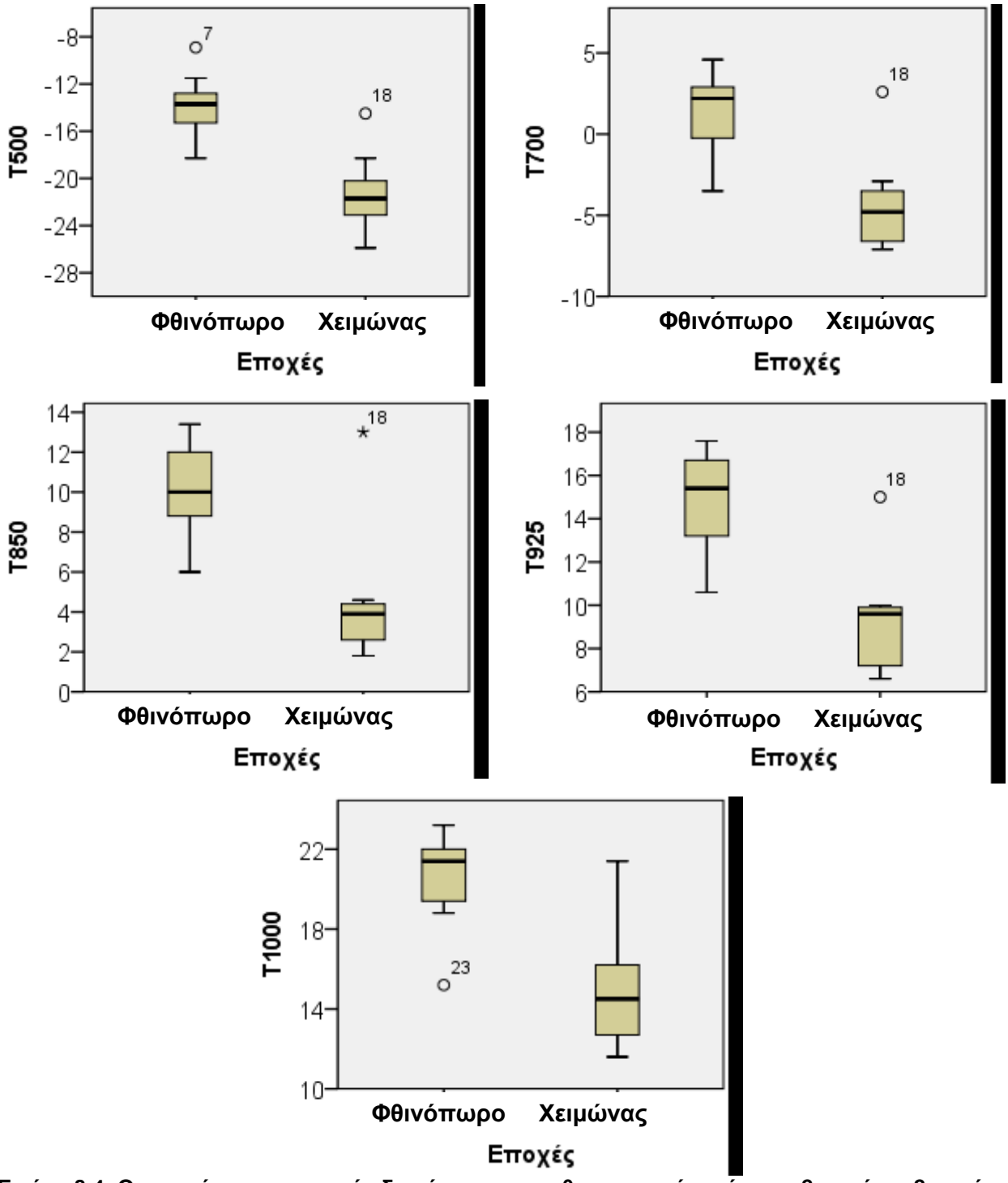
υψηλότερα λόγω συνοπτικών καταστάσεων. Αντίστοιχα, οι [152] υπολόγισαν το μέσο ετήσιο επίπεδο του LCL για τις ημέρες με πολλαπλούς υδροσίφωνες στα 528 m (~ 930 hPa) και το EI στα 9493 m. (~ 300 hPa).



Εικόνα 8.3: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης βασικών επιπέδων ανάλυσης ραδιοβολίσεων (LCL, LFC, EL και θερμοκρασίας επιπέδου LCL) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.

Η θερμοκρασία στα βασικά επίπεδα αναλύσεων της ανώτερης ατμόσφαιρας (500, 700, 850, 925 και 1000 hPa) κατά τη χειμερινή περίοδο παρουσίασε χαμηλότερες θερμοκρασίες (ψυχρότερες αέριες μάζες σε όλα τα επίπεδα) σε σχέση με τη φθινοπωρινή περίοδο (Εικόνα 8.4). Ωστόσο παρατηρείται μία σταθερή θερμοβαθμίδα τόσο το φθινόπωρο, όσο και τη χειμερινή περίοδο στη διαφορά θερμοκρασίας των 1000 hPa με τα υπόλοιπα ατμοσφαιρικά επίπεδα (500, 700, 800 και 925 hPa) (Εικόνα 8.5).

Η διαφορά θερμοκρασίας T1000-T500 υπολογίστηκε στους 35 ºC για το φθινόπωρο και 37 ºC για το χειμώνα. Αντίστοιχα, η διαφορά θερμοκρασίας T1000-T700 υπολογίστηκε στους 19 ºC για το φθινόπωρο και 20 ºC για το χειμώνα. Η σύγκριση των θερμοκρασιών στα χαμηλότερα επίπεδα αποτύπωσε επίσης μία σταθερή εποχική διαφορά θερμοκρασία της τάξεως των 11 ºC μεταξύ των θερμοκρασιών T1000-T850 και 5 ºC μεταξύ των θερμοκρασιών T1000-T925.



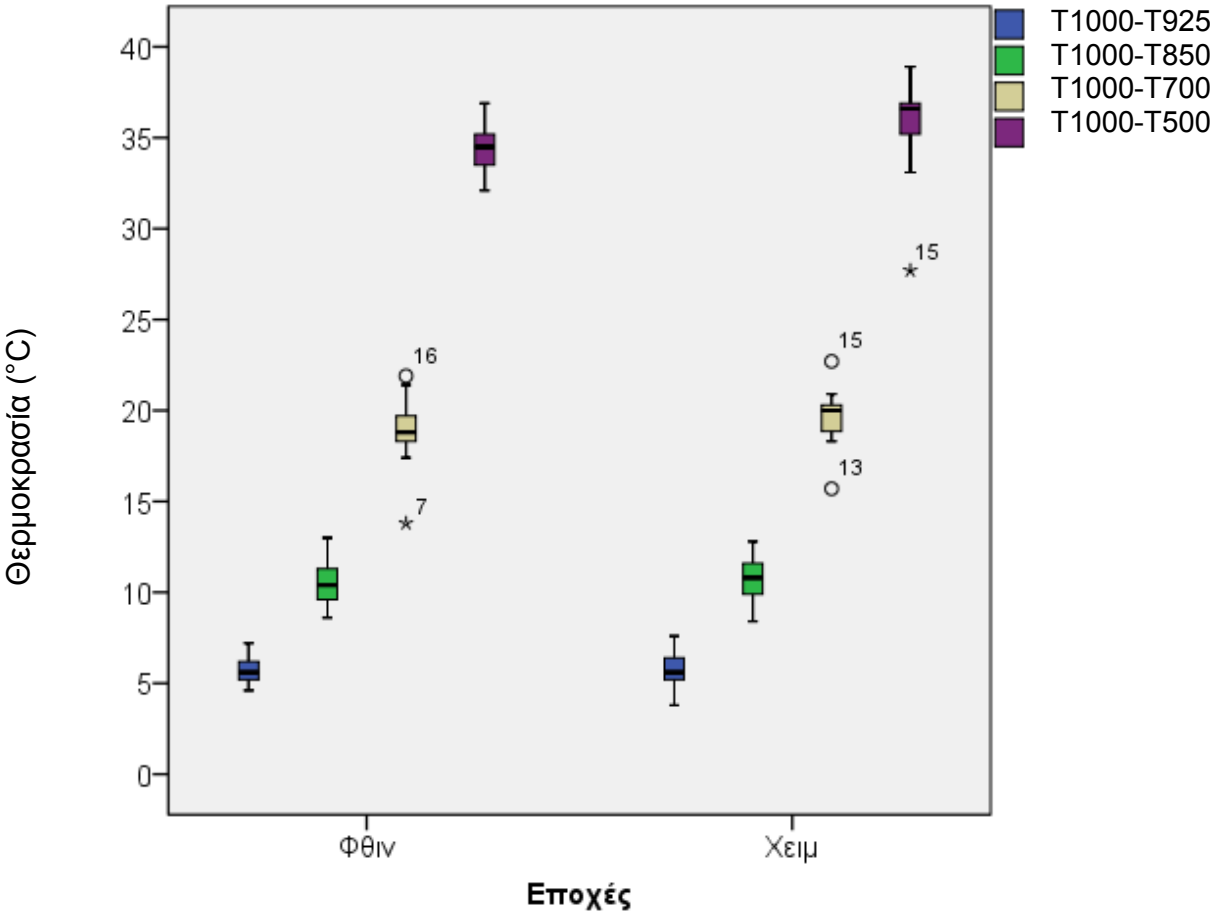
Εικόνα 8.4: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της θερμοκρασίας αέρα σε βασικά ισοβαρικά επίπεδα (500 hPa, 700 hPa, 850hPa, 925 hPa και 1000 hPa) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.

Στην Εικόνα 8.6 παρουσιάζεται η εποχική διακύμανση της έντασης του ανέμου και της διεύθυνσης στα βασικά κατακόρυφα επίπεδα ανάλυσης των 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa και 1000 hPa κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσιας περιοχή βόρεια του Ηρακλείου. Τόσο τη φθινοπωρινή περίοδο, όσο και τη χειμερινή περίοδο η μέγιστη μέση ένταση εντοπίζεται στη στάθμη των 500 hPa, ενώ όσο κατερχόμαστε στην ατμόσφαιρα η ένταση του ανέμου μειώνεται σημαντικά. Ιδιαίτερα από το επίπεδο των 850 hPa και χαμηλότερα (925 και 1000 hPa) η μέση ένταση κυμαίνεται από 8 έως 12 Knots. Όσον αφορά τη μέση διεύθυνση των ανέμων κατά τη

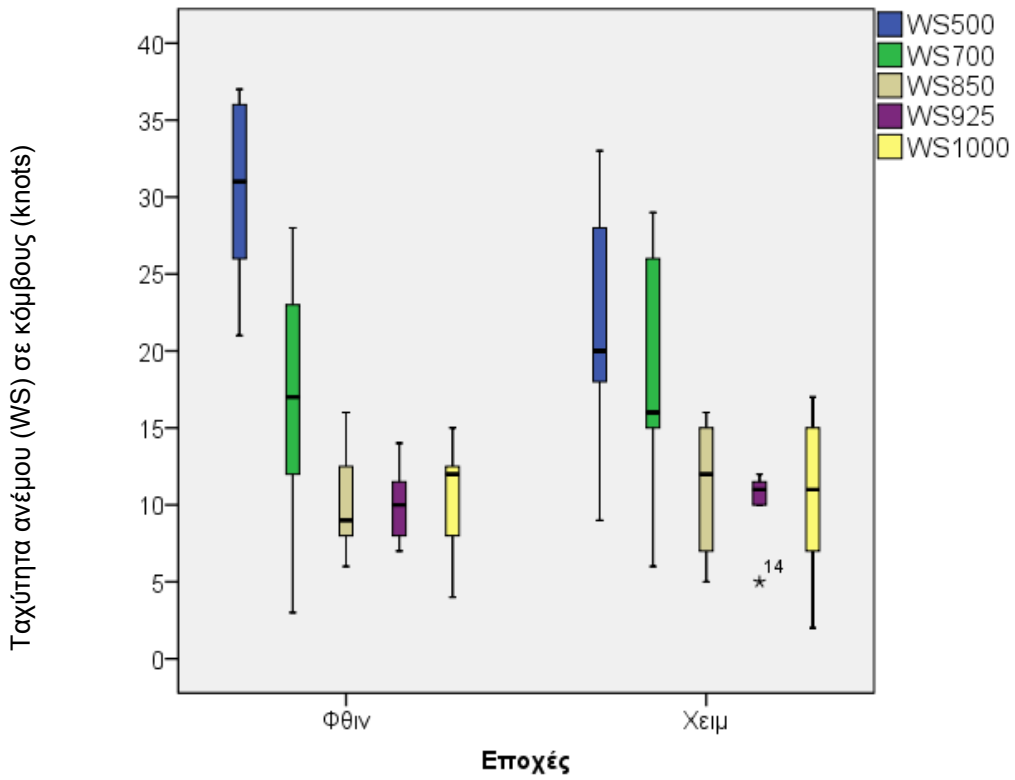
φθινοπωρινή περίοδο η επικρατέστερη διεύθυνση των ανέμων είναι από 340°-260° στη μέση και κατώτερη ατμόσφαιρα.

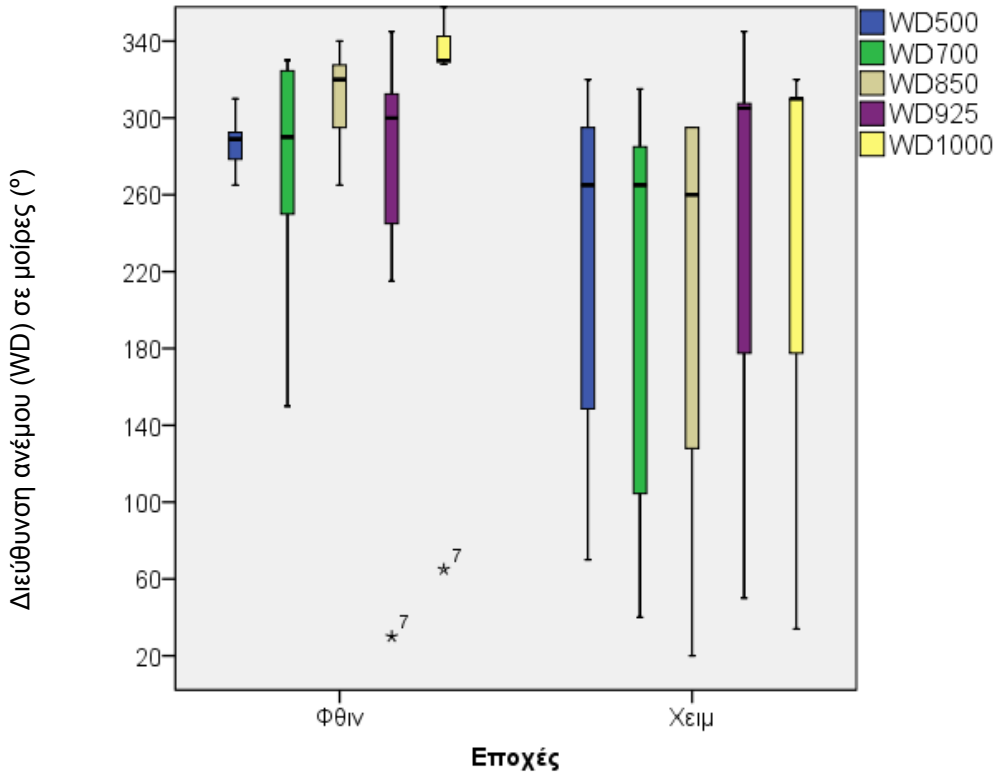
Στο στρώμα των 1000-925 hPa παρατηρούμε ότι η μέση διεύθυνση των ανέμων, παρουσιάζει αντιστροφή των ανέμων (από 330°στα 1000 hPa σε 300° στα 925 hPa), ενώ στο επόμενο στρώμα, 925-850 hPa, αποτυπώνεται συστροφή των ανέμων και θερμή μεταφορά. Στο επόμενο στρώμα 850-700 hPa) παρατηρούμε ψυχρή μεταφορά καθώς ο άνεμος αντιστρέφει μετά του ύψους.

Σε αντίθεση με το φθινόπωρο, η διεύθυνση των ανέμων καθ' ύψος κυμαίνεται από ΒΔ έως Ν διευθύνσεων. Στην κατώτερη ατμόσφαιρα (1000 και 925 hPa) η μέση διεύθυνση είναι από Δ-ΒΔ διευθύνσεις ενώ όσο ανερχόμαστε ψηλότερα παρατηρούμε μία αντιστροφή των ανέμων μέχρι στο επίπεδο μεταξύ των 925 και 850 hPa.



Εικόνα 8.5: Θηκογάμματα εποχικής διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας (°C) αέρα μεταξύ του ισοβαρικού επιπέδου των 1000 hPa και λοιπών βασικών ισοβαρικών επιπέδων (500 hPa, 700 hPa, 850 hPa και 925 hPa) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.





Εικόνα 8.6: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της έντασης (κόμβοι, knots) του ανέμου (πάνω διάγραμμα) και της διεύθυνσης του ανέμου (σε °) (κάτω διάγραμμα) στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα (500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa και 1000 hPa) κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου με χρονική απόκλιση ± 3 ώρες από τις ραδιοβολίσεις του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2004-2012.

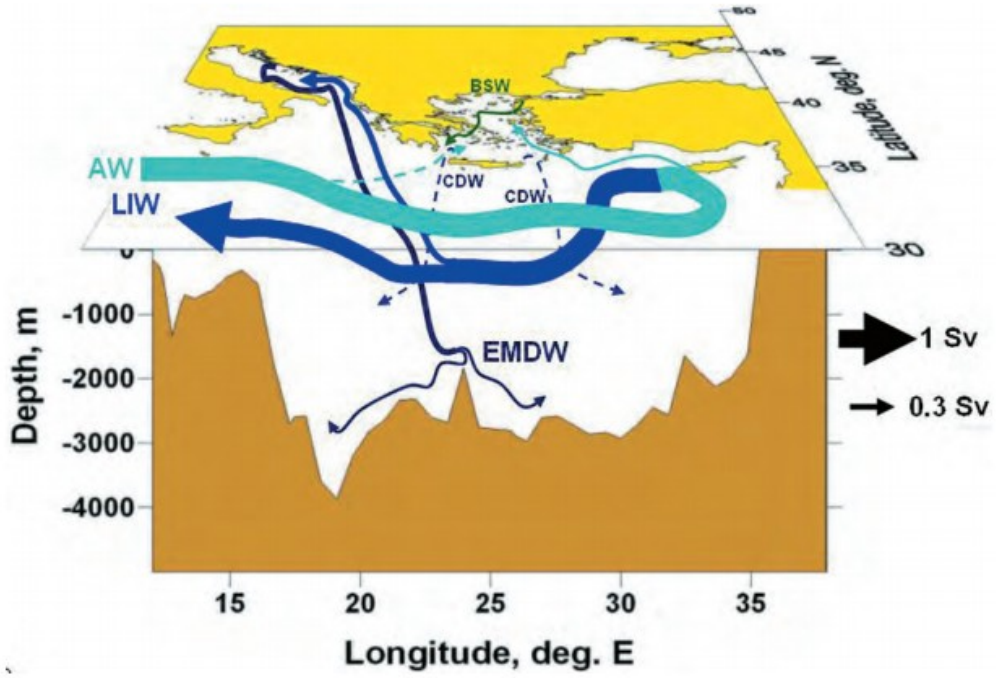
8.3 Κυκλοφορία και υδρογραφία των θαλάσσιων ρευμάτων στο Ιόνιο και στο Αιγαίο πέλαγος

Η επιφανειακή κυκλοφορία στις επιμέρους λεκάνες γύρω από την Ελληνική Χερσόνησο (δηλ. το Αιγαίο, Ιόνιο και Λεβαντίνη) καθορίζεται εν μέρει από τη γενική κυκλοφορία της ανατολικής Μεσογείου και εν μέρει από την τοπική αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα και το παράκτιο ανάγλυφο.

Η υδρογραφία της ανατολική Μεσογείου καθορίζεται από τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ του νερού και της ατμόσφαιρας δια μέσου της επιφάνειας της θάλασσας. Η κυκλοφορία που προκαλείται από τις διαφορές πλευστότητας των θαλασσίων μαζών ονομάζεται θερμόαλη και συνήθως αναπαριστά τις μεγάλης κλίμακας κινήσεις της θάλασσας. Συγκρίνοντας τηη πυκνότητα των βαθιών νερών της ανατολικής Μεσογείου με εκείνα της δυτικής Μεσογείου μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την ανατολική Μεσόγειο ως μία λεκάνη συγκέντρωσης, δηλαδή έχουμε δημιουργία πυκνών υδάτων [153]. Ως μία λεκάνη συγκέντρωσης, η ανατολική Μεσόγειος λαμβάνει ελαφρύτερα ύδατα στην επιφάνεια και εξάγει πυκνά νερά μέσα από τα υποεπιφανειακά θαλάσσια ρεύματα προς τη δυτική Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα μέσω των στενών της Σικελίας και των Δαρδανελίων, αντίστοιχα

Μια απλοποιημένη απεικόνιση της θερμοάλης κυκλοφορίας στην ανατολική Μεσόγειο παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.7. Οι εκτιμήσεις της εισροής επιφανειακών υδάτων που προέρχονται από τον Ατλαντικό (Atlantic Water, AW) μέσω των στενών της Σικελίας στην Ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα έχουν κυμαίνεται μεταξύ 20000 km^3 και 40000 km^3, ετησίως. Η αντίστοιχη εκροή η οποία αρχικά σχηματίζεται στην ανατολική Μεσόγειο και είναι συγκεκριμένα το ενδιάμεσο ρεύμα της Λεβαντίνης (Levantine Intermediate Water, LIW) που εκτιμάται σε όγκο / έτος από 18000 km^3 έως 38000 km^3. Το ρεύμα των AW εισρέει μέσα από τα στενά της Σικελίας, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή αλμυρότητα καταλαμβάνοντας ένα παχύ επιφανειακό στρώμα πάχους 150-200 m στο Ιόνιο Πέλαγος, το οποίο μειώνεται καθώς αυτό ρέει προς τα ανατολικά. Η ελάχιστη αλατότητα στη στήλη του νερού, η οποία είναι και το χαρακτηριστικό των AW, βρίσκεται περίπου στα 50 m κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και κοντά στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η αλατότητα του AW ρεύματος αυξάνεται από 36,8 psu στην περιοχή του Γιβραλτάρ, σε περίπου 37,5 psu στα Στενά της Σικελίας, ενώ κοντά στην Κρήτη είναι 38,6 psu. Το βάθος του αυξάνεται προς τα ανατολικά από 20 m έως 100 m κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου. Το ρεύμα των AW συνεχίζει την ανατολική του πορεία και στο ανατολικότερο άκρο της Λεβαντίνης έχει τιμή αλατότητας 38,9 psu. Η ίδια τιμή αλατότητας ανιχνεύεται επίσης στα AW, που συχνά μπαίνουν στο Αιγαίο μέσα από το στενά του τόξου της Κρήτης [154].

Η αντίστοιχη ανταλλαγή με τη Μαύρη Θάλασσα γίνεται μέσω της επιφανειακής εισροή των Νερών της Μαύρης Θάλασσας (Black Sea Water, BSW), η οποία ανέρχεται περίπου στα 1250 km^3/yr και την υποεπιφανειακή εκροή των περίπου 950 km^3/yr προς το Αιγαίο μέσω του στενού των Δαρδανελίων [155]. Το BSW ρεύμα είναι πολύ λιγότερο σε ποσότητα (σε σχέση με το ρεύμα του AW) με ελάχιστη αλατότητα στην επιφάνεια μόνο στο βόρειο και δυτικό Αιγαίου Πέλαγος (μέχρι το στενό των Κυθήρων). Η επιφανειακή αλατότητα των BSW υδάτων είναι αρκετά χαμηλή (29-30 psu) κοντά στην έξοδο των Δαρδανελίων και κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών συνθηκών με τη μέγιστη διαστρωμάτωση. Μέσω της διασποράς στο βόρειο Αιγαίο η αλατότητα των BSW φτάνει 35-36 psu, ενώ οι υψηλότερες τιμές αλατότητας καταγράφονται κατά την χειμερινή περίοδο λόγω μείξης με τα νερά της Λεβαντίνης.



Εικόνα 8.7: Η κυκλοφορία των θαλάσσιων ρευμάτων στη ανατολική Μεσόγειο [154]. Τα βέλη απεικονίζουν τη μεταφορά σε Sverdups (1 Sv = 106 m^3 s^{-1}~31500 km^3 yr^{-1})

Έτσι, τόσο από το στενό της Σικελίας, όσο και από τα στενά των Δαρδανελίων, στην ανατολική Μεσόγειο εισάγονται ελαφρύτερα ύδατα στην επιφάνεια και εξάγονται πυκνότερα νερά υποεπιφανειακά. Στην πραγματικότητα τα ελαφρά ύδατα που εισάγονται σε κάποιο σημείο στη συνέχεια καθίστανται πυκνότερα και βυθίζονται δημιουργώντας τα πυκνότερα ύδατα τα οποία εξάγονται μέσα από τα υποθαλάσσια ρεύματα. Ο μηχανισμός της βύθισης των υδάτων προϋποθέτει ότι τα ελαφρύτερα επιφανειακά ύδατα γίνονται ψυχρότερα (χάνοντας της θερμοκρασία τους προς την ατμόσφαιρα) και / ή αποκτούν υψηλότερη αλατότητα (χάνοντας το φρέσκο νερό μέσω της διαδικασίας της εξάτμισης) και έτσι γίνονται βαρύτερα από τα υποκείμενα ύδατα. Έτσι, η ροή του νερού μέσω των στενών επιταχύνεται όταν η απώλεια της θερμοκρασίας και των υδρατμών από τα επιφανειακά ύδατα αυξάνεται και όλο και πιο πυκνό νερό παράγεται. Η διαδικασία αυτή, θεωρείται ως η κινητήρια μηχανή της θερμοαλατικής κυκλοφορίας σε ημίκλειστες θαλάσσιες λεκάνες. Οι περιοχές όπου τα βαθιά ύδατα σχηματίζονται στην ανατολική Μεσόγειου είναι τα δύο βορειότερα άκρα της λεκάνης, το Αιγαίο και η Αδριατική (Εικόνα 8.7).

Πρόσφατες μελέτες έχουν αποτυπώσει ότι και οι δύο περιοχές έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν στην πλήρωση των υδάτων τροφοδοτώντας τα βαθιά στρώματα του Ιονίου και της λεκάνης της Λεβαντίνης (βαθύτερα από 2000 m). Τα ύδατα αυτά περιλαμβάνουν τα βαθιά ύδατα της ανατολικής Μεσογείου (Eastern Mediterranean Deep Water, EMDW), τα οποία διαμορφώνονται στο Ιόνιο Πέλαγος μέσω της μίξης των ενδιάμεσων υδάτων κυρίως με τα βαθιά κρύα και πυκνά ύδατα της Αδριατικής κατά τη χειμερινή περίοδο, τα οποία εκρέουν μέσα από το στενό του Ορτάντο. Το EMDW έχει θεωρηθεί αξιοσημείωτα ομοιόμορφα με θερμοκρασία 13,3°C και αλατότητα 38,7 psu για ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα (1910-1987). Τουλάχιστον μία φορά κατά τον τελευταίο αιώνα το Αιγαίο έχει συμβάλει ουσιαστικά στο σχηματισμό βαθιών νερών της ανατολικής Μεσογείου, αλλάζοντας το βαθύ ιμάντα μεταφοράς και ελαφρώς μεταβάλλοντας τα χαρακτηριστικά των βαθιών υδάτων.

Ίσως σημαντικότερη από την θερμοάλη κυκλοφορία είναι ο σχηματισμός των ενδιάμεσων υδάτων. μία μεγάλη ποσότητα των επιφανειακών υδάτων που εισέρχονται στο Ιόνιο Πέλαγος μέσω των στενών της Σικελίας, δεν φθάνει στην περιοχή δημιουργίας

των βαθιών υδάτων της Μεσογείου. Κατά τη διάρκεια της ανατολικής του πορείας, η εξάτμιση τους στερεί σημαντικές ποσότητες νερού και η αλατότητα τους αυξάνεται από 38,5 psu (κοντά στο στενό της Σικελίας) σε περισσότερο από 39.1 psu στην περιοχή νότια / νοτιοδυτικά της Μικράς Ασίας. Σε αυτή την περιοχή, η μεγάλη εξάτμιση και η απώλεια θερμότητας, σε συνδυασμό με την κυρίαρχη κυκλωνική κυκλοφορία του νερού, παρέχουν ευνοϊκές συνθήκες για το σχηματισμό μεγάλων ποσοτήτων υψηλής αλατότητας, θερμού ύδατος το οποίο βυθίζεται σε ένα ενδιάμεσο βάθος, μέχρι 600 m και αποτελεί τη μεγαλύτερη μάζα νερού της ανατολικής Μεσογείου, που ονομάζεται LIW (Εικόνα 8.7).

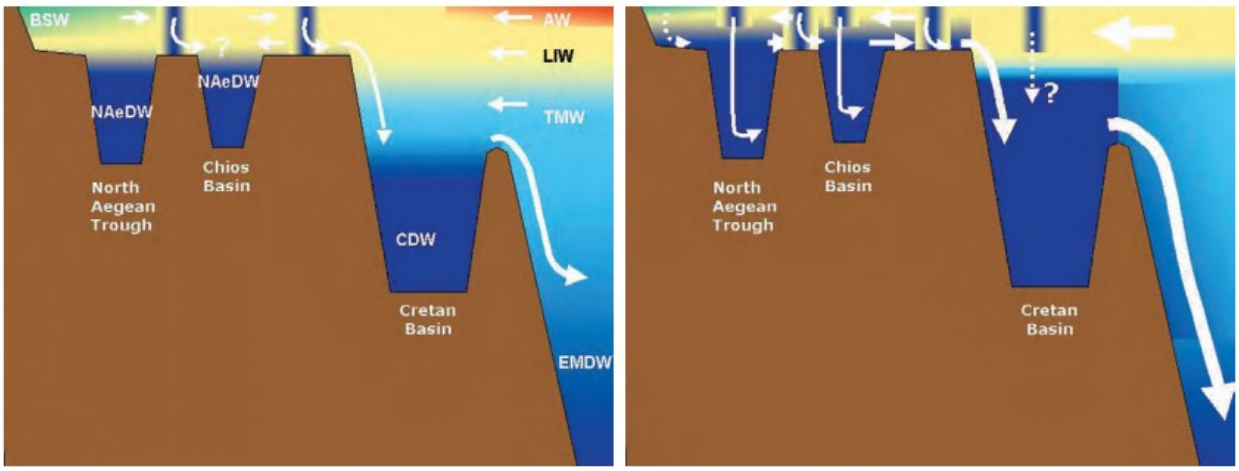
Το LIW θεωρείται το πιο σημαντικό συστατικό της μεγάλης κλίμακας κυκλοφορίας της Μεσογείου, επειδή απλώνεται σε ολόκληρη την Μεσόγειο και επηρεάζει τη στρωμάτωση στις περιοχές σχηματισμού βαθιών πυκνών νερών. Παράγεται κυρίως στη βόρεια λεκάνη της Λεβαντίνης και πιο συγκεκριμένα στα νοτιοανατολικά της Ρόδου, από το Φεβρουάριο μέχρι το Μάρτιο κάτω από την επιρροή ξηρών και ψυχρών ηπειρωτικών αέριων μαζών. Η επικρατούσα κυκλωνική κυκλοφορία νοτιοανατολικά της Ρόδου, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και στη διάδοση του LIW. Τα LIW βρίσκεται ως επί το πλείστον σε βάθη από 50 m σε χαμηλά βαρομετρικά συστήματα (κυκλώνες) έως 600 m στο εσωτερικό των ισχυρών αντικυκλώνων, ενώ βρίσκονται πάνω από το ψυχρότερο και με μικρότερη αλατότητα στρώμα των EMDW. Τα υδρολογικά χαρακτηριστικά των LIW υδάτων που παράγονται σε διάφορες περιοχές ποικίλουν (T:~14,70 - 16,95°C, S: ~38,85 - 39,15 psu και σ:~28,9 - 29,1 kg m^{-3}), [156]. Καθώς το LIW εξαπλώνεται προς τα δυτικά, η ομοιογένεια επιτυγχάνεται μέσω των διαδικασιών της ανάμιξης.

8.3.1 Η θερμόαλη κυκλοφορία του Αιγαίου Πελάγους

Το Αιγαίο χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλές πυκνότητες στις βαθιές υπολεκάνες του, με τα πιο πυκνά νερά στις βαθιές λεκάνες του βόρειου Αιγαίου, γεγονός που υποδηλώνει ότι το Αιγαίο είναι μία λεκάνη συγκέντρωσης με τις υψηλότερες τιμές στα βόρεια τμήματα (δηλαδή το βόρειο Αιγαίο είναι πηγή μεγαλύτερων ποσοτικών πυκνών υδάτων, σε σχέση με το νότιο Αιγαίο). Η θερμοάλη κυκλοφορία του Αιγαίου συνοψίζεται στην Εικόνα 8.8.

Ωστόσο, εξετάζοντας τα νέα ύδατα σε εποχική ή μεγαλύτερη χρονική κλίμακα η λεκάνη του βορείου Αιγαίου συμπεριφέρεται ως λεκάνη αραίωσης, δηλαδή ως εξαγωγέας των ελαφρών μαζών νερού στο νότιο Αιγαίο, εξαιτίας της εισροής ελαφρών και υφάλμυρων νερών της Μαύρης Θάλασσας μέσω των Στενών των Δαρδανελίων. Αυτά τα νερά, που εισέρχονται στο βόρειο Αιγαίο στα ανατολικά της Λήμνου, σχηματίζοντας ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα (20-40 m πάχους) που εκτείνεται σε όλο το βόρειο Αιγαίο, ακολουθώντας μία κυκλωνική ροή προς τα δυτικά και νοτιοδυτικά. Αυτό το στρώμα απομονώνει τις ενδιάμεσες μάζες νερού από την ατμόσφαιρα, καθώς έχουν την ικανότητα να χάνουν μεγάλα ποσά θερμότητας και νερού πριν αποκτήσει πυκνότητα ίση με αυτή του υποκείμενου στρώματος, και συνεπακόλουθα να σταματήσει να εμποδίζει την δημιουργία πυκνών υδάτινων μαζών [157]. Σε ετήσια κλίμακα η εισροή νερού από τα Δαρδανέλια εξισορροπείται από την εξάτμιση και τη μεταφορά νερού προς το Νότιο Αιγαίο και έτσι το Αιγαίο έχει το ρόλο μιας λεκάνης αραίωσης. Σε μηνιαία διακύμανση, το βόρειο Αιγαίο μπορεί να δράσει ως ισχυρή λεκάνη συγκέντρωσης. Πράγματι, τα ύδατα που γεμίζουν τις βαθιές λεκάνες του βόρειου Αιγαίου (μέχρι 400 m), χαρακτηρίζονται από πυκνότητες μεγαλύτερες των 0,20 kg m^{-3} από τις μάζες του νερού που γεμίζουν τα βαθιά τμήματα του Κρητικού Πελάγους (Cretan Deep Water, Deep Water CDW). Η εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα του πλατό της Σαμοθράκης, του Θερμαϊκού Κόλπου, της Λέσβου και των Κυκλάδων είναι ιδανικές τοποθεσίες σχηματισμού πυκνών υδάτων

εξαιτίας του περιορισμένου όγκου νερού που είναι σε αλληλεπίδραση με την ατμόσφαιρα [154].



Εικόνα 8.8: Σχηματική απεικόνιση της θερμόαλης κυκλοφορίας στο Αιγαίο κατά τη διάρκεια ήπιων περιόδων (αριστερά) και περιόδων με μεγάλο σχηματισμό πυκνών μαζών νερού (δεξιά) [154].

Ωστόσο, ο σχηματισμός πυκνών μαζών νερού στο πλατό της Σαμοθράκης και στο Θερμαϊκό Κόλπο παρεμποδίζεται από τη «μονωτική» δράση του επιφανειακού στρώματος των BSW και των εκροών των ποταμών. Συγκρίνοντας τα πλατό της Λέσβου και των Κυκλάδων, είναι προφανές ότι το πλατό της Λέσβου έχει μεγαλύτερη δυνατότητα για σχηματισμό πυκνών υδάτινων μαζών για δύο λόγους: α) η κυκλωνική κυκλοφορία του Αιγαίου φέρνει υψηλής αλατότητας ύδατα στην περιοχή της Λέσβου (δηλαδή ύδατα που προερχόμενα από τη Λεβαντίνη και διασχίζοντας το Νότιο Αιγαίο έχουν υποστεί εξάτμιση), ενώ η περιοχή των Κυκλάδων επηρεάζεται σημαντικά από την έκταση των νοτίων ορίων του στρώματος BSW του βόρειου Αιγαίου και β) οι ψυχροί βόρειοι άνεμοι είναι ξηρότεροι στο βόρειο Αιγαίο σε σχέση με τις Κυκλάδες (εξαιτίας της μικρής απόστασης από την ξηρά) προκαλώντας μεγαλύτερη εξάτμισης στις βόρειες υφαλοκρηπίδες.

Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι και οι δύο περιοχές συνεισφέρουν στην ετήσια παραγωγή πυκνών υδάτων, ωστόσο, η σχετική επίδραση κάθε περιοχής στη ζώνη μεταφοράς του Αιγαίου δεν έχει ακόμα ποσοτικοποιηθεί. Το ισοζύγιο πλευστότητας στο νότιο Αιγαίο δείχνει ξεκάθαρα ότι είναι μία λεκάνη συγκέντρωσης αν συσχετιστεί με την εξάτμιση αλλά και την μη εισροή υδάτων από τους ποταμούς. Σποραδικά όμως η εισροή νερών από το Βόρειο Αιγαίο μπορεί να αλλάξει αυτό το ισοζύγιο [154].

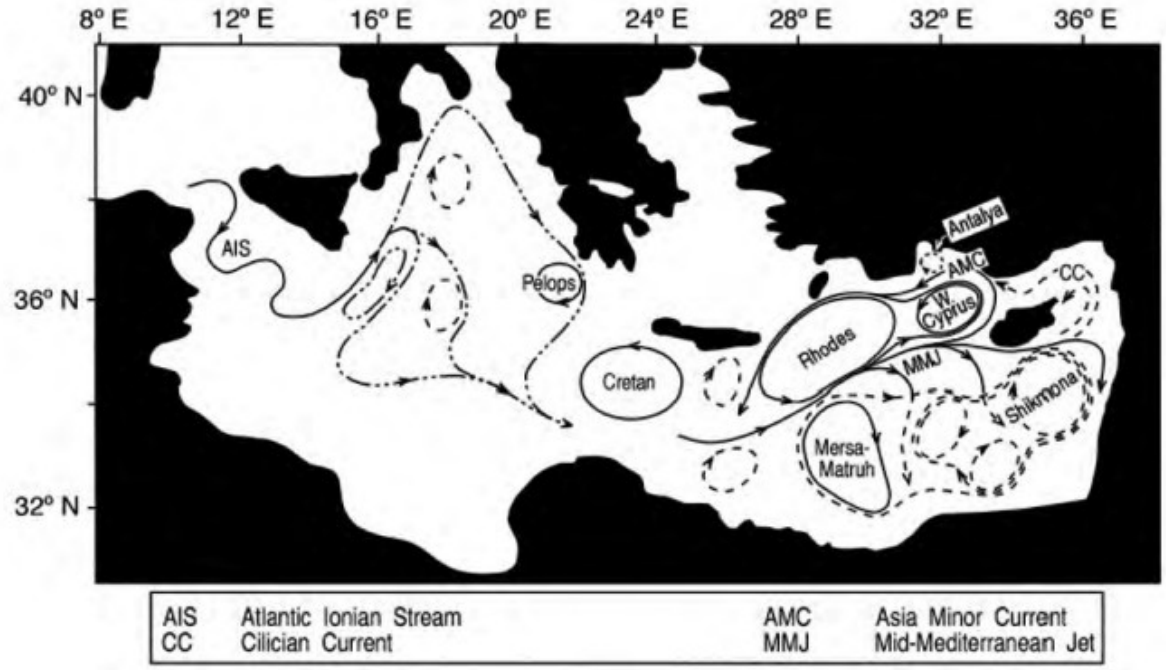
Γενικά, η εκροή από το Αιγαίο, (είτε πρόκειται για επιφανειακά, ελαφρά ύδατα ή πυκνά ύδατα), εξισορροπείται από την εισροή των LIW και τη μίξη τους με τα EMDW, γνωστά και ως Μεταβατικά Ύδατα της Μεσογείου (Transitional Mediterranean Water, TMW) που κινούνται μέσω των στενών του Κρητικού τόξου. Η θαλάσσια μάζα των LIW στο Κρητικό Πέλαγος χαρακτηρίζεται περιστασιακά από υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου και αλατότητας σε σχέση με τις μάζες εξωτερικά των στενών, των ενδιάμεσων στρωμάτων (100-400 m) τα οποία στη συνέχεια θα προσδιορίζονται ως Κρητικά Ενδιάμεσα Νερά (Cretan Intermediate Water, CIW).

Το στρώμα CIW / LIW χαρακτηρίζεται από υψηλή αλατότητα (φτάνοντας τα 39,2 psu) καταλαμβάνοντας το χώρο των ενδιάμεσων στρωμάτων (100-400 m) του βόρειου Αιγαίου, διαχωρίζοντας έτσι το επιφανειακό στρώμα των BSW από τα τοπικά

δημιουργούμενα βαθιά νερά του βορείου Αιγαίου. Στο νότιο Αιγαίο, το στρώμα CIW/LIW βρίσκεται πάνω από το στρώμα των TMW που έρχεται διαμέσου του τόξου των στενών της Κρήτης καθώς επίσης και των Κρητικών βαθιών νερών (CDW). Η κύρια πηγή προέλευση του CDW θεωρείται ότι είναι το πλατό των Κυκλάδων, με μία πιθανή συνεισφορά των πυκνών μαζών από το βορείου Αιγαίου, σε περιόδους σχηματισμού μεγάλης παραγωγής πυκνών υδάτων στο βόρειο Αιγαίο [157]. Το επιφανειακό στρώμα του Κρητικού Πελάγους καταλαμβάνεται από ζεστά, ιδιαίτερα αλατούχα νερά που συχνά αναφέρεται ως Κρητικά Επιφανειακά Ύδατα (CSW) [154].

8.3.2 Θαλάσσια κυκλοφορία στις υπολεκάνες του Ιονίου καις του Αιγαίου Πελάγους

Η δυναμική δομή της κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων στην υπολεκάνη του Ιονίου πριν από το 1987, όπως καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος POEM αποτελείται από μία ελικοειδή ροή και πολλές κυκλωνικές και αντικυκλωνικές δίνες, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και στην Εικόνα 8.9.



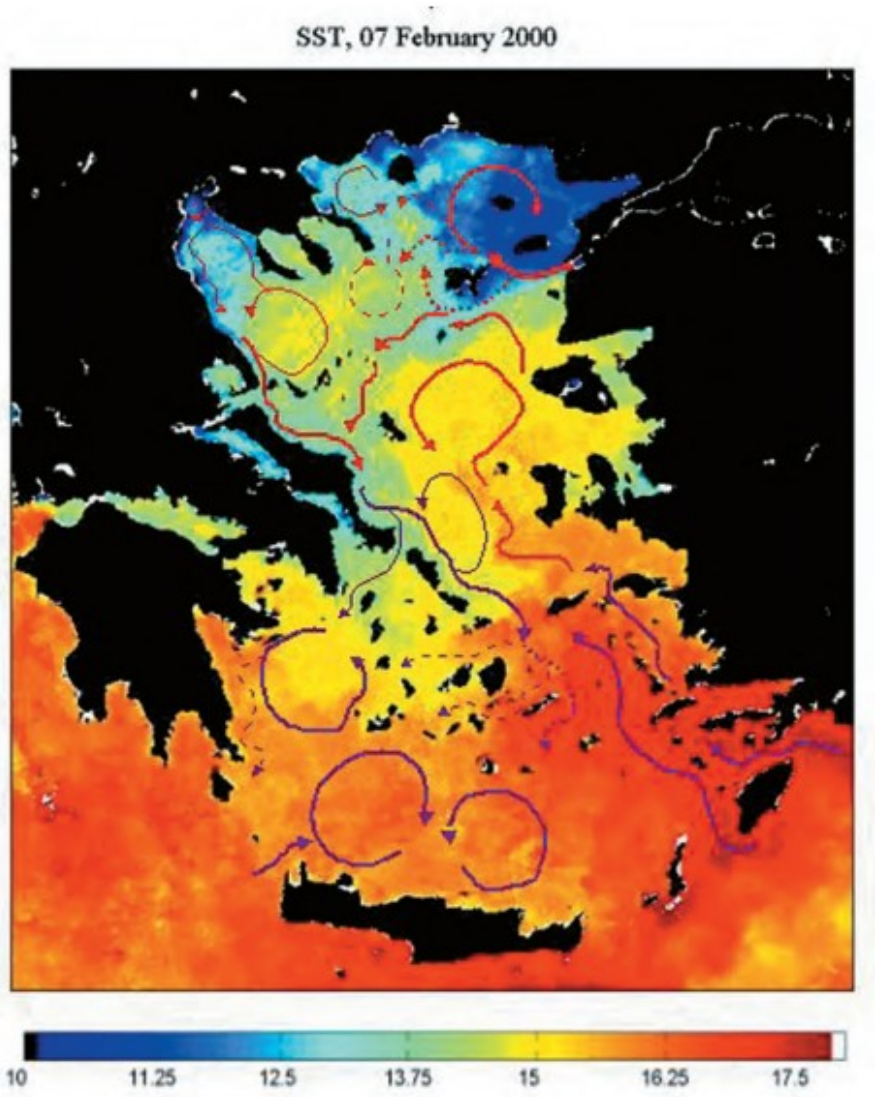
Εικόνα 8.9: Η θαλάσσια κυκλοφορία στην ανατολική Μεσόγειο [158].

Το ρεύμα της βόρειας Αφρικής μεταφέρει τα AW στο εσωτερικό της λεκάνης, μέσα από το στενό της Σικελίας δημιουργώντας το ρεύμα του Ατλαντικού-Ιόνιου (Atlantic Ionian Stream, AIS), το οποίο διακλαδίζεται σε δύο κύρια ρεύματα/κλάδους. Ο πρώτος κλάδος περικλείει μία αντικυκλωνική περιοχή στο κεντρικό Ιόνιο, περιλαμβάνοντας πολλαπλά κέντρα, ονομαζόμενα και ως Αντικυκλωνικές Περιοχές του Ιονίου (Ionian Anticyclones, AI). Ο δεύτερος κλάδος εκτείνεται βορειότερα και στη συνέχεια στρέφεται προς τα νότια με μεσημβρινή ροή διασχίζοντας όλο το Ιόνιο, μεταφέροντας το AW αρκετά νοτιότερα. Στη συνέχεια, το ρεύμα ελίσσεται περαιτέρω προς τα ανατολικά δημιουργώντας το Μέσο-Μεσεογειακό Ρεύμα (Mid-Mediterranean Jet, MMJ) διασχίζοντας το Κρητικό πέρασμα μεταφέρει τα AW προς ανατολικά.

Δύο βασικά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας αποτυπώνονται στο ανατολικό Ιόνιο: α) μία βαθιά βαροτροπική αντικυκλωνική ροή στα ΝΔ της Πελοποννήσου (ο αντικυκλώνας του Πέλοπα (Pelop)) και β) η μεγάλη κυκλωνική ροή στα ΝΔ της Κρήτης, ο Κρητικός

κυκλώνας (Cretan) [159]. Το θερμό και αλατούχο επιφανειακό ρεύμα της Λεβαντίνης (Levantine Surface Water, LSW) που σχηματίζεται στη λεκάνη της Λεβαντίνης περιστρέφεται γύρω από τις δύο προαναφερθείσες ροές και περιστασιακά εισέρχεται στο Αιγαίο μέσω των δυτικών άκρων των στενών της Κρήτης.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας της Λεβαντίνης είναι η μόνιμη κυκλωνική ροή της Ρόδου (Κυκλώνας της Ρόδου), κυρία υπεύθυνη για το σχηματισμό των LIW υδάτων, ο αντικυκλώνας Mersah-Matruh, η ροή Shikmona και Κύπρου στην ανατολική λεκάνη της Λεβαντίνης. Ο αντικυκλώνας της Λεβαντίνης, που χαρακτηρίζεται από το σχεδόν τέλειο κυκλικό επαναλαμβανόμενο σχήμα και ροή, τον αντικυκλώνα της Ιεράπετρας, ο οποίος δημιουργείται στα ΝΑ της Κρήτης. Η κυκλοφορία στο Αιγαίο Πέλαγος συνοψίζεται στην Εικόνα 8.10.



Εικόνα 8.10: Η επιφανειακή κυκλοφορία στο Αιγαίο Πέλαγος (βέλη) από μία δορυφορική εικόνα θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας. Οι συμπαγείς γραμμές αντιπροσωπεύουν μόνιμα χαρακτηριστικά ροής και οι διακεκομμένες γραμμές αποτυπώνουν παροδική κυκλοφορία.

Σε γενικές γραμμές, η κυκλοφορία στο Αιγαίο είναι κυκλωνική, με ζεστά και αλμυρά ύδατα από τη λεκάνη της Λεβαντίνης να εισέρχονται στο Αιγαίο μέσα από τα ανατολικά Κρητικά στενά και μέσω των κλάδων αποσπάται από το Ασιατό Μικρό Ρεύμα (Asian Minor Current, AMC). Αυτή η μάζα των υδάτων της Λεβαντίνης ταξιδεύει βόρεια κατά μήκος του ανατολικού Αιγαίου. Οι λεκάνες της Χίου στο κεντρικό Αιγαίο κυριαρχούνται

από δύο μόνιμους κυκλώνες, οι οποίοι συμβάλλουν σε αυτή τη γενική κυκλωνική κυκλοφορία. Τα νερά της Λεβαντίνης όταν συναντήσουν την εκροή των υδάτων από τη Μαύρη Θάλασσα κοντά στην περιοχή της Λήμνου γίνονται πυκνότερα άρα βαρύτερα και υποβυθίζονται κάτω από το πολύ ελαφρύτερο θαλάσσιο στρώμα των νερών της Μαύρης Θάλασσας [154].

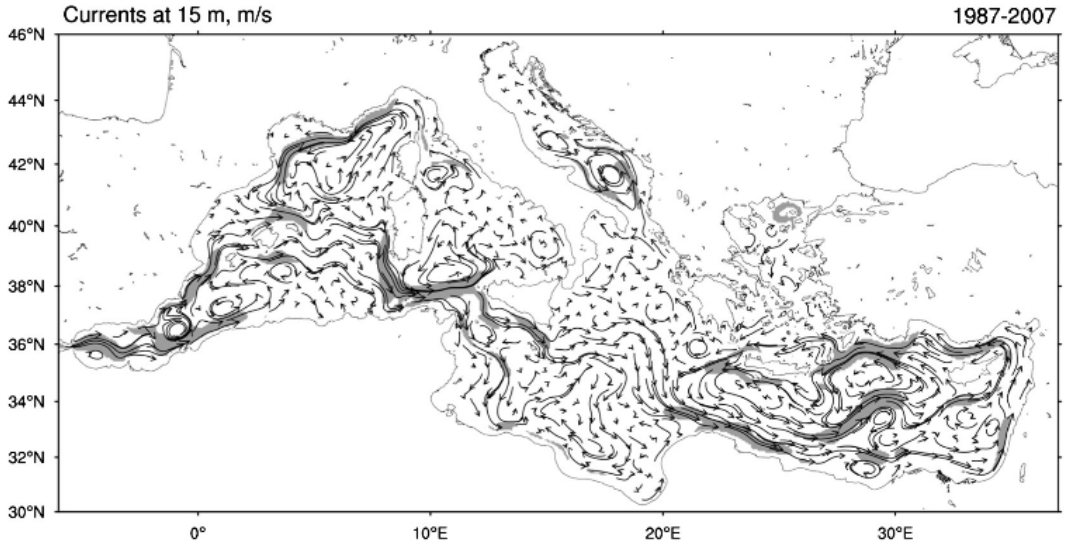
Αυτό το στρώμα σχηματίζεται από τα νερά που εκρέουν από τα Δαρδανέλια και στη συνέχεια κινούνται προς τα δυτικά και έπειτα προς τα νότια κατά μήκος των ανατολικών ακτών της ελληνικής χερσονήσου. Περιστασιακά, ένα μέρος αυτής της μάζας χαμηλής αλατότητας παγιδεύεται από έναν αντικυκλώνα που ρέει γύρω από το νησί της Σαμοθράκης, σχηματίζοντας εκεί ένα ελάχιστο αλατότητας. Αυτή η αντικυκλωνική κυκλοφορία είναι επίσης υπεύθυνη για τη νότια διασπορά των νερών από τον Έβρου ποταμού. Τα χαμηλής αλατότητας επιφανειακά νερά του πλατέος της Σαμοθράκης σχηματίζουν ένα θερμοάλο μέτωπο με υψηλότερης αλατότητας επιφανειακά ύδατα κατά μήκος του στενού Λήμνου - Άθω.

Η ανταλλαγή κατά μήκος του μετώπου φαίνεται να είναι εν μέρει βαροτροπική (στο πλατό της Σαμοθράκης), εν μέρει βαροκλινική (πάνω από την τάφρο του βορείου Αιγαίου) υπεύθυνη για τη μεταβλητότητα της μεσημβρινής επιφανειακής συνιστώσας της θαλάσσιας πίεσης κατά μήκος της επιφάνειας του Αιγαίου [160]. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες, το μέτωπο καταρρέει και ένας κυκλώνας σχηματίζεται κοντά στον Άθω, μεταφέροντας ύδατα από το πλατό προς τα νότια, ενώ τα ύδατα με υψηλότερη αλατότητα ρέουν προς τα βόρεια, δυτικά της Λήμνου. Η λεκάνη των βορείων Σποράδων χαρακτηρίζεται από τη μεταβλητή κυκλοφορία μέσης κλίμακας και τη δημιουργία ενός κυκλώνα πάνω από τη βαθύτερη περιοχή της λεκάνης [154].

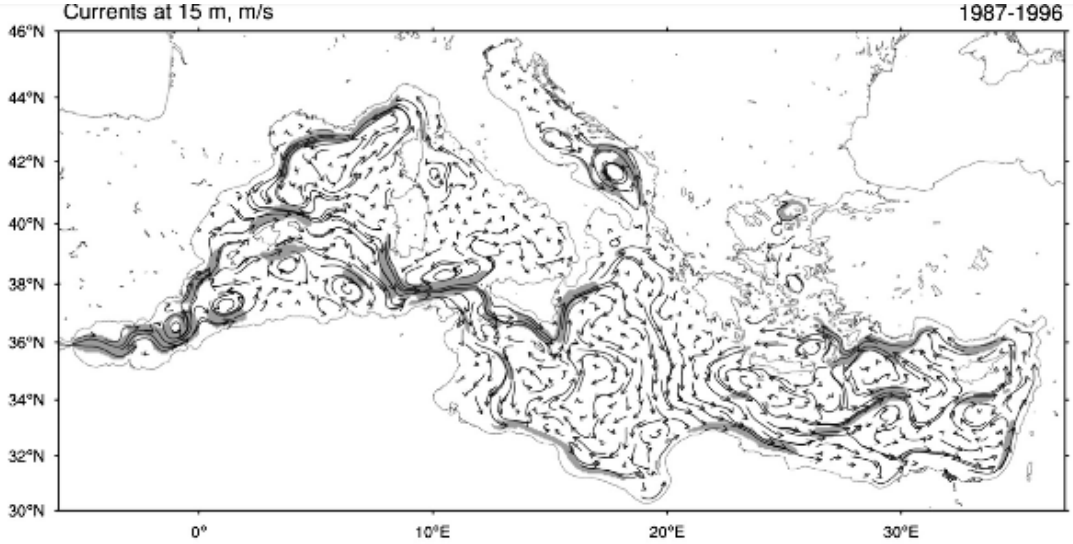
Η κυκλωνική κυκλοφορία του βόρειου και του κεντρικού Αιγαίου, χαρακτηρίζεται από την κίνηση των μαζών της Λεβαντίνης προς τα βόρεια και κορυφώνεται σε ένα πολύ ισχυρό μόνιμο νοτιοανατολικό ρεύμα κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Εύβοιας. Αυτή η ροή συνεχίζεται περνώντας από το βόρειο άκρο του αρχιπελάγους των Κυκλάδων και εν μέρει τροφοδοτεί τον κυκλώνα της λεκάνης της Χίου.

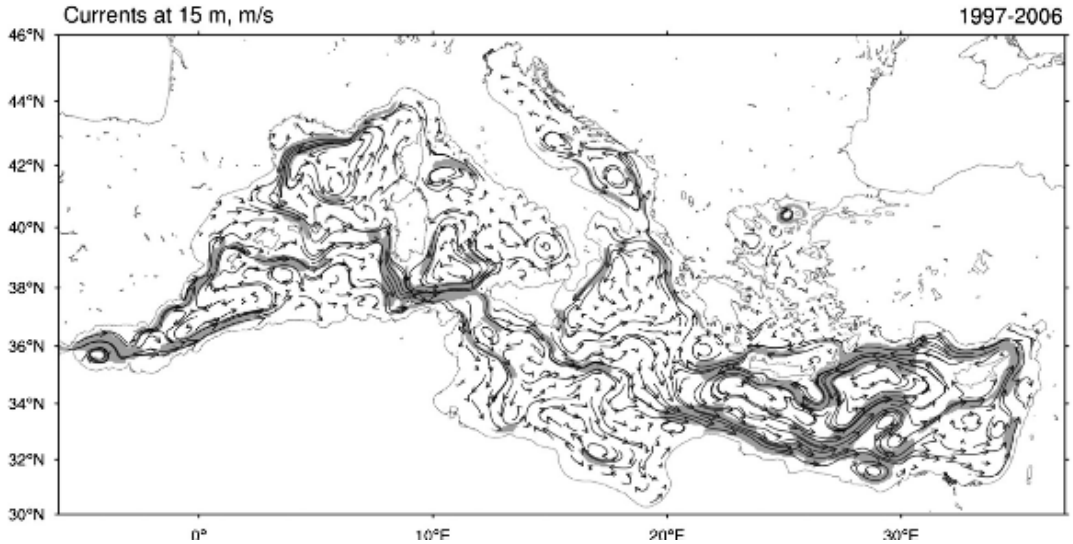
Ένα παρακλάδι του ρεύματος της Εύβοιας διασχίζει το κανάλι Κάβο Ντόρο και συνεχίζει νότιο-δυτικά για να εισέλθουν στο Μυρτώο Πέλαγος, όπου τροφοδοτεί μία μόνιμη κυκλωνική κυκλοφορία. Ωστόσο, η κυκλοφορία στο Κρητικό Πέλαγος (Νότιο Αιγαίο Πέλαγος) κυριαρχείται σήμερα από την παρουσία ενός αντικυκλώνα στην κεντρική / βόρειο-δυτική Κρήτη και ενός κυκλώνα στην κεντρική / βόρεια-ανατολική Κρήτη. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά αποτελούν ένα δίπολο, σε μεγάλο βαθμό βαροτροπικό, που έχει παρατηρηθεί επανειλημμένα στο Κρητικό Πέλαγος από το 1994 και μετά.

Οι [161],σε πρόσφατη μελέτη αποτύπωσαν τη μέση κυκλοφορία της περιόδου 1987-2007 στα 15 m βάθος (Εικόνα 8.11), όπου μέσα από το στενό της Κάσου το AMC δημιουργεί ένα μεγάλο αντικυκλωνικό ελιγμό ακριβώς μετά τον στρόβιλο της Ρόδου, ο οποίος περιβάλει τον αντικυκλώνα της Ιεράπετρας [162]. Το μοτίβο αυτό έχει επίσης καταγραφεί και μέσα από αναλύσεις δορυφορικών δεδομένων [163], [164]. Ωστόσο η μελέτη της μέσης κυκλοφορίας ανά δεκαετία 1987-1996 και 1996-2007 αποτύπωσε αλλαγές στο αντικυκλωνικό μοτίβο της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στις ΒΑ ακτές της Κρήτης (Εικόνα 8.12).



Εικόνα 8.11: Η μέση κυκλοφορία της περιόδου 1987-2007 σε βάθος 15 m από δεδομένα επανα-αναλύσεων. Οι γκρίζες περιοχές αποτυπώνουν εντάσεις ταχύτητας μεγαλύτερες από 0,1 m/s [161].





Εικόνα 8.12: Η μέση κυκλοφορία ανά δεκαετία σε βάθος 15 m: 1987-1996 (πάνω) και 1997-2006 (κάτω). Οι γκρίζες περιοχές αποτυπώνουν εντάσεις ταχύτητας μεγαλύτερες από 0,1 m/s [161].

8.3.3 Εποχική διακύμανση της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας στο νότιο Αιγαίο

Η κυκλοφορία του Αιγαίου παρουσιάζει μικρή μεταβλητότητα σε συνοπτική κλίμακα, λόγω των ατμοσφαιρικών μεταβολών καθώς η γενικότερη κυκλοφορία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη βαροκλινικότητα και την τοπογραφία. Ως εκ τούτου, χαρακτηρίζεται από μία κυκλωνική κυκλοφορία των υδάτων στην οποία συμμετέχουν τα νερά της Μαύρης Θάλασσας στο βορειοανατολικό Αιγαίο και των νερών της Λεβαντίνης προερχόμενα από την περιοχή των στενών της Ρόδου. Η κυκλοφορία αυτή αντανακλάται στην επιφάνεια, κυρίως μέσω της κατανομής της αλατότητας, που παρατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Εικόνα 8.1).

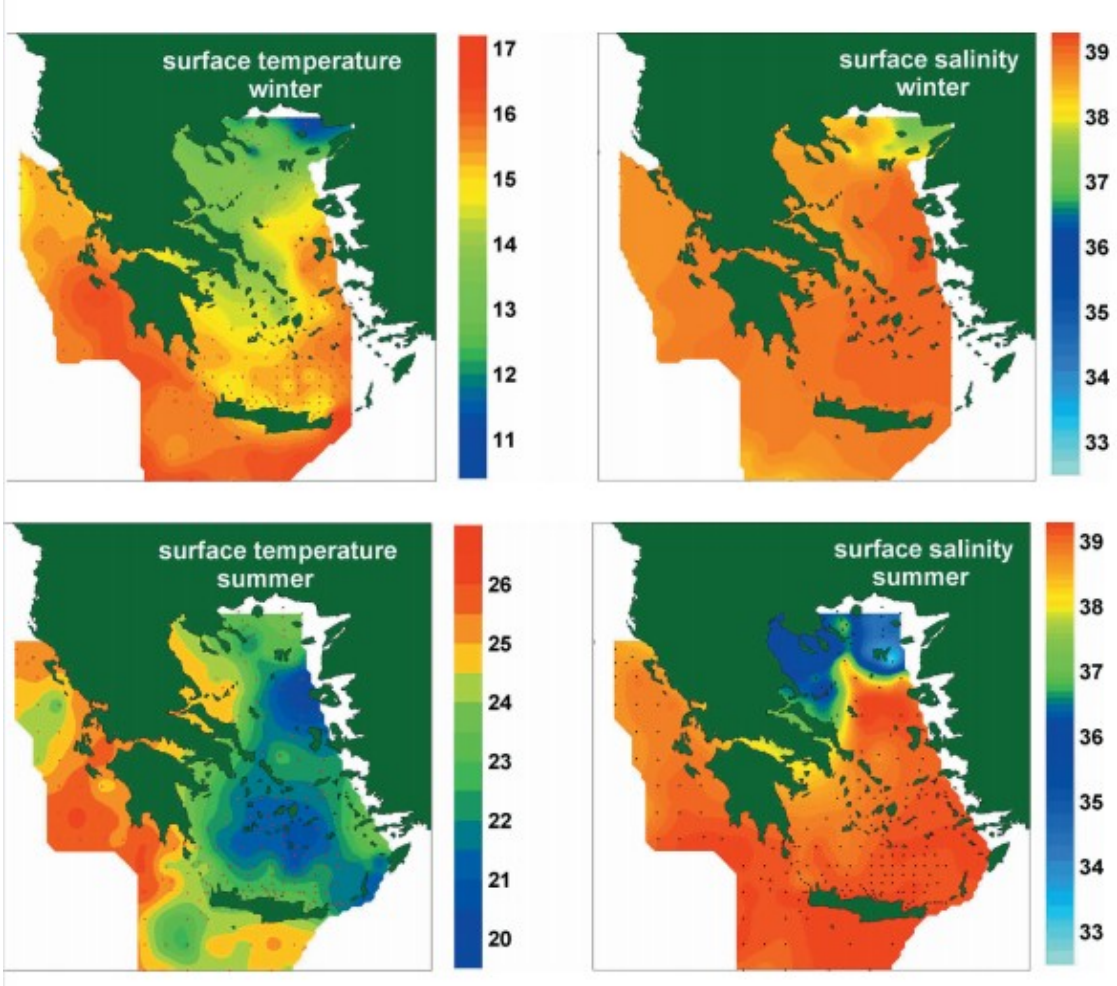
Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας παρουσιάζει επίσης την ίδια κατανομή το χειμώνα. Ωστόσο, σε εποχιακή χρονική κλίμακα, υπάρχει μία σημαντική αλλαγή στην κυκλοφορία του Αιγαίου, η οποία ενδέχεται να παίζει σημαντικό ρόλο, όχι μόνο στις υδρογραφικές ιδιότητες της θάλασσας, αλλά στο οικοσύστημα της. Η αλλαγή αυτή η οποία λαμβάνει χώρα κάθε χρόνο στο Αιγαίο, είναι οι παράκτιες αναβλύσεις στα ενδιάμεσα νερά και αποδεικνύεται κάθε καλοκαίρι κατά μήκος του ανατολικού Αιγαίου, ως απάντηση στην εντατική πνοή των Ετησίων ανέμων (Μελτέμια, βόρειοι άνεμοι) κυρίως κατά τη διάρκεια των μηνών Ιουλίου και Αυγούστου. Τα μελτέμια εκτοπίζουν τα ζεστά επιφανειακά ύδατα προς τα δυτικά του Αιγαίου (σπειροειδές του EKMAN), λόγω της περιστροφής της Γης και της φαινόμενης δύναμης Coriolis. Αυτά τα νερά αντικαθίστανται από τα ενδιάμεσα νερά (κρύα νερά) τα οποία ανεβαίνουν στην επιφάνεια της θάλασσας. Έτσι, κάθε καλοκαίρι, η κυρίαρχη ετήσια ζωνική θερμοκρασιακή βαθμίδα, αντικατοπτρίζει την πορεία των υδάτων της Μαύρης Θάλασσας και έχει αντικατασταθεί από μία μεσημβρινή βαθμίδα αντανακλώντας τις αναβλύσεις των ενδιάμεσων υδάτων κατά μήκος του ανατολικού Αιγαίου (Εικόνα 8.13).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω της παρούσας ενότητας, ο ρόλος των επιφανειακών ρευμάτων είναι σημαντικός στη διαμόρφωση της χωρικής κατανομής της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας (Sea Surface Temperature, SST). Η συνολική εποχική πρότυπη χωρική κατανομή των τιμών της SST στο Αιγαίο αποτυπώνει τις αλλαγές της επιφανειακής θερμοκρασίας οι οποίες εξαρτώνται από: α) την διασπορά των ψυχρότερων νερών της Μαύρης Θάλασσας, β) από τη μεταφορά των θερμότερων υδάτων της Λεβαντίνης, γ) τις παράκτιες αναβλύσεις που οφείλονται στις Ετησίες και δ) σε μικρότερο βαθμό (αλλά σημαντικό εξετάζοντας τοπικά κάποιες περιοχές) των ποτάμιων εκροών [165].

Η SST στην περιοχή του Αιγαίου κυμαίνεται χωρικά και εποχικά, με μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες να κυμαίνονται από τους 8°C, στα βόρεια κατά τη διάρκεια του χειμώνα, έως τους 26 °C, στα νότια στην περιοχή βόρεια της Κρήτης προς τα τέλη της καλοκαιρινής περιόδου [165]. Επιπροσθέτως, οι [166], ανέφεραν ότι το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας του Αιγαίου ήταν σε διαδικασία ψύξης μεταξύ των ετών 1985 και 1992, ενώ μία γενικότερη αύξηση της θερμοκρασίας επετεύχθη σε ολόκληρη τη λεκάνη του Αιγαίου μετά το 1992.

Μέγιστη τάση αύξησης της SST παρατηρήθηκαν στο Κρητικό Πέλαγος, με βάση δορυφορικές παρατηρήσεις σχετικά με την κατανομή της SST. Η υψηλότερη τάση θέρμανσης παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (0,068 °C/έτος) και του φθινοπώρου (0,050 °C/έτος) σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές του έτους (άνοιξης= 0,037 °C/έτος και χειμώνας= 0,026 °C/έτος) για την περιοχή του Αιγαίου. Η υψηλότερη εποχική θετική ανωμαλία της SST παρατηρήθηκε το καλοκαίρι του 2002 και ήταν κατά 1 °C υψηλότερη από τη μέση τιμή για της καλοκαιρινής περιόδου από το 1985 έως το

2008 [166]. Αξιοσημείωτο είναι ότι από το 2002 και μετά καταγράψαμε ένα σημαντικό αριθμό υδροσιφώνων στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους (περισσότερους από 40).



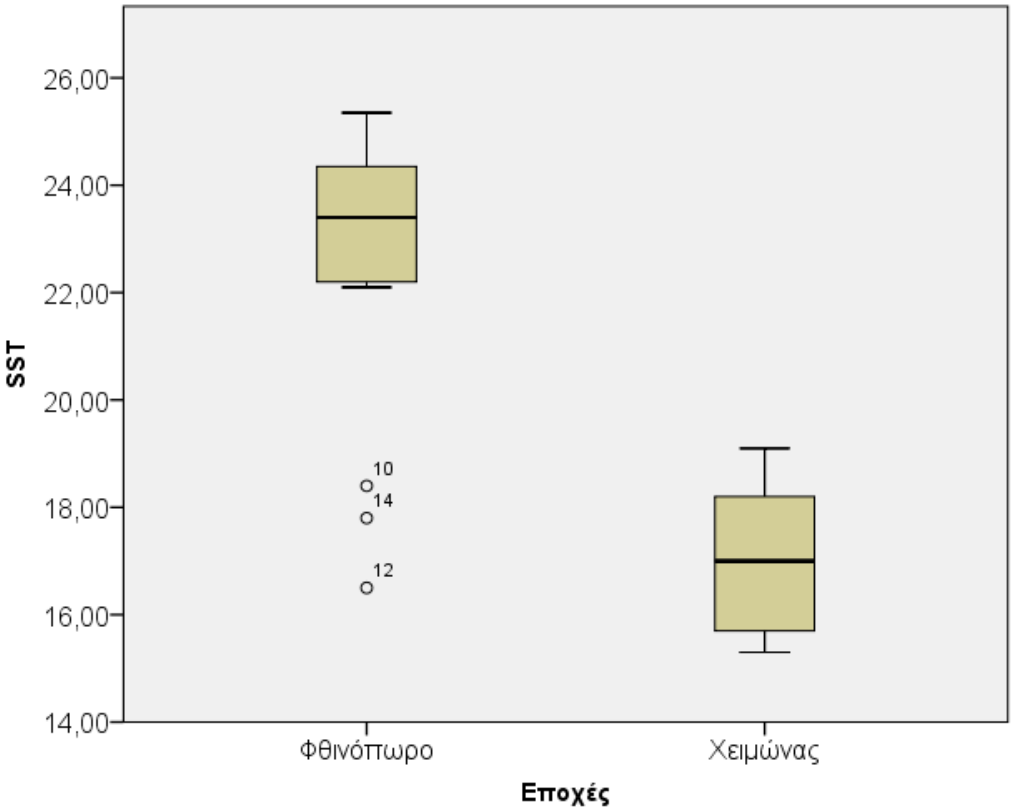
Εικόνα 8.13: Τυπική χωρική κατανομή της θερμοκρασίας (αριστερές εικόνες) και της αλατότητας (δεξιές εικόνες), κατά τη διάρκεια του χειμώνα (πάνω εικόνες) και του καλοκαιριού (κάτω εικόνες) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του προγράμματος POEM [154]. Οι κλίμακες στις εικόνες κατανομής της θερμοκρασίας είναι διαφορετικές.

Τα τελευταία χρόνια αρκετές μελέτες σχετίζονται με τη δημιουργία υδροσιφώνων πάνω από λίμνες, λιμνοθάλασσες και γενικότερα θαλάσσιες περιοχές προτείνοντας και μεθόδους/τεχνικές πρόγνωσης. Ο [167] ανέπτυξε μία τεχνική πρόγνωσης για την εμφάνιση υδροσιφώνων βασιζόμενος σε ένα περιορισμένο δείγμα δεδομένων για την λίμνη Erie (μιας από τις μεγαλύτερες λίμνες του συμπλέγματος Great Lakes στη Βόρεια Αμερική. Ο [121] χρησιμοποιώντας μία μεγάλη βάση δεδομένων εμφάνισης υδροσιφώνων εξέτασε 14 παράγοντες οι οποίοι πιθανώς να συνδέονται/συσχετίζονται με την εμφάνιση των υδροσιφώνων. Από το σύνολο αυτών δύο παράγοντες υπολογισμού της ευστάθειας (η διαφορά θερμοκρασίας και σημείου δρόσου και το πάχος του ανεπτυγμένου νέφους) και μία μεταβλητή του ανέμου (στο επίπεδο των 850 hPa η ένταση θα πρέπει να είναι μικρότερη των 40 Knots) αποδείχθηκαν ιδιαίτερα σημαντικοί στη συσχέτιση εμφάνισης των υδροσιφώνων.

Οι [168] με τη χρήση δεδομένων μετεωρολογικού radar εντόπισαν πάνω από τις λίμνες και τις λιμνοθάλασσες της ΒΔ Πελοποννήσου, μία ασθενή ρηχή κυκλωνική κυκλοφορία με διατμητικό άνεμο στην κατώτερη ατμόσφαιρα (από την επιφάνεια έως το επίπεδο των 850 hPa) προμετωπικά ένας ψυχρού μετώπου που δημιούργησε σίφωνα ξηράς στην περιοχή της Μανωλάδας στις 25/03/2009 (η περίπτωση αναλύεται σε επόμενα

κεφάλαια). Οι [169] διατύπωσαν ότι οι αύρες των λιμνών είναι πιθανόν να δημιουργήσουν τις ιδανικές συνθήκες δημιουργίας σίφωνα στα χαμηλά επίπεδα του οριακού στρώματος, όταν επικρατεί ΝΔ ρεύμα μπροστά από ένα ψυχρό μέτωπο στις νοτιότερες περιοχές της Λίμνης Ontario στη Βόρεια Αμερική. Η διαφορά θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μεταξύ των ρηχών θαλάσσιων υδάτων και των αλούβιων επιφανειών (οι αλούβιες επιφάνειες θερμαίνονται πολύ πιο γρήγορα και διατηρούν την υψηλή θερμοκρασία) κατά τη διάρκεια συνοπτικών ημερών με ΝΔ ρεύμα μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία γραμμής συγκλίσεων. Η επιπρόσθετη σύγκλιση υγρών αερίων μαζών και ο στροβιλισμός στα χαμηλότερα επίπεδα μπορούν να «πυροδοτήσουν» τη δημιουργία σίφωνα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η σύγκλιση από μόνη της κοντά στο έδαφος δύναται να ενισχύσει τον κατακόρυφο στροβιλισμό και την ενίσχυση του σίφωνα, ενώ δεν απαιτείται η ύπαρξη του καθοδικού ρεύματος στο πίσω μέρος της καταιγίδας που απαιτείται για τη γέννηση του σίφωνα.

Στην Εικόνα 8.14 παρουσιάζεται η εποχική διακύμανση (φθινόπωρο, χειμώνας) της SST στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 2005-2012, ενώ στους Πίνακας 8-4 και 8-5 αποτυπώνονται οι μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές καθώς επίσης και η τυπική απόκλιση της SST για τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο (αντίστοιχα) Στους πίνακες αυτούς αποτυπώνονται επίσης και οι διαφορές της SST με τα βασικά κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας και οι οποίες αποτυπώνονται με διαγράμματα διακύμανσης τιμών στην Εικόνα 8.1. Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο η SST κυμαίνεται από 25,35 °C έως 16,50 °C με τη μέση τιμή στους 22,77 °C. Σε αντίθεση με τη φθινοπωρινή περίοδο, κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου η SST είχε μέγιστη τιμή τους 19,10 °C ενώ η ελάχιστη τιμή ήταν οι 15,3 °C. Η μέση τιμή της χειμερινής περιόδου είναι κατά 3,7 °C βαθμούς χαμηλότερη από τη μέση τιμή της φθινοπωρινής περιόδου και είναι ίση με 19,1 °C.



Εικόνα 8.14: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (SST; °C) στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου για τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων, για την περίοδο 2005-2012.

Πίνακας 8-4: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) και οι διαφορές της SST από τη θερμοκρασία αέρα στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

σε °C	SST	SST-T_{500}	SST-T_{700}	SST-T_{850}	SST-T_{925}	SST-T_{1000}
Μέση	22,77	36,61	21,03	12,68	7,91	2,19
Μέγιστη	25,35	38,50	24,60	15,70	9,90	4,30
Ελάχιστη	16,50	34,25	15,95	10,00	5,80	-0,40
Τυπ.Απόκλ.	2,82	1,58	2,27	1,96	1,50	1,18

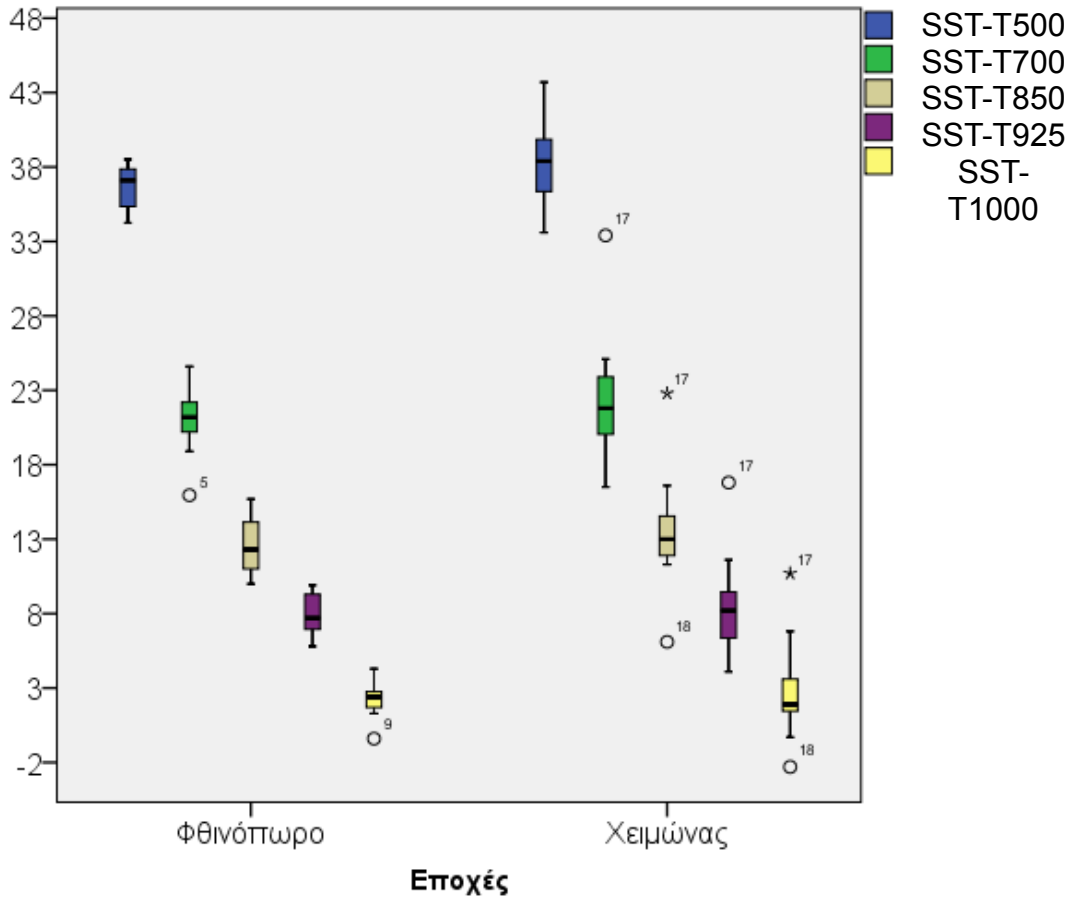
Πίνακας 8-5: Μέσες, μέγιστες, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας (SST) και οι διαφορές της SST από τη θερμοκρασία αέρα στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο, κατά τη χειμερινή περίοδο.

σε °C	SST	SST-T_{500}	SST-T_{700}	SST-T_{850}	SST-T_{925}	SST-T_{1000}
Μέση	16,91	38,45	22,45	13,57	8,52	2,87
Μέγιστη	19,10	43,70	33,40	22,80	16,80	10,70
Ελάχιστη	15,30	33,60	16,50	6,10	4,10	-2,30
Τυπ.Απόκλ.	1,47	3,05	4,39	4,06	3,48	3,48

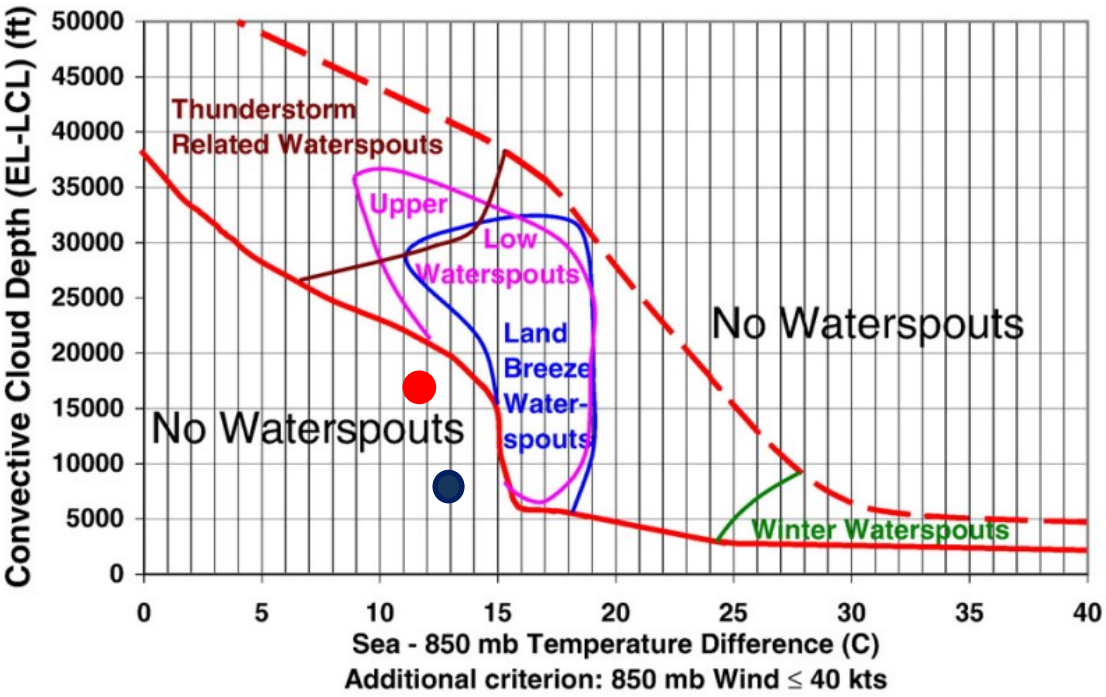
Εξετάζοντας τη μέση διαφορά της SST με τις μέσες θερμοκρασίες στα βασικά επίπεδα της ατμόσφαιρας αποτυπώνεται μία σχεδόν σταθερή τιμή διαφοράς θερμοκρασίας τόσο για τη φθινοπωρινή όσο και για την χειμερινή περίοδο του έτους στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου και σε διαφορετικά ατμοσφαιρικά επίπεδα (Εικόνα 8.15). Το ίδιο σταθερό βήμα των διαφορών το καταγράψαμε και στη διαφορά της θερμοκρασίας των 1000 hPa με τα υπόλοιπα βασικά επίπεδα της ατμόσφαιρας. Η μέση διαφορά του στρώματος SST-T_{500} είναι 36,61 °C για το φθινόπωρο και 38,45 °C για το χειμώνα, με τη μέση εποχική διαφορά να είναι ίση με 1,84 °C. Στους 1,42 °C υπολογίστηκε η μέση εποχική διαφορά του στρώματος SST-T_{700} καθώς η μέση τιμή της διαφοράς για τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο υπολογίστηκε σε 21,03 °C και 22,45 °C αντίστοιχα. Η μέση εποχική διαφορά της SST με τις θερμοκρασιακές τιμές των χαμηλότερων βαρομετρικών επιπέδων (SST-T_{850} και SST-T_{925}) υπολογίστηκε σε 0,89 °C και σε 0,61 °C. Στα ίδια χαμηλά επίπεδα των 0,6 °C κυμάνθηκε και η μέση εποχική διαφορά του στρώματος SST-T_{1000}. Οι θερμοκρασιακές διαφορές της SST και των κατώτερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων θα μπορούσαμε να τις χαρακτηρίσουμε ως αναμενόμενες λόγω της συσχέτισης αλλά και της επίδρασης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με τις θερμοκρασιακές τιμές της κατώτερης ατμόσφαιρας.

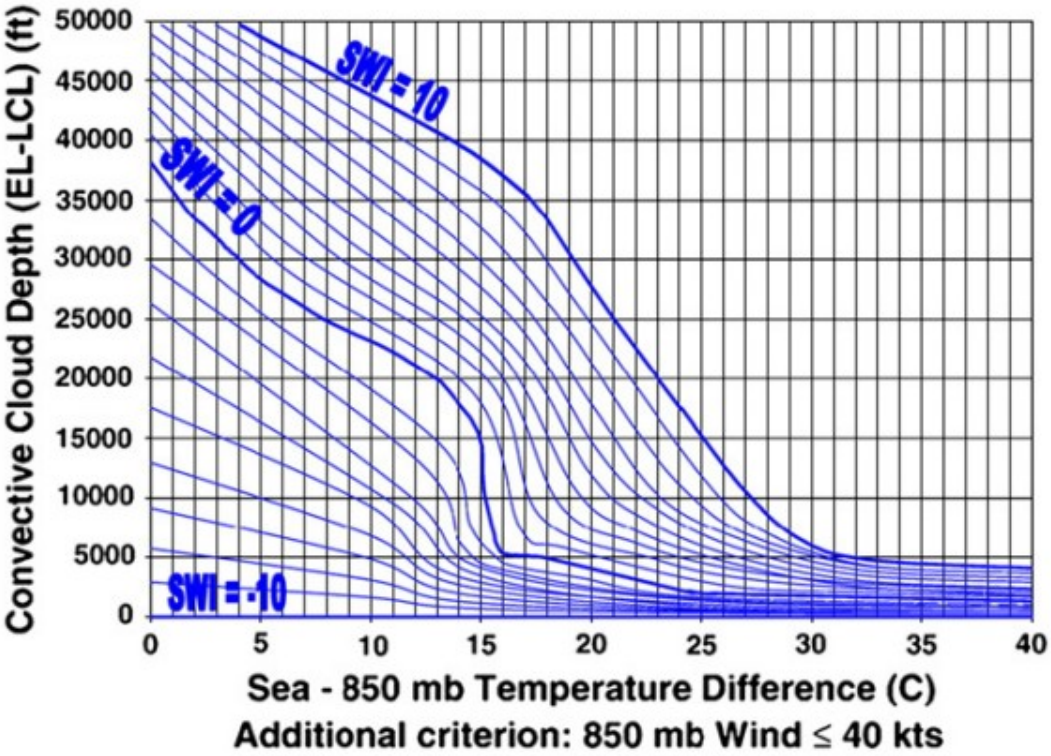
Οι μέσες εποχικές τιμές των διαφορών EL και LCL, ταχύτητας ανέμου στα 850 hPa και διαφοράς SST-T_{850} δεν επιβεβαιώνουν πλήρως το νομόγραμμα του Szilagyi. Ωστόσο υπάρχουν ορισμένα γεγονότα που επιβεβαιώνονται καθώς οι ατμοσφαιρικές παράμετροι τους ανήκουν στο ανώτερο όριο της εποχικής διακύμανσης για κάθε παράμετρο του νομογράμματος Szilagyi. Μελέτες έχουν παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό την αξιολόγηση της προγνωστικής του δυνατότητας, όπως είναι η περιοχή της Αδριατικής, της Βαλτικής Θάλασσας, του Ιονίου και του Αιγαίου Πελάγους [152], [170], [92], [171]. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης εφαρμογής του νομογράμματος για την περίοδο 2002-2006 για την περιοχή του Ιονίου και του Αιγαίου αποτύπωσαν 86% επαλήθευση για 14 γεγονότα στο Ιόνιο και 75% επαλήθευση για 30 γεγονότα υδροσίφωνα στο Αιγαίο καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης 2002-2006. Ωστόσο σε πρόσφατη μελέτη οι [152], υπολόγισαν τους δείκτες SWI για τις ημέρες με πολλαπλά γεγονότα υδροσίφωνα (και άρα ημέρες όπου οι ατμοσφαιρικές συνθήκες για μεγαλύτερη χρονική περίοδο της ημέρας θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ιδανικές/πρότυπες

για την εμφάνιση υδροσιφώνων) για την περιοχή του Αιγαίου και του Ιονίου. Στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων ο δείκτης SWI αποτύπωσε τιμές μικρότερες του 10, το οποίο χαρακτηρίζεται ως το κατώφλι για την εμφάνιση υδροσίφωνα με βάση το νομόγραμμα Szilagyi. Τα ίδια αποτελέσματα αποτυπώθηκαν και τις περιπτώσεις εμφάνισης υδροσιφώνων στη Βαλτική Θάλασσα, ενώ εξαίρεση αποτέλεσε η περιοχή τα Great Lake (περιοχή όπου οι ατμοσφαιρικές συνθήκες των υδροσιφώνων αποτέλεσαν πρωτογενή δεδομένα για την ανάπτυξη του νομογράμματος).



Εικόνα 8.15: Θηκογράμματα εποχικής διακύμανσης της διαφοράς (°C) της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (SST) από τη θερμοκρασία αέρα στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα της ατμόσφαιρας (500 hPa, 700hPa, 850hPa, 925 hPa και 1000hPa), κατά τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου 2005-2012.





Εικόνα 8.16: Το νομόγραμμα του Szilagyi για την πρόγνωση των υδροσιφώνων (πάνω); με τον κόκκινο κύκλο συμβολίζουμε τις μέσες τιμές για τη φθινοπωρινή περίοδο και με το μπλέ κύκλο τις μέσες τιμές των ημερών εάν εφαρμόσουμε τις παραμέτρους των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο. Στην κάτω εικόνα αποτυπώνεται η τιμή του δείκτη υδροσιφώνων Szilagyi (Szilagyi Waterspout Index, SWI).

9 Αριθμητικές προσομοιώσεις γεγονότων σίφωνα με τη χρήση αριθμητικού μοντέλου καιρού

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χρήσης αριθμητικών μοντέλων στην προσομοίωση των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών κατά την εκδήλωση σίφωνα ξηράς. Το αριθμητικό μοντέλο WRF (Weather and Research Forecasting) είναι ένα αριθμητικό σύστημα πρόγνωσης καιρού συστήματος που έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί τόσο την έρευνα της μετεωρολογικής επιστήμης, όσο και σε επιχειρησιακή λειτουργία με σκοπό την πρόγνωση των ατμοσφαιρικών καταστάσεων των Μετεωρολογικών Υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα του WRF αφορούν προϊόντα προσομοίωσης και πρόγνωσης της ατμόσφαιρας μέσω της υπολογιστικής δύναμης του μοντέλου, καθώς το WRF αποτελεί ένα σύνολο λογισμικών διεργασιών.

Το WRF διαθέτει δύο δυναμικούς (υπολογιστικούς) πυρήνες (ή λύτες) το ARW (Advanced Research WRF) και το NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model). Αποτελείται επίσης από ένα σύστημα αφομοίωσης δεδομένων και μία αρχιτεκτονική λογισμικού που επιτρέπει τον παράλληλο υπολογισμό και την επεκτασιμότητα του συστήματος. Το μοντέλο προσφέρει ένα ευρύ φάσμα μετεωρολογικών εφαρμογών σε κλίμακες που κυμαίνονται από μερικά m έως χιλιάδες km. Ωστόσο η υψηλή διακριτική ικανότητα απαιτεί κάθε φορά υπολογιστικούς πόρους οι οποίοι δεν είναι ακόμη και σήμερα διαθέσιμοι σε πολλά ερευνητικά ιδρύματα.

Η ανάπτυξη του WRF ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και ήταν μία συνεργασία των Αμερικανικών Υπηρεσιών: του Εθνικού Κέντρου Ατμοσφαιρικών Ερευνών (National Center for Atmospheric Research, NCAR), της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), τα Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόγνωσης (National Centers for Environmental Prediction, NCEP), το Εργαστήριο Συστημάτων Καιρού (Forecast Systems Laboratory, FSL), η Μετεωρολογική Υπηρεσία της Πολεμική Αεροπορία (Air Force Weather Agency, AFWA), το Ερευνητικό Εργαστήριο του Ναυτικού (Naval Research Laboratory, NSL) το Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα (University of Oklahoma, UoO) και η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration, FAA).

Το WRF επιτρέπει στους ερευνητές τη δυνατότητα να παράγουν προσομοιώσεις έχοντας ως δεδομένα είτε πραγματικά ατμοσφαιρικές καταστάσεις (παρατηρήσεις, αναλύσεις) ή εξιδανικευμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Το WRF παρέχει στην επιχειρησιακή πρόγνωση μία ευέλικτη και ισχυρή πλατφόρμα, ενώ προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στην κατανόηση των φυσικών διεργασιών της ατμόσφαιρας και στην αφομοίωσή τους. Το WRF είναι σήμερα σε επιχειρησιακή χρήση στο NCEP αλλά και άλλα κέντρα πρόγνωσης διεθνώς.

Το WRF προσφέρει δύο δυναμικούς λύτες για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών εξισώσεων που διέπουν την ατμόσφαιρα. Το WRF-ARW στηρίζεται από την πανεπιστημιακή κοινότητα και την κοινότητα του NCAR Mesoscale and Microscale Meteorology Division. Ο λύτης WRF - NMM βασίστηκε στο μοντέλο ETA και αργότερα στο μη υδροστατικό μοντέλο, που αναπτύχθηκε στο NCEP. Στην παρούσα διατριβή όλες οι προσομοιώσεις έγιναν με τη χρήση του ARW καθώς παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να μεταβάλει αρκετές παραμέτρους του μοντέλου που αφορούν τη φυσική, το σχήμα ανάπτυξης των κατακόρυφων νεφών και άλλες σημαντικές παραμέτρους-διεργασίες.

9.1 Οι θερμοδυναμικοί δείκτες αστάθειας στη δημιουργία σίφωνα ξηράς

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 σημαντικές μελέτες και εργασίες ολοκληρώθηκαν ως τις μέρες μας (ή είναι ακόμη σε εξέλιξη) και αφορούν τη χρήση διαγνωστικών παραμέτρων οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην πρόγνωση ως ένδειξη της ισχυρής ανάπτυξης ή δημιουργίας ισχυρών καταιγίδων ή ακραίων φαινομένων. Οι επιχειρησιακοί προγνώστες με τη σειρά τους χρησιμοποιούν αυτούς τους δείκτες στη διαδικασία της μεσοπρόθεσμης ή ακόμη της βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης.

Οι διαγνωστικές παράμετροι (δείκτες) έχουν μία μακρά ιστορία στη συσχέτιση των ατμοσφαιρικών/θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας και της πρόγνωσης του καιρού ([172], [173]) καθώς οι τιμές τους αντιπροσωπεύουν τη δυνατότητα να συνοψίζουμε τη δυναμική της ατμόσφαιρας σε έναν αριθμό λαμβάνοντας υπόψη σημαντικά κινηματικά και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των ακραίων συνθηκών που δημιουργούν ισχυρές καταιγίδες. Οι [174] ανέπτυξαν τη χρησιμότητα αυτών στην πρόγνωση ισχυρών καταιγιδοφόρων νεφών και εισήγαγαν ένα σχήμα ταξινόμησης των μεταβλητών : 1) απλές παρατηρούμενες μεταβλητές, 2) απλές υπολογιζόμενες μεταβλητές, 3) παράγωγα ή ολοκληρώματα (στο χρόνο) παρατηρούμενων ή υπολογιζόμενων μεταβλητών, 4) συνδυασμός μεταβλητών και 5) δείκτες αστάθειας. Στο προηγούμενο Κεφάλαιο παραθέσαμε μία σειρά από θερμοδυναμικούς δείκτες που αφορούν παρατηρούμενες και υπολογιζόμενες παραμέτρους (μεταβλητές). Ωστόσο σημαντικά και αναπάντητα παραμένουν ορισμένα ερωτήματα για το αν αυτές οι διαγνωστικές παράμετροι είναι ικανές στην πρόγνωση της δημιουργίας σίφωνα ή ποιοι άλλοι παράγοντες καθορίζουν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που ευνοούν τη δημιουργία του σίφωνα;

Για να μπορέσουμε να απαντήσουμε στα παραπάνω ερωτήματα θα πρέπει να εξετάσουμε ποιες παράμετροι έχουν αναγνωριστεί από προηγούμενες μελέτες/έρευνες ως απαραίτητα «συστατικά» της δημιουργίας σίφωνα. Η ιδέα των «συστατικών» εισήχθη από τους [175], [176] και [130], μπορούν να χαρακτηριστούν ως απαραίτητα αλλά όχι ικανά (ή επαρκή) συστατικά για την εκδήλωση του φαινομένου. Στην αρχή η καταιγίδα χρειάζεται δύο βασικά συστατικά: 1) CAPE και 2) ανοδικές κινήσεις (lift). Με τον όρο lift αναφερόμαστε στην επαρκή αρχική κατακόρυφη κίνηση που οδηγεί στην κατακόρυφη ανάπτυξη και μπορεί να επιτευχθεί μέσω των θερμικών διεργασιών ή μέσω ώθησης λόγω συνοπτικών αιτιών (μέτωπα) ή από την επίδραση της τοπογραφίας (ανολισθήσεις). Όσον αφορά τον όρο CAPE αρκετοί ερευνητές επισήμαναν ότι οι υψηλές τιμές του CAPE δεν είναι ικανές στην ανάπτυξη σίφωνα ([177], [178], [179]). Το CAPE (Πίνακας 9-1) αντιπροσωπεύει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για ένα δείγμα αέρα ώστε να ανέλθει επιταχυνόμενο κατακόρυφα. Το CAPE είναι το θετικό εμβαδόν στο τεφίγραμμα της ραδιοβόλισης μεταξύ του ανερχόμενου δείγματος αέρα κατά μήκος της υγρής αδιαβατικής καμπύλης και της καμπύλης της θερμοκρασίας από το LFC έως το EL. Επίσης, ως MCAPE ορίζεται το CAPE λαμβάνοντας υπόψη το δείγμα με τη μέγιστη θ_e θερμοκρασία. Εκτός του CAPE, ο [180] ανέφερε ότι η σχετική ελικότητα της καταιγίδας (Storm Relative Helicity, SRH) (Πίνακας 9-1) στην κατώτερη ατμόσφαιρα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση των καταιγίδων, σε καταιγίδες χωρίς την εμφάνιση σιφώνων και σε καταιγίδες με ασθενές ή ισχυρό σίφωνα. Ο SRH είναι ένας δείκτης εκτίμησης της δυναμικότητας της καταιγίδας ώστε να αποκτήσει ένα περιστρεφόμενο ανοδικό ρεύμα δίνοντας ένα κατακόρυφο προφίλ του διατμητικού ανέμου θεωρώντας πάντα ότι η καταιγίδα είναι ικανή να αναπτυχθεί. Λαμβάνει υπόψη την επίδραση της σχετικής ταχύτητας της καταιγίδας και του οριζόντιου στροβιλισμού (ο οποίος δημιουργείται από τον κατακόρυφο διατμητικό άνεμο του οριζόντιου ανέμου) μέσα στο στρώμα της καταιγίδας.

Οι [183], [182], διατύπωσαν ότι ο ισχυρός διατμητικός άνεμος στα χαμηλότερα στρώματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας καλός ενδείκτης για την εμφάνιση σιφώνων. Ο δείκτης ενεργειακής ελικότητας (Energy Helicity Index, EHI) επαληθεύτηκε από τον [180] βασισμένος σε τρεις κατηγορίες των εγγύτερων ραδιοβολίσεων συσχετιζόμενες με νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και πολυκυτταρικές καταιγίδες με ή χωρίς φαινόμενα σίφωνα. Καθώς ένα περιστρεφόμενο ανοδικό ρεύμα μπορεί να δημιουργηθεί σε περιβάλλον με ασθενές CAPE, εάν ο κατακόρυφος διατμητικός άνεμος και σχετική εισροή αέρα στα χαμηλά στρώματα της καταιγίδας είναι ισχυρά, ο δείκτης EHI (Πίνακας 9-1), συνδυάζει τον δείκτη CAPE και τον SRH. Οι τιμές του αποτυπώνουν τη δυναμικότητα που έχει μία καταιγίδα για την περαιτέρω ανάπτυξη της σε υπερ-κυτταρική καταιγίδα και την ανάπτυξη μέσο-κυκλωνικής κυκλοφορίας (mesocyclone).

Ο δείκτης BRN (Πίνακας 9-1) χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει τη σχέση μεταξύ ενέργειας της αέριας μάζας για ανολίσθηση και του κατακόρυφου διατμητικού ανέμου [185] λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά μεταξύ των μέσων ανέμων στα 6000 και 500 m καθ' ύψος. Ο δείκτης BRN περιλαμβάνει το δείκτη CAPE και υποδιαιρείται με παραμέτρους του διατμητικού ανέμου (μέση ταχύτητα), τόσο για το οριακό στρώμα, όσο και για τα πρώτα 6 km της ατμόσφαιρας. Οι [184] διατύπωσαν ότι ο δείκτης BRN αποτελεί έναν ολικό δείκτη ο οποίος υπολογίζει την επίδραση των κατακόρυφων διατμητικών ανέμων σε καταιγίδες μιας και δεν λαμβάνει υπόψη του τη στροφή του προφίλ του ανέμου καθ' ύψος. Ωστόσο, οι [148] έδειξαν ότι χρησιμοποιώντας αριθμητικές προσομοιώσεις σε κλίμακα νέφους ότι ο BRN μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο διαχωρισμό μεταξύ υπερκυτταρικών και πολυκυτταρικών καταιγίδων με τα κατώφλια του BRN να κυμαίνονται από 10 έως 50 για τις υπερκυτταρικές καταιγίδες και την τιμή του BRN>35 για τις πολύ-κυτταρικές καταιγίδες. Ωστόσο θα πρέπει να τονίσουμε δεν υπάρχει κάποιο διακριτό όριο για το διαχωρισμό τους καθώς τα όρια υπερκαλύπτονται για το διαχωρισμό τους. Η επιλογή των παραπάνω δεικτών/παραμέτρων είναι σε συνέπεια με προηγούμενες όπου χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση δημιουργίας σιφώνων ([184], [185], [186], [187], [188], [189], [190], [191], [192]).

Πίνακας 9-1: Οι δείκτες αστάθειας που χρησιμοποιούνται στην πρόγνωση ισχυρών καταιγίδων. Στις εξισώσεις, α παριστάνει το συγκεκριμένο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα και ο δείκτης lp παριστάνει μία τιμή που σχετίζεται με το ανερχόμενο δείγμα αέρα από το LFC στο EL επίπεδο. Για τον BRN, U_0 παριστά την ταχύτητα του μέσου διανύσματος στο στρώμα 0–6 km και το U παριστά την ταχύτητα του μέσου διανύσματος στο στρώμα από την επιφάνεια έως τα 500 m ενώ στο δείκτη SRH το C παριστά το διάνυσμα κίνησης της καταιγίδας.

Δείκτης	Εξίσωση	Αναφορά
Convective Potential Available Energy (CAPE) (J/kg)	$CAPE = \int_{LFC}^{EL} (\alpha_{lp} - \alpha) dp$	[11]
Bulk Richardson Number (BRN) (m^2/s^2)	$BRN = \frac{CAPE}{\frac{1}{2}(\overline{U} - U_0)^2}$	[148]
Storm Relative Helicity (SRH) (m^2/s^2)	$SRH = -\int_z^{z_0} k \bullet \left[(V_h - c) \frac{\partial V_h}{\partial_z} \right] dz$	[193]
Energy Helicity Index (EHI)	$EHI = \frac{(CAPE)(SRH)}{160.000}$	[194]

9.2 Γεγονότα αριθμητικής προσομοίωσης εμφάνισης σιφώνων ξηράς και οι ρυθμίσεις του WRF

Η αριθμητική προσομοίωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών σε υψηλή χωρική διακριτικότητα (κλίμακα καταιγίδας) αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο και επιτρέπει την κατανόηση των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα και υπολογίζουν με μεγάλη ακρίβεια τις προαναφερόμενες μεταβλητές/παραμέτρους. Σκοπός των προσομοιώσεων ήταν να καθορίσουμε εάν το αριθμητικό μη υδροστατικό μοντέλο WRF ήταν ικανό να αποτυπώσει τη δημιουργία σίφωνα σύμφωνα πάντα με τους προαναφερόμενους δείκτες δημιουργίας σίφωνα, καθώς η υπολογιστική δύναμη δεν επαρκεί να αποτυπώσουμε σε πραγματικές συνθήκες (όχι ιδεατές) τη δημιουργία του.

Παρουσιάζεται η αριθμητική προσομοίωση 4 περιπτώσεων σιφώνων ξηράς ενώ η επιλογή τους βασίστηκε: 1) στην ένταση τους (T4-T5), 2) στη συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας (διέλευση ψυχρού μετώπου) και 3) στις σημαντικές υλικές ζημιές που προκάλεσαν. Τα γεγονότα σίφωνα έλαβαν χώρα τα τελευταία χρόνια στην περιοχή της Θήβας (Βοιωτία) στις 17 Νοεμβρίου 2007, στην περιοχή Βάρδα (Ηλείας) στις 25 Μαρτίου 2009, στην περιοχή Βράσταμα (Χαλκιδικής) στις 12 Φεβρουαρίου 2010 και στην περιοχή Βλυχός (Λευκάδα) στις 20 Σεπτεμβρίου 2011. Στην Εικόνα 9.1 παρουσιάζονται οι γεωγραφικές θέσεις των γεγονότων και οι αντίστοιχες ημερομηνίες εμφάνισής τους.

Η αριθμητική εξομοίωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μη υδροστατικού μοντέλου WRF με το δυναμικό πυρήνα επίλυσης ARW. Ανάλυση των δεικτών αστάθειας BRN, EHI, SRH και MCAPE πραγματοποιήθηκε για κάθε αριθμητική προσομοίωση. Η έκδοση του 3.2 του WRF-ARW μοντέλου ([195], [196]) χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις αριθμητικές προσομοιώσεις. Η υψηλή χωρική ανάλυση των εξομοιώσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση τριών πεδίων χωρικού προσδιορισμού, όπου το κάθε πεδίο υψηλής χωρικής ανάλυσης εμπεριέχεται στο μεγαλύτερο πεδίο.

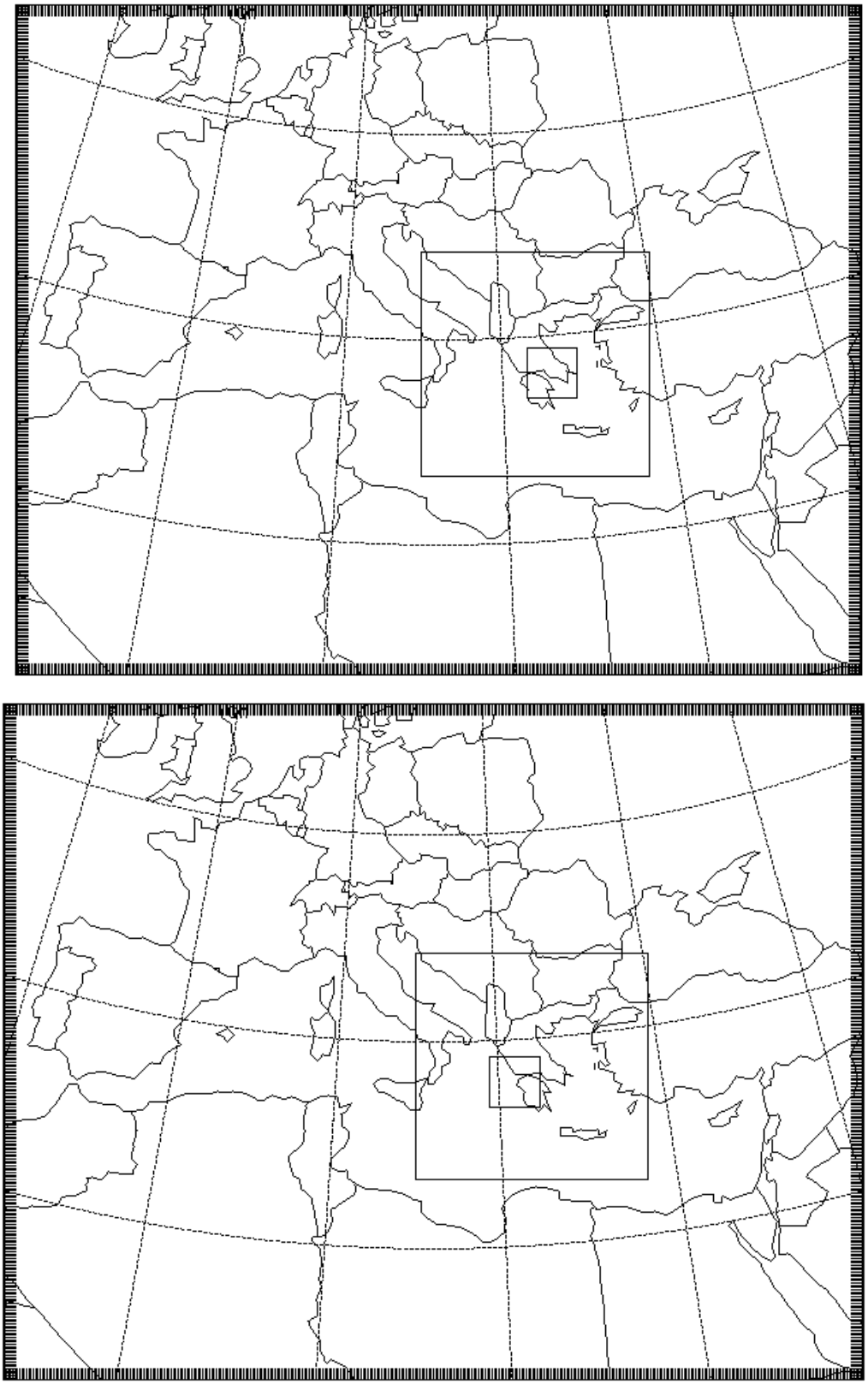
Η χωρική ανάλυση του πρώτου πεδίου χωρικής πληροφορίας (WRF-ARW D1) είναι 12 km με 381 x 301 σημεία πλέγματος. Η χωρική ανάλυση του δεύτερου πεδίου χωρικής πληροφορίας (WRF-ARW D2) είναι 4 km με 310 x 301 σημεία πλέγματος και η χωρική ανάλυση του τρίτου πεδίου χωρικής πληροφορίας (WRF-ARW D3) είναι 1,333 km με 202 x 202 σημεία πλέγματος.

Στις Εικόνα 9.2 και 9.3, παρουσιάζονται όλα τα περιεχόμενα πεδία χωρικής πληροφορίας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε αριθμητική προσομοίωση γεγονότος σίφωνα. Σε όλες τις προσομοιώσεις ως D1 ορίζεται η περιοχή της Ευρώπης και της βόρειας Αφρικής ενώ η περιοχή D2 καλύπτει την περιοχή που περιέχει τις νότιες Βαλκανικές χώρες, τις βόρειες ακτές της Αφρικής, την νότια Ιταλία και την ανατολική Τουρκία. Το τρίτο πεδίο χωρικής πληροφορίας ορίστηκε για κάθε γεγονός ξεχωριστά με τις συντεταγμένες εμφάνισης του σίφωνα στο κέντρο του D3 πεδίου χωρικής πληροφορίας.

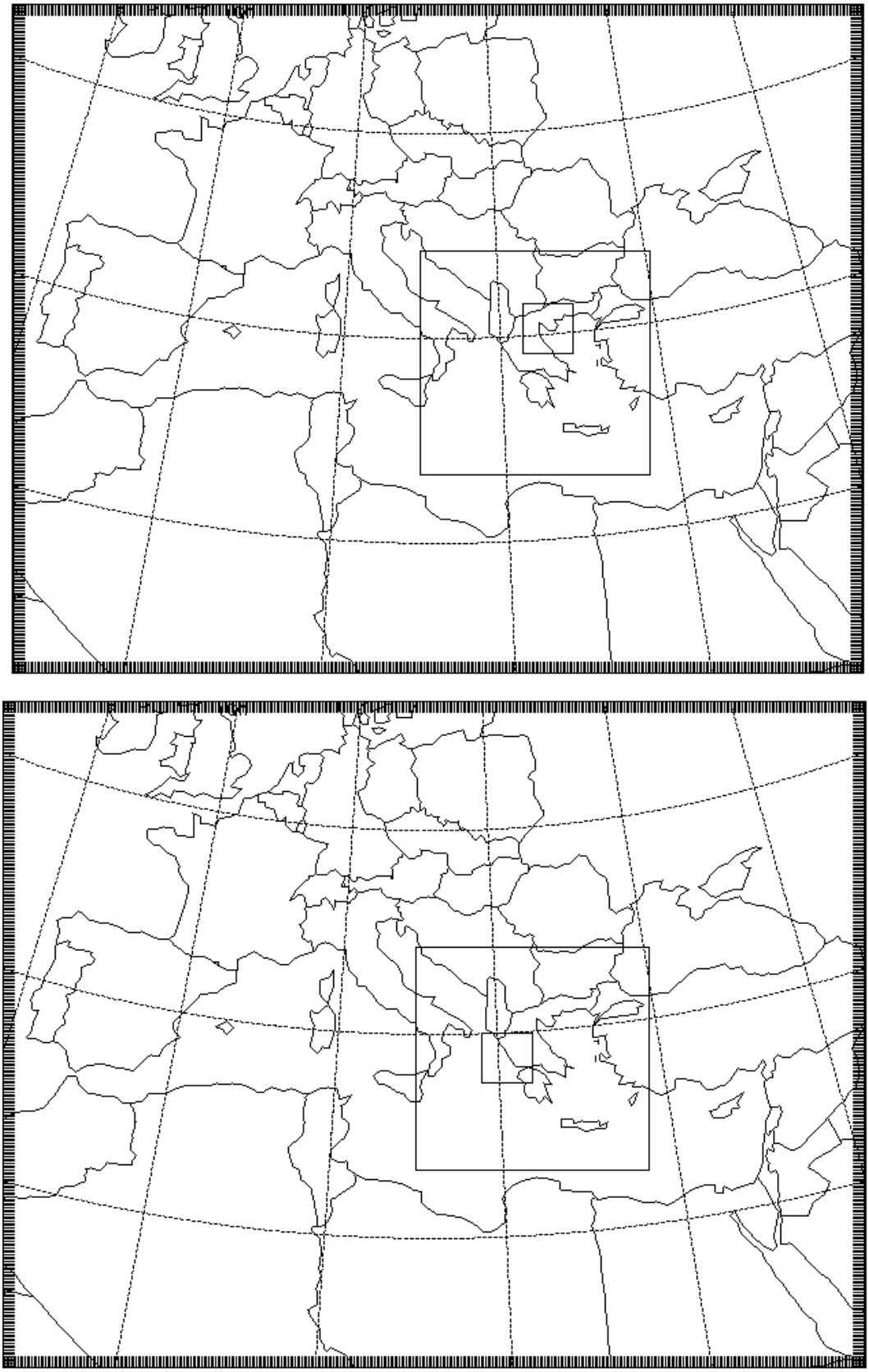
Στο κατακόρυφο επίπεδο 39 σίγμα-επίπεδα από την επιφάνεια έως τα 50 hPa χρησιμοποιήθηκαν με υψηλή κατακόρυφη ανάλυση στο οριακό στρώμα σε όλα τα πεδία (D1, D2 και D3). Επαν-αναλύσεις του ERA-Interim ([197]) από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμης Πρόγνωσης (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) με χωρική ανάλυση 0,75° x 0,75° χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής/αρχικών συνθηκών στα όρια του πεδίου D1.

Εικόνα 9.1: Οι γεωγραφικές θέσεις και οι ημερομηνίες των γεγονότων εμφάνισης σίφωνα ξηράς κατά τις αριθμητικές προσομοιώσεις.

Η επιλογή του παραπάνω κέντρου δεδομένων εισαγωγής έγινε για να διατηρήσουμε την ομοιογένεια των δεδομένων εισαγωγής για όλες τις περιπτώσεις αριθμητικής προσομοίωσης. Τα ανώτερα επίπεδα για τα οποία ήταν διαθέσιμα χωρικές πληροφορίες ήταν τα ατμοσφαιρικά επίπεδα των: 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50 hPa. Η θερμοκρασία επιφανείας θάλασσας σε όλες τις προσομοιώσεις προήλθε από τις χωρικές αναλύσεις του NCEP σε υψηλή χωρική ανάλυση των 0,083° x 0,083°. Τα ίδια δεδομένα SST χρησιμοποιήθηκαν και στις αναλύσεις των υδροσιφώνων στο προηγούμενο Κεφάλαιο.



Εικόνα 9.2: Τα τρία πεδία χωρικής πληροφορίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την αριθμητική προσομοίωση του σίφωνα ξηράς στις 17 Νοεμβρίου 2007 στην περιοχή της Θήβας (επάνω εικόνα) και στις 25 Μαρτίου 2009 στην περιοχή Βάρδα, Ηλείας (κάτω εικόνα). Στις εικόνες, το εξωτερικό πεδίο (περίγραμμα) είναι το πεδίο D1 χωρικής πληροφορίας, το 1^{ο} εσωτερικό πεδίο είναι το D2 πεδίο χωρικής πληροφορίας και το 2^{ο} εσωτερικό περίγραμμα είναι τα όρια του D3 πεδίου χωρικής πληροφορίας.



Εικόνα 9.3: Τα τρία πεδία χωρικής πληροφορίας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά την αριθμητική προσομοίωση του σίφωνα ξηράς στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή Βράστεμα, Χαλκιδικής (επάνω εικόνα) και στις 21 Σεπτεμβρίου 2011 στην περιοχή Βλυχού, Λευκάδος (κάτω εικόνα). Στις εικόνες το εξωτερικό πεδίο (περίγραμμα) είναι το πεδίο D1 χωρικής πληροφορίας, το 1° εσωτερικό πεδίο είναι το D2 πεδίο χωρικής πληροφορίας και το 2° εσωτερικό περίγραμμα είναι τα όρια του D3 πεδίου χωρικής πληροφορίας.

Σε όλες τις αριθμητικές προσομοιώσεις σε όλα τα πεδία χωρικής πληροφορίας χρησιμοποιήθηκαν: 1) το σχήμα Ferrier [198]) για τη μικροφυσική της ατμόσφαιρας, 2) το σχήμα RRTMG ([199]) για τη μεγάλου και μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία, 3) το σχήμα Monin-Obukhov (Eta) ([200]) για το επιφανειακό στρώμα και 4) το σχήμα Mellor-Yamada-Janjic level 2.5 ([201], [202]) για το οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας. Οι εδαφικές διεργασίες αναπαράχθηκαν με το σχήμα NOAH Unified Model ([203]) σε 4 στρώματα (0-10 cm, 10-40 cm, 40-100 cm και 100-200 cm). Το σχήμα ανάπτυξης νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης των Kain-Fritsch ([204]) χρησιμοποιήθηκε στα πεδία D1 και D2.

Οι αρχικές συνθήκες εισαγωγής ήταν οι 00:00 UTC για την περίπτωση σίφωνα στις 17 Νοεμβρίου 2007 (~ 23 ώρες πριν την εμφάνιση σίφωνα) και 12:00 UTC 24 Μαρτίου 2009 για την περίπτωση σίφωνα στις 25 Μαρτίου 2009 (~ 23 ώρες πριν την εμφάνιση σίφωνα). Για τα γεγονότα σίφωνα του 2010 και 2011, το μοντέλο έλαβε ως αρχικές συνθήκες της 00:00 UTC στις 12 Φεβρουαρίου 2010 (~ 16 ώρες πριν την εμφάνιση σίφωνα) και της 00:00 UTC στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 (~ 13 ώρες πριν την εμφάνιση σίφωνα). Οι αρχικές συνθήκες επιλέχθηκαν με σκοπό τη διερεύνηση της ικανότητας του μοντέλου να αποτυπώσει σε χρονική περίοδο μεγαλύτερη των 12 ωρών σημαντικές τιμές των διαγνωστικών παραμέτρων για την εμφάνιση σίφωνα.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου ορίστηκαν σε χρονικό βήμα των 20 min. Το χρονικό αυτό βήμα επιλέχθηκε ώστε να αποτυπώσουμε σε υψηλή χρονική ακρίβεια την μεταβολή στο χρόνο των μεταβλητών/παραμέτρων της ατμόσφαιρας. Επίσης, με αυτό το χρονικό βήμα έχουμε ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα της επίδρασης της συνοπτικής κυκλοφορίας σε σχέση με την τοπογραφία της περιοχής.

9.3 Ανάλυση συνοπτικών συνθηκών γεγονότων σίφωνα

Στην παρούσα υποενότητα παραθέτουμε μία σύντομη συνοπτική περιγραφή της ατμόσφαιρας αλλά και τις επιπτώσεις της εμφάνισης του σίφωνα σε κάθε αριθμητική προσομοίωση που προχωρήσαμε. Η συνοπτική περιγραφή αφορά τα βασικά ατμοσφαιρικά επίπεδα των 500 hPa από την αρχειοθήκη των επανα-αναλύσεων του ECMWF και της ΜΣΘ από τις αναλύσεις της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της Μ. Βρετανίας (United Kingdom MetOffice, UKMO). Στη συνέχεια για λόγους συντομίας με τον όρο TXX κωδικοποιούμε τα γεγονότα σίφωνα όπου T σημαίνει tornado και XX αντιστοιχεί στα δύο τελευταία ψηφία του έτους που εκδηλώθηκε (π.χ. T09 = ο σίφωνας ξηράς που εκδηλώθηκε το 2009).

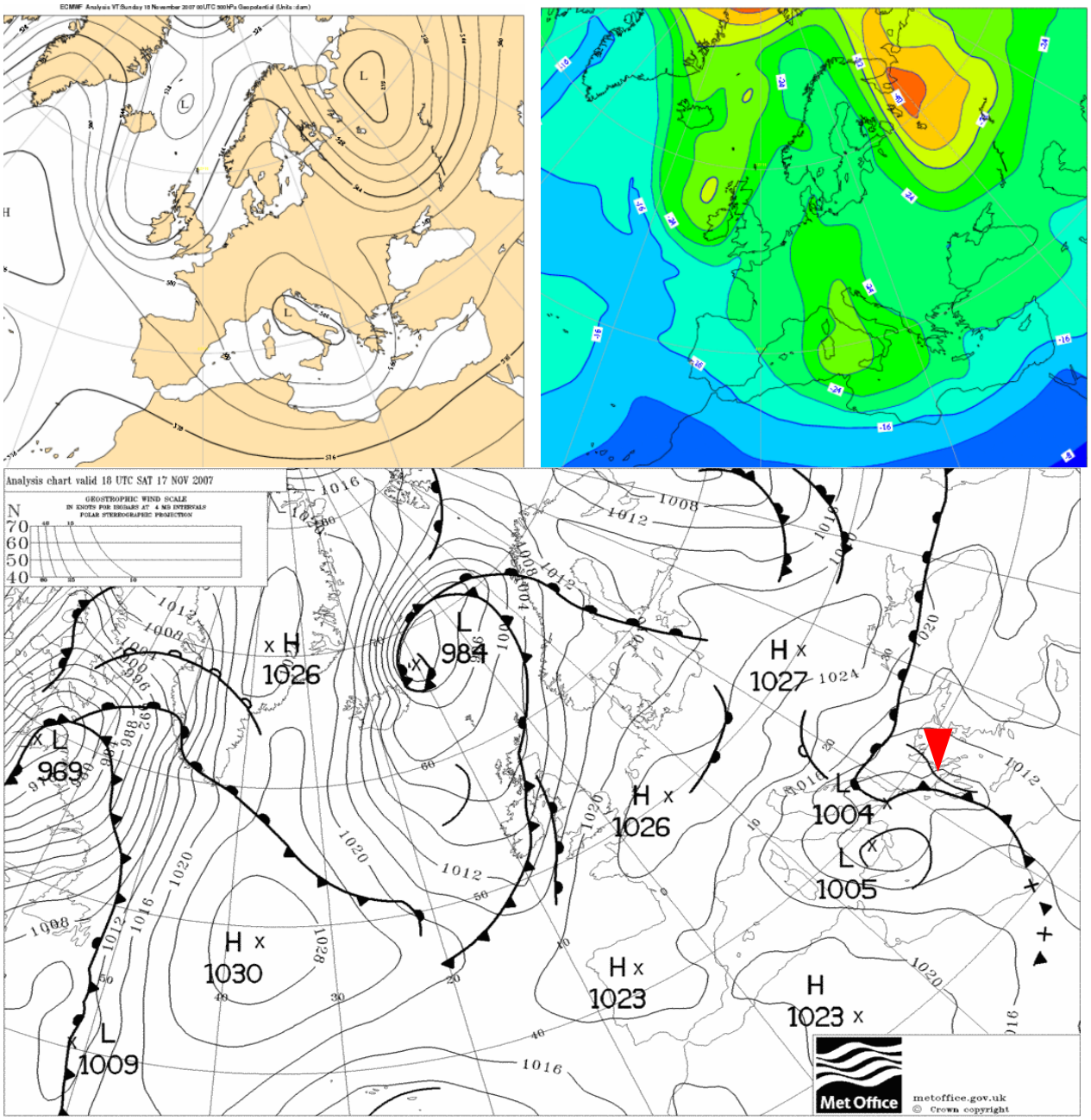
9.3.1 Σίφωνας Ξηράς στις 17 Νοεμβρίου 2007 στην περιοχή Θήβα, Βοιωτίας (T07)

Ο σίφωνας εκδηλώθηκε περίπου στις 21:20 UTC στις 17 Νοεμβρίου 2007 στην περιοχή Λουτούφι Θηβών, ένα μικρό χωριό 9 km ΝΔ της Θήβας (γεωγρ. πλατ: 38.28°N, γεωγρ. μηκ.: 23,28 °E, Εικόνα 9.1). Ο σίφωνας διαλύθηκε στην συνοικία Πυρί της Θήβας αφού διάνυσε περίπου 10 km. Στο μήκος της διαδρομή του υπήρχαν διάσπαρτοι κορμοί δένδρων ελιάς οι οποίοι είχαν ξεριζωθεί, ενώ σημαντικές υλικές ζημιές προκάλεσε στις κατοικημένες περιοχές του Λουτουφίου και του Πυριού.

Με βάση τις υλικές ζημιές ο σίφωνας θα είχε ένταση T4-T5 της κλίμακας T, ενώ στην Εικόνα 9.4 αποτυπώνονται η μανία/δύναμη του σίφωνα στη συνοικία του Πυριού Θηβών.

Εικόνα 9.4: Εικόνες από την περιοχή Πυρίου Θηβών μετά το πέρασμα του Τ07 σίφωνα για την εκτίμηση της έντασης του σίφωνα.

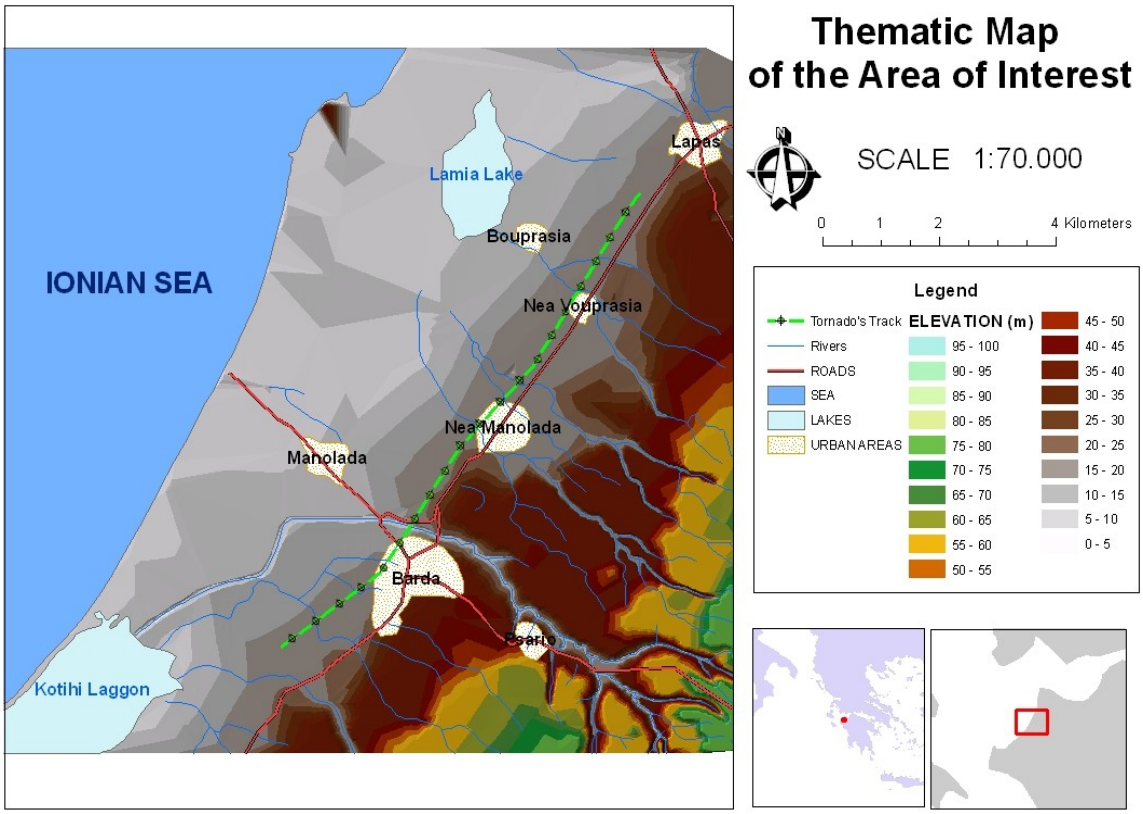
Η συνοπτική κατάσταση στη μέση στάθμη της ατμόσφαιρας (500 hPa, Εικόνα 9.5) στις 00:00 UTC, αποτυπώνει μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία, τροφοδοτώντας τη χώρα μας με ένα ΝΔ ρεύμα. μία εκτεταμένη διαταραχή βρίσκεται κατά μήκος των νοτίων τμημάτων της Ιταλίας και των βόρειων ακτών της Λιβύης συνοδευόμενη από μία θερμική διαταραχή των -20°C.Η ανάλυση στη MSL στις 18:00 UTC στις 17 Νοεμβρίου 2007, αποτυπώνει το κέντρο του χαμηλού να βρίσκεται στον κόλπο του Τάραντα (με πίεση 1004 hPa) και τη μετωπική δραστηριότητα (ψυχρό μέτωπο) να βρίσκεται κατά μήκος των δυτικών ακτών της Πελοποννήσου. Στις 00:00 UTC, η ανάλυση του UKMO αποτυπώνει το ψυχρό μέτωπο να βρίσκεται ανατολικά της Θήβας στην περιοχή της Εύβοιας.



Εικόνα 9.5: Η συνοπτική κατάσταση στην ισοβαρική στάθμη των 500 hPa (επάνω εικόνες), με την ανάλυση των γεωδυναμικών υψών (επάνω αριστερά) και την ανάλυση των θερμοκρασιών (επάνω δεξιά) στις 00:00 UTC, 18 Νοεμβρίου 2007. Στην κάτω εικόνα αποτυπώνεται η συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας στη μέση στάθμη θάλασσας (MSL) με βάση την ανάλυση του UKMO στις 18:00 UTC, 17 Νοεμβρίου 2007.

9.3.2 Σίφωνας Ξηράς στις 25 Μαρτίου 2009 στην περιοχή Βάρδα, Ηλείας (T09)

Ο σίφωνας εκδηλώθηκε στις 25 Μαρτίου 2009 και ώρα 12:33 (+/-2 min) τοπική ώρα, δημιουργήθηκε ΝΔ του χωριού Βάρδα και κινήθηκε Β-ΒΑ προς το χωριό Λάππα (γεωγρ. πλατ: 38,01 °N, γεωγρ. μηκ.: 21,33 °E, Εικόνα 9.1). Το φαινόμενο διήρκησε 10-12 min, διέσχισε τα χωριά Βάρδα, Νέα Μανωλάδα του Ν. Ηλείας και εξασθένησε στο χωριό Λάππα του Ν. Αχαΐας, ενώ η ένταση του σίφωνα εκτιμάται ως F2 (κλίμακα F) ή T4-T5 (κλίμακα T). Το μήκος της τροχιάς του σίφωνα εκτιμάται περίπου στα 10-11 km και χαρτογραφήθηκε με βάση τις μαρτυρίες των κατοίκων, τις υλικές ζημιές και την βοήθεια των γραφικών οπτικοποιήσεων της ανακλαστικότητας του Radar του αεροδρομίου της Ανδραβίδας. Η τροχιά του εκτιμήθηκε σε περίπου 10 km και αποτυπώνεται στην Εικόνα 9.6 σε αντιπαραβολή με την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής της ΒΔ Πελοποννήσου. Ο σίφωνας δεν ήταν ο πρώτος ο οποίος εκδηλώθηκε στην ευρύτερη περιοχή. Σύμφωνα με τις μαρτυρίες των κατοίκων αλλά και από αρχεία έντυπου και ηλεκτρονικού τύπου, προκύπτει ότι στο παρελθόν άλλοι δύο καταστροφικοί σίφωνες δημιουργήθηκαν στην ίδια ευρύτερη περιοχή. Ο πρώτος εκδηλώθηκε το Σεπτέμβριο του 2001 και ο δεύτερος το Νοέμβριο του 2002 με σημαντικές επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία. Στις 21 Μαρτίου 2009 (4 ημέρες πριν το καταστροφικό γεγονός) ένας άλλος σίφωνας εκδηλώθηκε στο Βαρθολομιό Ηλείας, 20 km ΝΔ του χωριού Βάρδα.

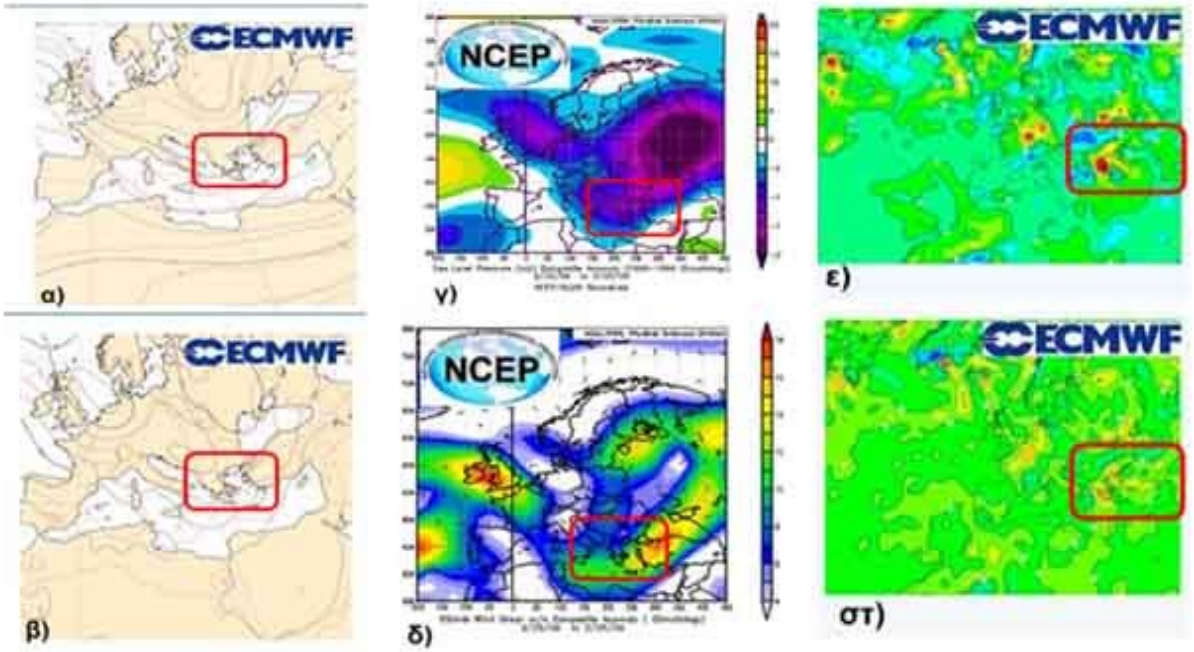


Εικόνα 9.6: Θεματικός χάρτης με την τροχιά του σίφωνα, το ανάγλυφο, το οδικό δίκτυο και το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής.

Το καταστροφικό γεγονός δεν πέρασε απαρατήρητο από τα ΜΜΕ εκείνες τις ημέρες, τα οποία με εκτενείς αναφορές και ζωντανές συνδέσεις αποτύπωσαν τη μανία της φύσης στις καλλιέργειες και σε κτιριακές εγκαταστάσεις της περιοχής. Ο σίφωνας σύμφωνα με δημοσιεύματα αρκετών ΜΜΕ, προκάλεσε το θανάσιμο τραυματισμό δύο αλλοδαπών και τον τραυματισμό ενός τρίτου, οι οποίοι επέβαιναν στο αυτοκίνητό τους όταν

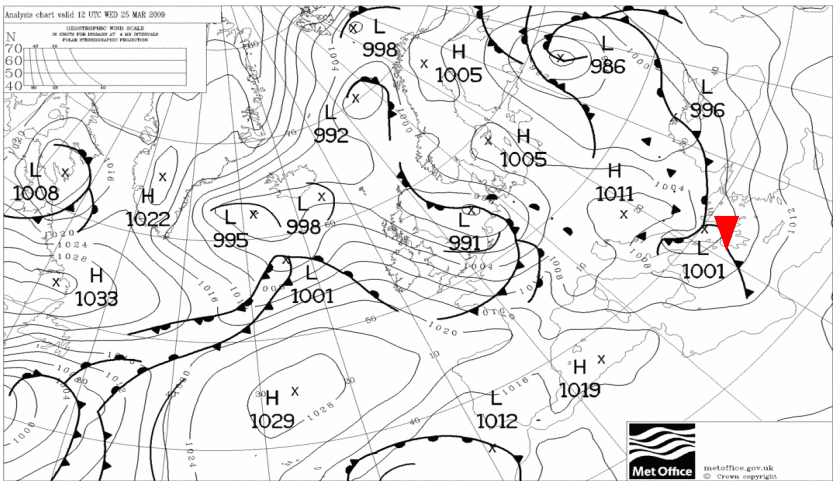
παρεκτράπηκε της πορείας του και προσέκρουσε σε παρακείμενο στηθαίο. Ωστόσο, ύστερα από σχετική πληροφόρηση από τις τοπικές υπηρεσίες της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας και της Τροχαίας Αμαλιάδος, το αυτοκινητιστικό δυστύχημα συνέβη στις 13:15 τοπική ώρα, περίπου 45 min μετά το πέρασμα του σίφωνα. Οι ισχυροί άνεμοι οι οποίοι έπνεαν στην περιοχή συμπίπτουν χρονικά με τη διέλευση του ψυχρού μετώπου από την περιοχή.

Η συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας μέσα από τις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts-ECMWF) στο επίπεδο των 500 hPa αποτυπώνει μία μεγάλου μήκους κύματος διαταραχή, πάνω από την περιοχή του Ιουνίου στις 12:00 UTC, τροφοδοτώντας με ΝΔ ανώτερο ρεύμα την ΒΔ Πελοπόννησο (Εικόνα 9.7α). Στην ίδια στάθμη υπήρχε μία ψυχρή αέρια μάζα της τάξεως των -25 °C, η οποία εκτείνονταν έως την ΒΔ Πελοπόννησο συσχετιζόμενη με μία θερμική διαταραχή και συνοδεύονταν από θετική μεταφορά στροβιλισμού. Η σύσφιξη των ισόθερμων καμπύλων στην στάθμη των 850 hPa υποδηλώνει την ύπαρξη ενός ψυχρού μετώπου, με ισχυρούς ΝΔ ανέμους (30-35 knots) μπροστά από αυτό. Η μεγάλου μήκους διαταραχή αποτυπώνεται και στη στάθμη των 850 hPa καθώς επίσης και σε χαμηλότερες στάθμες όπως των 925 hPa και 950 hPa. Η ανάλυση της κατακόρυφης ταχύτητας των ανέμων αποτύπωσε αυξημένες τιμές πάνω από την ΒΔ Πελοπόννησο στις στάθμες των 700 hPa (Εικόνα 9.7ε), 850 hPa (Εικόνα 9.7στ) και 925 hPa, με τη μέγιστη τιμή να αποτυπώνεται στην στάθμη των 700 hPa. Στην ανάλυση του χάρτη επιφανείας του UKMO αποτυπώνει την ύπαρξη μετωπικής δραστηριότητας η οποία σχετίζεται με τις χαμηλές πιέσεις στα ΒΑ της χώρας, προκαλώντας ισχυρούς ριπαίους ανέμους στην ΒΔ Πελοπόννησο (Εικόνα 9.8 και Εικόνα 9.9).

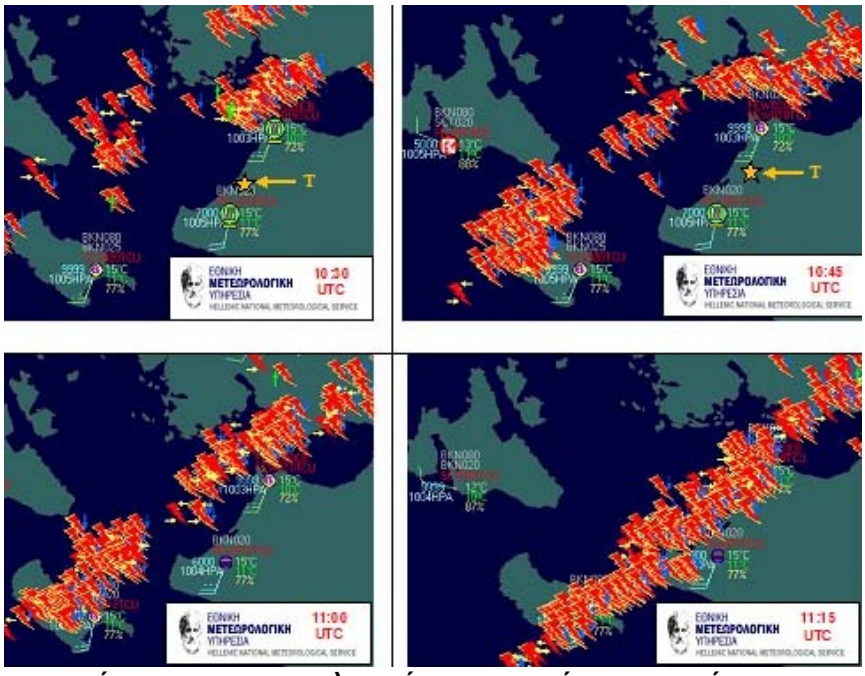


Εικόνα 9.7: Αναλύσεις χαρτών α) ECMWF 500 hPa, 12:00UTC, 25 Μαρτίου 2009 (γεωδυναμικά ύψη και θερμοκρασίες), β) ECMWF MSL, 12:00 UTC, 25 Μαρτίου 2009 (ισοβαρείς καμπύλες και θερμοκρασίες), γ) χάρτης μέσης ημερήσιας ανωμαλίας στην επιφάνεια της θάλασσας (διαφορά από τη μέση τιμή της περιόδου 1968-1996) από το NCEP/NCAR, δ) χάρτης ημερήσιας ανωμαλίας στη στάθμη των 850 hPa των διατμητικών ανέμων (διαφορά από τη μέση τιμή της περιόδου 1968-1996) από το NCEP/NCAR, ε) ανάλυση κατακόρυφης ταχύτητας στα 700 hPa ECMWF και στ) ανάλυση κατακόρυφης ταχύτητας στα 850 hPa ECMWF.

Μελετώντας τη μέση ημερήσια ανωμαλία των γεωδυναμικών υψών από τη μέση τιμή της περιόδου 1968-1996 (NCEP/NCAR) παρατηρούμε μία ανωμαλία στη στάθμη των 500 hPa ίση με 125-150 m (Εικόνα 9.7γ). Η ανωμαλία αυτή εκτείνεται και σε χαμηλότερες στάθμες των 850 hPa και 925 hPa. Επίσης παρατηρήθηκε μία ανωμαλία στην μέση τιμή του διατμητικού ανέμου, ίση με 10-14 m/s στην στάθμη των 700 hPa (Εικόνα 9.7δ), ενώ η ανωμαλία αυτή υπήρχε και σε χαμηλότερες στάθμες. Οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες λίγο πριν και μετά το σχηματισμό του σίφωνα στους όμορους μετεωρολογικούς σταθμούς Αράξου και Ανδραβίδας του δικτύου της ΕΜΥ (Εικόνα 9.9), αποτυπώνουν Ν-ΝΔ (190°-200°) άνεμους επιφανείας εντάσεως 21 knots ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία σημαντική μεταβολή στην θερμοκρασία, σε αντίθεση με την ατμοσφαιρική πίεση η οποία σημείωσε σταδιακή πτώση καθώς το ψυχρό μέτωπο πλησίαζε από τα δυτικά.

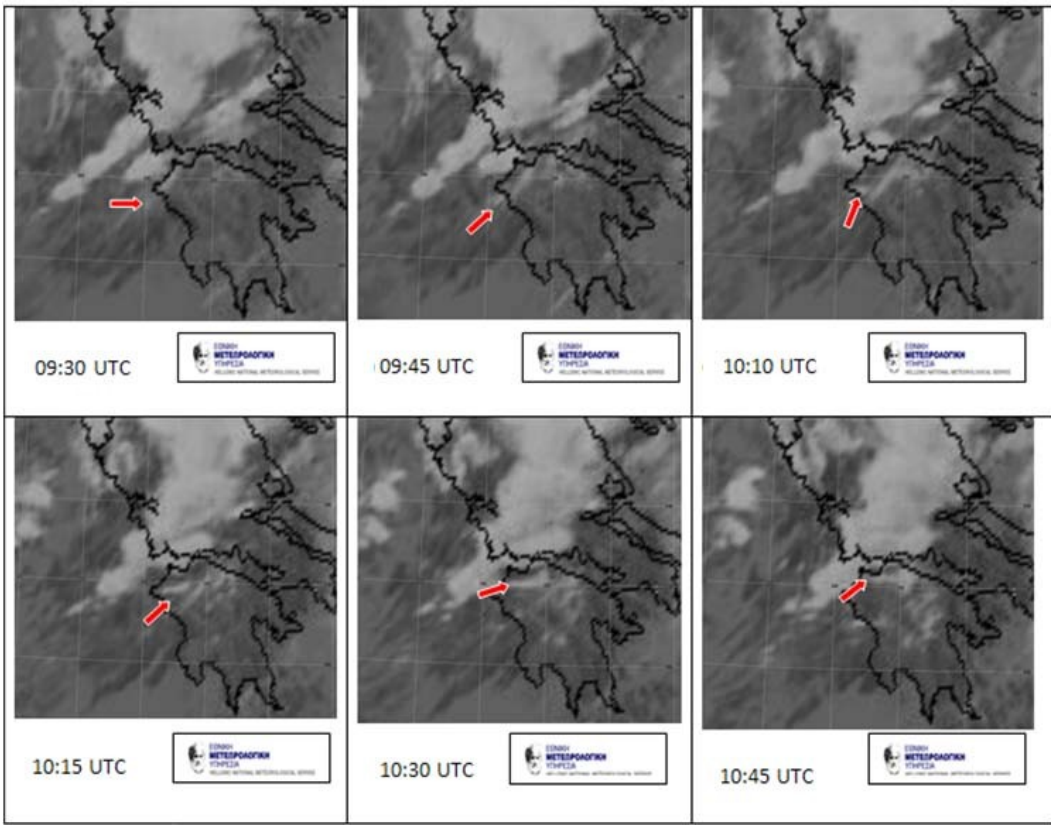


Εικόνα 9.8: Ανάλυση επιφανείας στις 25 Μαρτίου 2009 12:00 UTC, αποτυπώνοντας το ψυχρό μέτωπο κατά μήκος της ΒΔ Πελοποννήσου.



Εικόνα 9.9: Οπτικοποίηση των μετεωρολογικών παρατηρήσεων των όμορων μετεωρολογικών σταθμών Αράξου και Ανδραβίδας του δικτύου της ΕΜΥ σε συνδυασμό με την χωρο-χρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων, με χρονικό βήμα 15 min. Με το κίτρινο αστέρι υποδεικνύεται η περιοχή δημιουργίας του σίφωνα.

Στην προσπάθεια μας να εντοπίσουμε την καταιγίδα που σχετίζεται με τη δημιουργία του σίφωνα μελετήσαμε ένα μεγάλο αρχείο δορυφορικών εικόνων (Eumetsat MSG-2) της ΕΜΥ. Στο ορατό φάσμα (VIS 0,6 μm, Channel 1), η διάταξη των χαμηλών νεφών και η αναπαραγωγή των δορυφορικών εικόνων επιβεβαίωσε το ισχυρό κατώτερο ρεύμα στην ευρύτερη περιοχή και τη σταδιακή κατακόρυφη ανάπτυξη του νέφους από τη θάλασσα προς την παράκτια περιοχή. Η κίνηση και η περαιτέρω κατακόρυφη ανάπτυξη (Εικόνα 9.10) του καταιγιδοφόρου νέφους αποτυπώθηκε καλύτερα στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα (NIR 3,9 μm, Channel 3), ενώ στο φάσμα των υδρατμών (WV 6,2 μm, Channel 5) εντοπίστηκε μία περιοχή με χαμηλή υγρασία και σταδιακή ανατολική κίνηση. Η περαιτέρω κατακόρυφη ανάπτυξη της καταιγίδας συμπίπτει χρονικά με την εισβολή αυτής της ξηρής ζώνης στην παράκτια περιοχή.

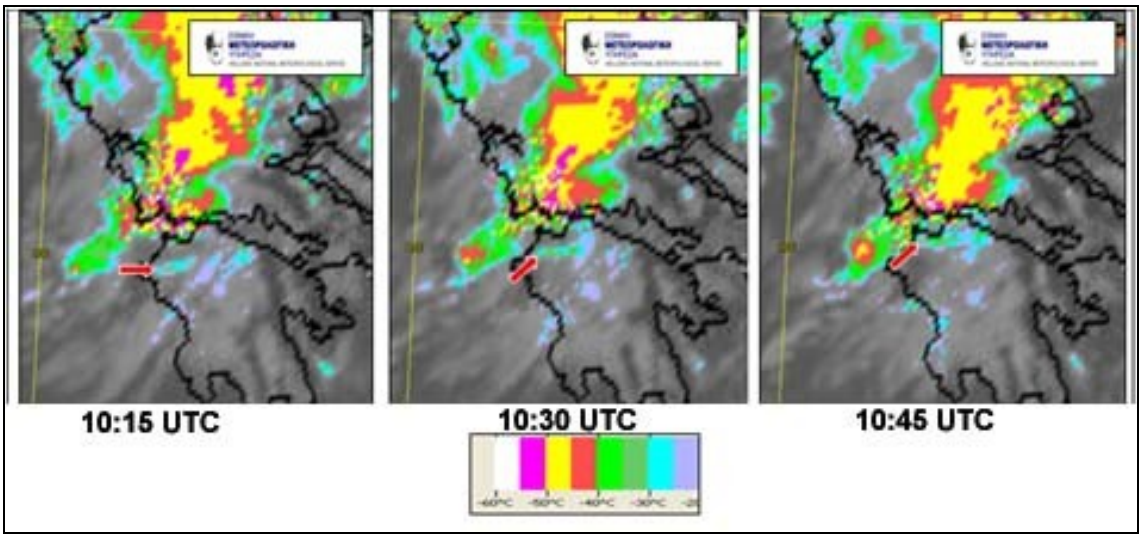


Εικόνα 9.10: Δορυφορικές εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα (3.9 μm, Channel 3) με χρονικό βήμα 15 min. Με κόκκινο βέλος υποδεικνύεται η καταιγίδα που δημιούργησε το σίφωνα.

Στο υπέρυθρο φάσμα (10,8 μm Channel 9) φαίνεται ότι η θερμοκρασία της κορυφής του νέφους καθώς πλησίαζε την ακτή ήταν ίση με -25 °C, ενώ 15 min αργότερα ήταν ίση με -40 °C, στοιχείο που υποδηλώνει τη βίαιη κατακόρυφη ανάπτυξη του νέφους (Εικόνα 9.11).

Η μελέτη του εκτεταμένου όγκου γραφικών δεδομένων του μετεωρολογικού Radar της Ανδραβίδας, μας έδωσε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την κίνηση, ανάπτυξη του καταιγιδοφόρου νέφους και την κατανομή των ανέμων στην ευρύτερη περιοχή.

Ωστόσο η μικρή απόσταση μεταξύ του σημείου εκδήλωσης του σίφωνα και της θέσης του Radar δεν μας έδωσαν την αποτύπωση του σίφωνα στα γραφικά δεδομένα. Μέσα από τη μελέτη των γραφικών δεδομένων του προϊόντος CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) με χρονικό βήμα 15 min και σε ύψος 1 km (Εικόνα 9.12), αποτυπώνεται η ΒΑ κίνηση του κατακόρυφης ανάπτυξης νέφους.



Εικόνα 9.11: Δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο φάσμα (10.8 μm, Channel 9) με χρονικό βήμα 15 min. Με κόκκινο βέλος υποδεικνύεται η καταιγίδα που δημιούργησε το σίφωνα.

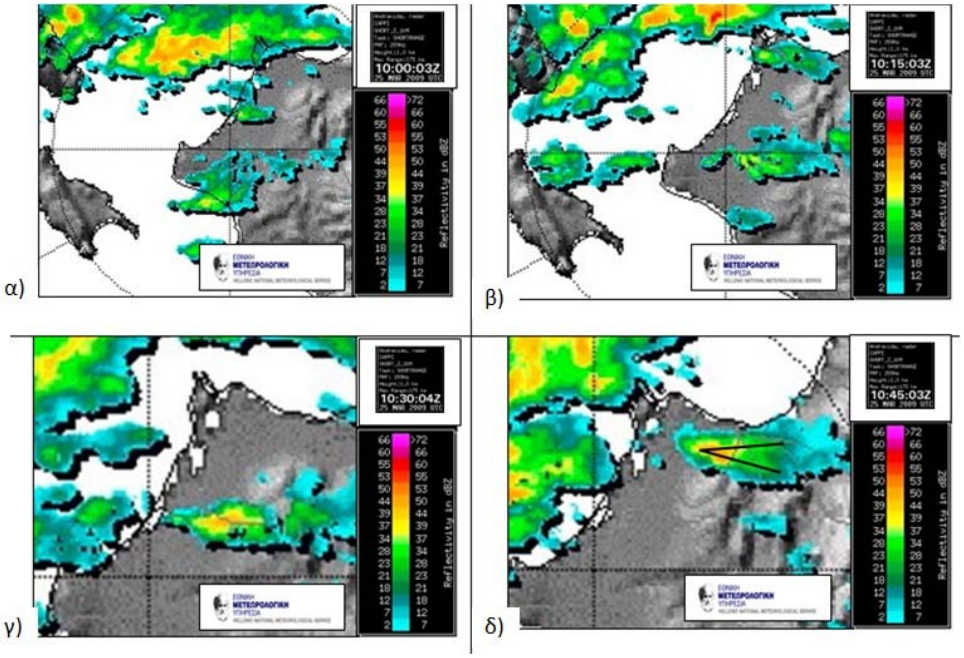
Το νέφος αναπτύσσεται σημαντικά καθώς εισχωρεί στην στεριά με τα κύρια χαρακτηριστικά να είναι η βροχή, ενώ γρήγορα εκδηλώνεται ως καταιγίδα όταν βρίσκεται βόρεια του μετεωρολογικού σταθμού της Ανδραβίδας. Στο τελικό στάδιο ανάπτυξης της καταιγίδας (περίπου στην περιοχή Λάππα), στην εικόνα του Radar αποτυπώνεται ένα χαρακτηριστικό σχήμα "V" (παρατηρείται ως διαχωρισμός της ανακλαστικότητας), ένδειξη των πολύ υψηλών κορυφών λόγω ισχυρών ανοδικών ρευμάτων (over shooting tops) και ισχυρής καταιγίδας ([205]).

Μελετώντας και αναλύοντας τις ατμοσφαιρικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή 30 min πριν την εκδήλωση του σίφωνα, στην παράκτια ζώνη με τη βοήθεια του Radar, εντοπίσαμε στην κατώτερη ατμόσφαιρα και σε ύψος 500 m, περιοχές συγκλίσεων αερίων μαζών (Εικόνα 9.13). Όμοιες συνθήκες επίσης εντοπίστηκαν 5-7 min πριν τον σχηματισμό του σίφωνα μέσω της κατανομής των ταχυτήτων ανέμων και σε ύψος 1 km.

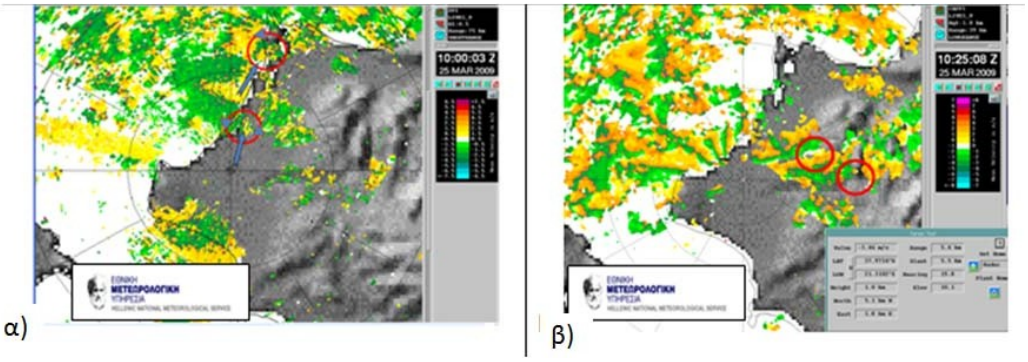
Ο σίφωνας προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές στα χωριά Βάρδα, Νέα Μανωλάδα του Νομού Ηλείας και στο χωριό Λάππα του Νομού Αχαΐας. Το ακραίο φυσικό φαινόμενο δεν πέρασε απαρατήρητο από τα διεθνή πρακτορεία ειδήσεων και αρκετές φωτογραφίες δημοσιεύθηκαν στον έντυπο τύπο αποτυπώνοντας τη μανία της φύσης.

Ο σίφωνας προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές σε στέγες, δομικές κατασκευές με τέντες, θερμοκήπια και προκάλεσε το αναποδογύρισμα μερικών βαριών οχημάτων (περίπου 15 τόνων). Σύμφωνα με εκτίμηση της Νομαρχίας Ηλείας το κόστος των καταστροφών ξεπέρασε τις 300000 €.

Στην Εικόνα 9.14 παρουσιάζονται μερικές φωτογραφίες μετά το πέρασμα του σίφωνα στα χωριά Βάρδα και Μανωλάδα του νομού Ηλείας στη ΒΔ Πελοπόννησο.



Εικόνα 9.12: Εικόνες από το Radar της Ανδραβίδας CAPPI στο 1 km, όπου αποτυπώνεται η ΒΑ κίνηση του νέφους και η περαιτέρω κατακόρυφη ανάπτυξη (αύξηση ανακλαστικότητας), ενώ λίγο πριν το τελικό στάδιο αποτυπώνεται στην ανακλαστικότητα το σχήμα «V».



Εικόνα 9.13: Εικόνες από το Radar Ανδραβίδας της κατανομής της ταχύτητας των ανέμων: α) στα 500 m και β) στο 1 km. Τα θερμά χρώματα (πορτοκαλί, κίτρινο και κόκκινο) αποτυπώνουν την αέρια μάζα να απομακρύνεται από το σταθμό ενώ τα ψυχρά χρώματα (μπλε και πράσινο) αποτυπώνουν την κίνηση της αέριας μάζας να κατευθύνεται προς τον σταθμό του Radar.

Εικόνα 9.14: Φωτογραφίες από το πέρασμα του σίφωνα ξηράς στις 25 Μαρτίου 2009 στα χωριά Βάρδα και Μανωλάδα της ΒΔ Πελοποννήσου.

9.3.3 Σίφωνας Ξηράς στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή Βράσταμα, Χαλκιδικής, (T10)

Ο σίφωνας εκδηλώθηκε 2,5 km νοτιότερα από το χωριό Βράσταμα της Χαλκιδικής σε μία μη κατοικημένη περιοχή 45 km ΝΑ της Θεσσαλονίκης στη βόρεια Ελλάδα (γεωγρ. πλατ: 40,36 °N, γεωγρ. μηκ.: 23,54 °E, Εικόνα 9.1) στις 12 Φεβρουαρίου 2010. Ο σίφωνας εκδηλώθηκε στο χρονικό διάστημα μεταξύ 17:10 – 17:35 UTC προκαλώντας σημαντικές ζημιές σε παρακείμενο βιομηχανικό χώρο επεξεργασίας ελιάς. Η ένταση του σίφωνα σύμφωνα με τις καταστροφές χαρακτηρίστηκε ως F2, της κλίμακας F, ή T4-T5 της κλίμακας T.

Η δύναμη του σίφωνα μετέφερε έως και 400 m πολλά μεταλλικά κομμάτια από το βιομηχανικό κτήριο και στο πέρασμα του ξερίζωσε μεγάλο αριθμό ελαιόδεντρων. Στην Εικόνα 9.15 αποτυπώνονται οι καταστροφές που προκάλεσε το πέρασμα του σίφωνα στην περιοχή Βράσταμα της Χαλκιδικής.

Οι συνοπτικές αναλύσεις της ανώτερης ατμόσφαιρας αποτύπωσαν μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa στην κεντρική Ιταλία, συνοδευόμενη από μία ψυχρή αέρια μάζα της τάξεως των -35 °C (Εικόνα 9.16). Η κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία τροφοδοτούσε με ΝΔ ανώτερο ρεύμα της περιοχή μελέτης, ενώ υπήρχε και σε χαμηλότερα ατμοσφαιρικά επίπεδα.

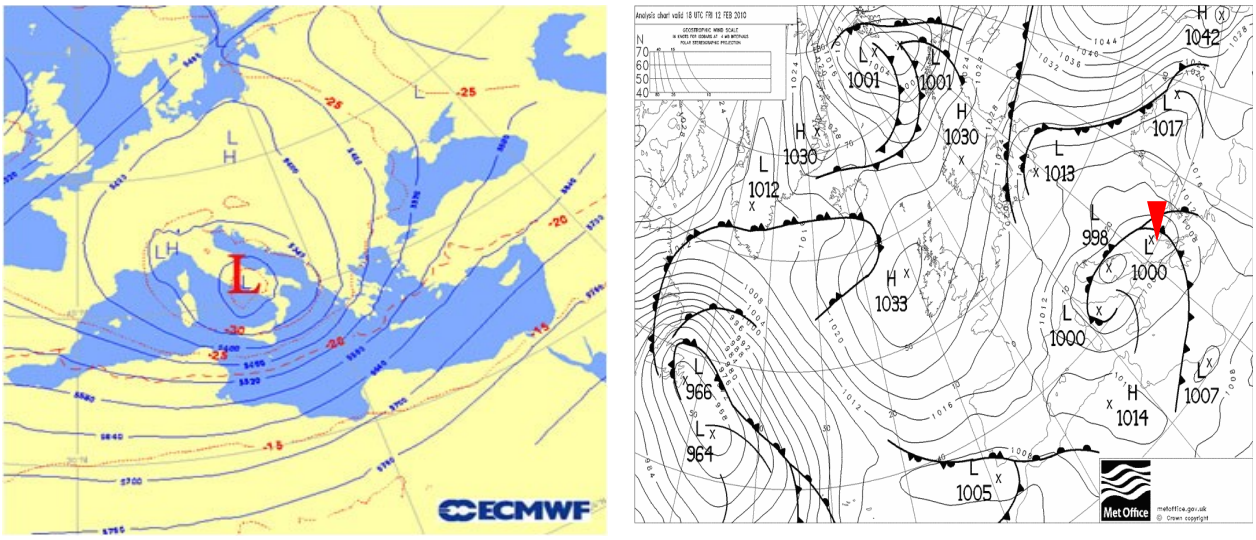
Στην ανάλυση της MSL από το UKMO στις 18:00 UTC (Εικόνα 9.16) το κέντρο του χαμηλού βρισκόταν στην κεντρική Αδριατική, ενώ το ψυχρό μέτωπο ήταν κατά μήκος κεντρικής Μακεδονίας- ανατολικής Στερεάς-ΝΑ Πελοποννήσου με σταδιακή ανατολική κίνηση.

Στη δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο φάσμα (IR 10.8 μm) και στις 17:30 UTC, αποτυπώθηκε το καταιγιδοφόρο νέφος το οποίο συνδέονταν με την εμφάνιση σίφωνα στην περιοχή (Εικόνα 9.17, επάνω εικόνα). Την ώρα εκδήλωσης του σίφωνα στον όμορο μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ, στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης (LGTS), οι μετεωρολογικές παρατηρήσεις ανέφεραν την ύπαρξη καταιγίδας, ενώ στην Εικόνα 9.17 (κάτω εικόνες) αποτυπώνονται τόσο οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες όσο και η χωροχρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων πριν και μετά την εμφάνιση του σίφωνα στην περιοχή Βράσταμα της Χαλκιδικής (Εικόνα 9.17).

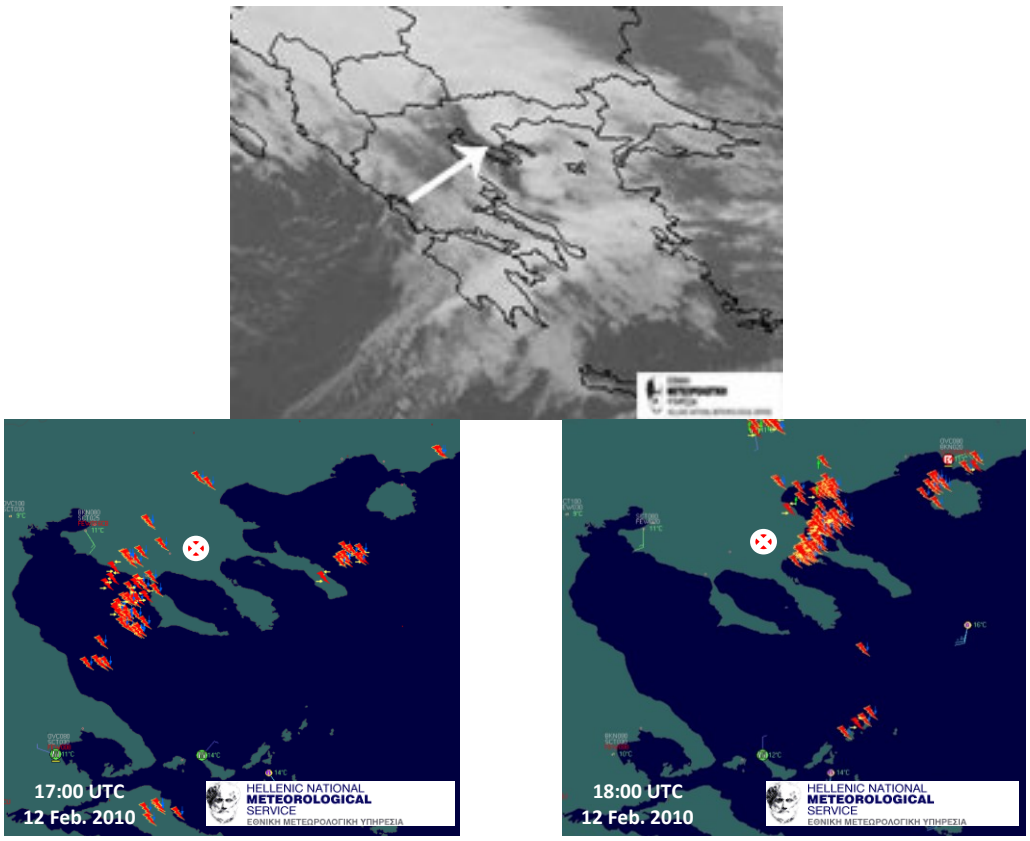
Το θερμοδυναμικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής μέσα από τη ραδιοβόλιση του μετεωρολογικού σταθμού της Θεσσαλονίκης στις 12:00 UTC (4 ώρες περίπου πριν την εκδήλωση του σίφωνα) δεν υπέδειξε κάποιο σημαντικό δείκτη αστάθειας. Ο δείκτης K είχε τιμή 21,6 °C, ο δείκτης SI ήταν 4,52 °C, ο SWEAT 69,76, το CAPE 14.12 (J/kg) και ο δείκτης LI ίσος με 2,39 °C.

Η ανάλυση των εικόνων Radar από το δίκτυο της ΕΜΥ και ειδικότερα του μετεωρολογικού Radar της Θεσσαλονίκης αποτύπωσε το καταιγιδοφόρο νέφος, ωστόσο τόσο η απόσταση, όσο και το ύψος σάρωσης ήταν αδύνατον να αποτυπώσει την κυκλωνική κυκλοφορία του σίφωνα. Στην Εικόνα 9.18, αποτυπώνονται με χρονικό βήμα 15 min οι σαρώσεις του μετεωρολογικού Radar της Θεσσαλονίκης τόσο του CAPPI (Εικόνα 9.18, επάνω εικόνες) όσο και της μέγιστης ανακλαστικότητας (MAX) (Εικόνα 9.18, κάτω εικόνες). Στις 17:30 UTC η οπτικοποίηση του προϊόντος MAX αποτύπωσε τη μέγιστη τιμή ανακλαστικότητας των 44-50 dbz στην περιοχή μελέτης μας.

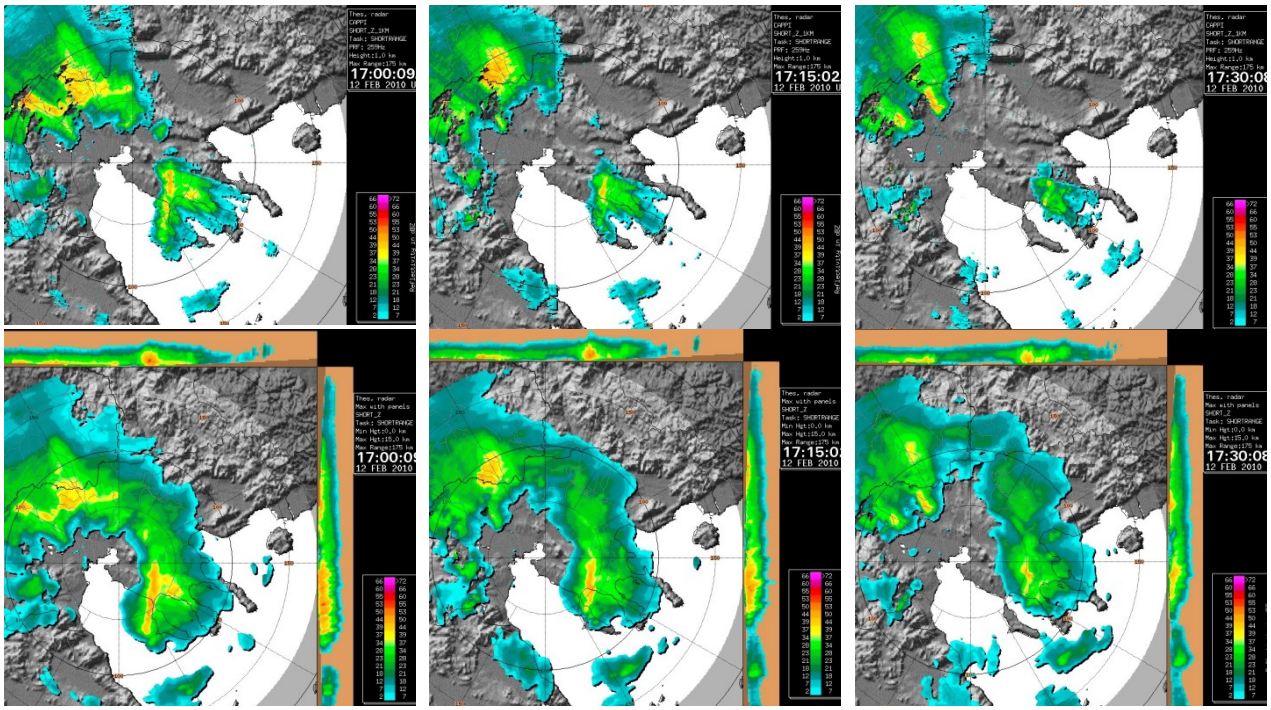
Εικόνα 9.15: Εικόνες από το πέρασμα του σίφωνα στις 12 Φεβρουαρίου 2010 στην περιοχή Βράσταμα Χαλκιδικής.



Εικόνα 9.16: Συνοπτικές αναλύσεις στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa στις 12:00 UTC (επάνω εικόνα) και της μέσης στάθμης της θάλασσας (MSL) στις 18:00 UTC (κάτω εικόνα) κατά την εμφάνιση σίφωνα στην περιοχή Βράσταμα Χαλκιδικής, στις 12 Φεβρουαρίου 2010.



Εικόνα 9.17: Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο φάσμα στις 17:30 UTC. Το άσπρο βέλος υποδεικνύει το καταιγιδοφόρο νέφος που προκάλεσε τον σίφωνα (πάνω εικόνα). Χωρο-χρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων (κάτω εικόνα) στις 17:00 UTC (αριστερή εικόνα) και στις 18:00 UTC (δεξιά εικόνα). Με το σύμβολο Χ (κόκκινο και άσπρο) αποτυπώνεται η θέση εκδήλωσης του σίφωνα.



Εικόνα 9.18: Εικόνες από το Radar της Θεσσαλονίκης με χρονικό βήμα 15 min στο CAPPI στο 1 km ύψος σάρωσης (επάνω εικόνες) και της μέγιστης ανακλαστιοκότητας (MAXimum Reflectivity, κάτω εικόνες).

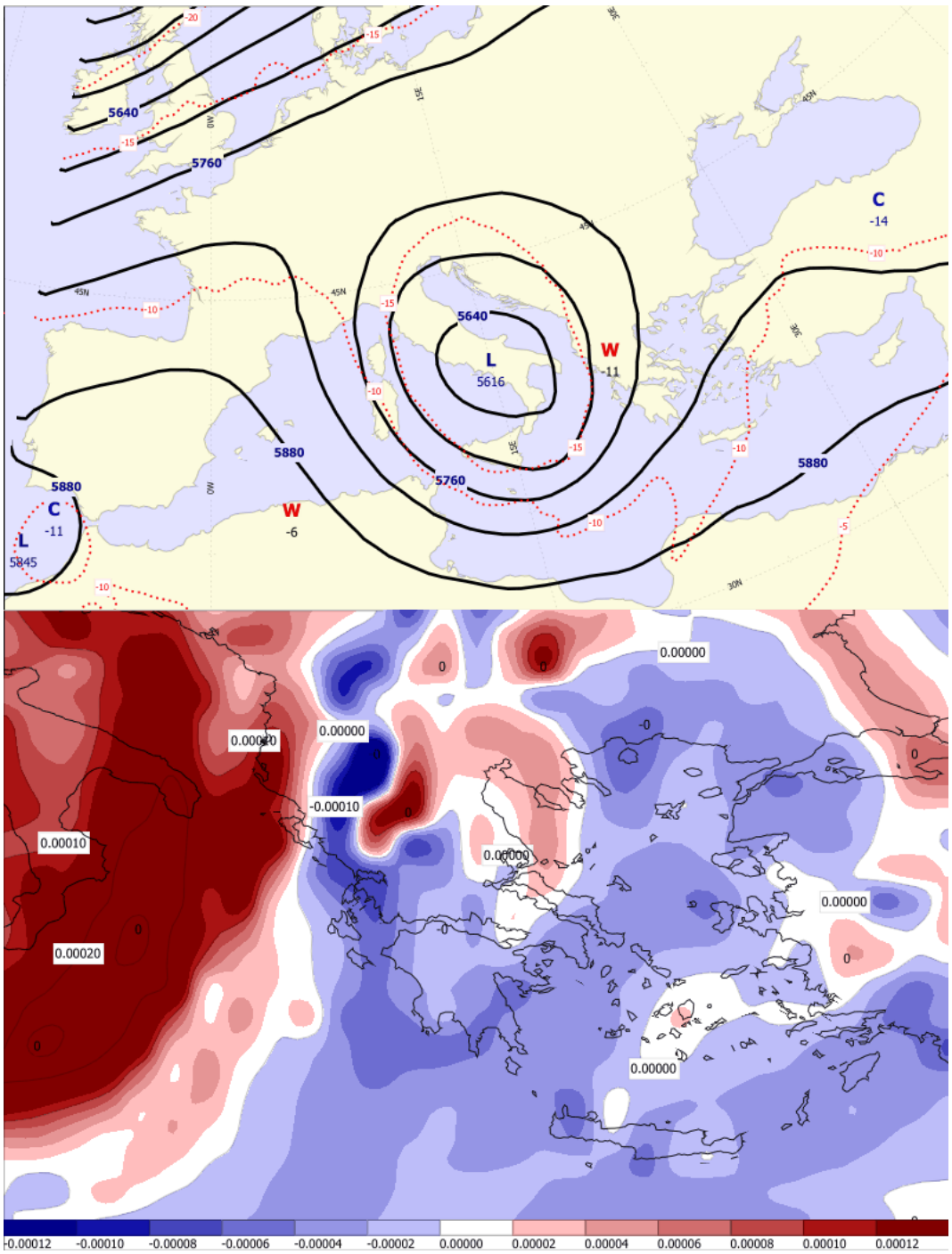
9.3.4 Σίφωνας Ξηράς στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 στην περιοχή Βλυχού, Λευκάδος (T11)

Στις 20 Σεπτεμβρίου στις 15:20 UTC (± 10 min) στον όρμο της Βλυχούς στη Λευκάδα εκδηλώθηκε ένας καταστροφικός σίφωνας (γεωγρ. πλατ: 38,68 °N, γεωγρ. μηκ.: 20,69 °E, Εικόνα 9.1). Ο όρμος της Βλυχούς αποτελεί ένα φυσικό όρμο στο νησί της Λευκάδος στη δυτική Ελλάδα όπου αρκετά σκάφη ελλιμενίζονται για την αποφυγή των ακραίων καιρικών φαινομένων που συμβαίνουν στα υπόλοιπα λιμάνια του νησιού. Ο σίφωνας προκάλεσε σημαντικές υλικές ζημιές τόσο στα ελλιμενισμένα σκάφη, όσο και στις υπόλοιπες κατασκευές γύρω από την προβλήτα (Εικόνα 9.19). Η ένταση του σίφωνα εκτιμήθηκε σε T4-T5 (της κλίμακας T), ο σίφωνας εκδηλώθηκε στη θαλάσσια περιοχή του όρμου, προκαλώντας τον θανάσιμο τραυματισμό ενός ανθρώπου που διέμενε στο ελλιμενισμένο σκάφος του.

Η συνοπτική ανάλυση στο επίπεδο των 500 hPa, από το ECMWF, στις 12:00 UTC αποτυπώνει μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία τροφοδοτώντας τη δυτική Ελλάδα με ΝΔ ανώτερο ρεύμα. Η κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία συνοδεύεται από ψυχρές αέριες μάζες της τάξεως των -15 °C (Εικόνα 9.20). Η διαταραχή η οποία βρίσκεται από τον κόλπο του Τάραντα έως τις ακτές της Αφρικής συνοδεύεται από θετική μεταφορά στροβιλισμού στην ανάλυση των 12:00 UTC ή οποία στη συνέχεια κινήθηκε προς την περιοχή μελέτης.

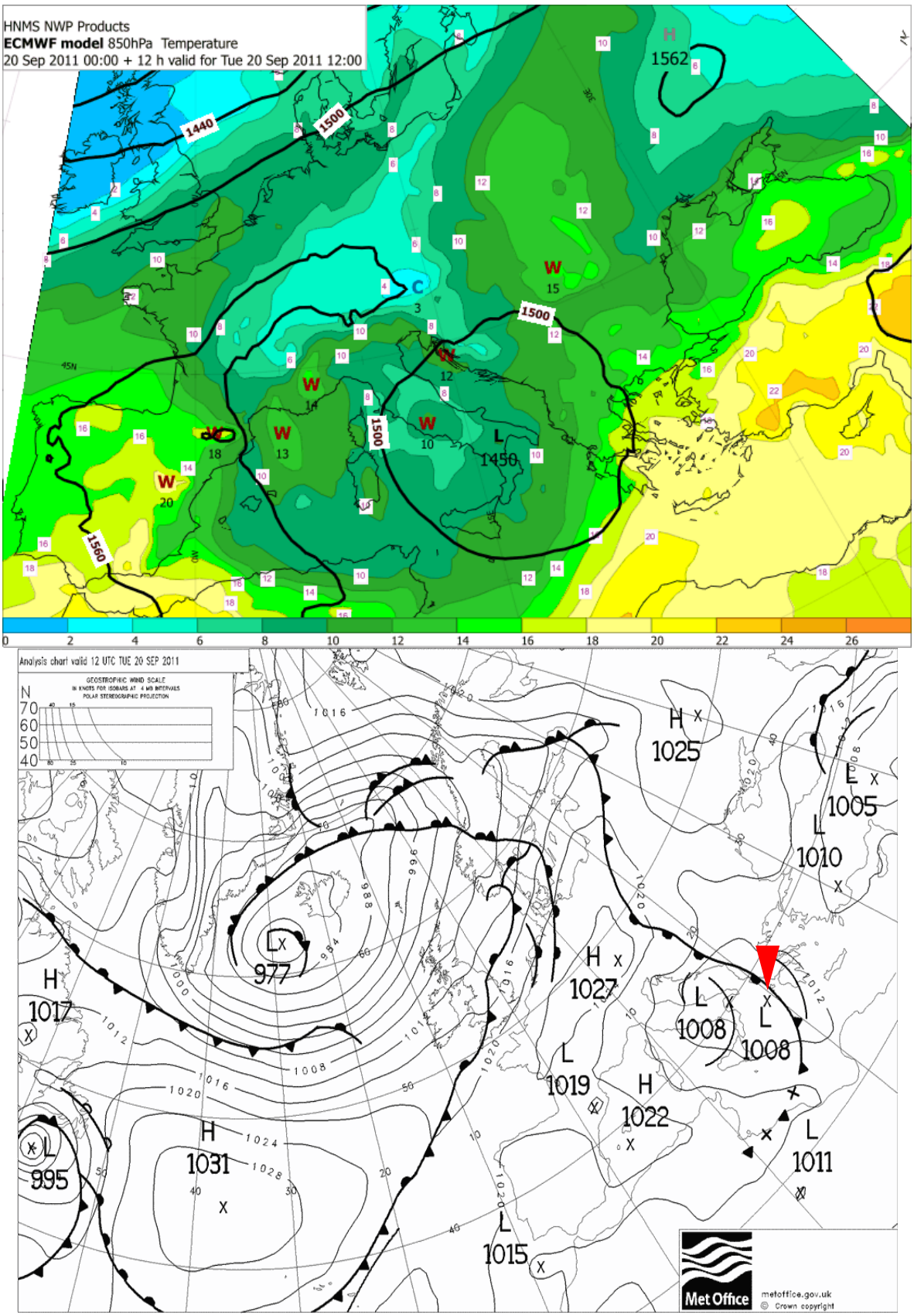
Η συνοπτική ανάλυση των ισοϋψών και ισοθέρμων γραμμών από το ECMWF, στη στάθμη των 850 hPa, αποτυπώνεται η σύσφιξη των ισοθέρμων κατά μήκος του Ιονίου Πελάγους (Εικόνα 9.21) υποδηλώνοντας τη θέση του ψυχρού μετώπου το οποίο κινείται σταδιακά ανατολικότερα. Στην ανάλυση των ισοβαρών καμπύλων στη MSL από το UKMO, στις 12:00 UTC, αποτυπώνεται το ψυχρό μέτωπο, ενώ με το κόκκινο αντεστραμμένο τρίγωνο αποτυπώνεται η θέση εμφάνισης του σίφωνα (Εικόνα 9.21).

Εικόνα 9.19: Εικόνες από το πέρασμα του σίφωνα στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 στον όρμο της Βλυχούς στη δυτική Ελλάδα (πηγή: http://www.kolivas.de).

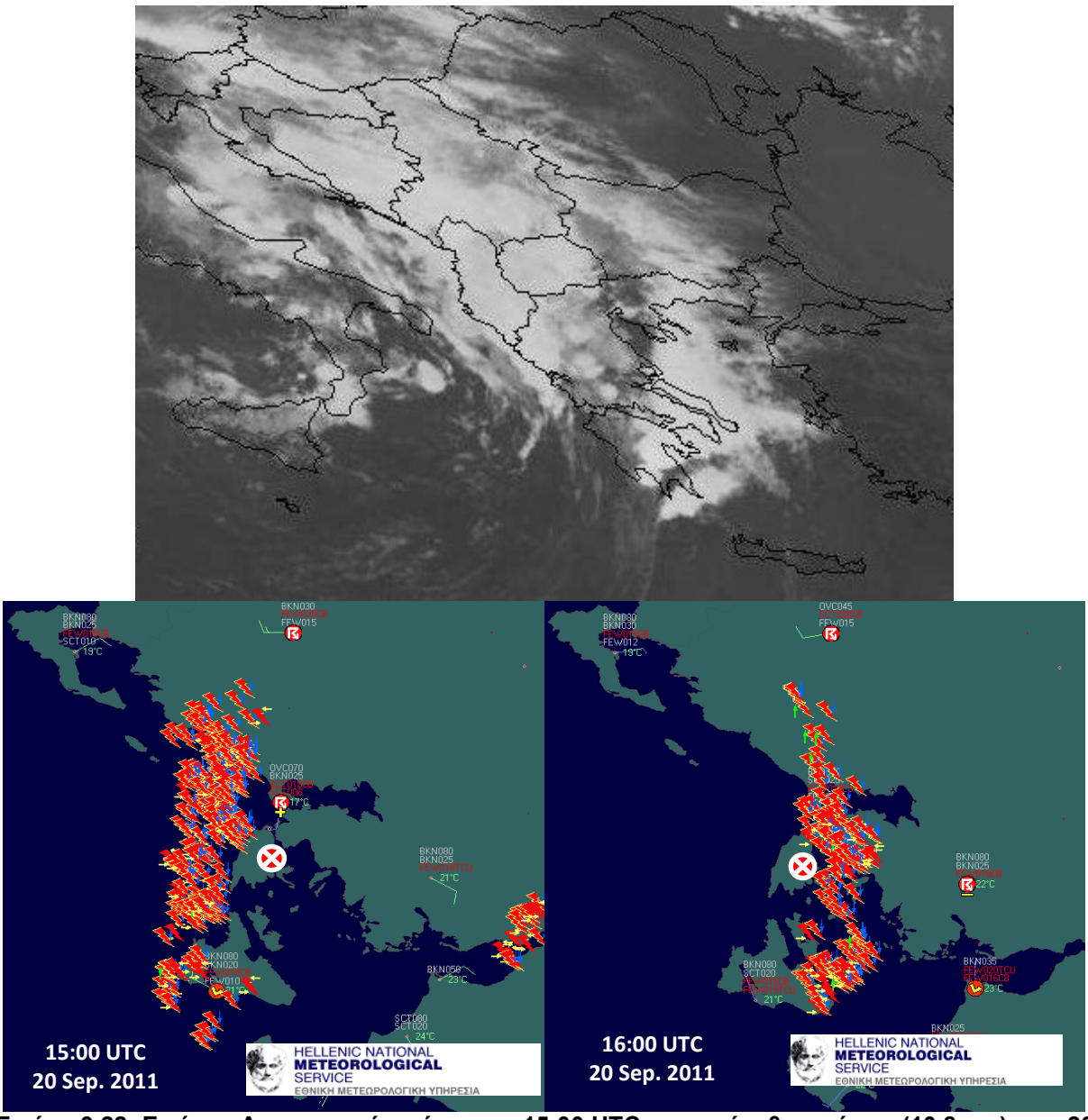


Εικόνα 9.20: Συνοπτική ανάλυση στις 12:00 UTC των: γεωδυναμικών υψών και ισοθέρμων (επάνω) και μεταφοράς στροβιλισμού (κάτω εικόνα) στη μέση ατμόσφαιρα (500 hPa) στις 20 Σεπτεμβρίου 2011.

Στο υπέρυθρο φάσμα (10,8 μm) στις 15:00 UTC αποτυπώνεται το νεφικό σύστημα που συνοδεύει τη μετωπική δραστηριότητα καθώς επίσης και το καταιγιδοφόρο νέφος που συνδέεται με την εμφάνιση του σίφωνα (Εικόνα 9.22). Στην Εικόνα 9.22 αποτυπώνεται ξεκάθαρα η θέση εμφάνισης του σίφωνα σε σχέση με την χωροχρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων και των μετεωρολογικών συνθηκών στις 15:00 UTC (πριν την εμφάνιση του σίφωνα) και στις 16:00 UTC (μετά την εμφάνιση του σίφωνα).



Εικόνα 9.21: Ανάλυση στις 12:00 UTC των ισοϋψών και ισοθέρμων στην ισοβαρική στάθμη των 850 hPa (επάνω εικόνα) από το ECMWF και ανάλυση ισοβαρών στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSL) από το UKMO στις 20 Σεπτεμβρίου 2011. Με το κόκκινο τρίγωνο αποτυπώνεται η θέση εμφάνισης του σίφωνα.



Εικόνα 9.22: Επάνω: Δορυφορική εικόνα στις 15:00 UTC στο υπέρυθρο φάσμα (10,8 μm) στις 20 Σεπτεμβρίου 2011. Κάτω εικόνα: Οπτικοποίηση των μετεωρολογικών συνθηκών και η χωροχρονική κατανομή των ηλεκτρικών εκκενώσεων μέσα από το δίκτυο της ΕΜΥ στις 15:00 UTC (πριν) και 16:00 UTC (μετά), στις 20 Σεπτεμβρίου 2011.

9.4 Επαλήθευση του αριθμητικού μοντέλου WRF

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων προχωρήσαμε στην στατιστική επεξεργασία και σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις από τους όμορους μετεωρολογικού σταθμούς του δικτύου της ΕΜΥ. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που λήφθηκαν υπόψη αφορούν τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις του αεροδρομίου της Τανάγρας (LGTG), της Ανδραβίδας (LGAD), του Αράξου (LGRX), της Κεφαλλονιάς (LGKF), της Πρέβεζας (LGZA) και της Θεσσαλονίκης (LGTS).

Η επιλογή των μετεωρολογικών σταθμών αφορά σταθμούς που περιέχονται στο εσώτερο πλέγμα χωρικής πληροφορίας (D3) και οι πλησιέστεροι μετεωρολογικοί σταθμοί του δικτύου της ΕΜΥ σε σχέση με την θέση εκδήλωσης του σίφωνα σε κάθε προσομοίωση. Στην Εικόνα 9.23, αποτυπώνονται οι θέσεις των όμορων

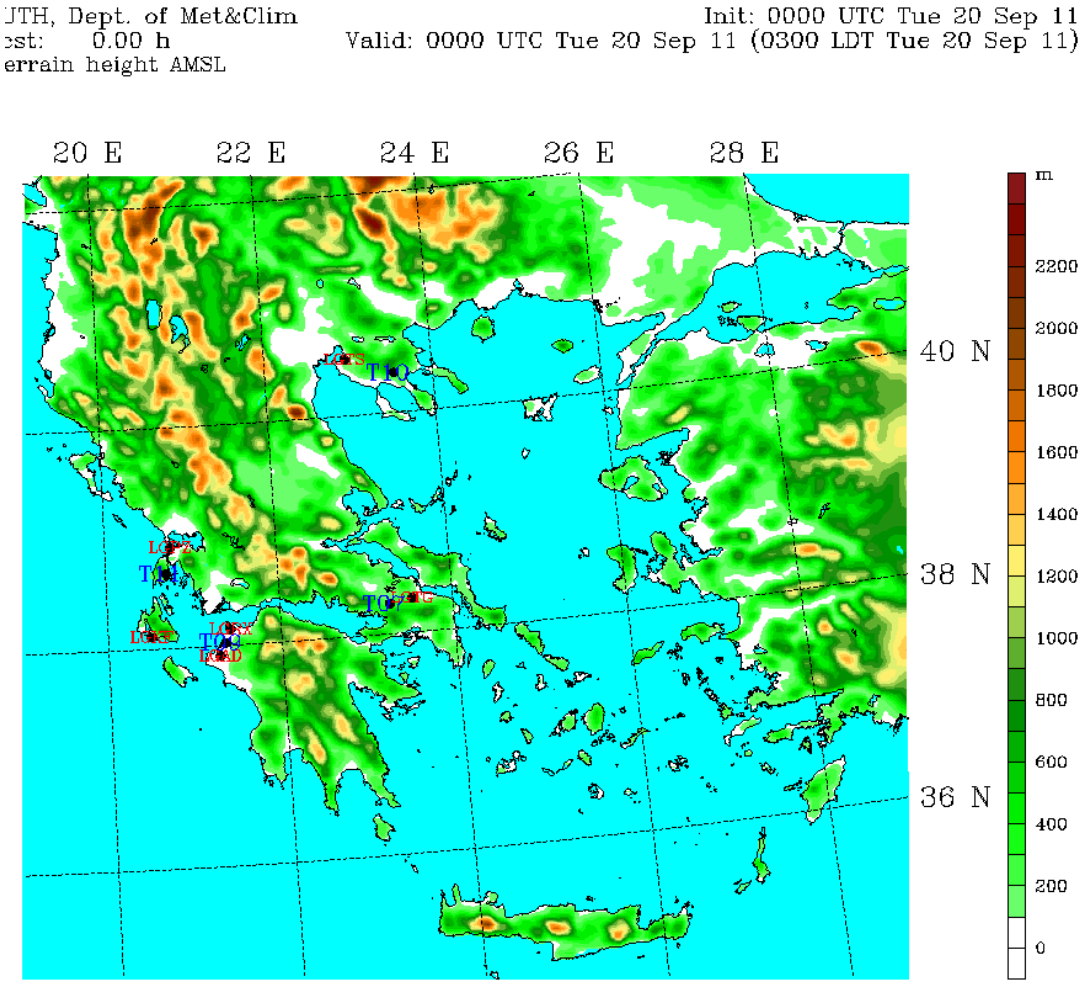
μετεωρολογικών σταθμών που επελέγησαν για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων, οι θέσεις των σιφώνων καθώς επίσης και η τοπογραφία που χρησιμοποιήθηκε στις αριθμητικές προσομοιώσεις. Οι αποστάσεις των μετεωρολογικών σταθμών από τις θέσεις εκδήλωσης των σιφώνων κυμαίνεται από 13 έως 65 km και θεωρούνται ικανές να αντιπροσωπεύσουν τις μετεωρολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής. Τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων των λαθών του μοντέλου (model errors) στη βασική αριθμητική εξομοίωση –τρέξιμο του μοντέλου (control run) και των πραγματικών τιμών στους όμορους μετεωρολογικούς σταθμούς παρουσιάζεται στον Πίνακας 9-2. Για τη στατιστική επεξεργασία των λαθών χρησιμοποιήθηκαν η ταχύτητα του ανέμου στα 10 m, η θερμοκρασία, η θερμοκρασία σημείου δρόσου και η πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας.

Πίνακας 9-2: Στατιστικές μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m ύψος (WS), της θερμοκρασίας (T), της θερμοκρασίας σημείου δρόσου (Td) και της πίεσης στη μέση στάθμη θάλασσας (MSLP) στους μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου της ΕΜΥ, για το αεροδρόμιο της Τανάγρας (LGTG), της Ανδραβίδας (LGAD), του Αράξου (LGRX), της Θεσσαλονίκης (LGTS), της Κεφαλλονιάς (LGKF) και του Ακτίου (LGPZ). ME= Mean Error (τιμές WRF προσομοίωσης πλην παρατηρήσεων), MAE= Mean Absolute Error, RMSE= Root Mean Squared Error, Sample Size= number of valid pairs of simulated and observed values. Αποτυπώνονται επίσης η ημερομηνία της επαλήθευσης του μοντέλου και η απόσταση από τη θέση εμφάνισης του σίφωνα.

Ημερ.	17 Νοε 2007	25 Μαρ 2009	25 Μαρ 2009	12 Φεβ 2010	20 Σεπ 2011	20 Σεπ 2011
Μετεωρ. σταθμός απόσταση (km)	LGTG 26	LGAD 13	LGRX 15	LGTS 50	LGKF 65	LGPZ 28
ME 10m WS (m/s)	2,08	3,25	5,21	0,79	1,37	0,79
ME T (K)	3,36	-0,16	-0,33	0,59	1,84	2,06
ME Td (K)	0,89	-0,04	-1,45	0,17	2,94	3,35
ME MSLP (hPa)	-1,25	-0,17	0,09	-2,06	0,33	-1,07
MAE 10m WS (m/s)	3,07	3,51	5,21	1,78	1,95	3,32
MAE T (K)	4,41	1,38	1,20	1,73	1,94	3,16
MAE Td (K)	1,57	1,86	1,87	1,23	3,04	3,35
MAE MSLP (hPa)	1,28	1,91	1,20	2,08	1,20	2,05
RMSE 10m WS (m/s)	3,71	4,41	5,64	2,33	2,47	4,05
RMSE T (K)	5,28	1,95	1,83	2,21	2,12	3,49
RMSE Td (K)	1,86	2,25	2,66	1,57	3,81	4,00
RMSE MSLP (hPa)	1,56	2,03	1,37	2,34	1,40	2,26
Sample size	21	43	40	48	29	39

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις υπερεκτίμησαν την ταχύτητα του ανέμου από 0,79 έως 5,21 m/s σε όλους τους σταθμούς. Το MAE και το RMSE της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m κυμάνθηκε από 1,78 έως 5,21 m/s και από 2,33 έως 5,64 m/s, αντίστοιχα. Τόσο η θερμοκρασία, όσο και η θερμοκρασία του σημείου δρόσου υποεκτιμήθηκαν όσον αφορά τους μετεωρολογικούς σταθμούς LGRX και LGAD στην αριθμητική προσομοίωση της 25^{ης} Μαρτίου 2009. Σε αντίθεση, η θερμοκρασία και η θερμοκρασία του σημείου δρόσου υπερεκτιμήθηκαν στις υπόλοιπες αριθμητικές προσομοιώσεις και στους

μετεωρολογικούς σταθμούς. Το MAE (και το RMSE) της θερμοκρασίας ήταν μεταξύ 1,2 K (1,83 K) και 1,94 K (2,21 K) φθάνοντας στους 4,41 K (5,28 K) στο μετεωρολογικό σταθμό της Τανάγρας (περίπτωση σίφωνα στις 17 Νοεμβρίου 2007). Η στατιστική ανάλυση των MAE και RMSE της θερμοκρασίας σημείου δρόσου κυμάνθηκε από 1,23 στους 3,35 και από 1,57 K σε 4 K αντίστοιχα. Το μέσο σφάλμα της πίεσης στη μέση στάθμη θάλασσας ήταν είτε κοντά στην τιμή 0, ή αρνητικές τιμές οι οποίες κυμαίνονταν από -0,17 έως -2,06 hPa. Η στατιστική παράμετρος MAE της πίεσης στη ΜΣΘ κυμάνθηκε από 1,2 έως 2,08 hPa ενώ η στατιστική παράμετρος RMSE κυμάνθηκε από 1,37 έως 2,34 hPa.



Εικόνα 9.23: Η τοπογραφία που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις αριθμητικές προσομοιώσεις. Με μπλε γράμματα αποτυπώνονται οι θέσεις εμφάνισης των σιφώνων ενώ με κόκκινο αποτυπώνονται οι θέσεις του δικτύου της ΕΜΥ που ελήφθησαν υπόψη για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Τα παραπάνω στατιστικά αποτελέσματα είναι σε γενική συμφωνία με τα στατιστικά αποτελέσματα επαλήθευσης των αριθμητικών προγνωστικών μοντέλων με υψηλή χωρική πληροφορία. Οι [206] επαλήθευσαν τα επιχειρησιακά προϊόντα της αριθμητικής πρόγνωσης του αριθμητικού προγνωστικού μοντέλου SKIRON και COSMO-GR της ΕΜΥ με υψηλή χωρική ανάλυση ίση με 0,06°x0,06° και 0,0625°x0,0625° αντίστοιχα για το 2007 και βρήκαν τη στατιστική παράμετρος RMSE μεταξύ των τιμών: 1) 2.2 και 2.5 m/s για την ταχύτητα του ανέμου στα 10 m, 2) 1.9 και 2.6 K για την θερμοκρασία στα 2m, 3) 2.3 και 3.5 K για τη θερμοκρασία σημείου δρόσου στα 2 m και 4) 1 και 2 hPa για την πίεση στη ΜΣΘ, για τις πρώτες προγνωστικές ημέρες. Ο [207] επαλήθευσε τα αριθμητικό μοντέλο SKIRON (0,05°x0,05°) στην Ελλάδα για τη χρονική περίοδο Ιούνιος

2007 – Απρίλιος 2009. Κατά τη διάρκεια των πρώτων προγνωστικών ημερών το προγνωστικό μοντέλο παρουσίασε τη στατιστική παράμετρος RMSE μεταξύ: α) 2,2 και 2,7 m/s για τη ταχύτητα του ανέμου στα 10 m, 2) 2 και 2,5 K για τη θερμοκρασία στα 2 m και 3) 1 και 1,5 hPa για την πίεση στη MSL. Οι [208] επαλήθευσαν τα αποτελέσματα του αριθμητικού προγνωστικού μοντέλου POSEIDON (0,05°x0,05°) στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου για τη χρονική περίοδο μέσα Νοεμβρίου 2007 έως τον Οκτώβριο του 2008 και κατέληξαν σε RMSE μεταξύ: 1) 2,4 και 2,7 m/s για την ταχύτητα του ανέμου στα 10 m, 2) 2,3 και 2,9 K για τη θερμοκρασία στα 2 m και 3) 1,2 και 1,8 hPa για την πίεση στη ΜΣΘ, τις πρώτες δύο προγνωστικές ημέρες.

Η επαλήθευση των αποτελεσμάτων του μοντέλου WRF είναι σε γενική συμφωνία με τη στατιστική επεξεργασία λοιπών επαληθεύσεων στη βιβλιογραφία με μερικές εξαιρέσεις (π.χ τη θερμοκρασία στα 2 m για το μετεωρολογικό σταθμό LGTG, τη θερμοκρασία σημείου δρόσου στα 2 m για το μετεωρολογικό σταθμό της LGPZ). Η μόνη παράμετρος η οποία συστηματικά αποτύπωνε υψηλές τιμές RMSE είναι η ταχύτητα του ανέμου στα 10 m.

Ακολούθως παραθέτουμε μερικούς πιθανούς λόγους για αυτά τα λάθη:

α) αντιστοιχούν σε περιπτώσεις όπου ισχυρά καιρικά φαινόμενα επηρέασαν μεμονωμένους μετεωρολογικούς σταθμούς και όχι διαφορετικοί τύποι καιρού που επηρέασαν πολλαπλούς σταθμούς και για μεγάλες χρονικές περιόδους. Σε αυτή τη διατριβή οι περισσότεροι από τους σταθμούς ήταν υπό την επίδραση της δραστικότητας cumulonimbus νεφών για αρκετές ώρες. Ακόμη και αν ένα αριθμητικό μοντέλο είναι επιτυχής στην αριθμητική προσομοίωση, είναι πολύ δύσκολο να εξομοιωθούν επαρκώς η μέσης και μικρής κλίμακας ροή που προκαλείται από την καταιγίδα. Η [209] συμφωνεί με τη σκέψη αυτή και διατύπωσε ότι παρόλο ότι οι αριθμητικές προσομοιώσεις με υψηλή χωρική ανάλυση είναι πολλές φορές ρεαλιστικές και πολύ χρήσιμες, αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ταύτιση της προγνωστικής παραμέτρου και των παρατηρήσεων.

β) οι τιμές των αριθμητικών προσομοιώσεων εξήχθησαν από το εσωτερικό πλέγμα χωρικής πληροφορίας (D3) οι οποίες ολοκληρώθηκαν με ένα χρονικό βήμα των 8 δευτερολέπτων. Σε αντίθεση η παρατηρούμενη ταχύτητα του ανέμου αποτελεί το μέσο όρο των τιμών στα 10 min.

γ) η επαλήθευση των αριθμητικών προσομοιώσεων βασίστηκε σε μετεωρολογικές παρατηρήσεις των METAR και όχι των SYNOP παρατηρήσεων, εισάγοντας μέγιστο λάθος έως +0,9 hPa στην πίεση της ΜΣΘ και ± 0,5K στη θερμοκρασία περιβάλλοντος και σημείου δρόσου στα 2 m. Επιπροσθέτως, το γεγονός ότι οι πληροφορίες των METAR ήταν διαθέσιμες σε ωριαίες ή ημίωρες τιμές (σε αντίθεση με τις παρατηρήσεις SYNOP οι οποίες είναι διαθέσιμες κάθε 6 ώρες) αναγκάζει τα υπολογιζόμενα σφάλματα να λάβουν υπόψη ακόμη και προσωρινά λανθασμένους υπολογισμούς του μοντέλου.

9.5 Αποτελέσματα αριθμητικών προσομοιώσεων

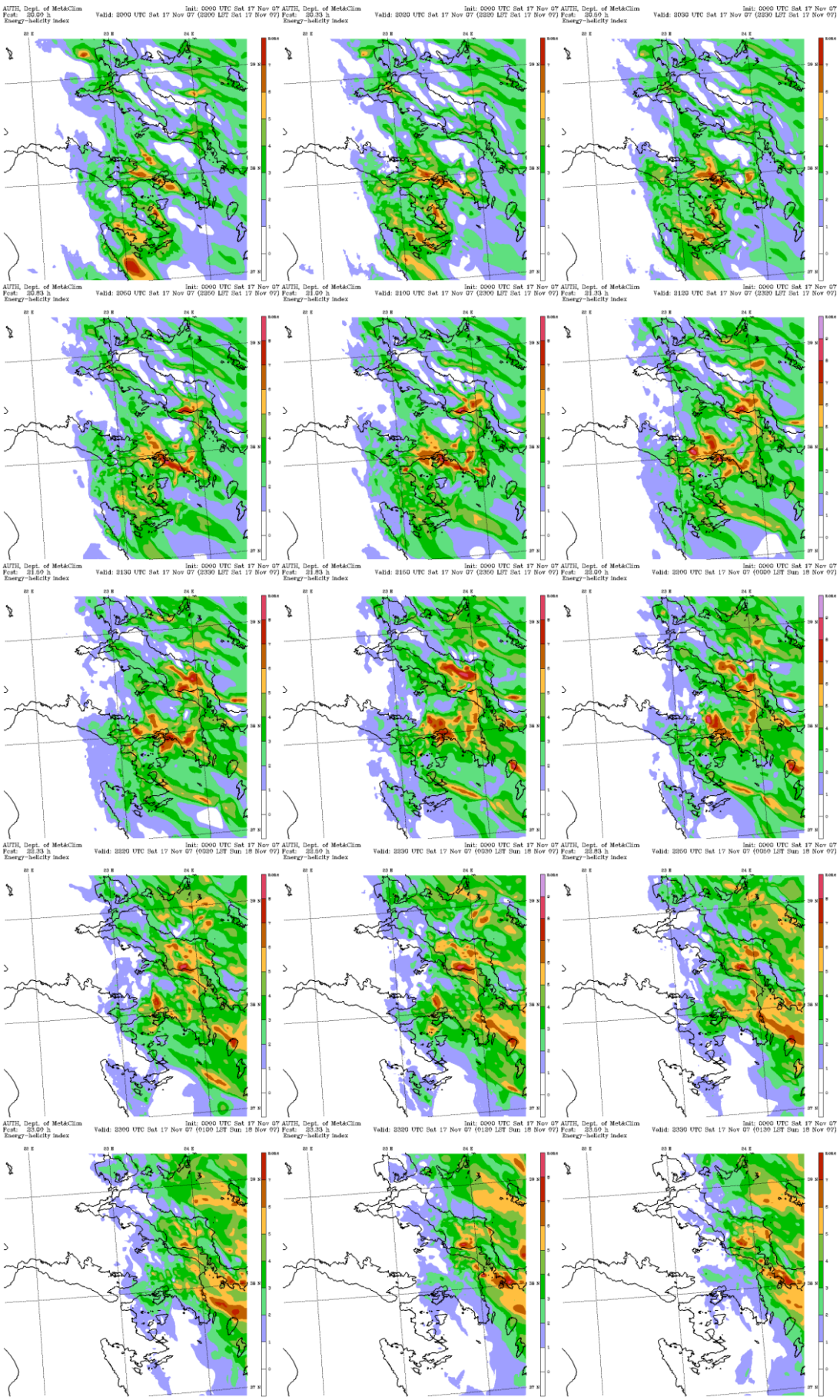
Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων για κάθε περίπτωση σίφωνα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τη χρονική ανάλυση των δεικτών αστάθειας EHI, BRN, SRH και MCAPE σε χρονικό βήμα των 20 min.

9.5.1 Αριθμητική προσομοίωση T07 σίφωνα

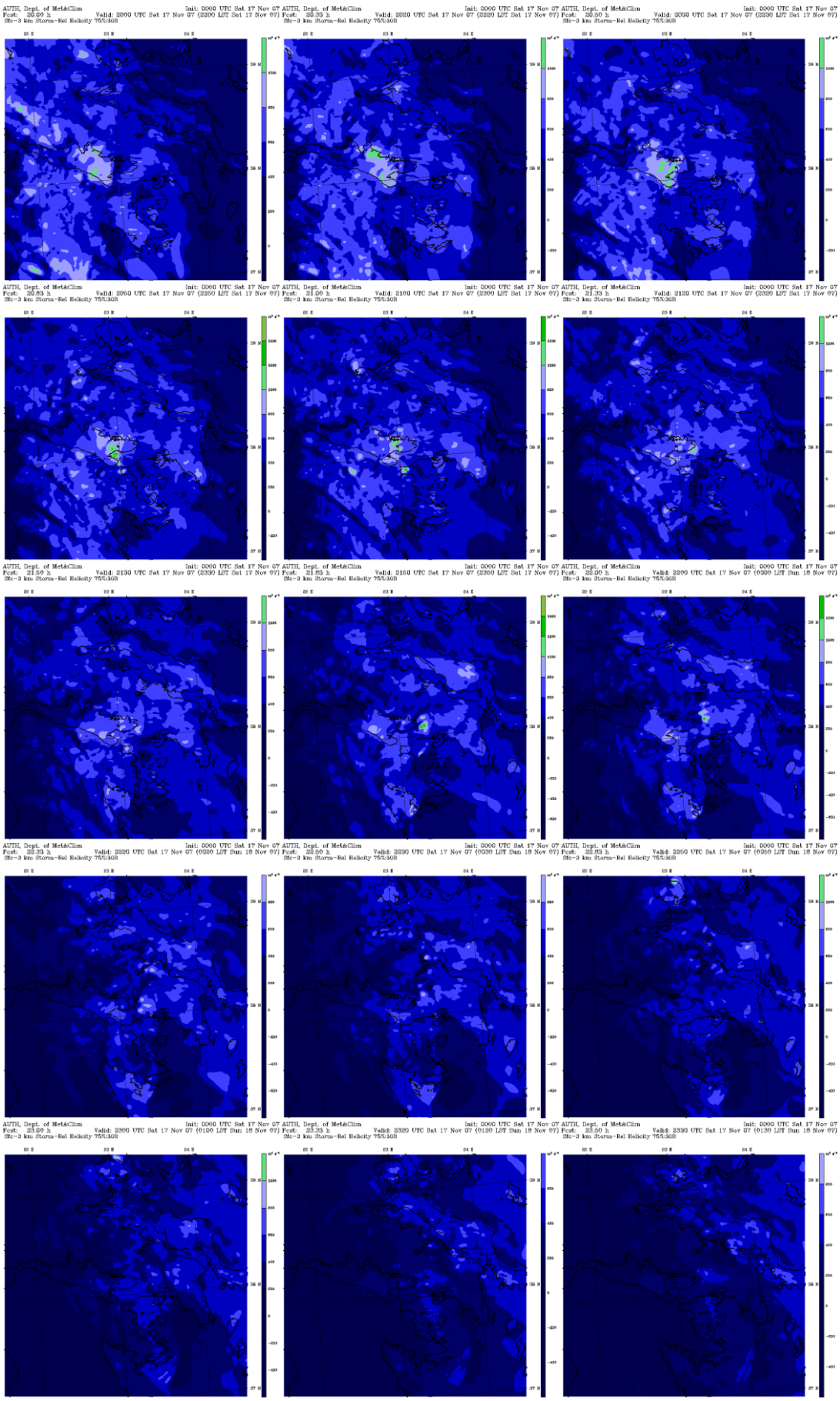
Στις Εικόνα 9.24-9.28 παρουσιάζονται τα γραφικά αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης των διαγνωστικού δεικτών EHI, BRN, SRH και MCAPE, αντίστοιχα. Το χρονικό βήμα ανάλυσης των εικόνων είναι ανά 20 min αρχόμενης από τις 20:00 UTC έως τις 23:30 UTC. Οι αναλύσεις αποτύπωσαν ότι στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Στερεάς ο δείκτης παρουσίασε μέγιστες τιμές στην περιοχή ΝΔ Βοιωτίας, Κορινθιακού Κόλπου και Αργοσαρωνικού. Οι μέγιστες τιμές στην περιοχή ταυτίζονται με τη συνοπτική κατάσταση καθώς η μετωπική δραστηριότητα κινούνταν σταδιακά ανατολικά από την περιοχή Κορινθιακού Κόλπου προς την ανατολική Βοιωτία-Εύβοια και καταιγίδες είχαν ήδη εκδηλωθεί στην περιοχή του Κορινθιακού. Η χρονική ανάλυση των αποτελεσμάτων αποτύπωσε μία σταδιακή ενίσχυση των τιμών του στην περιοχή της ΝΔ Βοιωτίας-Κορινθιακού Κόλπου καθώς πλησιάζουμε χρονικά την εκδήλωση του σίφωνα. Οι τιμές στην ευρύτερη αυτή περιοχή αυξήθηκαν από 6 σε 9 την χρονική στιγμή της εμφάνισης του σίφωνα. Αυτή η αύξηση του δείκτη EHI αποτυπώνει την ενίσχυση του όρου της δυναμικής και ελικότητας στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς ο δείκτης EHI βασίζεται στον όρο CAPE και SRH (Πίνακας 9-1) και κατά συνέπεια τη δυνατότητα ενίσχυσης (σε κατακόρυφη δομή) περαιτέρω της καταιγίδας. Αίτιο το οποίο θα μπορούσε να δικαιολογήσει την ενίσχυση της δυναμικής της ατμόσφαιρας θα μπορούσε να είναι η σημαντική τοπογραφία της ΝΔ Βοιωτίας. Δεδομένου ότι η αέρια μάζα κινείται αρχικά στη θαλάσσια περιοχή του Κορινθιακού κόλπου και στη συνέχεια αναγκάζεται σε ανολίσθηση λόγω της απότομης τοπογραφίας (όρη: Κορομπίλι με υψόμετρο 908 m, Κιθαιρώνας με υψόμετρο 1409 m, Ελικώνας με υψόμετρο και Πάστρα με υψόμετρο 1025 m). Ο σίφωνας υπενθυμίζουμε ότι εκδηλώθηκε στην υπήνεμη πλευρά της οροσειρά Κορομπίλι-Κιθαιρώνα και Πάστρα, ενώ οι αριθμητικές προσομοιώσεις με τροποποιημένη την τοπογραφία που παραθέτουμε στην υποενότητα 9.6, ενισχύουν την άποψη αυτή και αποδεικνύουν τη σημαντικότητα της προαναφερόμενης οροσειράς. Οι τιμές του δείκτη EHI στην συγκεκριμένη περίπτωση του T07, είναι σημαντικά υψηλότερες τόσο από τη μέση (0,2) όσο και τη μέγιστη (2) τιμή του δείκτη για τις περιπτώσεις σιφώνων τη περίοδο 2000-2009 που εκδηλώθηκαν στη χώρα μας ([94]).

Η χρονική ανάλυση του SRH αποτυπώνει στην ευρύτερη περιοχή της ΝΔ Βοιωτίας - Κορινθιακού Κόλπου οι τιμές του δείκτη να κυμαίνονται από 400-1000 m^2/s^2. Ωστόσο στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου λίγο πριν την εκδήλωση του σίφωνα οι τιμές του δείκτη αυξάνονται σημαντικά και καταγράφουμε τη τιμή 1600 m^2/s^2κοντά στο όρος Πάστρα. Ακολούθως οι τιμές του δείκτη σταδιακά μειώνονται και κυμαίνονται από 200-400 m^2/s^2. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη BRN ταυτίζεται με την χρονική εξέλιξη και αύξηση των τιμών των δεικτών EHI και SRH. Ομοίως ο δείκτη BRN αποτυπώνει τιμές από 100-400 ενώ στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου (δυτικά κράσπεδα) οι τιμές κυμαίνονται έως και τα 800 m^2/s^2 πριν την εκδήλωση του σίφωνα. Ακολούθως οι τιμές στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου και καθώς πλησιάζουμε χρονικά τη στιγμή όπου εκδηλώθηκε ο σίφωνας οι τιμές του δείκτη σημειώνουν γρήγορη αύξηση και φθάνουν την τιμή των 1200 m^2/s^2. Οι τιμές του δείκτη BRN είναι υψηλότερες από την υπολογιζόμενη μέση τιμή των 189 m^2/s^2 και τη μέγιστη τιμή των 603 m^2/s^2 για τις περιπτώσεις σίφωνα στην Ελλάδα [94], υπολογιζόμενες με το λογισμικό SHARP [196].

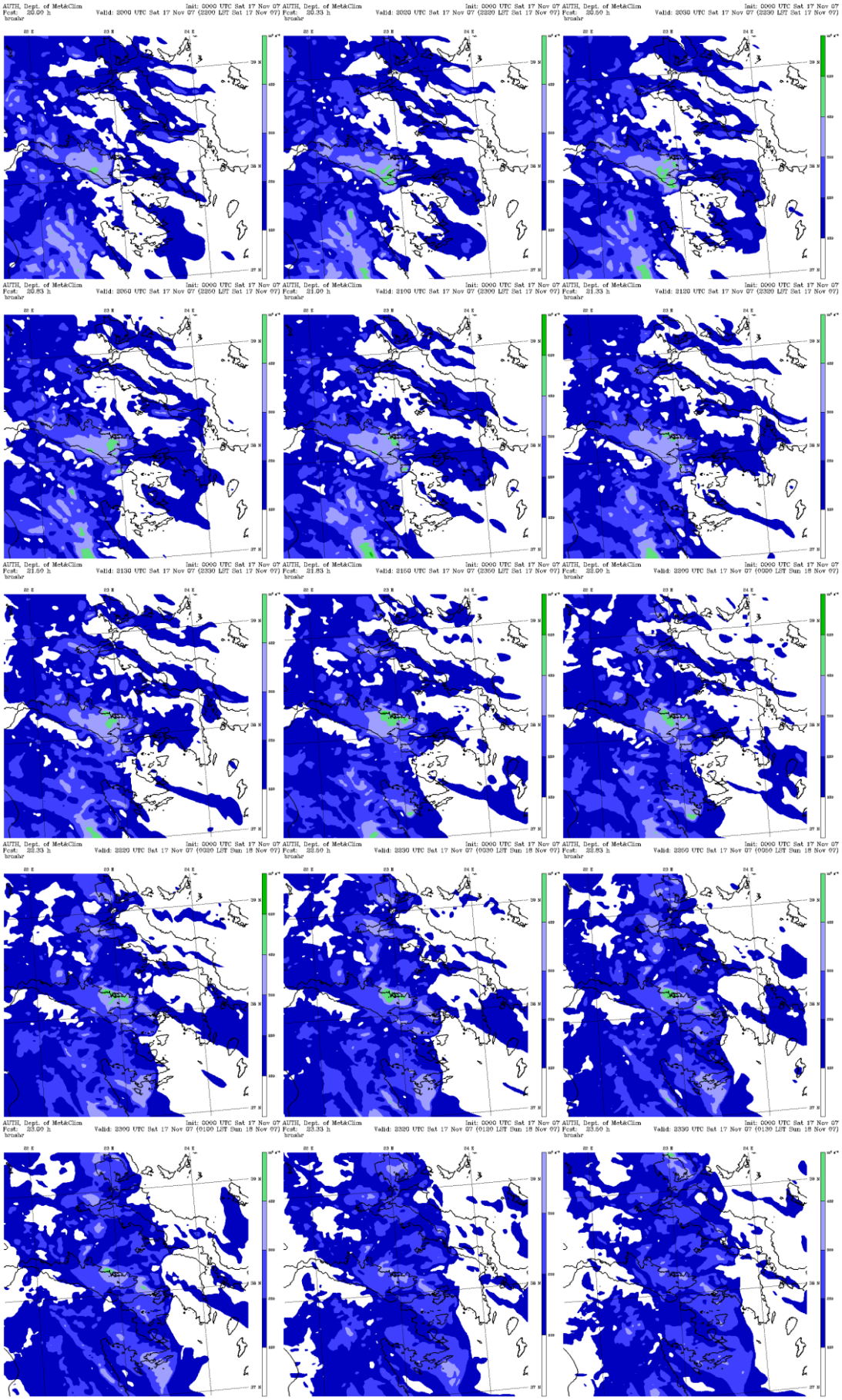
Την ίδια συμπεριφορά, όπως είναι αναμενόμενο, αποτυπώνει και η διαγνωστική παράμετρος MCAPE και παρουσιάζει ενίσχυση του δείκτη στην περιοχή της ΝΔ Βοιωτίας-Κορινθιακού Κόλπου και ΝΑ Αττικής λίγο πριν την εκδήλωση σίφωνα. Οι τιμές του MCAPE κυμαίνονταν από 1000 J/kg έως 1800 J/kg ενώ αυξήθηκε έως τη τιμή των 2200 J/kg στην ευρύτερη περιοχή καθώς πλησιάζουμε το χρόνο εκδήλωσης του T07.



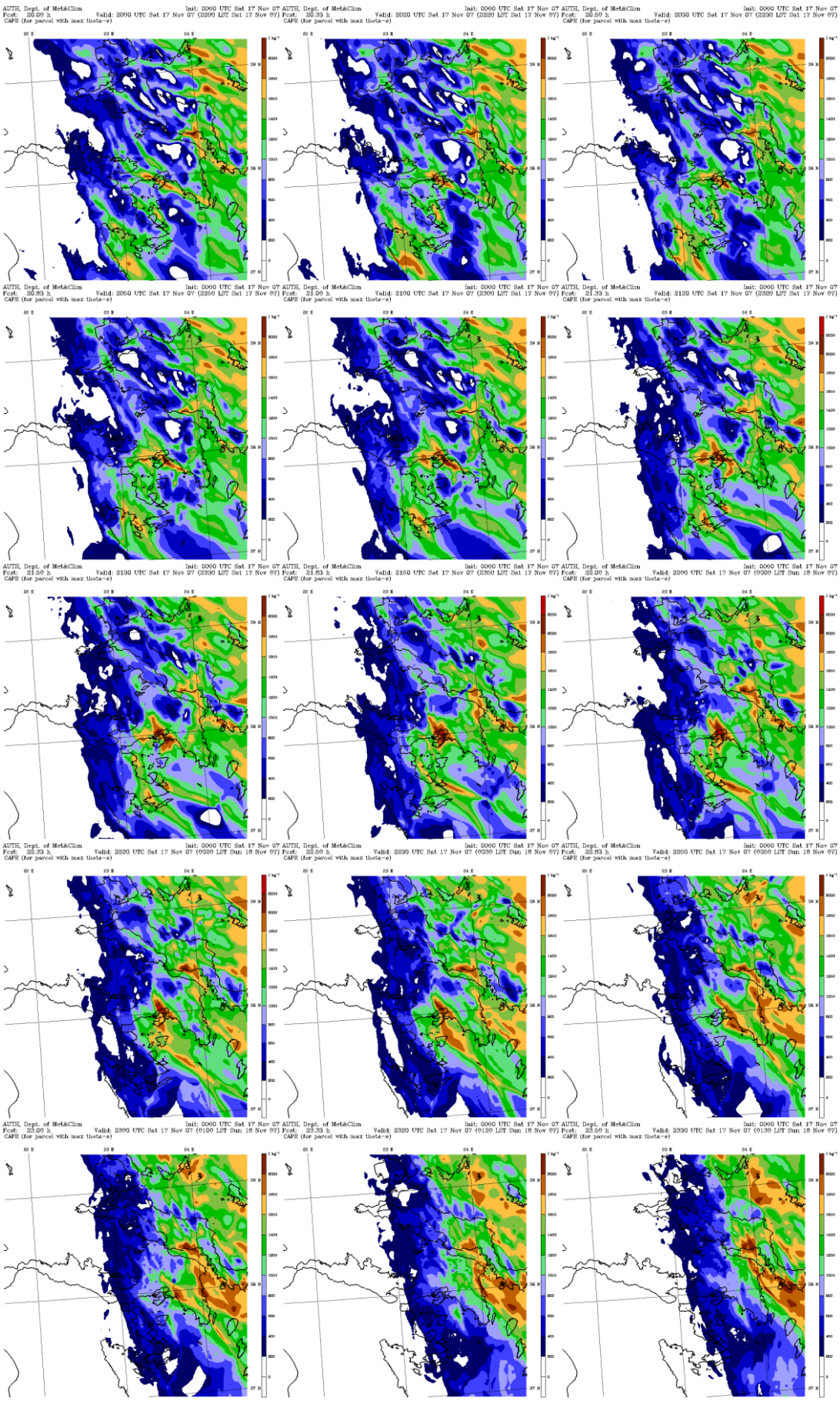
Εικόνα 9.24: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T07, από τις 20:00 UTC έως 23:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



Εικόνα 9.25: Όμοια με την Εικόνα 9.24 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).



Εικόνα 9.26: Όμοια με την Εικόνα 9.24 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).



Εικόνα 9.27: Όμοια με την Εικόνα 9.24 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).

9.5.2 Αριθμητική προσομοίωση T09 σίφωνα

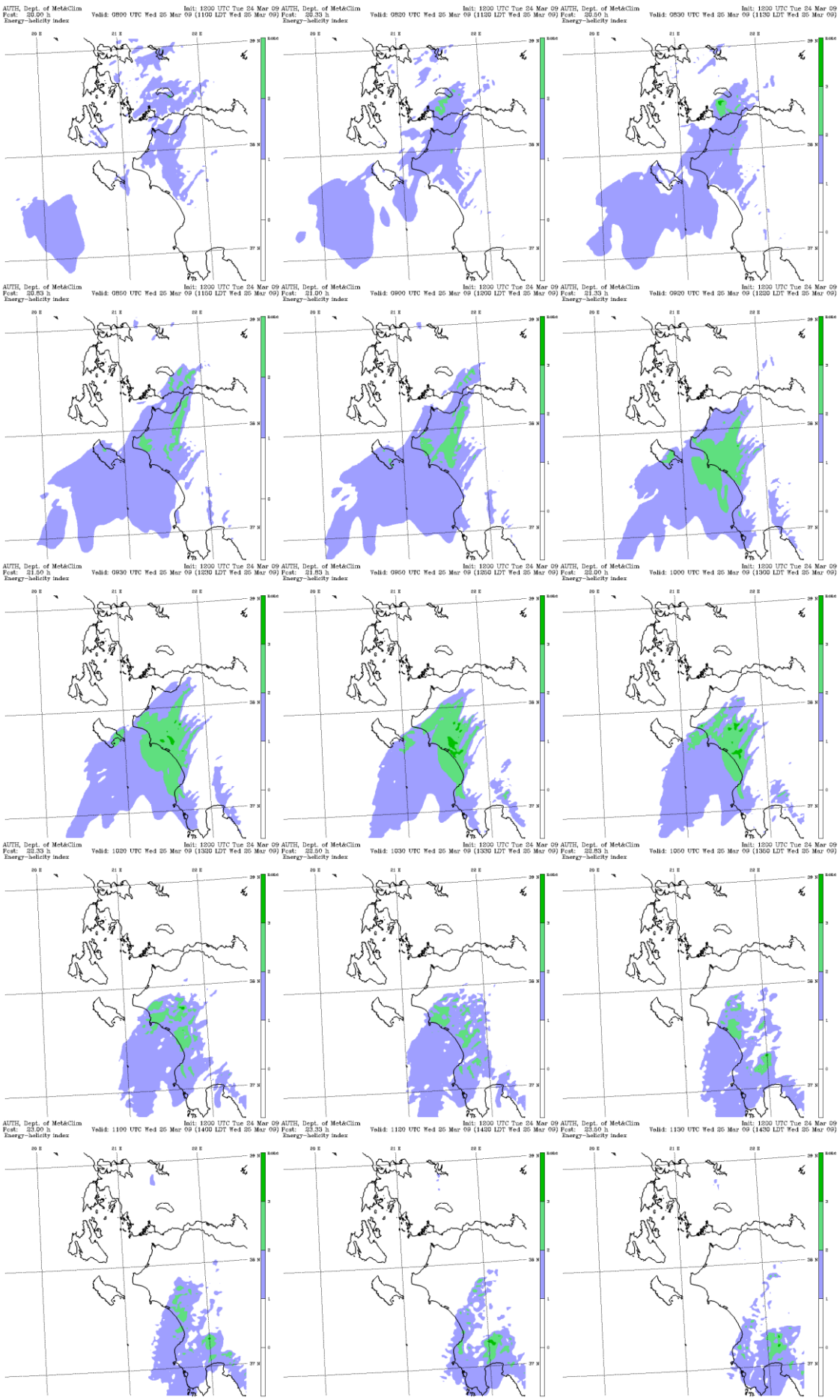
Η αριθμητική προσομοίωση της περίπτωσης σίφωνα T09 παρουσίασε μικρότερες τιμές των διαγνωστικών δεικτών σε σύγκριση με την περίπτωση σίφωνα T07, η οποία οφείλεται στη διαφορετική περίοδο και γεωγραφική περιοχή μελέτης. Στην Εικόνα 9.28 παρουσιάζονται τα γραφικά αποτελέσματα της αριθμητική προσομοίωσης του διαγνωστικού δείκτη EHI με χρονικό βήμα ανάλυσης 20 min αρχόμενης από τις 08:00 UTC έως τις 11:30 UTC. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του διαγνωστικού δείκτη EHI αποτύπωσε στην περιοχή της ΒΔ Πελοποννήσου, 90 min πριν την εκδήλωση σίφωνα, ένα ατμοσφαιρικό περιβάλλον που χαρακτηριζόταν με τιμές 1-2.

Η χρονική εξέλιξη αποτύπωσε ότι σταδιακά η περιοχή του Ιονίου (δυτικότερα της Ζακύνθου και της Κεφαλλονιάς και με κίνηση προς τις ακτές της Πελοποννήσου) σταδιακά αποτύπωνε μία αύξηση του δείκτη και καθώς πλησίασε προς τις ακτές οι τιμές του στη ΒΔ Πελοπόννησο παρουσίασαν αύξηση από 1-2 σε 2-4. Ωστόσο, η μέγιστη τιμή 4 δεν αποτυπώθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Βάρδας Μανωλάδας αλλά νοτιότερα προς την περιοχή της Αμαλιάδας.

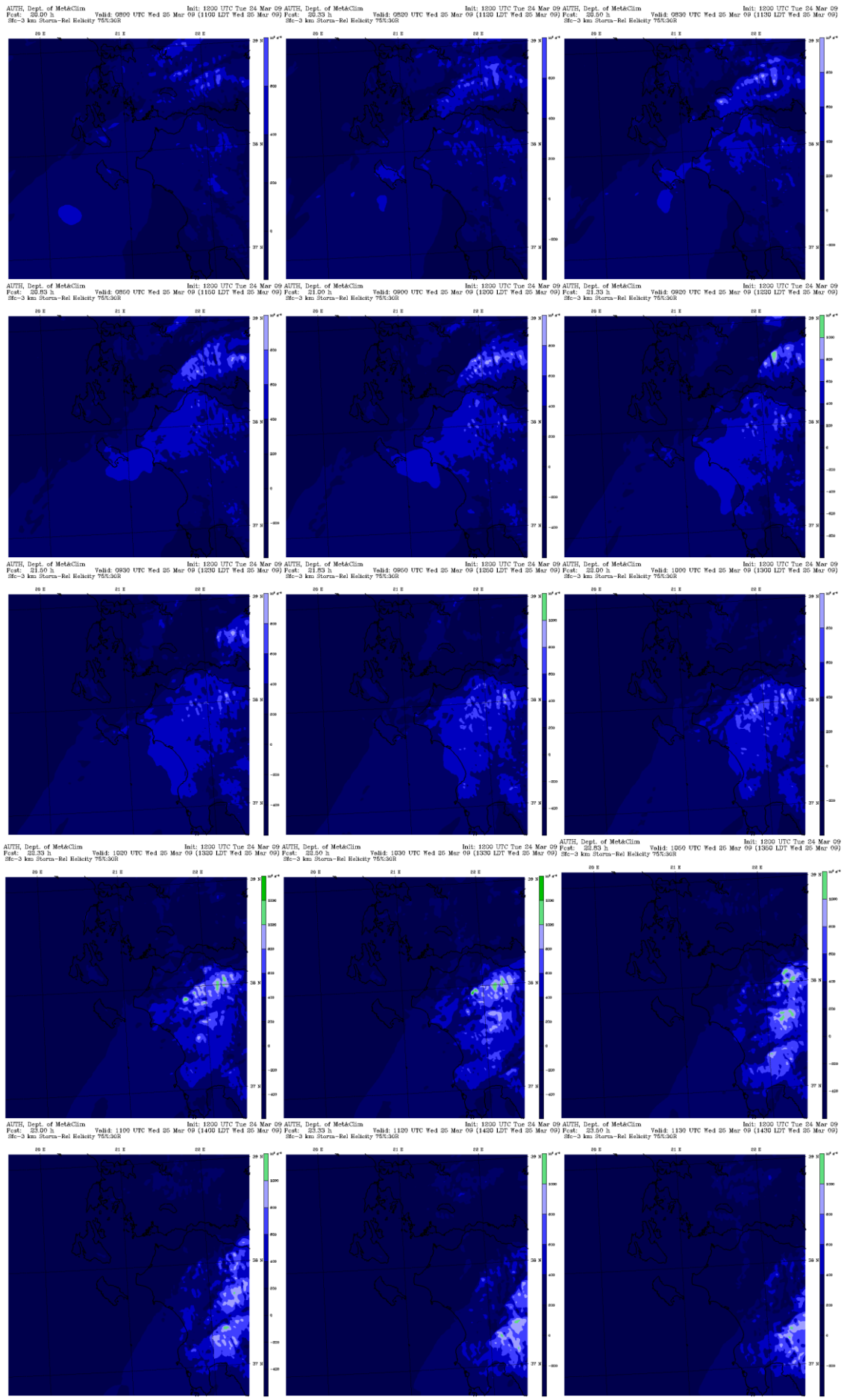
Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη SRH (Εικόνα 9.29) αποτύπωσε μία παρόμοια χρονική εξέλιξη με το δείκτη EHI. Πριν την εκδήλωση του σίφωνα στην περιοχή της ΒΔ Πελοποννήσου οι τιμές του δείκτη κυμαίνονταν από 200 m^2/s^2 έως 400 m^2/s^2, ενώ σταδιακά καθώς πλησίαζε το ψυχρό μέτωπο οι τιμές του αυξήθηκαν σε 600-800 m^2/s^2. Ωστόσο στην περιοχή εκδήλωσης του σίφωνα η τιμή δεν ξεπέρασε την τιμή 600 m^2/s^2. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη BRN αποτύπωσε 60-90 min πριν την εκδήλωση του σίφωνα, στην περιοχή της ΒΔ Πελοποννήσου μία στενή ζώνη με εύρος τιμών 100-200 m^2/s^2.

Ωστόσο η σταδιακή προσέγγιση της μετωπικής δραστηριότητας είχε ως αποτέλεσμα την διεύρυνση αυτής της ζώνης και στο μεγαλύτερο ποσοστό της ΒΔ Πελοποννήσου η τιμή του δείκτη να είναι 200 m^2/s^2. Στην Εικόνα 9.30 αποτυπώνονται τα γραφικά αποτελέσματα της εξέλιξης του διαγνωστικού δείκτη BRN, ενώ στην Εικόνα 9.31 παρουσιάζονται τα γραφικά αποτελέσματα του δείκτη MCAPE. Στη ΒΔ Πελοπόννησο πριν την εκδήλωση του T10, στην περιοχή ο δείκτης MCAPE είχε εύρος τιμών από 600 έως 800 J/kg. Σταδιακά και πλησιάζοντας χρονικά την εκδήλωση του T10 η τιμή του δείκτη αυξήθηκε σε 1000 J/kg καλύπτοντας το μεγαλύτερο ποσοστό της ΒΔ Πελοποννήσου ενώ η μέγιστη τιμή 1200 J/kg παρατηρήθηκε 10 km ΝΑ του σημείου εμφάνισης.

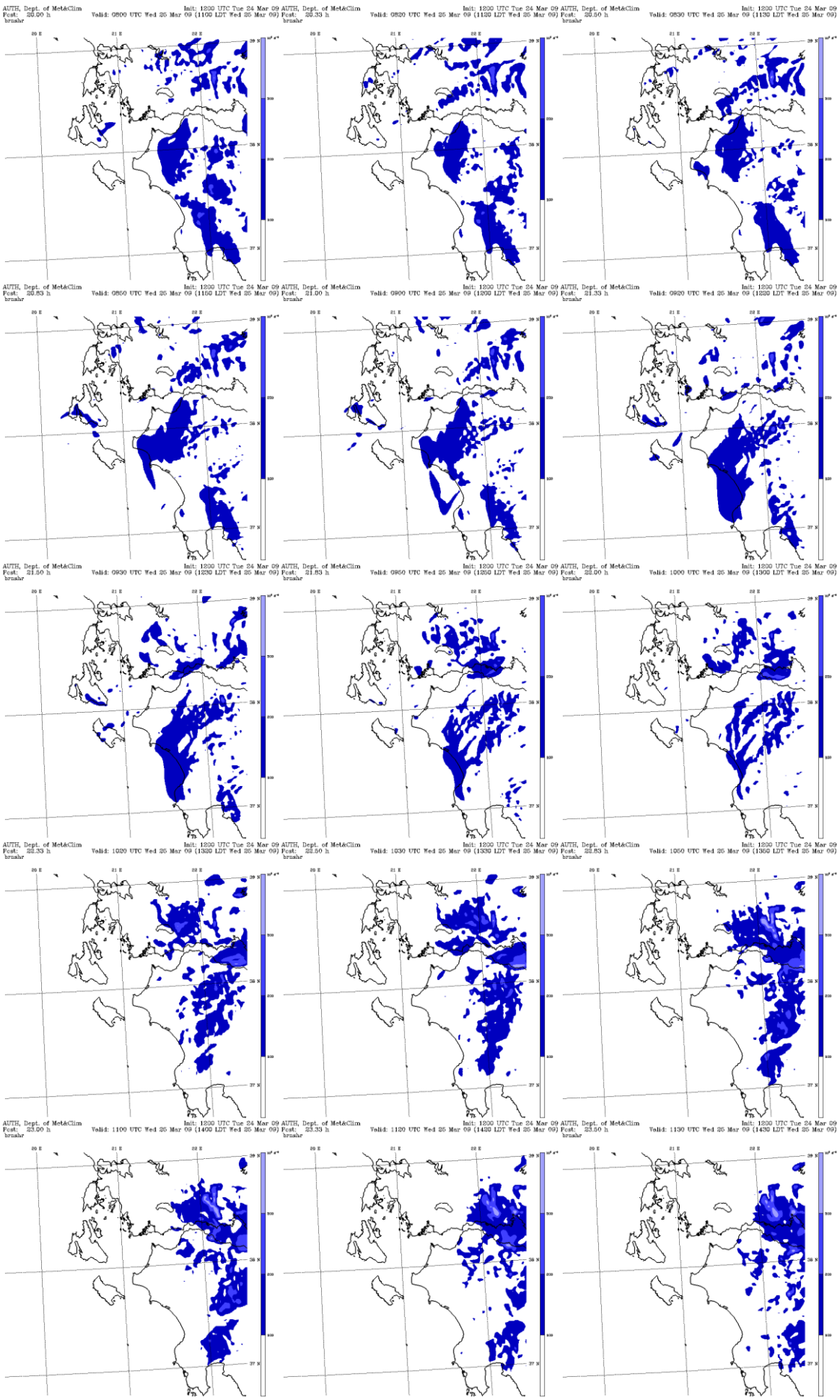
Τα αριθμητικά αποτελέσματα όλων των διαγνωστικών δεικτών 60-90 min πριν την εκδήλωση του T09 αποτύπωσαν ότι στην ΒΔ Πελοπόννησο μία ζώνη με ατμοσφαιρικές συνθήκες οι οποίες είναι σε γενικότερη συμφωνία με το ατμοσφαιρικό περιβάλλον κατά την εκδήλωση σιφώνων στην ξηρά [94]. Αυτές οι οριακές συνθήκες ανάπτυξης νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και περιβάλλοντος με διατμητικούς ανέμους στην κατώτερη ατμόσφαιρα επιβεβαιώθηκαν και με την ανάλυση των αποτελεσμάτων των εικόνων Radar της Ανδραβίδας ([168], [81]). Παρατηρούμε ότι οι συνθήκες αυτές αποτυπώθηκαν στις αριθμητικές προσομοιώσεις, αποδεικνύοντας την προγνωστική δυνατότητα του μοντέλου να αποτυπώσει τις προ-υπάρχουσες ατμοσφαιρικές συνθήκες οριακής αστάθειας στη ΒΔ Πελοπόννησο.



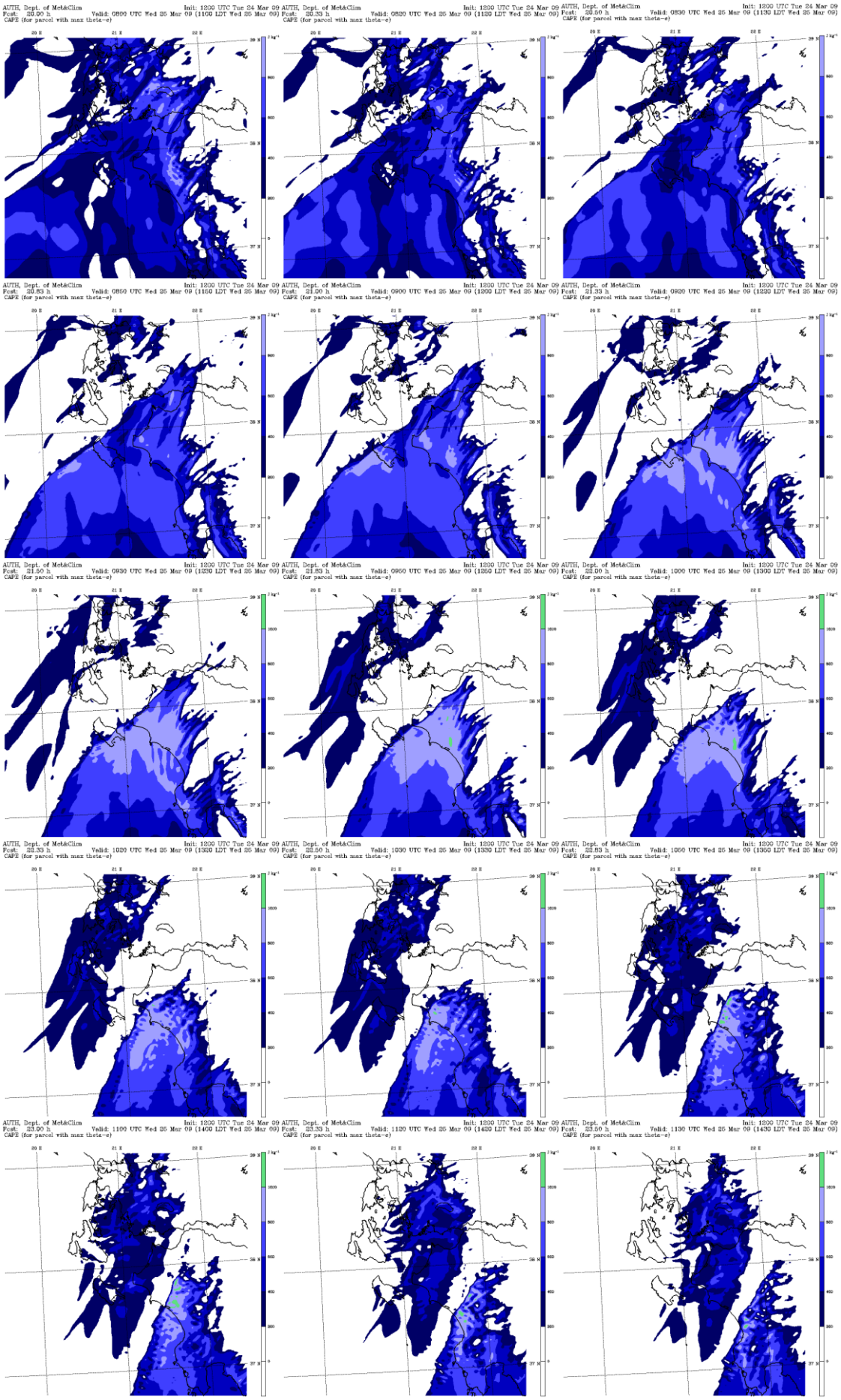
Εικόνα 9.28: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T09, από τις 08:00 UTC έως 11:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



Εικόνα 9.29: Όμοια με την Εικόνα 9.28 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).



Εικόνα 9.30: Όμοια με την Εικόνα 9.28 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).



Εικόνα 9.31: Όμοια με την Εικόνα 9.28 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).

9.5.3 Αριθμητική προσομοίωση Τ10 σίφωνα

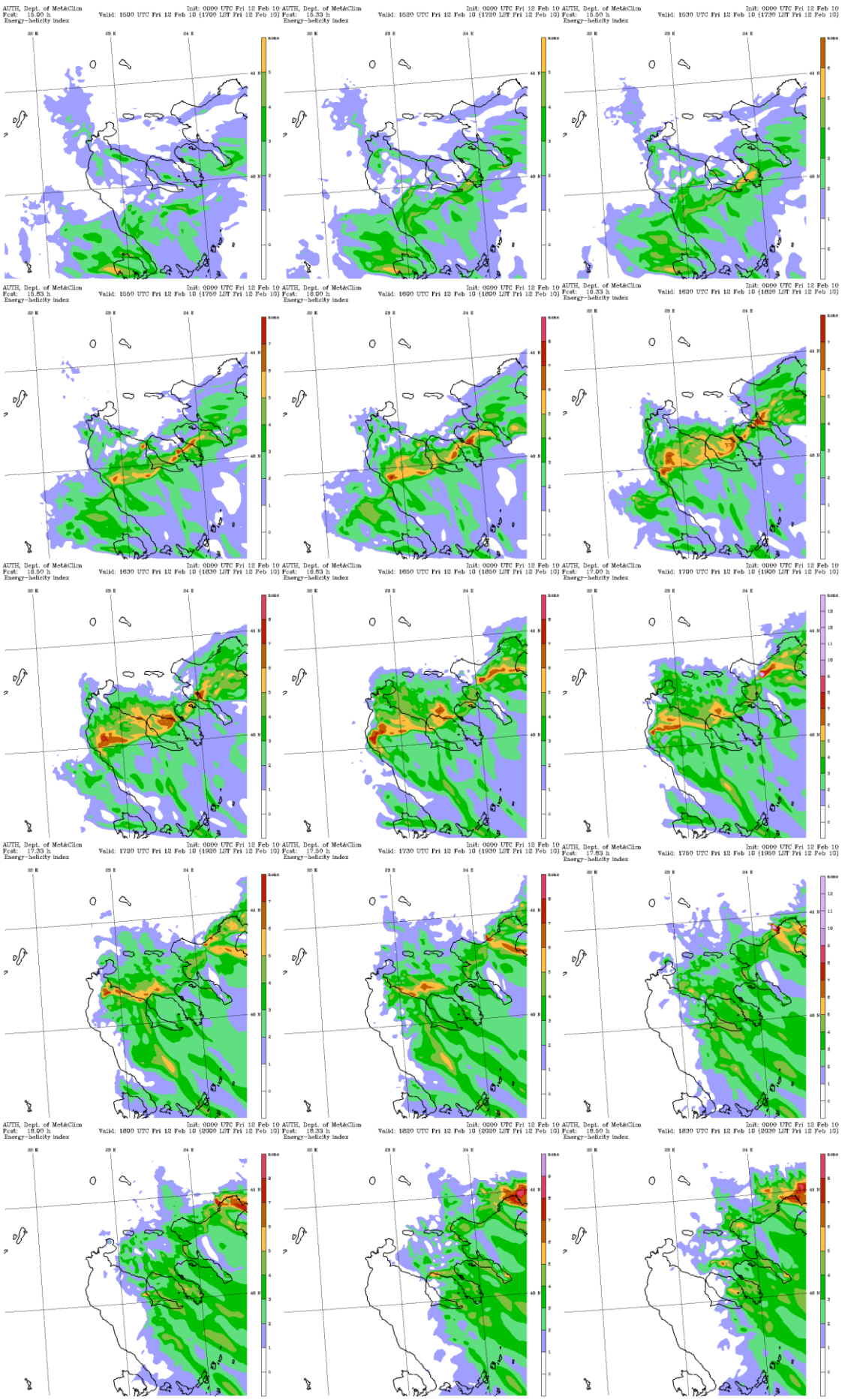
Στις Εικόνες 8.32 - 8:35 παραθέτουμε τα γραφικά αποτελέσματα αριθμητικής προσομοίωσης/εξέλιξης των διαγνωστικών δεικτών EHI, SRH, BRN και MCAPE (αντίστοιχα) για την περίπτωση εκδήλωσης του σίφωνα Τ10, από τις 15:00 UTC έως 18:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη EHI αποτύπωσε μία στενή ζώνη με εύρος τιμών από 3 έως 6 και με προσανατολισμό (ΝΔ-ΒΑ) να προσεγγίζει τη νότια Χαλκιδική. Η ζώνη μέσω των οπτικοποιημένων παρατηρήσεων των ηλεκτρικών εκκενώσεων από το δίκτυο της ΕΜΥ και των εικόνων Radar του σταθμού της Θεσσαλονίκης, συμπίπτει χωροχρονικά με μία στενή ζώνη καταιγιδοφόρων νεφών και σχετίζεται με την προσέγγιση της μετωπικής δραστηριότητας. Στην περιοχή εκδήλωσης του Τ10 ο δείκτης είχε τιμές 0-1, ενώ η σταδιακή προσέγγιση της προαναφερόμενης ζώνης αποτύπωσε αύξηση της τιμής σε 8 ενώ η μέγιστη τιμή 9 παρατηρήθηκε σε απόσταση 10 km νοτιότερα της περιοχής εκδήλωσης του Τ10.

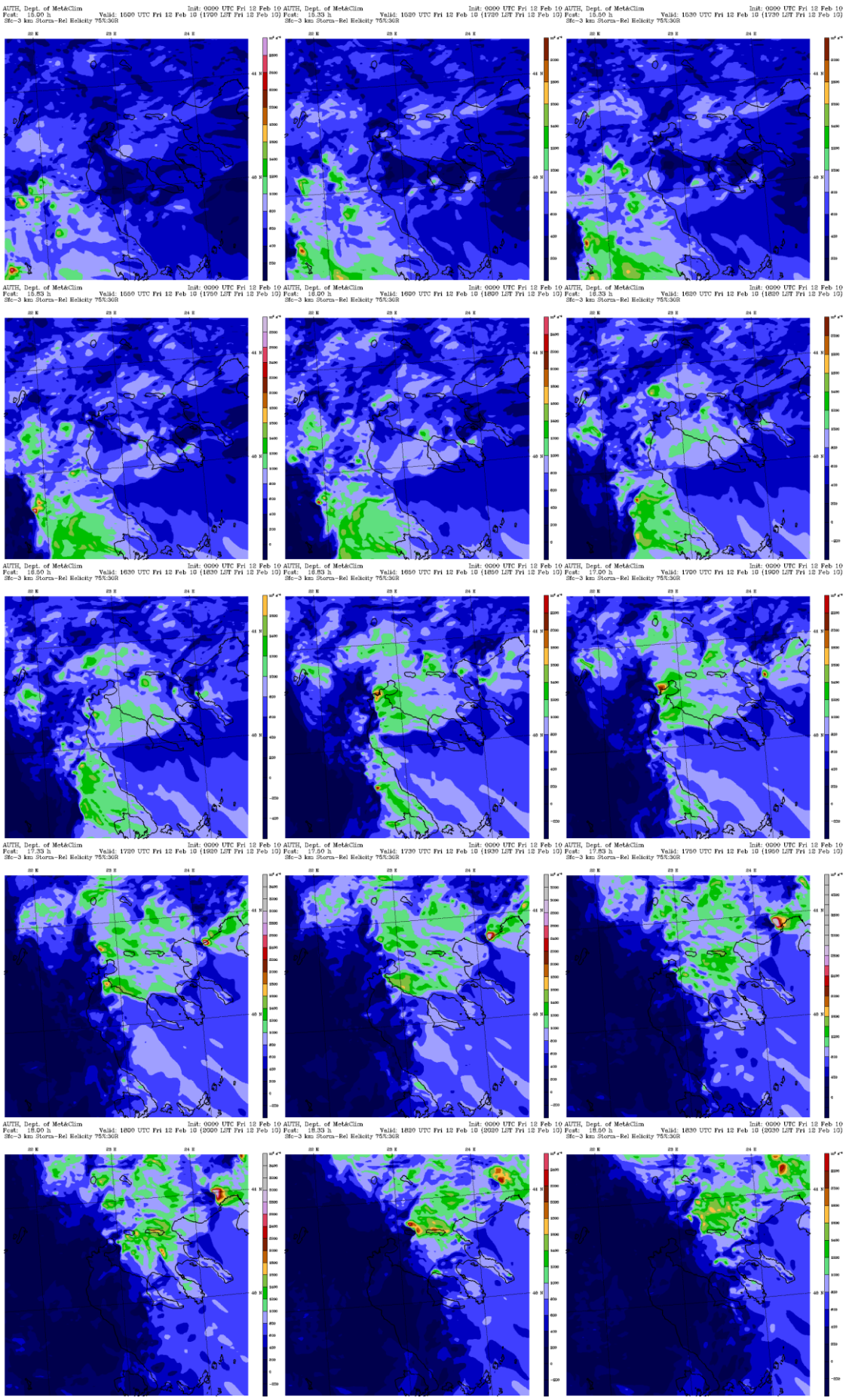
Ο δείκτης SRH κατά την αριθμητική προσομοίωση αποτύπωσε μία παρόμοια στενή ζώνη στη νότια Χαλκιδική με εύρος τιμών 800-1200 m^2/s^2. Σταδιακά η ζώνη αυτή πλησίασε την ευρύτερη περιοχή εκδήλωσης του Τ10 και οι τιμές του δείκτη στην περιοχή μελέτης αυξήθηκαν σε 1400 m^2/s^2 ενώ στις 18:00 UTC (~20 min μετά την εκδήλωση του Τ10) η μέγιστη στην περιοχή αυξήθηκε σε 2000 m^2/s^2.

Παρόμοια συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών συνθηκών με τον δείκτη SRH καταγράψαμε και για το δείκτη BRN. Η περιοχή μελέτης πριν την εκδήλωση του Τ10 αποτύπωσε τιμές < 300 m^2/s^2 ενώ από τα Ν-ΝΔ πλησίαζε μία στενή ζώνη με εύρος τιμών 300-600 m^2/s^2, ενώ τη χρονική στιγμή εκδήλωσης του Τ11 η τιμή του στην περιοχή μελέτης κυμάνθηκε από 300-400 m^2/s^2 ενώ η μέγιστη τιμών 400-500 m^2/s^2 παρατηρήθηκε βορειότερα (περί τα 20 km).

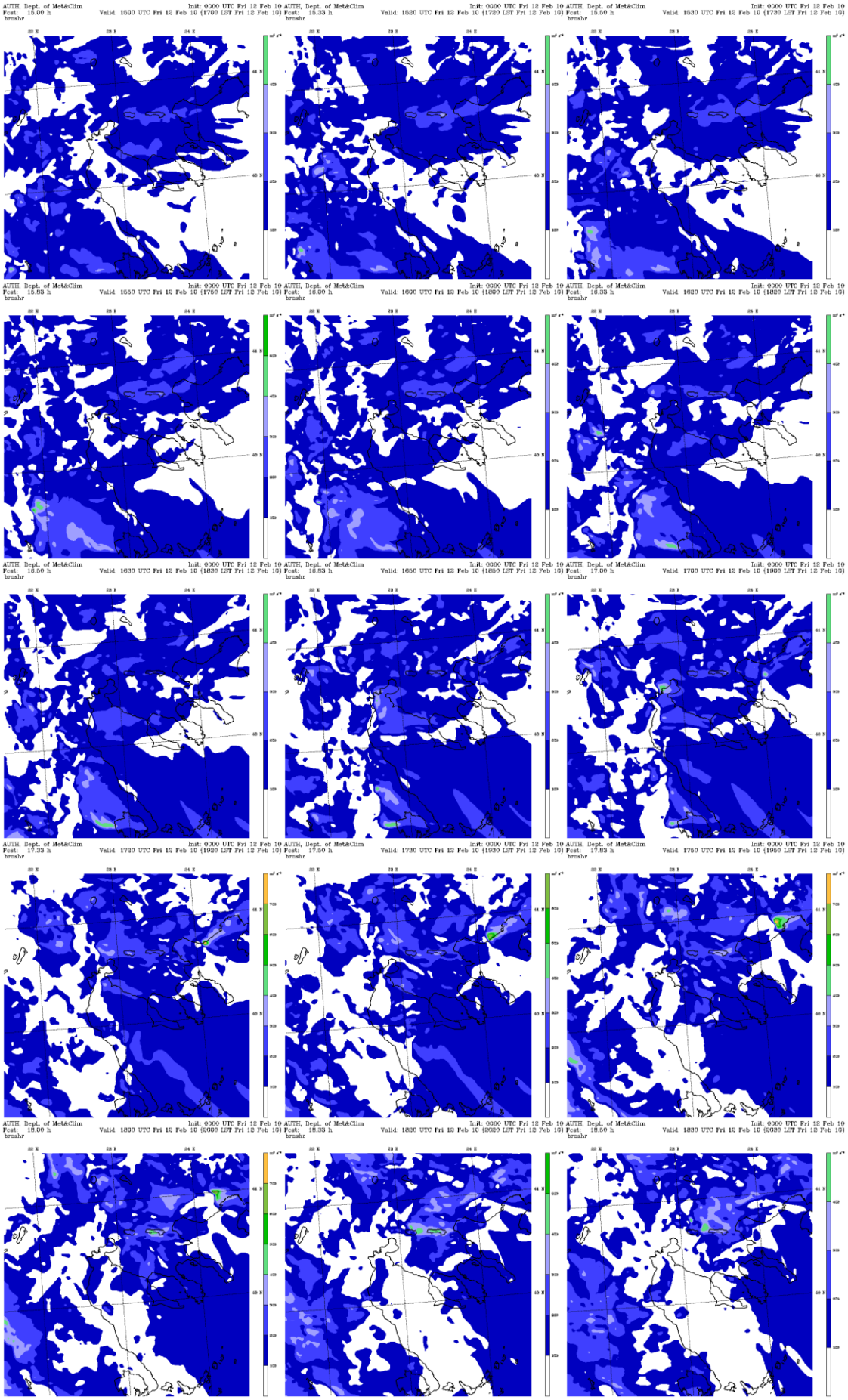
Η ανάλυση του δείκτη MCAPE αποτύπωσε την περιοχή με τα καταιγιδοφόρα νέφη να έχουν ένα εύρος τιμών από 800-1400 J/kg, και να πλησιάζει την περιοχή εκδήλωσης του Τ10, στην οποία η τιμή του δείκτη ήταν 200-400 J/kg. Πλησιάζοντας χρονικά την εκδήλωση του σίφωνα, η περιοχή μελέτης παρουσιάζει σταδιακή αύξηση τιμών του MCAPE και κυμαίνεται από 1000-1200 J/kg. Τα παραπάνω αποτελέσματα, που αποτυπώνουν την χωροχρονική εξέλιξη των δεικτών και ιδιαίτερα της στενής ζώνης με τις υψηλές τιμές δεικτών, ταυτίζεται με την πραγματική εικόνα των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή. Ιδιαίτερα τα δεδομένα των ηλεκτρικών εκκενώσεων αλλά και των εικόνων Radar αποτυπώνουν την στενή ζώνη που συνδέεται με τη μετωπική δραστηριότητα να πλησιάζει την περιοχή μελέτης αποδεικνύοντας την προγνωστική δυνατότητα του μοντέλου στην περίπτωση του Τ10.



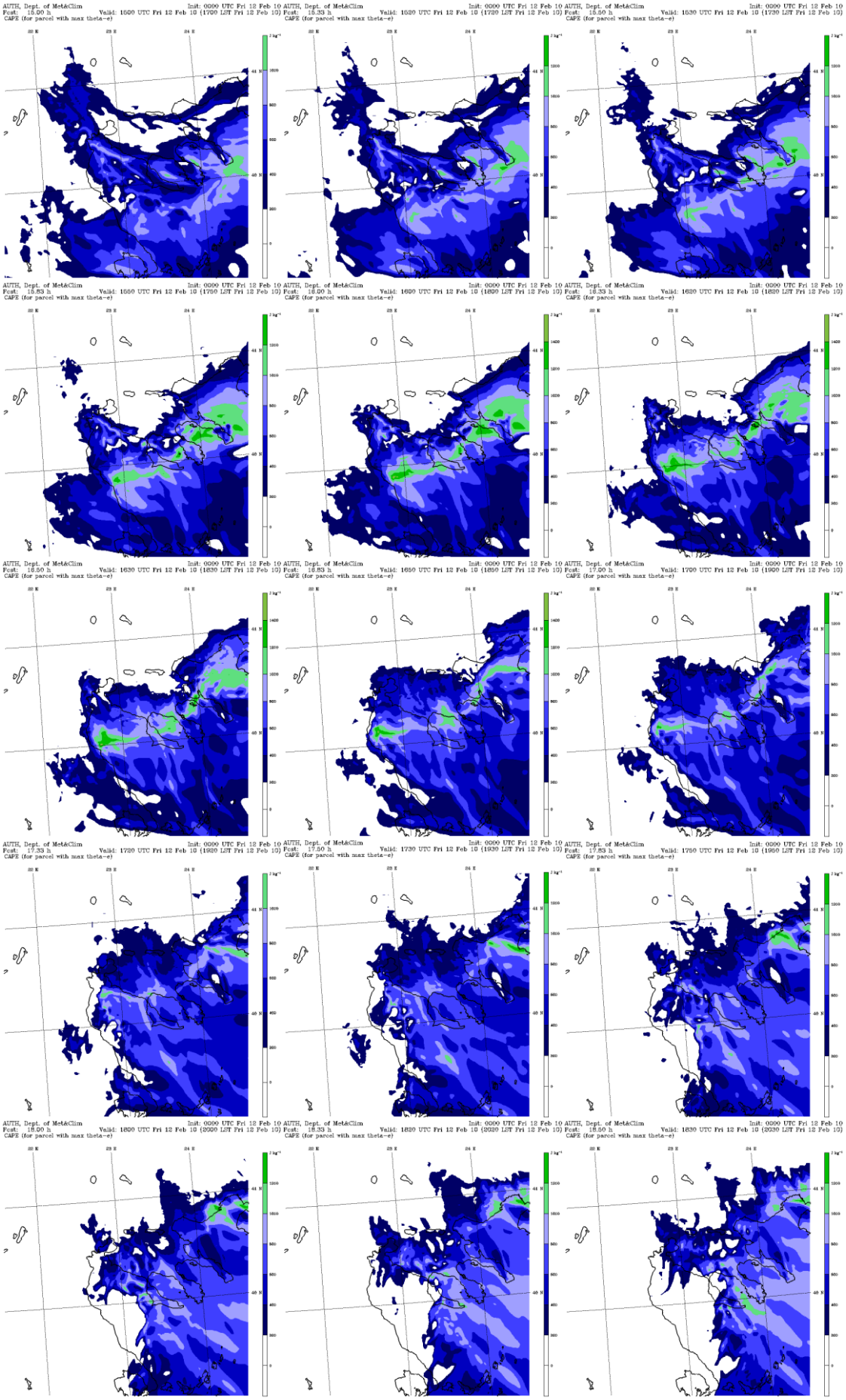
Εικόνα 9.32: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T10, από τις 15:00 UTC έως 18:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



Εικόνα 9.33: Όμοια με την Εικόνα 9.32 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).



Εικόνα 9.34: Όμοια με την Εικόνα 9.32 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).



Εικόνα 9.35: Όμοια με την Εικόνα 9.32 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).

9.5.4 Αριθμητική προσομοίωση T11 σίφωνα

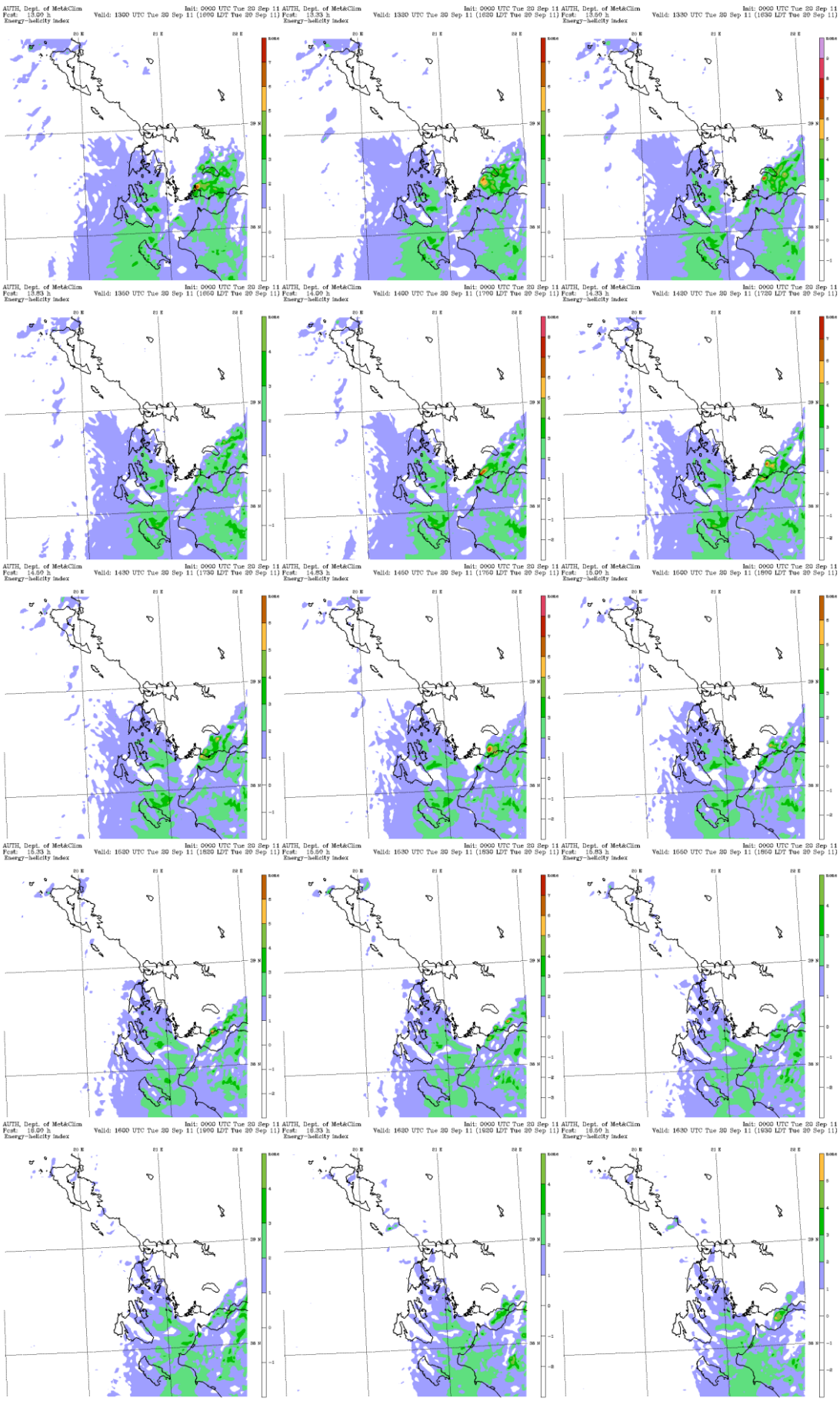
Στις Εικόνες 8.36 -8.39 παραθέτουμε τα γραφικά αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης των διαγνωστικών δεικτών EHI, SRH, BRN και MCAPE (αντίστοιχα) για την περίπτωση εκδήλωσης του σίφωνα T10, από τις 13:00 UTC έως 16:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη EHI αποτύπωσε ότι στην ευρύτερη περιοχή πριν την εκδήλωση του T11 ο δείκτης είχε τιμές 1-2, ενώ ΝΔ στην περιοχή Κεφαλλονιάς και Ζακύνθου ο δείκτης αποτύπωσε μέγιστες τιμές 3-4. Πλησιάζοντας τη χρονική στιγμή εκδήλωσης του T11 η περιοχή της Λευκάδος παρουσίασε μία σταδιακή αύξηση της τιμής του δείκτη και την ώρα εκδήλωσής του αποτυπώθηκαν τιμές με εύρος 3-4.

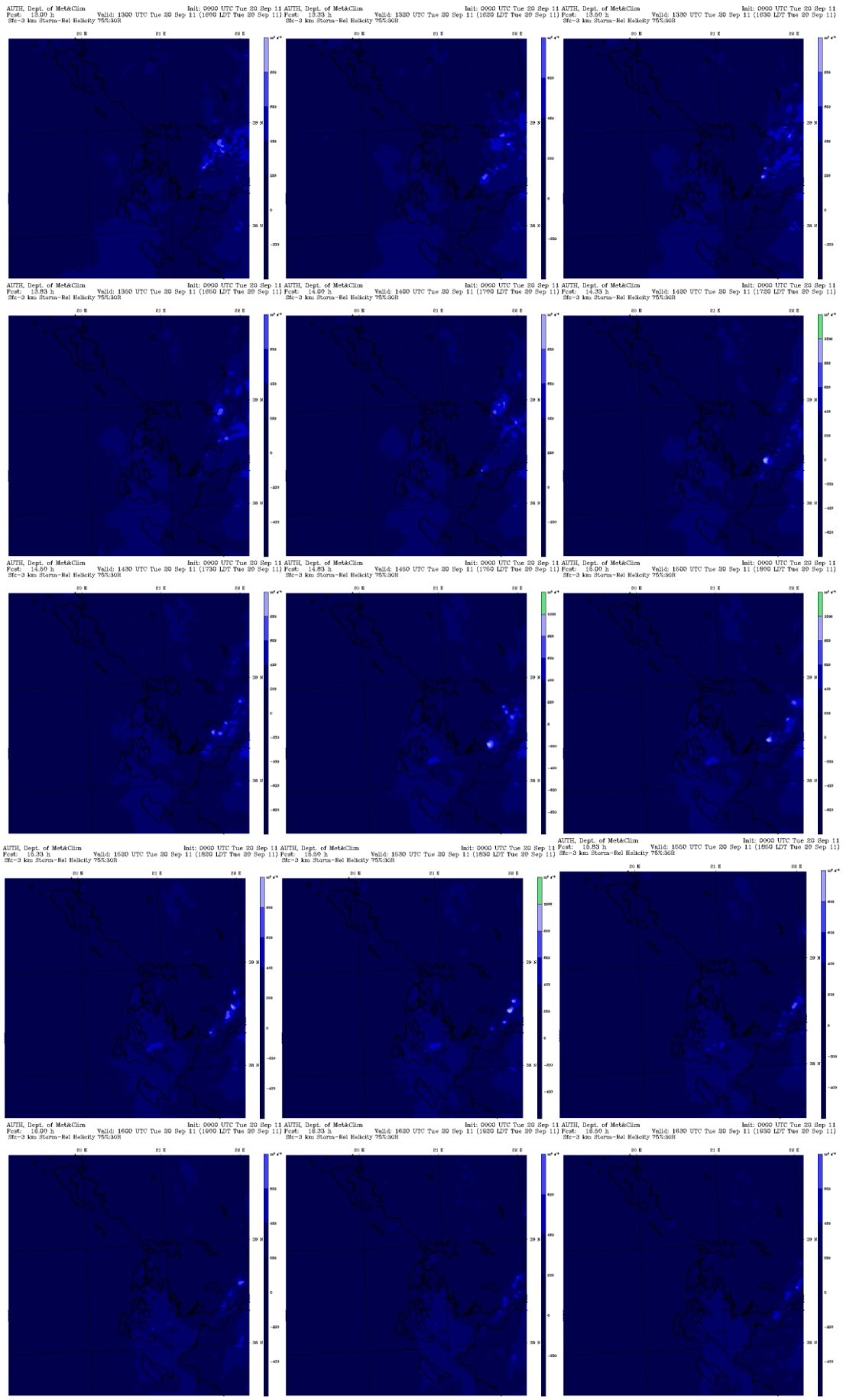
Η χωροχρονική εξέλιξη του διαγνωστικού δείκτη SRH παρουσίασε κάποια αξιόλογη μεταβολή και κυμάνθηκε στο εύρος τιμών από 200 m^2/s^2 έως 400 m^2/s^2. Ωστόσο αρκετά νοτιότερα προς την περιοχή της Κεφαλλονιάς η οπτικοποίηση παρουσίασε μία μικρή περιοχή με τη μέγιστη τιμή 400-600 m^2/s^2. Ομοίως, ο δείκτης BRN δεν παρουσίασε κάποια αξιοσημείωτη χωροχρονική μεταβολή και η τιμή του στην ευρύτερη περιοχή της Λευκάδος κυμάνθηκε από 200 m^2/s^2 έως 300 m^2/s^2. Οι μέγιστες τιμές (300-400 m^2/s^2) αποτυπώθηκαν ανατολικότερα στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας μετά τις 14:20 UTC.

Η ανάλυση του δείκτη MCAPE αποτύπωσε σημαντικά υψηλές τιμές (1800-2600 J/kg) στην περιοχή ανατολικά της Ζακύνθου και πάνω από την ΒΔ Πελοπόννησο. Στην περιοχή της Λευκάδος η μέγιστη τιμή του MCAPE πριν την εκδήλωση του T11 ήταν 1800-2000 J/kg στον κόλπο της Βλυχούς, ενώ στην συνέχεια κυμάνθηκε από 1400-1800 J/kg.

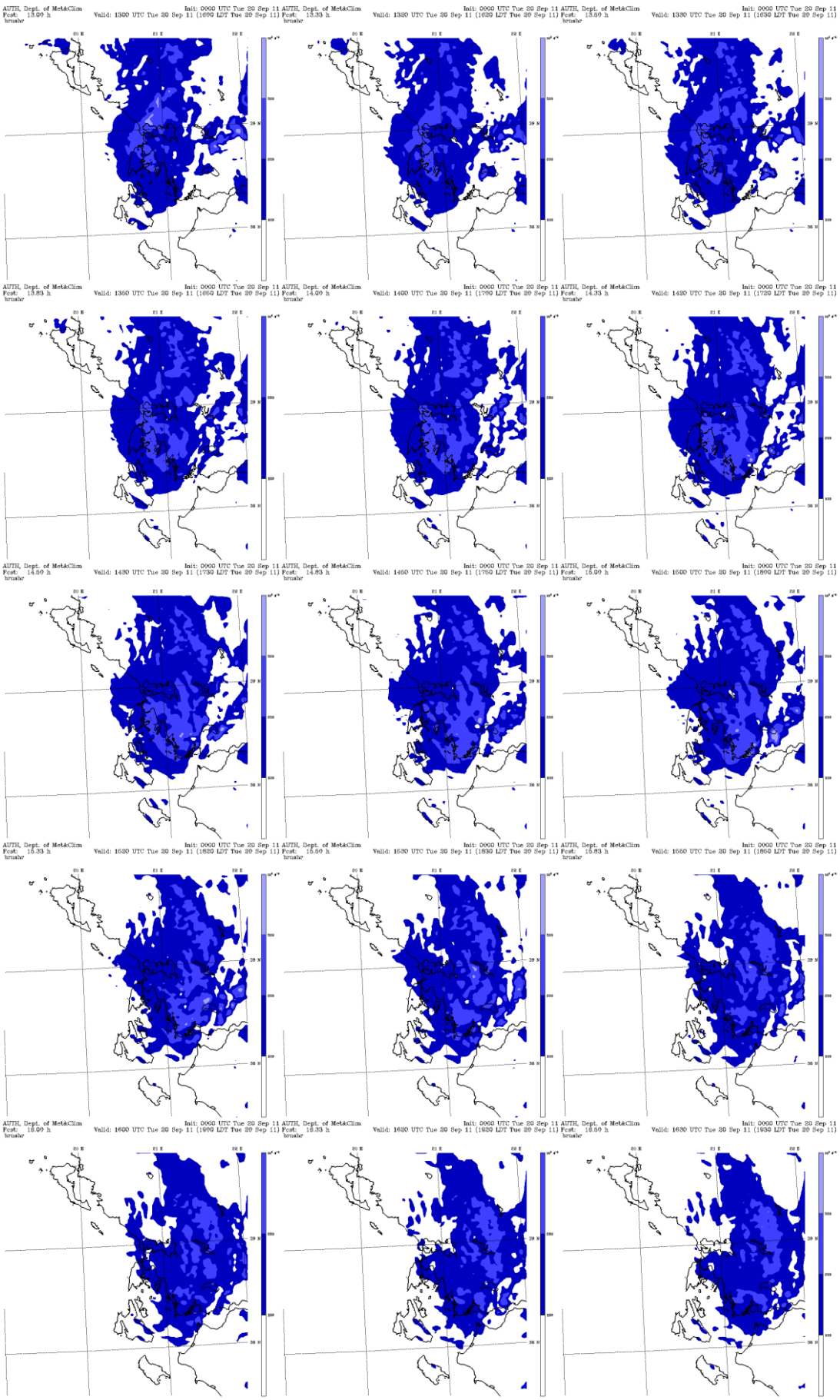
Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες αριθμητικές προσομοιώσεις (T07, T09 και T10) η αριθμητική προσομοίωση δεν κατάφερε να ταυτίσει την περιοχή με τα καταιγιδοφόρα νέφη (που συνοδεύει το ψυχρό μέτωπο) με τις περιοχές με υψηλούς δείκτες αστάθειας.



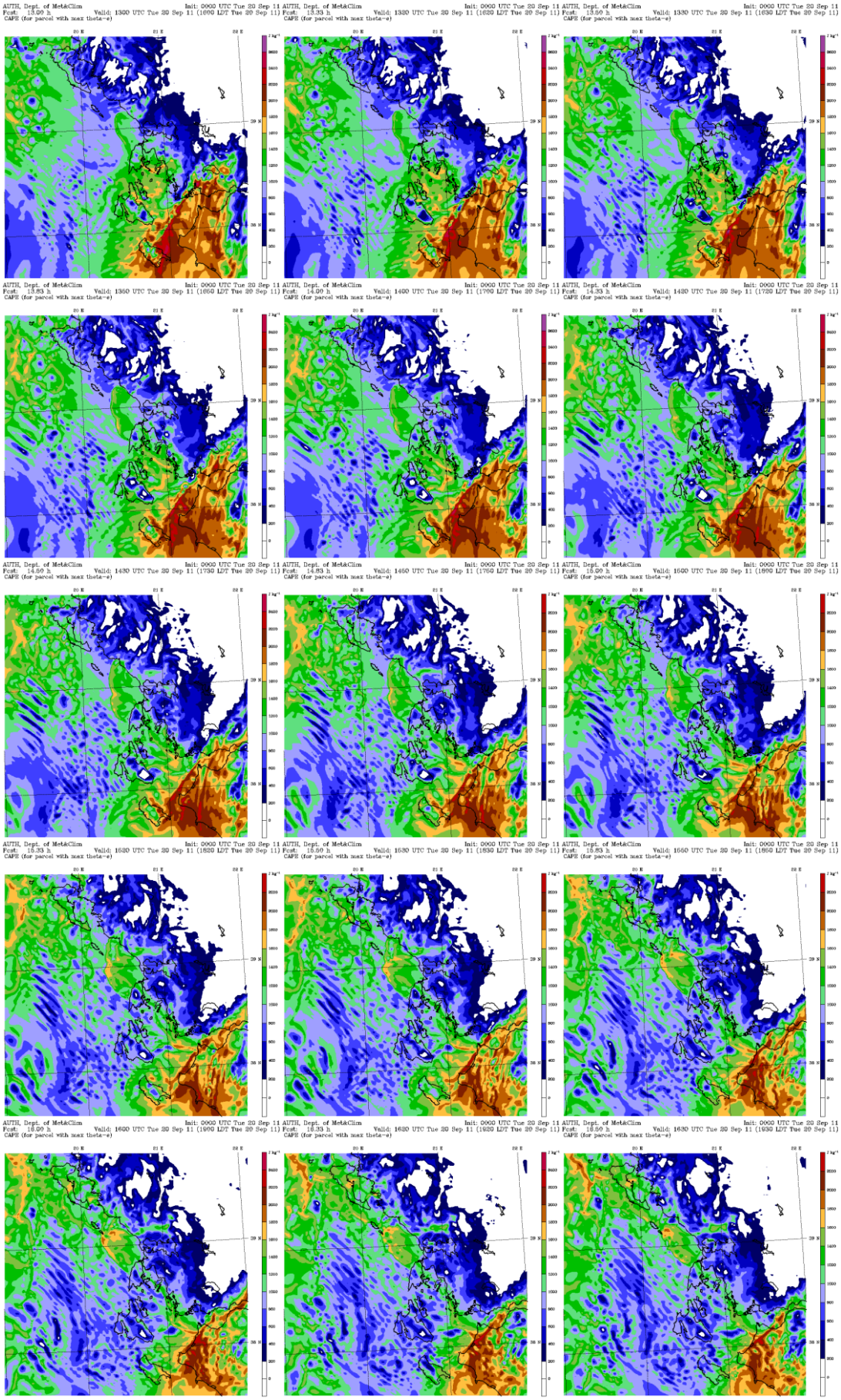
Εικόνα 9.36: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T11, από τις 13:00 UTC έως 16:30 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



Εικόνα 9.37: Όμοια με την Εικόνα 9.36 αλλά για το δείκτη SRH (m^2/s^2).



Εικόνα 9.38: Όμοια με την Εικόνα 9.36 αλλά για το δείκτη BRN (m^2/s^2).



Εικόνα 9.39: Όμοια με την Εικόνα 9.36 αλλά για το δείκτη MCAPE (J/kg).

9.6 Τροποποίηση αναγλύφου/ορογραφίας στις αριθμητικές προσομοιώσεις

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της τροποποίησης του αναγλύφου στις αριθμητικές προσομοιώσεις που παρουσιάσουμε στις προηγούμενες υποενότητες. Ο αντικειμενικός σκοπός της τροποποίησης του αναγλύφου αποσκοπεί στην εξέταση μεταβολής των δεικτών αστάθειας EHI, BRN, SRH και MCAPE, που αναλύθηκαν σε προηγούμενες ενότητες, σε περιβάλλον που ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις λόγω συνοπτικού αιτίου (μετωπικές δραστηριότητες) κατά την εκδήλωση σίφωνα.

Η τροποποίηση του αναγλύφου αφορά τα τοπογραφικό υπόβαθρο στο εσωτερικό πλέγμα χωρικής πληροφορίας (D3) των γεγονότων T07, T09, T10, T11 και αφορά μείωση της μορφολογίας του εσωτερικού αναγλύφου κατά 100%. Η ίδια μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε σε πολλές μελέτες για τη διερεύνηση του ρόλου της τοπογραφίας (ενίσχυση ή εμποδισμός) σε περιπτώσεις ισχυρής βροχόπτωσης, όπως για παράδειγμα στην περιοχή των Άλπεων [212], στην περιοχή της Ταιβάν [211], [212] και [213]. Επίσης η ίδια μεθοδολογία εφαρμόστηκε και σε μελέτες στην Ελλάδα, που εξετάζουν την επίδραση της τοπογραφίας σε ισχυρές καταιγίδες στην Ήπειρο [214] και στους βόρειους ανέμους στην περιοχή της Κρήτης [215]. Για λόγους συντομίας στην ανάλυση των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιείται ο όρος TOPOMX, όπου X θα είναι η τροποποίηση του αναγλύφου και θα είναι 0 για την πραγματική τοπογραφία και 100 για την απαλοιφή της στις αριθμητικές προσομοιώσεις. Σε όλες τις αναλύσεις που ακολουθούν η περιγραφή της εξέλιξης των δεικτών αφορά τη χρονική περίοδο 2 ωρών πριν την εκδήλωση του σίφωνα και 1 ώρας μετά την εκδήλωσή του. Τα γραφικά αποτελέσματα της προσομοίωσης με μειωμένη την τοπογραφία κατά 100% (TOPOM100) στο εσωτερικό πλέγμα (D3) για όλες τις προσομοιώσεις των διαγνωστικών μεταβλητών EHI, SRH, BRN και MCAPE παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III.

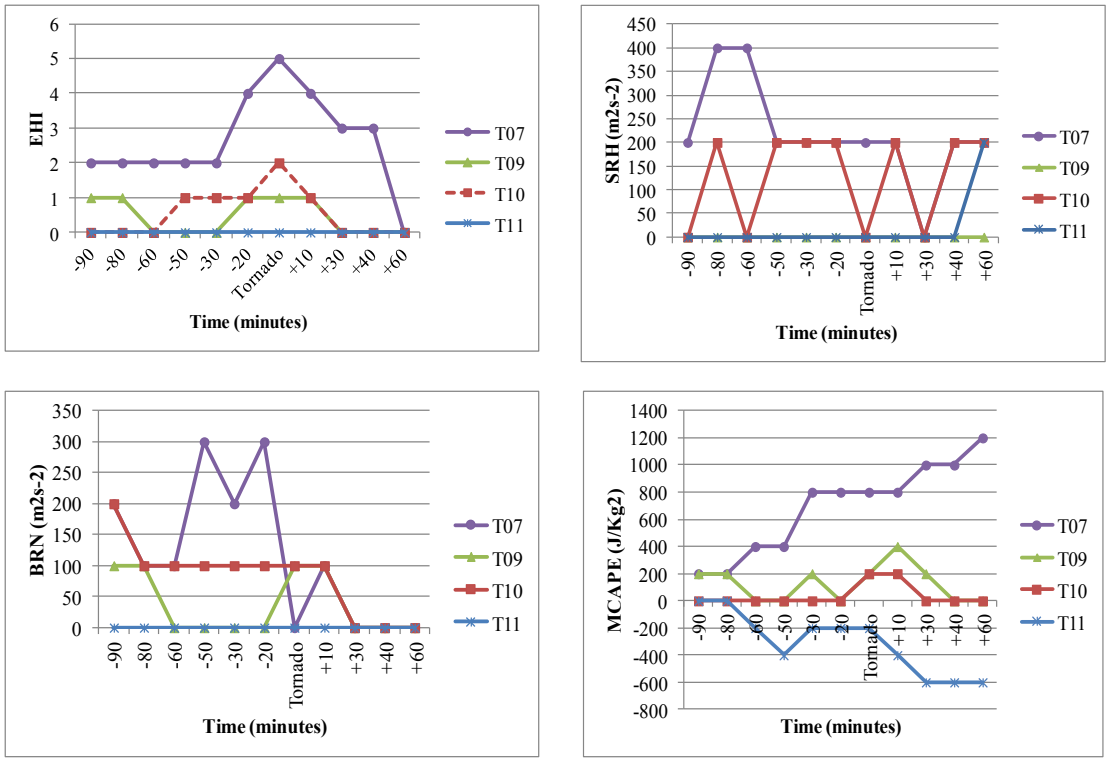
Στην προσομοίωση του σίφωνα T07 με TOPOM100 EHI αποτυπώνει τιμές μικρότερες των 4 σε μία περιοχή η οποία απέχει 40 km νότια της θέσης εκδήλωσης σίφωνα. Η τιμή αυτή είναι σχεδόν 50 % μικρότερη από την τιμή του EHI κατά την αριθμητική προσομοίωση με TOPOM0, αποτυπώνοντας τη σημασία του αναγλύφου στην περίπτωση του T07 σίφωνα. Σε αντίθεση με την παράμετρο EHI, η παράμετρος SRH αποτύπωσε τις μέγιστες τιμές στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου με τιμές μικρότερες των 1000 m^2/s^2 και καμία σημαντική μεταβολή δεν παρουσίασε κατά την εξέλιξη του φαινομένου. Στην ίδια περιοχή του Κορινθιακού κόλπου η παράμετρος BRN παρουσίασε τιμές ίσες με 600 m^2/s^2 και κινήθηκε αρκετά γρήγορα σε σχέση με την αριθμητική προσομοίωση TOPOM0, λόγω της απουσίας της τριβής μέσα στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας. Ομοίως και η παράμετρος MCAPE ήταν μέγιστη στα νοτιότερα τμήματα (1000 J/kg) με γρήγορα ανατολική κίνηση σε σύγκριση με την τιμή MCAPE στην αριθμητική προσομοίωση με TOPOM0.

Ο δείκτης EHI κατά την αριθμητική προσομοίωση TOPOM100 αποτύπωσε τιμές μικρότερες της τιμής 1 πάνω από τη ΒΔ Πελοπόννησο και σταδιακά αυξήθηκε στην τιμή 2 στην περιοχή δημιουργίας του σίφωνα. Τόσο και στις 2 αριθμητικές προσομοιώσεις (TOPOM0 και TOPOM100) η παράμετρος SRH δεν παρουσίασε καμία σημαντική μεταβολή (800 m^2/s^2 και 600 m^2/s^2, αντίστοιχα) πάνω από τη ΒΔ Πελοπόννησο. Ο δείκτης BRN αποτύπωσε μερικές στενές ζώνες γύρω από τη θέση εκδήλωσης του σίφωνα με τιμές μικρότερες των 200 m^2/s^2. Η παράμετρος MCAPE παρουσίασε σημαντική μείωση στην περιοχή μελέτης και κυμάνθηκε από 400 έως 600 J/kg για την περίπτωση της αριθμητικής προσομοίωσης TOPOM100 του T09.

Κατά την προσομοίωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην εκδήλωση του T10 σίφωνα, ο δείκτης EHI αποτύπωσε τις μέγιστες τιμές στα νοτιότερα τμήματα της Χαλκιδικής με σταδιακή ανατολική κίνηση ενώ η προσομοίωση με TOPOM100 δεν έδειξε κάποια σημαντική διαφορά στην ανάλυση του EHI (διαφορά <1). Όσον αφορά την

ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο στην TOPOM0 και TOPOM100 προσομοίωση στην περιοχή του Θερμαϊκού και στα νότια τμήματα της Χαλκιδικής αποτυπώνεται μία περιοχή με υψηλές τιμές ίσες 1800 m^2/s^2 στην TOPOM0 προσομοίωση και μειώνεται στα 1200 m^2/s^2 στην TOPOM100 προσομοίωση. Η παράμετρος BRN δεν παρουσίασε κάποια σημαντική αλλαγή και οι τιμές της κυμαίνονταν από 100 m^2/s^2 έως 200 m^2/s^2, όπου αυξανόταν στην τιμή των 400 m^2/s^2 στην ώρα περίπου εκδήλωσης του T10 σίφωνα. Η παράμετρος MCAPE και στις δυο αριθμητικές προσομοιώσεις δεν αποτύπωσε κάποια σημαντική διαφορά και η τιμή της ήταν περίπου στα 1200 J/kg στη χρονική στιγμή εκδήλωσης του σίφωνα.

Στην εξέταση των αποτελεσμάτων της αριθμητικής προσομοίωσης TOPOM100 όλοι οι παράμετροι που εξετάζουν τη δημιουργία σίφωνα αποτύπωσαν μικρές έως μεγάλες μεταβολές σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης TOPOM0. Στην Εικόνα 9.40 αποτυπώνονται γραφικά τα αποτελέσματα των αριθμητικών προσομοιώσεων για κάθε διαγνωστική παράμετρο γέννησης σίφωνα. Στα γραφήματα οι θετικές τιμές υποδηλώνουν τη συνεισφορά της τοπογραφίας, τιμές ίσες με 0 υποδηλώνουν ούτε θετική ούτε αρνητική συνεισφορά ενώ οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν την αρνητική συνεισφορά (εμποδισμό) της τοπογραφίας σε σχέση με την εξέλιξη των διαγνωστικών παραμέτρων. Τα γραφικά αποτελέσματα αφορά την εξέλιξη των διαγνωστικών παραμέτρων 90 min πριν και 60 min μετά από την εκδήλωση του σίφωνα.



Εικόνα 9.40: Οι γραφικές παραστάσεις αποτυπώνουν τη διαφορά των αριθμητικών προσομοιώσεων (TOPOM0-TOPOM100) για κάθε διαγνωστική παράμετρο(EHI, SRH (m^2/s^2), BRN (m^2/s^2), και MCAPE (J/kg)) για κάθε περίπτωση σίφωνα (T07, T09, T10 και T11). Οι θετικές τιμές υποδηλώνουν τη συνεισφορά της τοπογραφίας τιμές ίσες με 0 υποδηλώνουν καμία συνεισφορά και αρνητικές τιμές υποδηλώνουν την αρνητική συνεισφορά (εμποδισμό) της τοπογραφίας σε σχέση με τις διαγνωστικές παραμέτρους.

Βασιζόμενοι στις διαφορές των αναλύσεων των διαγνωστικών παραμέτρων (TOPOM100 και TOPOM0), εξετάζοντας τη σημασία του αναγλύφου σε κάθε περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα, το ανάγλυφο έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση του σίφωνα T07 ακολουθούμενο από τις περιπτώσεις T10 και T09. Την ελάχιστη

επίδραση είχε η τοπογραφία στην περίπτωση του T011 για τις διαγνωστικές μεταβλητές των EHI, SRH και BRN. Οι αναλύσεις της παραμέτρου MCAPE υπέδειξε ότι η τοπογραφία «έπαιξε» σημαντικό ρόλο στα γεγονότα T07 και T09. Κατά την εκδήλωση του T10 σίφωνα η τοπογραφία έπαιξε σημαντικό ρόλο μόνο στα 20 min πριν την εκδήλωση του σίφωνα. Σε αντίθεση με την περίπτωση του σίφωνα T10, η ανάλυση της παραμέτρου MCAPE για την περίπτωση του σίφωνα T11, έδειξε μεγαλύτερες με την τροποποιημένη τοπογραφία της περιοχής.

Στην περίπτωση του σίφωνα T07, η τοπογραφία έπαιξε σημαντικό ρόλο καθώς όλες οι τιμές των διαγνωστικών ρόλων ήταν σχεδόν διπλάσιες σε τιμές σε σχέση με τις τιμές της TOPOM100 αριθμητικής προσομοίωσης. Κατά την εκδήλωση του σίφωνα T07 η καταιγίδα κινήθηκε από την περιοχή του Κορινθιακού κόλπου προς τα Α-ΒΑ πάνω από μία έντονη ανάγλυφη μορφολογία του εδάφους (περιοχή Πόρτο Γερμενού-Ψάθας, Αττικής) με σημαντική ορογραφία των 1200 m. Οι διαγνωστικές παράμετροι των EHI, MCAPE και SRH αποτύπωσαν μία σημαντική αύξηση στις τιμές του 30 min πριν την εκδήλωση του σίφωνα. Κατά της αριθμητικές προσομοιώσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην περίπτωση του T09 η συνδυασμένη τοπογραφία της ΒΔ Πελοποννήσου και η ύπαρξη της νήσου Ζακύνθου στα δυτικά είναι παράγοντες οι οποίοι ενισχύουν τις διαγνωστικές τιμές των μεταβλητών EHI και BRN.

9.6.1 Υπολογισμός του απόλυτου στροβιλισμού στις αριθμητικές προσομοιώσεις με τροποποιημένη τοπογραφία

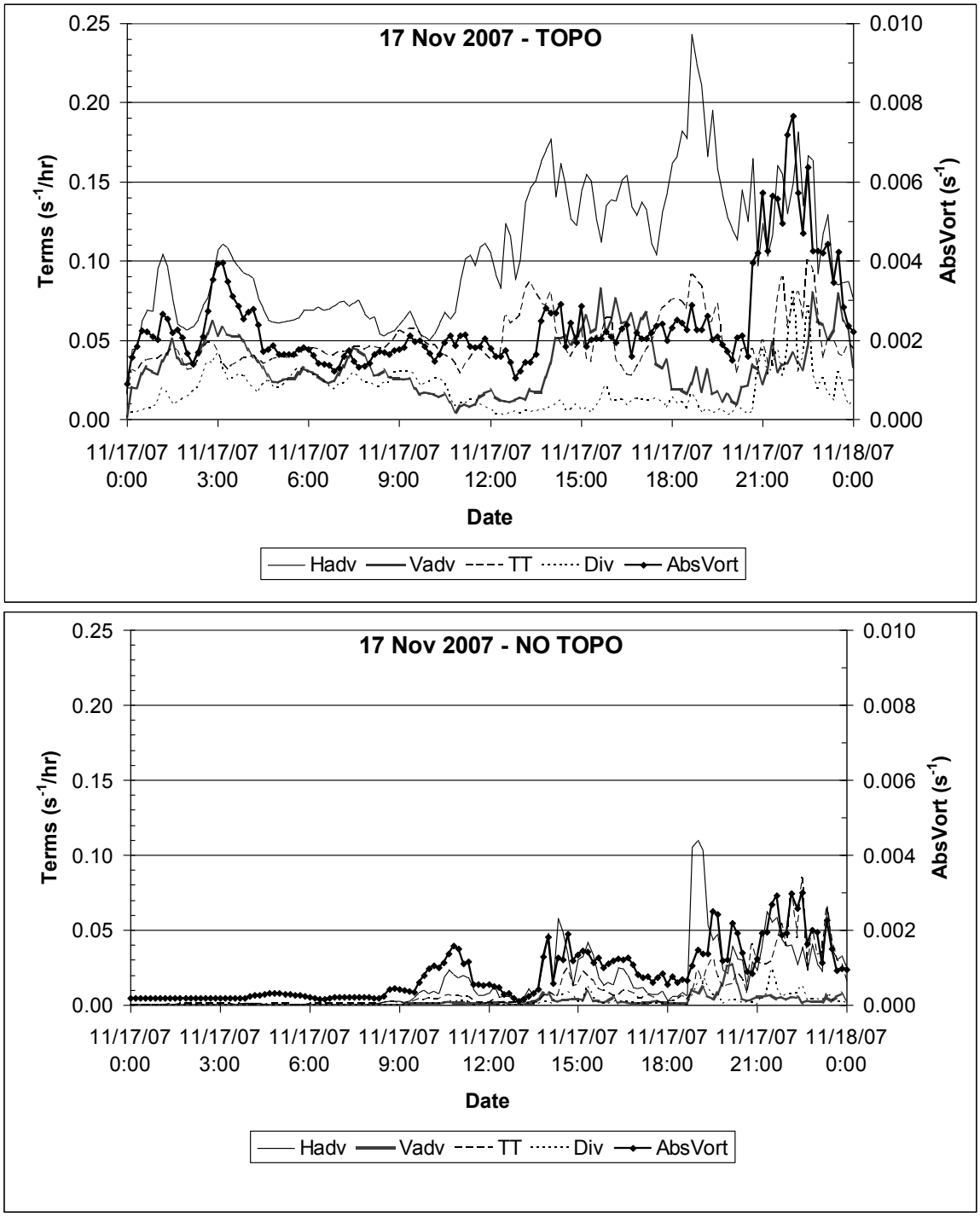
Στην υποενότητα αυτή εξετάζουμε τη σημαντικότητα της τοπογραφίας μέσα από τη δυναμική διεργασία στην εκδήλωση σίφωνα. Το πεδίο του στροβιλισμού και η εξίσωση του στροβιλισμού αποτελούν σημαντικά βοηθήματα και έχουν πολλάκις χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της δυναμικής της ατμόσφαιρας.

Ο απόλυτος στροβιλισμός και οι όροι της εξίσωσης του στροβιλισμοί έχουν εξαχθεί με χρονικό βήμα 10 min σε ύψος 1 km πάνω από επίπεδο της θάλασσας. Το ύψος αυτό επιλέχθηκε διότι στη ατμόσφαιρα σε αυτό το ύψος συναντάμε τις βάσεις των καταιγιδοφόρων νεφών και κατά τις αριθμητικές προσομοιώσεις της τροποποιημένης τοπογραφίας αυτό το ύψος ήταν πάνω από το μοντέλο της τοπογραφίας (για κάθε σημείο εκδήλωσης σίφωνα).

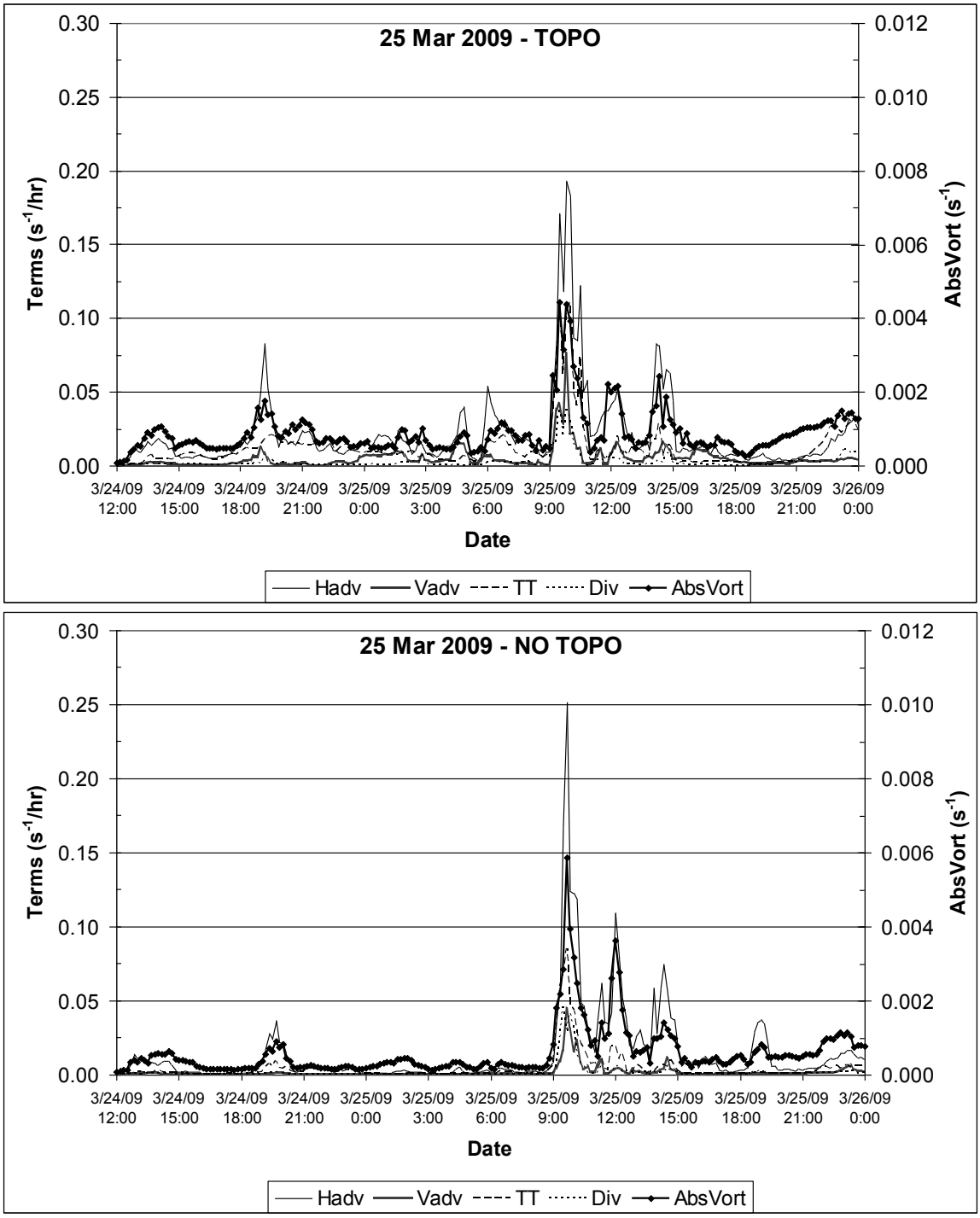
Οι τιμές των παραπάνω όρων, αλλά όχι τα αποτελέσματα, τροποποιήθηκαν όταν το ύψος μετρίως αυξήθηκε (έως τα 2 km). Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν με την χρήση του λογισμικού Grid Analysis and Display System (GrADS) και βασίστηκαν στις προσομοιωμένες παραμέτρους του WRF για το εσωτερικό πλέγμα χωρικών δεδομένων (D3). Τα απαραίτητα κατακόρυφα ατμοσφαιρικά επίπεδα προσεγγίστηκαν ανά 250 m πριν τον υπολογισμό των κατακόρυφων παραγώγων. Όλες οι παράγωγοι εκτιμήθηκαν με δεύτερης τάξης κεντρικές πεπερασμένες διαφορές.

Οι Εικόνα 9.41-9.44 αποτυπώνουν τη χρονοσειρά των μέγιστων τιμών του απόλυτου στροβιλισμού και των όρων της εξίσωσης του στροβιλισμού της οριζόντιας και κατακόρυφης μεταφοράς, της κλίσης/συστροφής και απόκλισης σε ένα πλέγμα 0,2°x0,2° γεωγραφικού μήκους και πλάτους κεντραρισμένα στη θέση εκδήλωσης κάθε γεγονός T07, T09, T10 και T11 σίφωνα αντίστοιχα. Η επιλογή αυτή βασίστηκε ώστε τα αποτελέσματα να αφορούν μία μικρή περιοχή και όχι ένα σημείο, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη τυχόν κλίση των ατμοσφαιρικών συνθηκών λόγω λάθος του μοντέλου προσομοίωσης. Σε κάθε εικόνα οι παραπάνω πληροφορίες αφορούν και τις δυο προσομοιώσεις (TOPOM0 και TOPOM100). Ο σωληνοειδής όρος δεν αποτυπώθηκε καθώς ήταν τέσσερις τάξεις μεγέθους μικρότερος από τους υπόλοιπους όρους. Ένας περιορισμένος αριθμός σημείων πλέγματος με τοπογραφία μεγαλύτερη ή ίση του 1 km

δεν λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό για την προαναφερόμενη περιοχή μελέτης (0,2°x0,2°).



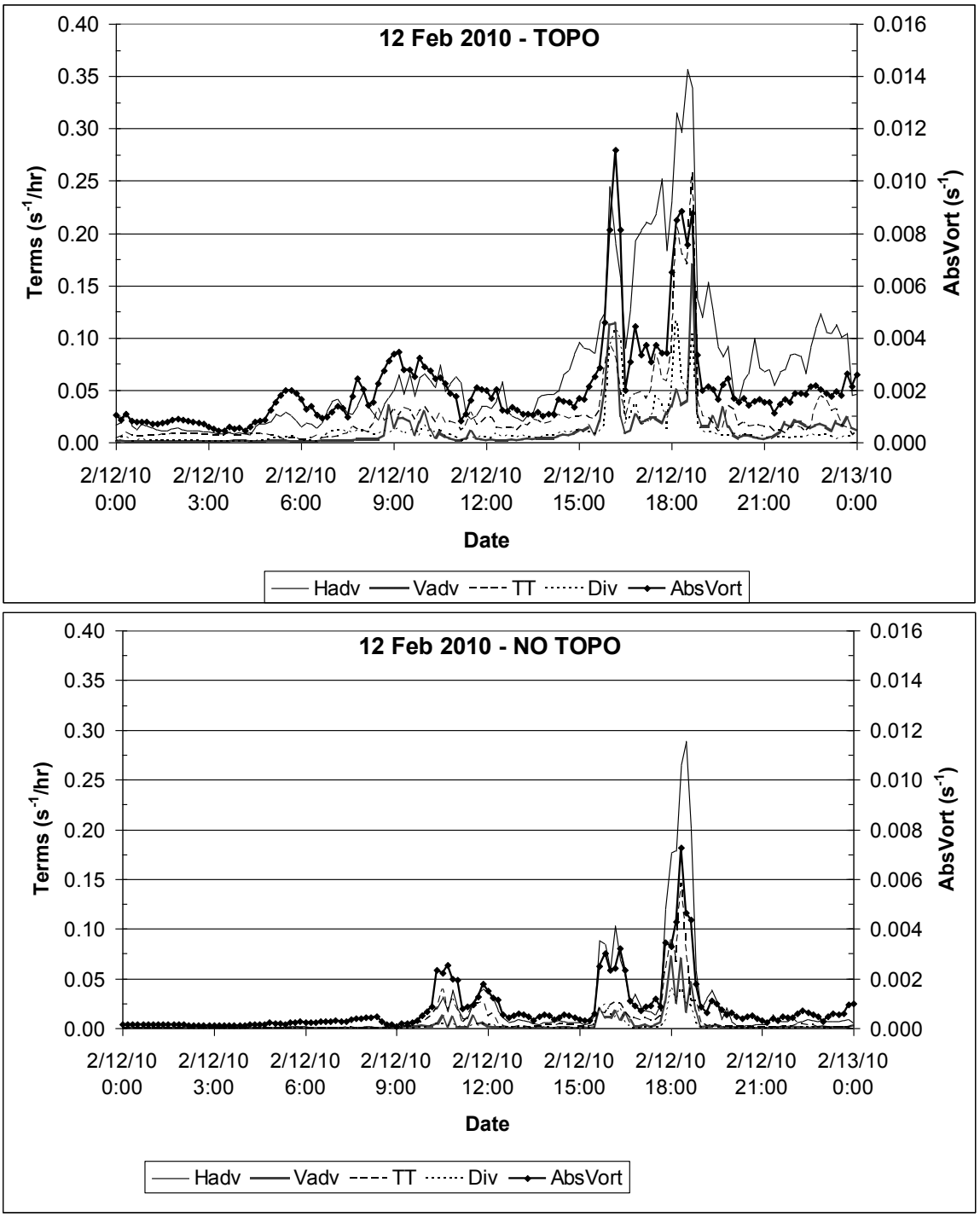
Εικόνα 9.41: Χρονοσειρά των μέγιστων τιμών του WRF για τον απόλυτο στροβιλισμό (Absolute Vorticity (s^{-1})) και των όρων της εξίσωσης στροβιλισμού οριζόντιας μεταφοράς (Hadv, (s^{-1}/hr)) και κατακόρυφης μεταφοράς (Vadv), κλίσης/συστροφής (tilt/twisting, TT) και απόκλισης (Divergence, DIV), στο 1km πάνω από το επίπεδο της θάλασσας σε περιοχή με πλέγμα 0,2°x0,2° γεωγραφικού μήκους και πλάτους, κεντραρισμένη στη θέση εκδήλωσης του σίφωνα στις 17 Νοεμβρίου 2007, στην περιοχή της Θήβας με την πραγματική τοπογραφία (TOPOM0, επάνω εικόνα) και με την τροποποιημένη τοπογραφία (TOPOM100, κάτω εικόνα).



Εικόνα 9.42: Ομοίως με την Εικόνα 9.41 αλλά για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα στις 25 Μαρτίου 2009 (T09).

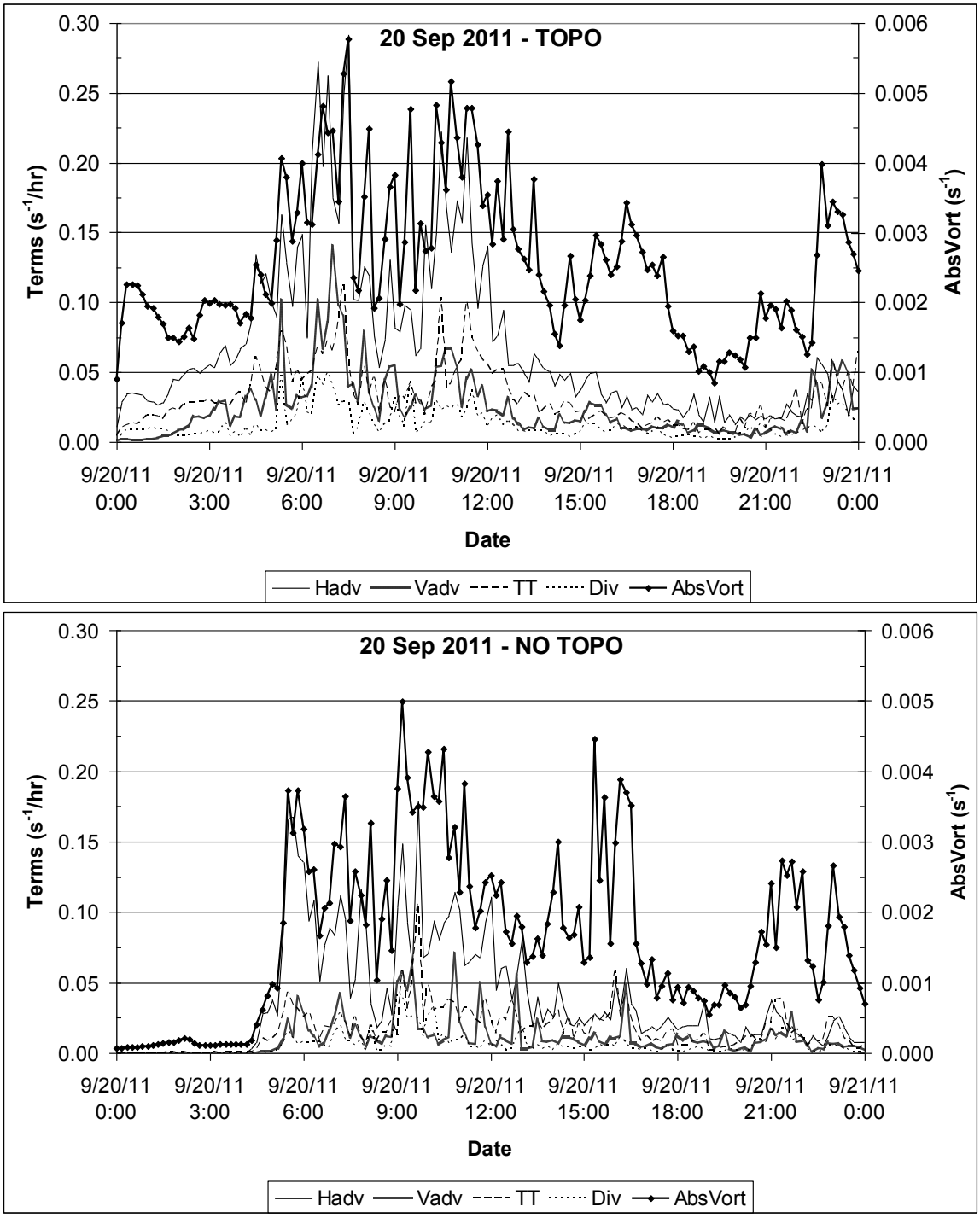
Ο πιο σημαντικός όρος της εξίσωσης του στροβιλισμού φαίνεται να είναι η οριζόντια μεταφορά με τις μέγιστες τιμές έως 0,35 και 0,29 s^{-1}/hr στην περίπτωση του σίφωνα T10 με TOPOM0 και TOPOM100 αντίστοιχα. Η επικράτηση του όρου αυτού σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πιθανό να σχετίζεται με την επικράτηση ισχυρών συνοπτικών αιτίων ανωμεταφοράς, όπως είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ύπαρξη του ψυχρού μετώπου. Η κατακόρυφη μεταφορά και κλίση/συστροφή του οριζόντιου στροβιλισμού προς την κατακόρυφη διεύθυνση φαίνεται να είναι εξίσου σημαντικός, χωρίς ωστόσο σημαντικές διαφορές στις τροποποιήσεις της τοπογραφίας, ενώ ο όρος απόκλιση έχει γενικά μικρότερη συμβολή σε σχέση με τους δύο προηγούμενες όρους. Στην πραγματικότητα σε πολυκυτταρικές καταιγίδες η κλίση του οριζόντιου στροβιλισμού

δημιουργείται κατά μήκος της μετωπικής δραστηριότητας των ριπαίων ανέμων και αποτελεί μία σημαντική πηγή στροβιλισμού στο κατώτερο επίπεδο της ατμόσφαιρας [216]. Ωστόσο, ο μηχανισμός αυτός δεν μπορεί να προσομοιωθεί επαρκώς στις παρούσες αριθμητικές προσομοιώσεις της παρούσας διατριβής, παρά της υψηλής χωρικής ανάλυσης του πλέγματος δεδομένων (1,333 km x 1,333 km στο εσωτερικό πλέγμα D3).



Εικόνα 9.43: Ομοίως με την Εικόνα 9.41 αλλά για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα στις 12 Φεβρουαρίου 2010 (T10).

Σε όλες τις αριθμητικές προσομοιώσεις, με εξαίρεση την περίπτωση T09, οι προσομοιώσεις με την πραγματική τοπογραφία συνδέονται με υψηλότερες τιμές του απόλυτου στροβιλισμού στην περιοχή μελέτης σε σχέση με τις προσομοιώσεις με τροποποιημένη τοπογραφία (Εικόνα 9.41-9.44).



Εικόνα 9.44: Ομοίως με την Εικόνα 9.41 αλλά για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα στις 20 Σεπτεμβρίου 2011 (T11).

Ομοίως οι όροι της εξίσωσης στροβιλισμού οι οποίοι καθορίζουν την χρόνο μεταβολής του Eulerian στροβιλισμού αποτύπωσαν υψηλότερες τιμές στα πειράματα προσομοίωσης με τοπογραφία. Οι διαφορές μεταξύ των δύο προσομοιώσεων (TOPOM0 και TOPOM100), και η συνακόλουθη σημασία της τοπογραφίας στη δημιουργία του σίφωνα, είναι πιο διακριτές στις περιπτώσεις T07 (Εικόνα 9.41) όπου ο σίφωνας εκδηλώθηκε σε μία περιοχή με σημαντική ορογραφία και T10 (Εικόνα 9.43) όπου ο σίφωνας εκδηλώθηκε σε ημιορεινή περιοχή της Χαλκιδικής. Σε αντίθεση με την περίπτωση του σίφωνα T09 ο οποίος εκδηλώθηκε σε περιοχή με χαμηλό υψόμετρο και σχετίζεται με τη διέλευση του ψυχρού μετώπου στη ΒΔ Πελοπόννησο, όπου στην περιοχή επικρατούσε ανώτερο ρεύμα από την περιοχή του Ιονίου και των νησιών

Ζακύνθου και Κεφαλλονιάς (Δ-ΒΔ σε απόσταση 50-60 km). Οι ίδιες τιμές του μέγιστου απόλυτου στροβιλισμού και των μέγιστων τιμών των όρων της εξίσωσης του στροβιλισμού και στις δυο προσομοιώσεις (TOPOM0 και TOPOM100) υποδηλώνουν ότι στην προκειμένη περίπτωση η τοπογραφία έπαιξε ελάχιστο ρόλο ενώ επικράτησε το συνοπτικό αίτιο.

10 Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη της διαδικτυακής ηλεκτρονικής πλατφόρμας αναφοράς σιφώνων/υδροσιφώνων (http://tornado.geol.uoa.gr) από το Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών κάλυψε το προ υπάρχον κενό της καταγραφής των φαινομένων από ερευνητικούς φορείς. Η ηλεκτρονική διαδικτυακή πλατφόρμα, σε συνδυασμό με την αποδοχή της τόσο από τους χρήστες, από τα υπόλοιπα Ευρωπαϊκά συστήματα καταγραφής/αναφοράς όσο και από τους υπόλοιπες ερευνητές αποτύπωσε την ανάγκη για την ανάπτυξη μιας συστηματικής βάσης καταγραφής των φαινομένων στον Ελλαδικό συνεισφέροντας με τον τρόπο αυτό στην υπόλοιπη Ευρωπαϊκή επιστημονική κοινότητα.

Τη χρονική περίοδο 1709-2012, καταγράψαμε 612 γεγονότα ΤΕ, τα οποία εμφανίστηκαν σε 405 μοναδικές ημέρες και κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τον τύπο τους ως: 171 TR, 374 WS και 67 FC. Οι επιπτώσεις ήταν σημαντικές τόσο σε δομικά στοιχεία, σε καλλιέργειες όσο και σε ανθρώπινα θύματα (114 άνθρωποι τραυματίστηκαν και 29 τραυματίστηκαν θανάσιμα). Η επικρατέστερη ένταση σιφώνων στην Ελλάδα, με ποσοστό 27,73 %, είναι η ένταση T4 της κλίμακας TORRO

Η εποχική κατανομή των ιστορικών γεγονότων (1709-1999) ΤΕ αποτυπώνει την φθινοπωρινή περίοδο ως την κύρια περίοδο εμφάνισης με 48,44 % των συνολικών γεγονότων, ενώ ακολουθούν η χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο με 23,44 %. Οι σίφωνες ξηράς εμφανίζουν εποχικό μέγιστο το φθινόπωρο με ποσοστό 57,14 % και ακολουθεί η χειμερινή περίοδος με ποσοστό 26,19 %. Οι υδροσίφωνες παρατηρήθηκαν σε ποσοστό 50 % την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ κατά τη διάρκεια της φθινοπωρινής και χειμερινής περιόδου παρουσίασαν ισοκατανομή με ποσοστό 21,43 %. Τα νέφη σίφωνα παρουσιαστήκαν συχνότερα το φθινόπωρο και το καλοκαίρι. Η μηνιαία κατανομή των γεγονότων αποκαλύπτει τον Νοέμβριο ως το μήνα με την κύρια δραστηριότητα των συνολικών φαινομένων, ακολουθούμενο από τον Οκτώβριο και το Δεκέμβριο. Όμοια είναι και η μηνιαία κατανομή των σιφώνων ξηράς, ενώ οι υδροσίφωνες παρουσιάζουν το μέγιστο το μήνα Αύγουστο.

Τη χρονική περίοδο 2000-2012 καταγράψαμε 567 συνολικά γεγονότα ΤΕ, τα οποία κατανέμονται χωρικά σχεδόν σε όλη τη χώρα. Από το σύνολο των 567 γεγονότων τα 142 καταγράφθηκαν ως σίφωνες ξηρά, τα 368 ως υδροσίφωνες και τα υπόλοιπα 56 γεγονότα ως χοανοειδή νέφη σίφωνα. Η μέση ετήσια συχνότητα εμφάνισης ΤΕ στη χώρα μας είναι 42,15 γεγονότα/έτος (10 TR/έτος, 27,69 WS/έτος) ενώ η μέση ετήσια χωρική συχνότητα εμφάνισης είναι 3,19 γεγονότα/10^4km^2. Επιδεκτικότερη υποπεριοχή είναι η δυτική Ελλάδα (D10) με 19,09 ΤΕ/έτος (5,08 TR/έτος και 9,69 WS/έτος), ενώ επιδεκτικότερη υποπεριοχή εμφάνισης της δυτικής Ελλάδας είναι η ΒΔ Πελοπόννησος. Οι υδροσίφωνες εμφανίζουν μέση ετήσια συχνότητα 10 WS/έτος στη βόρεια Κρήτη και ακολουθεί η Κέρκυρα με 6,92 WS/έτος.

Η εποχική κατανομή των ΤΕ (των ημερών εμφάνισης) αποτυπώνουν τη φθινοπωρινή περίοδο ως την κυρίαρχη εποχή εμφάνισης με 265 γεγονότα (155 ημέρες με ΤΕ γεγονότα). Την ίδια κατανομή εμφανίζουν τόσο τα γεγονότα TR / WS (68/180) όσο και η εποχική κατανομή των ημερών εμφάνισης τους (57/86 ημέρες) αποδίδοντας μία μέση εποχική συχνότητα 4,75 ημέρες με εκδήλωση TR και 7,17 ημέρες με εκδήλωση WS το φθινόπωρο.

Ο Οκτώβριος είναι ο μήνας με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης σιφώνων ξηράς και ακολουθεί ο Νοέμβριος με εξαίρεση για την περιοχή της Μακεδονίας που παρουσιάζει μέγιστο τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Η μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης TR παρουσιάζει μέγιστο κατά τον Οκτώβριο και ακολουθεί ο Νοέμβριος ενώ ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών εμφάνισης TR είναι 2,1 ημέρες για τον Οκτώβριο. Όσον

αφορά τη μηνιαία εμφάνιση των υδροσιφώνων σχεδόν το 24 % του συνολικού αριθμού εμφανίζεται το μήνα Σεπτέμβριο ενώ ένα δεύτερο μέγιστο εμφάνισης παρατηρείται τον Οκτώβριο. Η μηνιαία κατανομή των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων παρουσιάζει ως συχνότερο μήνα εμφάνισης τον Οκτώβριο και ακολουθεί ο Σεπτέμβριος ενώ η μέση μηνιαία συχνότητα εμφάνισης είναι 2,85 μέρες τον Οκτώβριο και 2,4 ημέρες το Σεπτέμβριο.

Το 75% των συνολικών γεγονότων (TE) αναπτύχθηκαν από τις 08:00 έως τις 15:00 UTC. Η ημερήσια διακύμανση των σιφώνων ξηράς παρουσιάζει μέγιστο από τις 11:00 έως τις 13:00 UTC, ενώ η ημερήσια διακύμανση των υδροσιφώνων παρουσιάζει 2 μέγιστα: το πρώτο νωρίς το πρωί (07:00-09:00 UTC) και το δεύτερο μετά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες (14:00-15:00 UTC). Αυτά τα 2 μέγιστα της ημερήσιας κατανομής παρουσιάζουν ίδιο ένα μοτίβο ημερήσιας εμφάνισης με τη συμπεριφορά των υδροσιφώνων στην ευρύτερη περιοχή του νησιωτικού συμπλέγματος Key West της Φλώριδας των Η.Π.Α.

Κατά την φθινοπωρινή περίοδο, η μέση συνοπτική κατάσταση των ημερών εμφάνισης TR στη δυτική Ελλάδα, στο κατακόρυφο επίπεδο των 500 hPa, χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος της κεντρικής και νότιας Ιταλίας, ενώ στην ΜΣΘ παρατηρείται μία κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας (Κόλπο του Τάραντα). Όμοια συνοπτική κατάσταση χαρακτηρίζει και τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα. Ενώ κατά την εκδήλωση σιφώνων τη φθινοπωρινή περίοδο στις βόρειες ακτές της Κρήτης η μέση συνοπτική κατάσταση χαρακτηρίζεται από μία εκτεταμένη διαταραχή κατά μήκος των ανατολικών τμημάτων της χώρας, η οποία τροφοδοτεί με Δ-ΒΔ ανώτερο ρεύμα τις βόρειες ακτές της Κρήτης. Η μέση ημερήσια συνοπτική κατάσταση στη ΜΣΘ, κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στις βόρειες ακτές της Κρήτης, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αποτυπώνεται με την ύπαρξη ενός συνδυασμού υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη με τις χαμηλές πιέσεις στη ΝΑ Μεσόγειο.

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, τις ημέρες δημιουργίας σιφώνων ξηράς στη δυτική Ελλάδα, η μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στα 500 hPa, ενώ τη χειμερινή περίοδο μέγιστη ανωμαλία παρατηρήθηκε στην κατώτερη ατμόσφαιρα και ιδιαίτερα στις στάθμες των 925 hPa και ΜΣΘ Κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα, η μεγαλύτερες ανωμαλίες παρατηρήθηκαν το φθινόπωρο και η μέγιστη ανωμαλία στη βαρομετρική στάθμη των 500 hPa. Σε αντίθεση με τη μέση και κατώτερη ατμόσφαιρα η μέγιστη ανωμαλία στη ΜΣΘ παρατηρήθηκε τη χειμερινή περίοδο του έτους. Εξετάζοντας την εποχική διακύμανση της ημερήσιας ανωμαλίας για τις ημέρες που εκδηλώθηκαν υδροσίφωνες στο νότιο Αιγαίο, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, η μέγιστη ανωμαλία παρατηρείται στο κατακόρυφο επίπεδο των 500 hPa. Η ανωμαλία στη ΜΣΘ κατά την εμφάνιση των υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανωμαλία κατά τη χειμερινή περίοδο (παρόμοια με την εμφάνιση των υδροσιφώνων στη δυτική Ελλάδα).

Το 48 % των γεγονότων σιφώνων (TR) στη δυτική Ελλάδα εκδηλώθηκαν στο θερμό τομέα του ψυχρού μετώπου (προ-μετωπικό περιβάλλον), με τη θέση του ψυχρού μετώπου να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 50 km, ενώ το 27 % των περιπτώσεων εκδηλώθηκε στον ψυχρό τομέα του ψυχρού μετώπου (μετά τη διέλευση του μετώπου). Δεν εντοπίστηκε συσχέτιση μεταξύ θερμού μετώπου (προ-μετωπικά και μετά-μετωπικά) και εκδήλωσης σίφωνα.

Κατά την φθινοπωρινή περίοδο ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση σιφώνων στη δυτική Ελλάδα ήταν ο Τύπος-7 και Τύπος-12. Οι σίφωνες εκδηλώθηκαν κατά την επικράτηση συνοπτικών καταστάσεων σε ποσοστό 42,86 % (Τύπος-7) και 34,29 % (Τύπος-12) επί του συνολικού αριθμού ημερών σίφωνα στη δυτική Ελλάδα.

Ενώ κατά την επικράτηση του Τύπο-7, η πιθανότητα εμφάνισης σίφωνα υπολογίστηκε στο 6,79 % και στο 3,59 % για τον Τύπο-12. Η συνοπτική κατάσταση του Τύπου-7 αποτυπώνει στα 500 hPa ένα κέντρο κυκλωνικής κυκλοφορίας στη βόρεια Ιταλία συνοδευόμενο από διαταραχή κατά μήκος της Κορσικής-Ιταλίας τροφοδοτώντας με ΝΔ ανώτερο ρεύμα τη χώρα μας. Στη ΜΣΘ αποτυπώνεται μια κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία η οποία τροφοδοτεί με ΝΔ ρεύμα τη δυτική Ελλάδα. Η συνοπτική κατάσταση του Τύπου-12 αποτυπώνει στα 500 hPa μια διαταραχή μεγάλου μήκους στην κεντρική Ευρώπη (με τα κράσπεδά της να επηρεάζουν την κεντρική Ιταλία) προκαλώντας ισχυρό ΝΔ ανώτερο ρεύμα στα ανατολικά, ενώ στη ΜΣΘ η κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ιταλία τροφοδοτεί με ΝΔ ρεύμα τη χώρα μας.

Στη δυτική Ελλάδα, η ανάλυση των υδροσιφώνων κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, αποτύπωσε τον Τύπο-7 ως τον επικρατέστερο τύπο καιρού ακολουθούμενο από τους Τύπους-3 και 12. Η πιθανότητα εκδήλωσης υδροσίφωνα κατά την διάρκεια της ημέρας με συνοπτική κατάσταση Τύπου-12 είναι 3,85 % ενώ για τον Τύπο-7 είναι 3,80 %. Η συνοπτική κατάσταση του Τύπου-3 αποτυπώνει στα 500 hPa μια διαταραχή μεγάλου μήκος στην ανατολική Ευρώπη μέχρι την περιοχή των Βαλκανίων καθιστώντας δυτικό ανώτερο ρεύμα πάνω από την Ελλάδα, ενώ στη ΜΣΘ επικρατεί συνδυασμός των υψηλών πιέσεων της κεντρικής Ευρώπης με τις χαμηλές πιέσεις στα ΝΑ της Μεσογείου καθιστώντας βόρειο ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου.

Στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου, κατά την φθινοπωρινή περίοδο, ο επικρατέστερος τύπος καιρού για την εμφάνιση υδροσιφώνων ήταν ο Τύπος-11 και ο Τύπος-6. Το ποσοστό εκδήλωσης υδροσίφωνα Τύπου-11 αντιπροσωπεύει ποσοστό 38,89 % επί του συνόλου των υδροσιφώνων που εκδηλώνονται στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Κατά την επικράτηση συνοπτικών καιρικών καταστάσεων που ταυτίζονται με τον Τυπο-11 και Τύπο-6, η πιθανότητα εμφάνισης σίφωνα εκτιμάται στο ποσοστό των 2,86 % και 0,10 %, αντίστοιχα. Η συνοπτική κατάσταση του Τύπου-11 αποτυπώνει στα 500 hPa μια έξαρση στην κεντρική Μεσόγειο σε συνδυασμό με την κυκλωνική κυκλοφορία στα ΝΑ τροφοδοτεί τη χώρα μας με βόρειο ρεύμα, ενώ στη ΜΣΘ ο συνδυασμός των υψηλών πιέσεων στην περιοχή των Βαλκανίων και των χαμηλών πιέσεων στη ΝΑ Μεσόγειο προκαλεί ισχυρό επιφανειακό ΒΑ ρεύμα το Αιγαίο. Η συνοπτική κατάσταση του Τύπου-6 αποτυπώνει στα 500 hPa μια έξαρση στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου επιτρέποντας τη διέλευση ασθενών διαταραχών στα ανατολικά τμήματα της χώρας ενώ στην ΜΣΘ ο συνδυασμός των υψηλών πιέσεων (με κέντρο τα βόρεια Βαλκάνια) και των χαμηλών πιέσεων στη ΝΑ Μεσόγειο προκαλεί Β-ΒΑ ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου.

Το θερμοδυναμικό προφίλ της ατμόσφαιρας κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο αποτύπωσε μία μέση ατμόσφαιρα που χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές θερμοδυναμικών δεικτών (LI, SW, K) και την διέλευση μιας μικρής διαταραχής στη μέση ατμόσφαιρα. Το παραπάνω επαλήθευσε τη θεωρία του Golden (2003) που περιγράφει τα στάδια και τη δημιουργία των υδροσιφώνων.

Το μέσο επίπεδο LCL κατά τη φθινοπωρινή περίοδο εντοπίζεται στα 922 hPa και τη χειμερινή περίοδο υψηλότερα στα 890 hPa, το οποίο είναι σε γενικότερη συμφωνία με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες δημιουργίας σιφώνων σε περιβάλλον με χαμηλό επίπεδο LCL, ενώ το μέσο επίπεδο EL κατά τη φθινοπωρινή περίοδο υπολογίστηκε στα 338 hPa ενώ τη χειμερινή περίοδο σε χαμηλότερο επίπεδο, στα 617 hPa.

Κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσίφωνα στη θαλάσσια περιοχή βόρεια της Κρήτης η μέση ένταση των ανέμων στην κατώτερη ατμόσφαιρα ήταν μικρότερη των 15 Knots ενώ η μέση διεύθυνση ήταν από ΒΔ διευθύνσεις και το κατακόρυφο προφίλ αποτύπωσε μία διαδοχική αντιστροφή και στροφή μέχρι το βαρομετρικό επίπεδο των 500 hPa.

Η διαφορά θερμοκρασίας τόσο της στάθμης των 1000 hPa όσο και της SST με τις υπόλοιπες βαρομετρικές στάθμες της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας αποτύπωσε ένα σταθερό εύρος τιμών τόσο κατά τη φθινοπωρινή, όσο και τη χειμερινή περίοδο τονίζοντας το ρόλο της επίδρασης της θερμοκρασίας θάλασσας στην εκδήλωση των υδροσιφώνων.

Η επικρατέστερη διεύθυνση των ανέμων τις ημέρες εμφάνισης υδροσιφώνων ήταν από ΒΔ διευθύνσεις στην κατώτερη ατμόσφαιρα ενώ η μελέτη των θερμοδυναμικών δεικτών της ατμόσφαιρας δεν αποτύπωσε κάποιες σημαντικά ακραίες τιμές.

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, στο νότιο Αιγαίο κατά τις ημέρες εκδήλωσης υδροσιφώνων η SST κυμαίνεται από 25,35 °C έως 16,50 °C με τη μέση τιμή στους 22,77 °C. Σε αντίθεση με τη φθινοπωρινή περίοδο, το χειμώνα, η SST είχε μέγιστη τιμή τους 19,10 °C ενώ η ελάχιστη τιμή ήταν οι 15,3 °C. Η μέση τιμή της χειμερινής περιόδου είναι κατά 3,7 °C βαθμούς χαμηλότερη από τη μέση τιμή της φθινοπωρινής περιόδου και είναι ίση με 19,1 °C.

Η ανάλυση των ατμοσφαιρικών συνθηκών μέσω των προϊόντων Radar στην περίπτωση εμφάνισης του σίφωνα στη ΒΔ Πελοπόννησο αποτύπωσε την ύπαρξη ενός στροβιλισμού στην κατώτερη ατμόσφαιρα πριν την εκδήλωσή του σίφωνα χρονικά.

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις της ατμόσφαιρας με τη χρήση του WRF-ARW επιβεβαίωσαν την ικανότητα του μοντέλου να αναπαράγει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες ώστε να προσομοιώσουν/αναπαραστήσουν την πραγματική ατμοσφαιρική κατάσταση κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό. Οι αριθμητικές προσομοιώσεις απέδειξαν την ικανότητα του WRF-ARW να αποτυπώσει τη χωροχρονική εξέλιξη των παραπάνω δεικτών και τις μέγιστες τιμές τους τουλάχιστον 12 ώρες πριν την εκδήλωση του σίφωνα και αρκετά κοντά στις περιοχές εκδήλωσής του.

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις με τη χρήση του WRF-ARW αποτύπωσαν τη δυνατότητα του να αποτυπώσει υψηλές τιμές διαγνωστικών δεικτών που χρησιμοποιούνται για την εξέταση δημιουργίας σίφωνα. Διαγνωστικοί παράμετροι, όπως οι δείκτες EHI, SRH, MCAPE, μέσα από τις αριθμητικές προσομοιώσεις με υψηλή χωρική ανάλυση απέδειξαν υψηλές τιμές κατά τη προσομοίωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανατολική Στερεά και στην περιοχή της Μακεδονίας. Κατά την αριθμητική προσομοίωση στη ΒΔ Πελοπόννησο οι διαγνωστικές παράμετροι δεν αποτύπωσαν το ίδιο υψηλές τιμές όσο στις περιπτώσεις της Θήβας και των Βραστερών κατά την εμφάνιση σίφωνα, αποδεικνύοντας ότι δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο κατώφλι τιμών για τους παραπάνω δείκτες. Ωστόσο, στην αριθμητική προσομοίωση στην περιοχή της Λευκάδος οι διαγνωστικοί δείκτες αποτύπωσαν υψηλές τιμές αλλά αρκετά νοτιότερα από τη θέση εμφάνισης του σίφωνα.

Η μελέτη της επίδρασης της ορογραφίας στις περιπτώσεις σίφωνα που σχετίζονται με συνοπτικό αίτιο ανύψωσης απέδειξε ότι η τοπογραφία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση του σίφωνα T07 (Θήβα, Βοιωτίας) ακολουθούμενο από τις περιπτώσεις T10 (Βράσταμα, Χαλκιδικής) και T09 (Βάρδα, Ηλείας). Το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο τόσο στην περίπτωση της εκδήλωσης T07 (Θήβα, Βοιωτίας) σίφωνα, όσο και στην περίπτωση της Χαλκιδικής T10 (Βράσταμα, Χαλκιδικής), αποδείχθηκε σημαντικό παράγοντας καθώς οι τιμές των παραπάνω διαγνωστικών τιμών διπλασιάστηκαν λόγω της ύπαρξης της. Σε αντίθεση η αριθμητική προσομοίωση των περιπτώσεων στη δυτική Ελλάδα απέδειξε ότι η τοπογραφία δεν έπαιξε τόσο σημαντικό ρόλο ή σχεδόν καθόλου ρόλο στις τιμές των διαγνωστικών παραμέτρων.

Ο πιο σημαντικός όρος της εξίσωσης του στροβιλισμού φαίνεται να είναι η οριζόντια μεταφορά με τις μέγιστες τιμές έως 0,35 και 0,29 s^{-1}/hr στην περίπτωση του σίφωνα T10 με TOPOM0 και TOPOM100 αντίστοιχα

11 Μελλοντικές εργασίες: Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης

11.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις μελλοντικές εργασίες που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και να συμπεριλάβουν τα συμπεράσματα από την παρούσα διατριβή και αφορούν τη Συνοπτική Κλιματολογία και την Αριθμητική Πρόγνωση. Οι φυσικές καταστροφές και ιδιαίτερα οι ατμοσφαιρικές καταστροφές (ακραία φαινόμενα) αποτελούν ένα φυσικό αυξανόμενο κίνδυνο που απειλεί όλο και περισσότερα τους ρυθμούς λειτουργίας των τοπικών κοινωνίες. Για το λόγω αυτό είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν ρουτίνες και μεθοδολογίες για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε και να προγνώσουμε τα ακραία με σκοπό το μετριασμό των επιπτώσεών τους.

Το 2011 μία Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης, το Πρόγραμμα Καλλικράτης όπως ονομάστηκε και ορίστηκε με τον νόμο 3852/2010, με τον οποίο μεταρρυθμίστηκε η διοικητική διαίρεση της Ελλάδας και επανακαθορίστηκαν τα όρια των αυτοδιοικητικών μονάδων, ο τρόπος εκλογής των οργάνων και οι αρμοδιότητές τους. Ο επανακαθορισμός των διοικητικών ορίων βασίστηκε σε γεωγραφικά κριτήρια με σκοπό τη δημιουργία μιας επιχειρησιακής και ικανής αυτοδιοίκησης. Σε αυτό το Κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης Ακραίων Καιρικών Φαινομένων που σχεδιάστηκε στο Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος για να υποστηρίξει την επιχειρησιακή λειτουργία των αυτοδοικητικών μονάδων μετά την εφαρμογή του Καλλικρατικού νόμου. Το προτεινόμενο σύστημα φέρει την ονομασία AHEWS (Atmospheric Hazard Early Warning System) και μπορεί να χαρακτηριστεί ως το ιδανικό εργαλείο στην άμεση απόκριση των τοπικών φορέων με σκοπό τον μετριασμό των επιπτώσεων από τα ακραία καιρικά φαινόμενα, ενώ σχέδια δράσης-απόκρισης μπορούν να προστεθούν στην διαδικασία της αποστολής που περιγράφεται ακολούθως. Το AHEWS αποτελείται από ένα σύστημα οπτικοποίησης προϊόντων προγνωστικού αριθμητικού μοντέλου υψηλής χωρικής ανάλυσης, δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών, δίκτυο εντοπισμού ηλεκτρικών εκκενώσεων, δορυφορικών δεδομένων και προϊόντα Radar.

Ακολούθως παρουσιάζουμε το πρώτο από τα τέσσερα στάδια υλοποίησης του προτεινόμενου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης AHEWS, το οποίο και θα αποτελέσει τη μελλοντική ερευνητική εργασία. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει το σχεδιασμό του συστήματος, ενώ τα υπόλοιπα στάδια αφορούν τη σταδιακή υλοποίηση και ενοποίηση των επιμέρους συστημάτων, την πλήρη ανάπτυξή του και την εκπαίδευση των εμπλεκομένων φορέων. Τέλος, παρουσιάζουμε με ποιον τρόπο τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής θα μπορούσαν να εισαχθούν και να χρησιμοποιηθούν στην πρόγνωση σιφώνων στην Ελλάδα.

Είναι πλέον αποδεκτό στις ημέρες μας ότι η δυνατότητα να μετριάσουμε τις επιπτώσεις από μία φυσική καταστροφή είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες για τη μελλοντική επιτυχία κάθε τοπικής κοινωνίας, τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Κάθε χρόνο φυσικές καταστροφές που οφείλονται σε ατμοσφαιρικές διαταραχές και συνοδεύονται από ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν ως επιπτώσεις την απώλεια ανθρώπινων ζωών και περιουσιών καθυστερώντας την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της τοπικής κοινωνίας για τα επόμενα χρόνια ή ακόμη και για τις επόμενες δεκαετίες [217], [218], [219], [220], [221], [222], [77], [223], [81], [224].

Για αυτό το λόγω, ποιοτικές μετεωρολογικές πληροφορίες/ενημερώσεις με υψηλή χωρική ακρίβεια είναι απαραίτητες για το μετριασμό της απώλειας των ανθρώπινων θυμάτων αλλά και των περιουσιών τους. Ο [225] ανέφερε ότι τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης αποτελούν το βασικό στέλεχος/παράγοντα κάθε χώρας και καθορίζουν τον τρόπο που θα αντιδράσουν ώστε να μειώσουν τον αριθμό των θυμάτων και να

υιοθετήσουν τεχνικές μετριασμού των επιπτώσεων. Μέσα από αυτό το πρίσμα αρκετές πολιτειακές/κρατικές αρχές εφάρμοσαν συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης όπως είναι το EuroHeat, ένα πρόγραμμα υλοποίησης μέσου του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού το 2009 (World Meteorological Organization, WMO). Το EuroHeat παρέχει κλιματολογικές πληροφορίες και αποτελεί ένα εργαλείο λήψεων αποφάσεων βασισμένο στην βραχυπρόθεσμη πρόγνωση κυμάτων καύσωνα, παρέχοντας οπτικοποίηση χαρτών με πιθανότητες του επικείμενου καύσωνα στην Ευρώπη (http://www.euroheat-project.org/dwd).

Σε περιοχική κλίμακα, στην Κύπρο αναπτύχθηκε ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης (Cyprus Early Warning System, CEWS) στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος Μείωση του Καιρικού Κινδύνου στην Μεσόγειο (Weather Risk Reduction in the Mediterranean, RiskMed), [226]. Μέσα από το ίδιο πρόγραμμα χρηματοδότησης η περιφέρεια Ηπείρου σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων ανάπτυξε ένα περιοχικό σύστημα ενημέρωσης χωρίζοντας την περιοχή της Ηπείρου σε 16 υποπεριοχές

Μέσα από τις εμπειρίες των φορέων που αντιμετώπισαν φυσικές καταστροφές σε πολλά μέρη του κόσμου προέκυψε ότι τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για να είναι αποτελεσματικά θα πρέπει να είναι αυτόνομα συστήματα με τεχνικά και ανθρωποκεντρικά χαρακτηριστικά [227]. Κάθε σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για να είναι αποτελεσματικό και επιχειρησιακά λειτουργικό θα πρέπει να περιλαμβάνει τέσσερα (4) βασικά στοιχεία ([228], [229]):

1) τη γνώση του κινδύνου (risk knowledge)

2) παρακολούθηση και υπηρεσία προειδοποίησης (monitoring and warning service)

3) διανομή της πληροφορίας και επικοινωνία των εμπλεκομένων φορέων (dissemination and communication) και

4) δυνατότητα αντίδρασης (response capability).

Ενώ τα παραπάνω στοιχεία εμφανίζουν να έχουν μία λογική σειρά στην πραγματικότητα κάθε στοιχείο έχει άμεσο αμφίδρομο δεσμό και αλληλεπίδραση με καθένα από αυτά τα στοιχεία [231]. Επιπροσθέτως τα ΓΠΣ μπορούν να παρέχουν όλες τις απαραίτητες χωρικές πληροφορίες σε θεματικούς χάρτες συνεισφέροντας με τον τρόπο αυτό στη σχεδίαση και ανάπτυξη κάθε επιπέδου της νέας μορφής αυτοδιοίκησης. Η παρεχόμενη θεματολογία χαρτών μέσα από τα ΓΠΣ (λεκάνες απορροής, υδρογραφικά δίκτυα, οδικά δίκτυα) επιτρέπουν στα σχέδια άμεσης απόκρισης/αντίδρασης να είναι πιο αποτελεσματικά και εύκολα κατανοητά από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς καθώς εισάγονται σε ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης.

Η γεωγραφική θέση της χώρας με τις σημαντικές θαλάσσιες περιοχές δυτικά και ανατολικά αυτής τροφοδοτούν την ατμόσφαιρα με ποσά υγρασίας και σε συνδυασμό με την τοπογραφία της αποτελούν ένα γεωπεριβάλλον όπου αρκετά ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να εκδηλωθούν. Η μορφολογία της χώρας μας, με τις σημαντικές κλίσεις των πρανών και του μεγάλου υδρογραφικού δικτύου σε συνδυασμό με τους μη υδατοπερατούς γεωμορφολογικούς σχηματισμούς και την απότομα αστική ανάπτυξη συνηγορούν στον κίνδυνο των πλημμυρικών φαινομένων.

Ένα αποτελεσματικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για την Ελλάδα θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στοιχεία και να συντονίζεται από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (ΓΓΠΠ) προς σημαντικούς πολλούς φορείς/υπηρεσίες μέχρι το δεύτερο επίπεδο αυτοδιοίκησης (Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης ΟΤΑ, δηλαδή τους δήμους ή τις κοινότητες). Τα βασικά στοιχεία είναι:

- γνώση των κινδύνων στην Ελλάδα, το οποίο συνεπάγεται γνώση των κινδύνων από ακραία καιρικά φαινόμενα και τρωτότητα περιοχών,
- πρόγνωση, εντοπισμός και παρακολούθηση των ακραίων καιρικών φαινομένων,
- ανάπτυξη προειδοποιήσεων/ενημερώσεων για τα τρωτά σημεία ενδιαφέροντος,
- ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων με τις επαφές των εμπλεκομένων φορέων,
- το σύστημα διανομής των προειδοποιήσεων,
- εκπαιδευτικά συστήματα εξοικείωσης των εμπλεκομένων για την άμεση απόκριση σε ακραία καιρικά φαινόμενα και
- την ανάπτυξη και προσαρμογή αποτελεσματικών σχεδίων δράσης από τις υπηρεσίες Πολιτικής προστασίας σε επίπεδο ΟΤΑ.

Σε συμφωνία με τα ανθρωποκεντρικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης [230], αναγνωρίζουμε ότι όλες οι παραπάνω εργασίες/εφαρμογές δεν θα μπορούσαν να υλοποιηθούν από έναν φορέα αλλά απαιτείται η συνεργασία πολλών διαφορετικών φορέων των κρατικών υπηρεσιών.

Ο [231] σημείωσε ότι είναι πολύ δύσκολο να επιλυθούν τα πολλά και διαφορετικά ενδιαφέροντα και σημαντικές προστριβές προκύπτουν μεταξύ των διαφόρων φορέων που εμπλέκονται σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης και διαχείρισης φυσικών καταστροφών διαχείρισης. Για τον περιορισμό λοιπόν αυτών των δυσκολιών στην Ελλάδα, προτείναμε ότι οι ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες πολιτικής προστασίας τόσο στην τοπική όσο και στην περιφερειακή αυτοδιοίκηση θα πρέπει να στελεχωθούν με επιστημονικό προσωπικό με σχετικές γνώσεις στις φυσικές καταστροφές και στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Στο σημείο αυτό τονίζουμε ότι αυτό είναι εφικτό καθώς η ΕΜΥ έχει ήδη αναπτυγμένο ένα δίκτυο μετεωρολογικών γραφείων, στελεχωμένα με επιχειρησιακούς προγνώστες σε όλη σχεδόν τη χώρα. Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζεται το προτεινόμενο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης AHEWS ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, το οποίο στοχεύει στην αποτελεσματική ανταπόκριση και διαχείριση των φυσικών καταστροφών που οφείλονται σε ακραία καιρικά φαινόμενα στην Ελλάδα.

11.2 Η παλαιά και η νέα δομή της αυτοδιοίκησης στην Ελλάδα («Καποδιστριακός» και «Καλλικρατικός» νόμος)

Η παλαιά δομή της τοπικής αυτοδιοίκησης, γνωστή ως Καποδιστριακή δομή προς τιμή του 1ου κυβερνήτη της Ελλάδος Ιωάννη Καποδίστρια 1776-1831 (ο οποίος ξεκίνησε την αναδιοργάνωση του Ελληνικού κράτους), εφαρμόστηκε με τον νόμο 2539/97. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, η ήδη υπάρχουσα δομή τοπικής αυτοδιοίκησης με 441 δήμους και 5382 κοινότητας αναδιοργανώθηκε σε 900 δήμους και 133 κοινότητες (Εικόνα 11.1α). Ωστόσο από το 1994 ξεκίνησε η σταδιακή αναδιοργάνωση της περιφερειακής αυτοδιοίκησης (του 2^{ου} βαθμού διοίκησης) και δημιουργήθηκαν 54 νομοί και 19 επαρχίες (Εικόνα 11.1β).

Η νέα «Καποδιστριακή» μορφή αναβάθμισε τη δομή και τη λειτουργία της τοπικής αυτοδιοίκησης 1^{ου} και 2^{ου} βαθμού καθιστώντας αυτές πιο αποτελεσματικές στην άσκηση των υποχρεώσεων τους και στη δυνατότητα να κατανοήσουν την ανάγκη για ανάληψη σημαντικών αναπτυξιακών πρωτοβουλιών σε τοπικό επίπεδο.

α)

β)

Εικόνα 11.1: Γεωγραφική οριοθέτηση του 1ου (α) και 2ου (β) βαθμού Τοπικής Αυτοδιοίκησης σύμφωνα με τη μορφή της Καποδιστριακής αυτοδιοίκησης (νόμος 2539/97).

Το νέο πρόγραμμα ανασυγκρότησης «Καλλικράτης», ή πιο σωστά «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης» (προς τιμή το αρχαίου Έλληνα αρχιτέκτονα του Παρθενώνα και λοιπών μεταρρυθμίσεων στην αρχαία Αθήνα του 5ου αι. π.Χ.), εφαρμόστηκε σύμφωνα με τον νόμο 3852/2010. Σύμφωνα με αυτόν, τα επίπεδα της τοπικής αυτοδιοίκησης αναδιαμορφώνονται και νέα γεωγραφικά όρια καθιερώνονται για τις τοπικές αυτοδιοικήσεις. Το πρόγραμμα «Καλλικράτης» θεωρείται ως η μετεξέλιξη (η συνέχεια) της προηγούμενης αναδιάρθρωσης του σχεδίου «Καποδίστριας».

Από την 1η Ιανουαρίου του 2011, το προηγούμενο σύστημα αυτοδιοίκησης με 54 νομούς και 1033 δήμους και κοινότητες αντικαθίσταται από 7 αποκεντρωμένες διοικήσεις, 13 περιφέρειες (2ος βαθμός τοπικής αυτοδιοίκησης, Εικόνα 11.2α) και 325 δήμους (1ος βαθμός τοπικής αυτοδιοίκησης, Εικόνα 11.2β). Οι περιφέρειες και οι δήμοι αποτελούν πλέον αυτοδιοικούμενες ενότητες, ενώ οι αποκεντρωμένες διοικήσεις θα εποπτεύονται από γενικούς γραμματείς, διοριζόμενοι από την Ελληνική Κυβέρνηση.

α)

β)

Εικόνα 11.2: Γεωγραφική οριοθέτηση του 1ου (α) και 2ου (β) βαθμού τοπικής αυτοδιοίκησης σύμφωνα με τη μορφή της Καλλικρατικής αυτοδιοίκησης (νόμος 3852/2010).

Η νέα αυτοδιοικούμενη δομή βασίστηκε σε κριτήρια που αφορούσαν την πληθυσμιακή κατανομή, κοινωνικά, οικονομικά, αναπτυξιακά, πολιτιστικά, ιστορικά κριτήρια καθώς και στις χρήσεις γης.

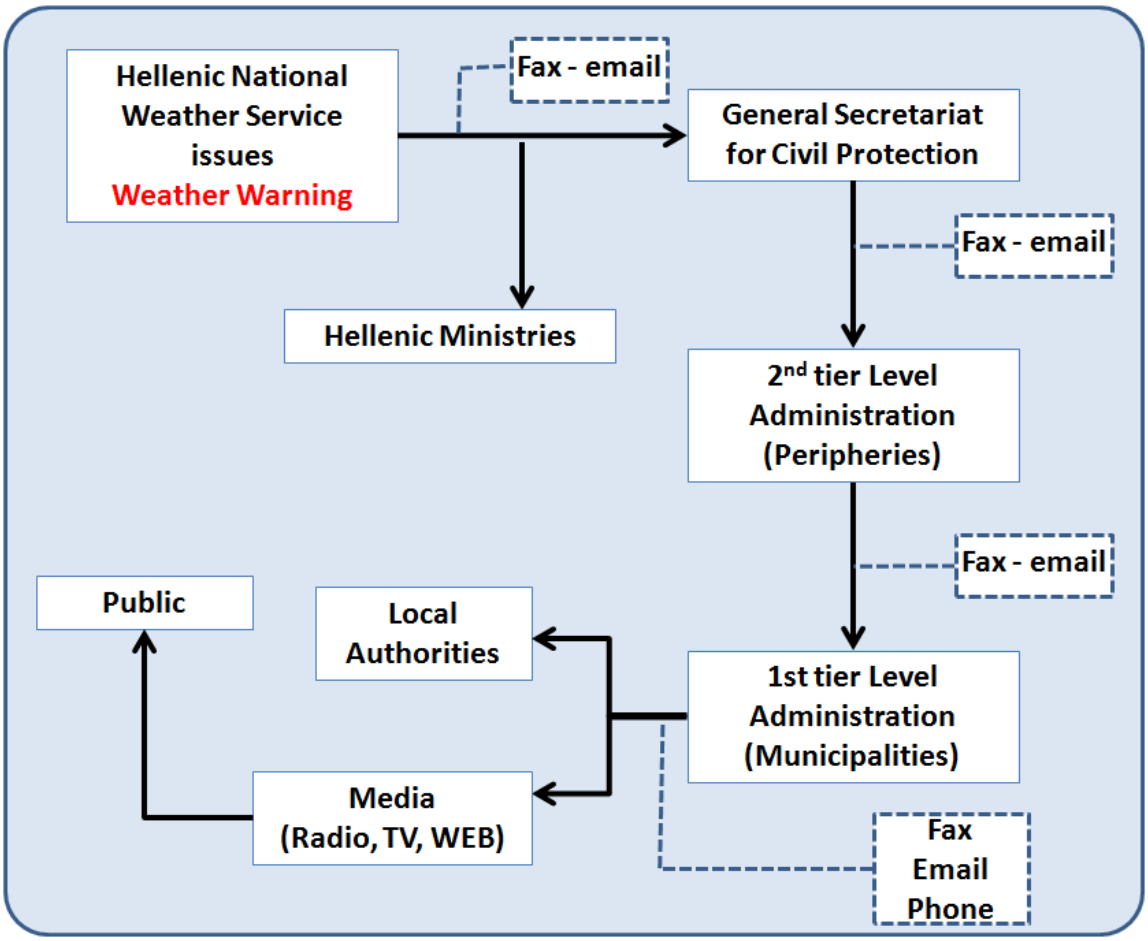
11.3 Το παρόν σύστημα προειδοποίησης στην Ελλάδα

Η αρμόδια αρχή, σε εθνικό επίπεδο στην Ελλάδα, για τον σχεδιασμό και ανάπτυξη της πολιτικής προστασίας είναι η ΓΓΠΠ, η οποία ιδρύθηκε το 1995 και ανήκει στο Υπουργείο Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης. Η ΓΓΠΠ δεν είναι μόνο υπεύθυνη για το σχεδιασμό και ανάπτυξη της πολιτικής προστασίας, αλλά και η κύρια αρχή να αναλάβει δράσεις ζωτικής σημασίας για να χειριστεί θέματα που αφορούν την πρόληψη καταστροφών, την προετοιμασία, τη διαχείριση, την ενημέρωση του κοινού και του μετριασμού των φυσικών, τεχνολογικών και άλλων μεγάλων κινδύνων.

Η ΕΜΥ είναι η αρμόδια αρχή, σε εθνικό επίπεδο, για την έκδοση προειδοποιήσεων Εκτάκτων Δελτίων Καιρού (ΕΔΚ) για τα ακόλουθα ατμοσφαιρικά φαινόμενα/κινδύνους:

- ισχυρά φαινόμενα βροχοπτώσεων ή καταιγίδων,
- ισχυρά φαινόμενα χιονοπτώσεων συνοδευόμενα από χαμηλές θερμοκρασίες,
- επικράτηση θυελλωδών ανέμων (κυρίως στα πελάγη) και
- καύσωνες.

Τα ΕΔΚ αποστέλλονται μέσω τηλεομοιοτυπικών συστημάτων ή μέσω ηλεκτρονικής αλληλογραφίας στους αποδέκτες όπως αποτυπώνεται στην Εικόνα 11.3.



Εικόνα 11.3: Διάγραμμα ροής του συστήματος αποστολής των ΕΔΚ και των αποδεκτών του.

Τα μειονεκτήματα του παρόντος συστήματος προειδοποιήσεων αναφέρονται συνοπτικά ακολούθως:

- Περιγράφει πολύ γενικότερα και χωρίς λεπτομέρειες σχετικά με την χωρική και χρονική κατανομή του φαινομένου, την επικράτηση των παραπάνω φαινόμενων, μόνο στη 2η βαθμίδα αυτοδιοίκησης.
- Δεν παρέχει καμία λεπτομερή χρονική πληροφορία για το επικείμενο ατμοσφαιρικό φαινόμενο στη 1η βαθμίδα αυτοδιοίκησης.
- Δεν παρέχει λεπτομερείς χωρικές πληροφορίες για το επικείμενο ατμοσφαιρικό φαινόμενο στη 1η βαθμίδα αυτοδιοίκησης.
- Δεν ακολουθείται καμία ενημέρωση ή επαναξιολόγηση (με εξαίρεση τις προειδοποιήσεις σχετικά με την επικράτηση των θυελλωδών ανέμων πάνω από τις θάλασσες περιοχές).
- Υπάρχει μόνο ένα επίπεδο προειδοποίησης και δεν περιλαμβάνει καμία δράση/ενέργεια η οποία θα πρέπει να ακολουθηθεί.

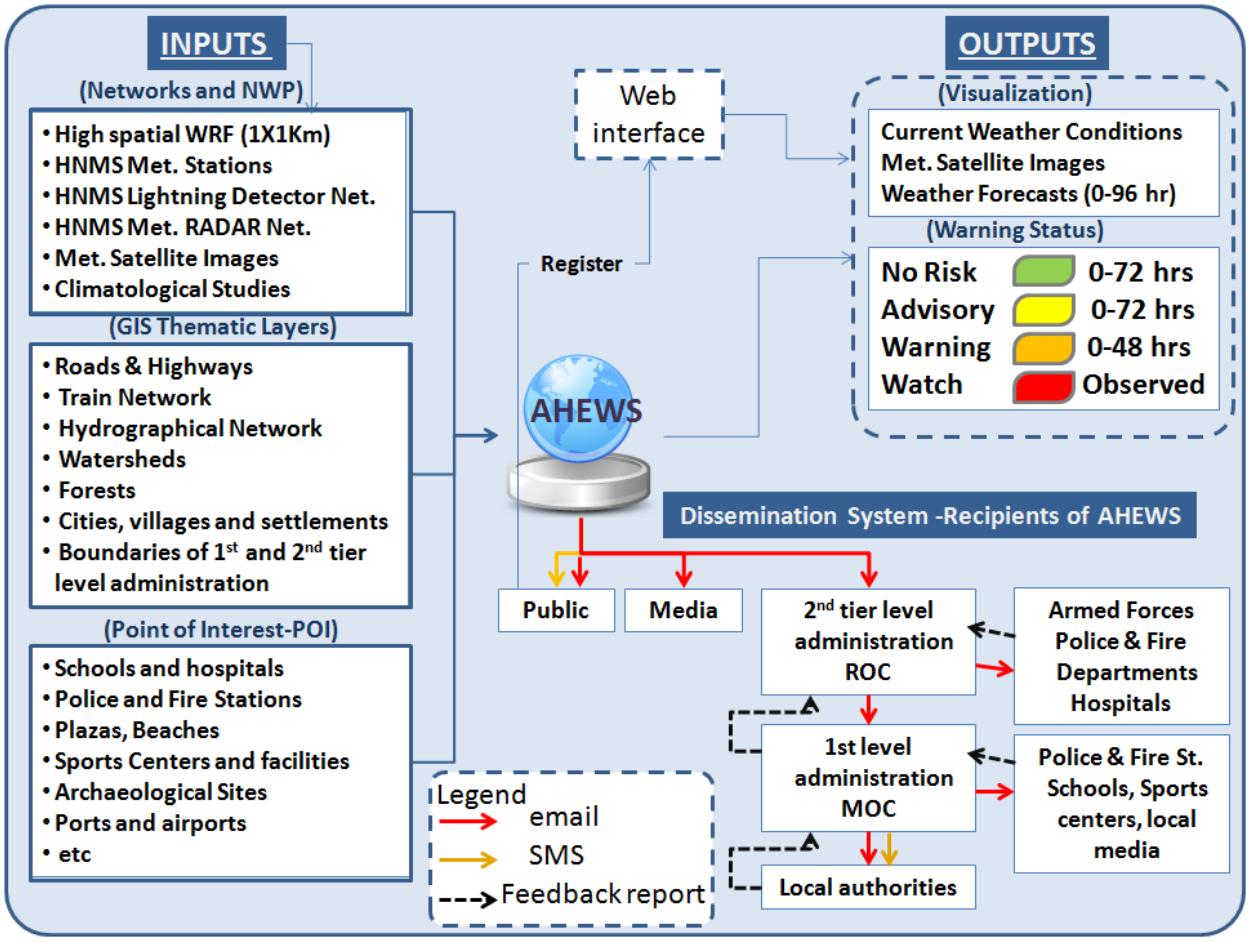
11.4 Το προτεινόμενο Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης (AHEWS).

Το AHEWS αποτελεί την πρόταση του Εργαστηρίου Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, το οποίο σχεδιάστηκε να υποστηρίξει αλλά και να ενσωματώσει φορείς/δυνάμεις του 1ου βαθμού τοπικής αυτοδιοίκησης και του 2ο βαθμού τοπικής αυτοδιοίκησης. Στην Εικόνα 11.4 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των δεδομένων εισαγωγής, τα αποτελέσματα (εξαγωγή δεδομένων) και οι παραλήπτες των αποτελεσμάτων του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης AHEWS. Το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται στα θεμελιώδη στοιχεία που περιγράφησαν εν συντομία στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου (11.1) και στα επιπλέον τεχνικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται ακολούθως:

- ένα μη υδροστατικό αριθμητικό μοντέλο υψηλής χωρικής ανάλυσης (~1,3 km) WRF-ARW ([195], [196]) το οποίο παράγει προγνωστικά με χρονικό βήμα ώρα 1 ώρας και χρονικό τέλος τις 96 προγνωστικές ώρες. Το προγνωστικό μοντέλο εκτελεί κάθε 6 ώρες καινούργια αποτελέσματα ενώ ως δεδομένα εισαγωγής χρησιμοποιούνται αρχικές συνθήκες από παγκόσμια μετεωρολογικά μοντέλα,
- μια βάση δεδομένων με ιστορικά δεδομένα των ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. πλημμυρικά φαινόμενα, χαλάζι, σίφωνες, ισχυρές βροχοπτώσεις, κ.ά.),
- το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ και άλλων φορέων, το δίκτυο των μετεωρολογικών Radar της ΕΜΥ, το δίκτυο ανίχνευσης των ηλεκτρικών εκκενώσεων,
- το σύστημα διανομής των αποτελεσμάτων προς το 1ο και 2ο επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης,
- μια βάση δεδομένων με τα σημεία ενδιαφέροντος (Point Of Interest, POI) τόσο του 1ου και 2ου επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης,
- μια βάση δεδομένων με τα σχέδια απόκρισης σε ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία απευθύνονται σε φορείς τόσο του 1ου και 2ου επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης,

- ένα σύστημα αναφοράς εφαρμογής εκτέλεσης των προβλεπόμενων σχεδίων που θα πρέπει να εφαρμόσει το 1ου επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης προς το 2ο επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης,
- μια διαδικτυακή πλατφόρμα η οποία θα ενοποιεί τα παραπάνω στοιχεία και θα αυξάνει την ευαισθητοποίηση του κοινού.

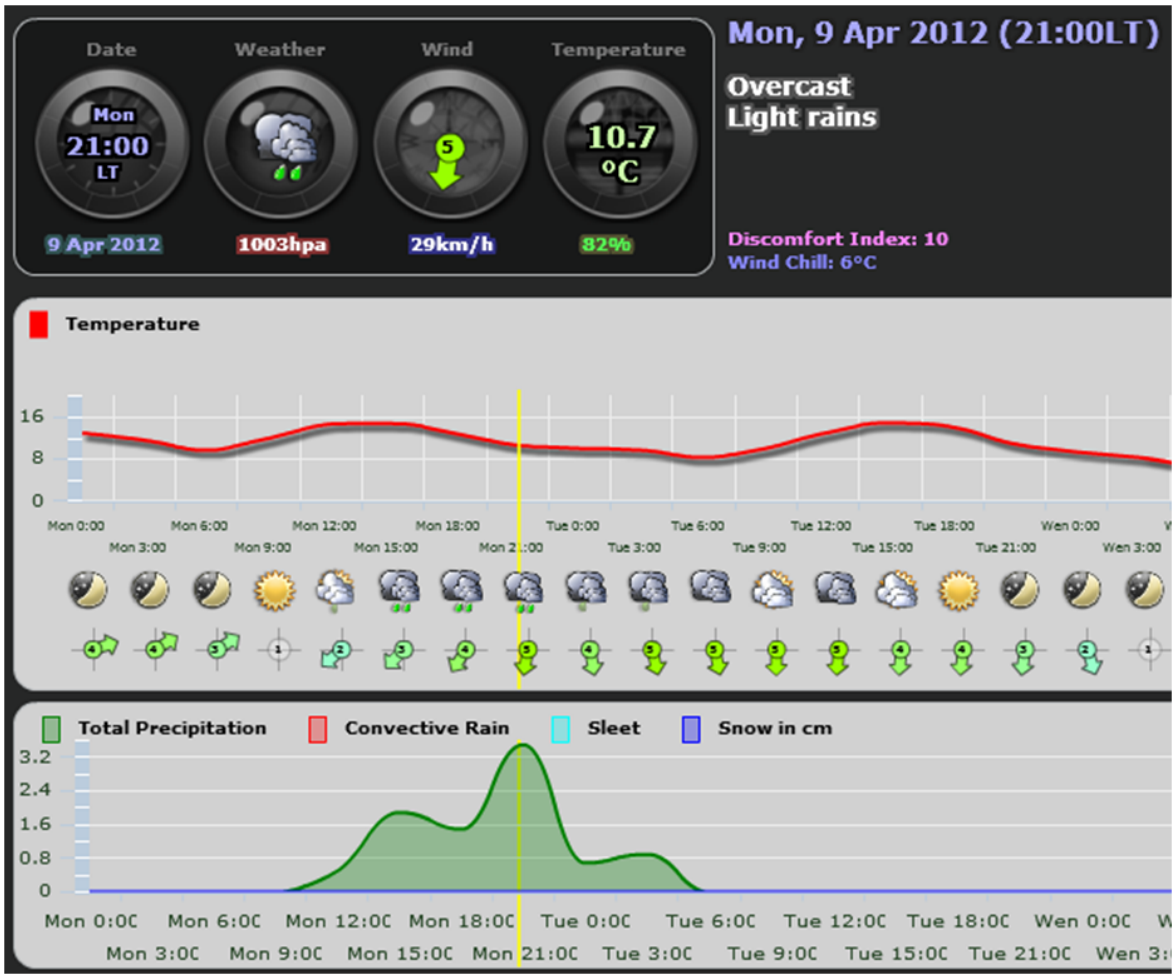
Το τελευταίο στοιχείο, που αναφέρεται στην διαδικτυακή πλατφόρμα οπτικοποίησης και ενοποίησης των δεδομένων, αποτελεί την ραχοκοκαλιά του συστήματος το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί και ως διαδικτυακή πλατφόρμα ενημέρωσης των πολιτών. Οι πολίτες θα μπορούν να ενημερώνονται για τα καιρικά φαινόμενα και να λαμβάνουν τα μηνύματα προειδοποίησης αφού εισάγουν δεδομένα επικοινωνίας (register-login). Στην προκειμένη περίπτωση η αναφορά προειδοποίησης/ενημέρωσης θα αποστέλλεται στον χρήστη είτε μέσω SMS, είτε μέσω ηλεκτρονικού μηνύματος. Οι βάσεις δεδομένων των ιστορικών (προγενέστερων σημαντικών γεγονότων) και των δεδομένων POI συνδέονται με το ατμοσφαιρικό μοντέλο βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης και αυτοματοποιημένα προϊόντα πρόγνωσης μπορούν παραχθούν (Εικόνα 11.5). Τα POI αποτελούν σημεία ενδιαφέροντος τα οποία έχουν προεπιλεγεί από το 1ο και 2ο επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης και χαρακτηρίζονται ως σημεία πρώτης προτεραιότητας. Τα σημεία αυτά ενδεικτικά είναι οι θέσεις των νοσοκομείων (1ου και 2ου βαθμού παροχή ιατρικών υπηρεσιών), σχολικά συγκροτήματα (πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης), πάρκα αναψυχής, αθλητικοί χώροι, αρχαιολογικοί χώροι, κ.ά.



Εικόνα 11.4: Διάγραμμα ροής της λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης AHEWS με τα δεδομένα εισαγωγής, τα αποτελέσματα και τους αποδέκτες του.

Το σύστημα αποστολής των προειδοποιήσεων/ενημερώσεων σχεδιάστηκε με βάση το επίπεδο της τοπικής αυτοδιοίκησης (μια σύντομη περιγραφή του συστήματος

αποτυπώνεται στην Εικόνα 11.4) και συνδέεται με μία βάση δεδομένων αποτελούμενη από σχέδια εφαρμογής για άμεση απόκριση. Η αναφορά προειδοποίησης αποστέλλεται μέσω του συστήματος AHEWS από το κέντρο επιχειρήσεων της περιφέρειας (γραφείο πολιτικής προστασίας στην περιφέρεια) στο κέντρο επιχειρήσεων της τοπικής αυτοδιοίκησης (γραφείο πολιτικής προστασίας του δήμου) και στα μέσα μαζικής ενημέρωσης (ΜΜΕ) μέσω ηλεκτρονικού μηνύματος. Με τη σειρά το γραφείο πολιτικής προστασίας του δήμου, διανέμει την πληροφορία στους υπεύθυνους ενεργοποίησης σχεδίων (δήμαρχο, προϊσταμένους τεχνικών υπηρεσιών), στις τοπικές υπηρεσίες (αστυνομικά κέντρα, πυροσβεστικοί σταθμοί, σχολεία, νοσοκομεία) της περιοχής του καθώς επίσης και στα ΜΜΕ μέσω ηλεκτρονικού μηνύματος αλληλογραφίας ή ηλεκτρονικού μηνύματος κινητής τηλεφωνίας. Την ίδια στιγμή η αναφορά προειδοποίησης συνδέεται με τη βάση δεδομένων που περιλαμβάνει τα σχέδια αντίδρασης ανά κατηγορία μετεωρολογικού φαινομένου και αποστέλλεται στους αρμόδιους τοπικούς φορείς/υπηρεσίες, οι οποίοι θα πρέπει να τα εφαρμόσουν/εκτελέσουν. Με τη σειρά τους, οι τοπικοί φορείς/υπηρεσίες αναφέρουν στα κέντρα επιχειρήσεων του δήμου τους την ολοκλήρωση των διαδικασιών και αυτά με τη σειρά τους στα κέντρα επιχειρήσεων της περιφέρειας. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζουμε ότι όλα τα σχέδια αντίδρασης σε φυσικές καταστροφές εφαρμόστηκε η διαδικασία, της καθοδήγησης, του ελέγχου και της επικοινωνίας.



Εικόνα 11.5: Οπτικοποίηση μετεωγράμματος για ένα συγκεκριμένο σημείο ενδιαφέροντος, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την καιρική κατάσταση, τον άνεμο, την θερμοκρασία, τη βροχόπτωση αλλά και βιοκλιματικούς δείκτες με χρονικό βήμα 3 ωρών.

Το προτεινόμενο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης θα μπορεί να παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τη χωρική και χρονική εξέλιξη των ακόλουθων μετεωρολογικών φαινομένων:

- Καταιγίδες.
- Ύψος αναμενόμενης βροχόπτωσης στο 3ωρο/24ωρο για τα διάφορα POI. Το ύψος βροχόπτωσης σε μονάδες mm/ώρα ή mm/ημέρα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εκτίμησης της ραγδαιότητας της βροχόπτωσης και να συγκριθούν με άλλα κατώφλια που έχουν υπολογιστεί σε επιδεκτικές περιοχές εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων
- Θυελλώδεις άνεμοι.
- Χιονοπτώσεις.
- Πιθανότητα χαλαζόπτωσης.
- Κύματα καύσωνα συνδεόμενα με βιοκλιματικούς δείκτες όπως οι δείκτες UTCI, PET ([232], [233], [234], [235], [236]), καθώς επίσης και με εμπειρικές εξισώσεις των δεικτών CP ([237]) και DI ([238]).
- Χαμηλές θερμοκρασίες και συνθήκες παγετού.
- Συνολικό ύψος βροχόπτωσης (3ωρου έως 24ωρου) ανά λεκάνη απορροής.
- Ιδανικές συνθήκες για την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών.
- Ισχυρά επεισόδια μεταφοράς Αφρικανικής σκόνης ([239], [240]).

Το σύστημα αναφορών προειδοποιήσεων κατηγοριοποιεί της προειδοποιήσεις σε 4 βασικές κατηγορίες. Τα σχέδια αντίδρασης που συνοδεύουν κάθε κατηγορία αναφοράς, προτείνουν σε κάθε διαφορετικό επίπεδο της τοπικής αυτοδιοίκησης συγκεκριμένη δράση, ώστε να διασφαλιστεί ότι όλες οι υπηρεσίες/φορείς συνεργάζονται για να μετριάσουν τις επιπτώσεις. Ο χρωματικός κώδικας των προειδοποιήσεων περιγράφεται στον Πίνακας 11-1.

Όπως αποτυπώθηκε στο 7° Κεφάλαιο οι υδροσίφωνες στις βόρειες ακτές της Κρήτης παρουσίασαν μία σταθερή εποχική διαφορά στη θερμοκρασία των 1000 hPa με τις θερμοκρασίες στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας. Το ίδιο μοτίβο παρατηρήθηκε στη μελέτη της SST και εποχικής διαφοράς υποδηλώνοντας τη συσχέτιση της. Ωστόσο παρατηρήσαμε ότι η προαναφερόμενη διαφορά έχει τις ίδιες τιμές για όλες τις εποχές του εποχές.

Στην προσπάθειά μας να αναπτύξουμε έναν αριθμητικό κώδικα που θα ενσωματώνει τα αποτελέσματα της θερμοδυναμικής ανάλυσης των γεγονότων υδροσιφώνων στο νότιο Αιγαίο λαμβάνοντας υπόψη την εποχική μεταβλητότητα παραθέτουμε τον ακόλουθο αριθμητικό κώδικα για τη φθινοπωρινή περίοδο του έτους (Εικόνα 11.6). Ωστόσο ο ακόλουθος αριθμητικός κώδικας δεν έχει επαληθευτεί για τα γεγονότα υδροσιφώνων αλλά βασίζεται σε τιμές της μέσης θερμοδυναμικές κατάστασης και της SST.

Οι αριθμητικές προσομοιώσεις των σιφώνων ξηράς και η μελέτη των διαγνωστικών δεικτών αποτύπωσε ότι οι διαγνωστικοί δείκτες είχαν ένα σημαντικό εύρος τιμών και δεν υπέδειξαν ένα κοινό κατώφλι τιμών εκδήλωσης σιφώνων. Για να μπορέσουμε να αναπτύξουμε έναν αριθμητικό κώδικα (αντίστοιχου με τον κώδικα των υδροσιφώνων) θα πρέπει να προχωρήσουμε στην κλιματολογική ανάλυση και μελέτη των διαγνωστικών δεικτών για όλα τα γεγονότα σιφώνων ξηράς ανά περιοχή.

Ακολούθως η επαλήθευση των διαγνωστικών τιμών θα αποδώσει το ποσοστό εμπιστοσύνης τους και στη συνέχεια θα είναι δυνατόν να εισαχθούν σε ένα σύστημα αριθμητικής πρόγνωσης.

Πίνακας 11-1. Χρωματικός κώδικας και προτεινόμενες ενέργειες που θα πρέπει να ακολουθήσουν οι πολίτες για τον μετριασμό των επιπτώσεων από τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Χρωματικός Κώδικας και Τύπος Προειδοποίησης	Ενέργειες
Κανένας κίνδυνος (No Risk)	Δεν απαιτείται ούτε είναι απαραίτητα κάποια ιδιαίτερη ευαισθητοποίηση του κοινού καθώς δεν προβλέπονται ακραία καιρικά φαινόμενα για τις επόμενες 0-72 ώρες.
Μετεωρολογική Συμβουλή (Weather Advisor)	Ένα ατμοσφαιρικό φαινόμενο, όχι τόσο σύνηθες, προβλέπεται να εκδηλωθεί μέσα στις επόμενες 0-72 ώρες. Οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι δυνητικά επικίνδυνες, μιας και το φαινόμενο δεν είναι τόσο σύνηθες, αλλά δομικές καταστροφές και ανθρώπινα θύματα είναι πιθανόν να καταγραφούν. Θα πρέπει να είστε σε επαγρύπνηση και να είστε πολύ προσεκτικοί αν σκοπεύετε να δραστηριοποιηθείτε σε περιβάλλον που εκτίθεται στους μετεωρολογικούς κινδύνους. Να ενημερώνεστε συνεχώς και λεπτομερώς για την προβλεπόμενη ατμοσφαιρική κατάσταση και να αποφύγετε κάθε περιττό κίνδυνο. Ακολουθήστε τις συμβουλές που δίνονται από την τοπική υπηρεσία πολιτικής προστασίας.
Μετεωρολογική Προειδοποίηση (Weather Warning)	Ασυνήθιστες ή ακραίες καιρικές συνθήκες/φαινόμενα προβλέπονται μέσα στις επόμενες 0-48 ώρες. Εκτεταμένες ζημιές, θύματα είναι πιθανό να συμβούν καθώς μπορεί να απειληθεί η ανθρώπινη ζωή. Να ενημερώνεστε για τον αναμενόμενο ατμοσφαιρικό κίνδυνο/ακραίο φαινόμενο. Ακολουθήστε τις οδηγίες και τις συμβουλές που δίνονται από την τοπική υπηρεσία πολιτικής προστασίας.
Ακραίο καιρικό φαινόμενο παρατηρήθηκε ή παρατηρείται (Warning Watch)	Ασυνήθιστες ή ακραίες καιρικές συνθήκες/φαινόμενα παρατηρούνται με εξαιρετική ένταση. Σημαντικές ζημιές είναι πιθανό να λάβουν χώρα και σε πολλές περιπτώσεις είναι πιθανόν να απειληθεί η ανθρώπινη ζωή. Ενημερώνεστε συνεχώς για την εξέλιξη του καιρού. Ακολουθήστε όλες τις οδηγίες και συμβουλές που δίνονται από την τοπική υπηρεσία πολιτικής προστασίας. Σε κάθε περίπτωση, αποφύγετε οποιαδήποτε δραστηριότητα σε εξωτερικούς χώρους.

```
if
((SST >= 22 AND SST <= 25)
AND
((SST-T1000) >= 1.1 AND (SST-T1000) <= 3.4)
AND
((SST-T925) >= 6.4 AND (SST-T925) <= 9.4)
AND
((SST-T850) >= 10.7 AND (SST-T850) <= 14.6)
AND
((WD850 >= 295) AND (WD850 <= 340))
AND
((WD925 >= 240) AND (WD925 <= 340))
AND
((WD1000 >= 330) AND (WD1000 <= 355))
AND
(WS850 < 15))
AND
(WS925 < 14))
AND
(WS1000 < 12))
AND
((CAPE >= 100) AND (CAPE <= 450))
{ TRUE }
```

Εικόνα 11.6: Αριθμητικός κώδικας βασισμένος στη θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας (SST) και στη μέση θερμοδυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας, κατά την εμφάνιση υδροσιφώνων στη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Ηρακλείου.

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

WRF	Weather and Research Forecasting
ARW	Advanced Research WRF
NMM	Nonhydrostatic Mesoscale Model
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
FSL	Forecast Systems Laboratory
AFWA	Air Force Weather Agency
NRL	Naval Research Laboratory
UoO	University of Oklahoma
FAA	Federal Aviation Administration
SST	Sea Surface Temperature
MMMD	Mesoscale and Microscale Meteorology Division
CAPE	Convective Potential Available Energy
BRN	Bulk Richardson Number
SRH	Storm Relative Helicity
EHI	Energy Helicity Index
UKMO	United Kingdom MetOffice
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
LSW	Levantine Surface Water
AMC	Asian Minor Current
MMJ	Mid-Mediterranean Jet
AIS	Atlantic Ionian Stream
CIW	Cretan Intermediate Water
TMW	Transitional Mediterranean Water
CDW	Cretan Deep Water
EMDW	Eastern Mediterranean Deep Water
BSW	Black Sea Water
LIW	Levantine Intermediate Water
MMAB	Marine Modeling and Analysis Branch
LI	Lifted index
SW	Showalter index

K	K-index
VT	Vertical totals
CT	Cross totals
TT	Total totals
CIN	Convective Inhibition
MMR	Mean Mixed Ratio
RW	Precibitable Water
ESSL	European Severe Storm Laboratory
ESWD	European Severe Weather Database
NWS	National Weather Service
SPC	Storm Prediction Center
ENSO	El Nino–Southern Oscillation
ΕΚΠΑ	Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
TE	Total Events
TR	Tornadoes
WS	Waterspouts
FC	Funnel Clouds
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Στο Παράρτημα Ι παρουσιάζεται ένα μικρό δείγμα των συνημμένων εικόνων από τις αναφορές εκδήλωσης σίφωνα μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας του tornado.geol.uoa.gr. Οι εικόνες προστέθηκαν από τους ίδιους τους χρήστες επαληθεύοντας την ύπαρξη του φαινομένου.

Σε κάθε λεζάντα αποτυπώνονται ο τύπος του φαινομένου (σίφωνας, υδροσίφωνας ή χοανοειδές νέφος), η ημερομηνία και η ώρα εκδήλωσης του φαινομένου (τοπική ώρα). Επίσης παραθέτουμε την ευρύτερη περιοχή εκδήλωσης καθώς η ακριβή θέση του φαινομένου περιέχεται στη βάση δεδομένων μας και για λόγους συντομίας δεν αναφέρεται.

Εικόνα Παρ. Ι 1: Εικόνες από την δημιουργία υδροσίφωνα στις 19-10-2010 στις 15:10 τοπική στη θαλάσσια περιοχή της Κέρκυρας.

Εικόνα Παρ. Ι 2:Εικόνες από την εμφάνιση χαονοειδούς νέφους στις 16-10-2010 στις 19:40 στην περιοχή της Κέρκυρας.

Εικόνα Παρ. Ι 3: Εικόνες από την εμφάνιση χαονοειδούς νέφους στις 16-10-2010 στις 18:45 στην περιοχή Σαγιάδα Θεσπρωτίας.

Εικόνα Παρ. Ι 4: Εικόνες από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 10-6-2006, 14:00 στην θαλάσσια περιοχή της Αμαλιάδος.

Εικόνα Παρ. Ι 5: Εικόνες από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 26-10-2006, 13:05 (επάνω) και στις 27-10-2006, 18:45 (κάτω) στην περιοχή της Κέρκυρας.

Εικόνα Παρ. Ι 6: Εικόνα από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 5-6-2010, 13:00 στην περιοχή του Αγ. Ιωάννη Πηλίου.

Εικόνα Παρ. Ι 7: Εικόνα από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 18-11-2010, 16:30 στην περιοχή της Κέρκυρας.

Εικόνα Παρ. Ι 8: Εικόνες από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 15-6-2011, 09:30 στην περιοχή Αγ. Ιωάννη Πηλίου.

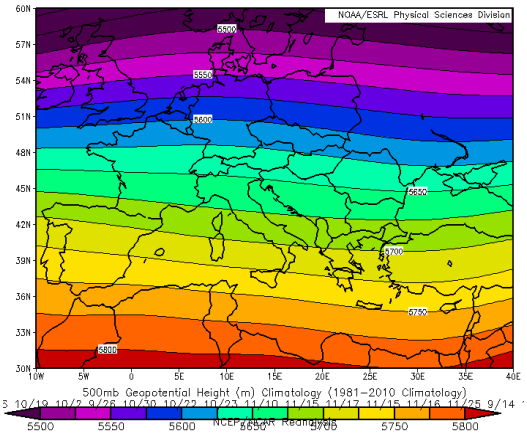
Εικόνα Παρ. Ι 9: Εικόνες από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 8-4-2012, 11:00 στην περιοχή Κέρκυρας και Σύβωτα Θεσπρωτίας.

Εικόνα Παρ. Ι 10: Εικόνα από την εκδήλωση υδροσίφωνα στις 24/5/2012, 12:00 στην περιοχή Χιλιαδούς Εύβοιας.

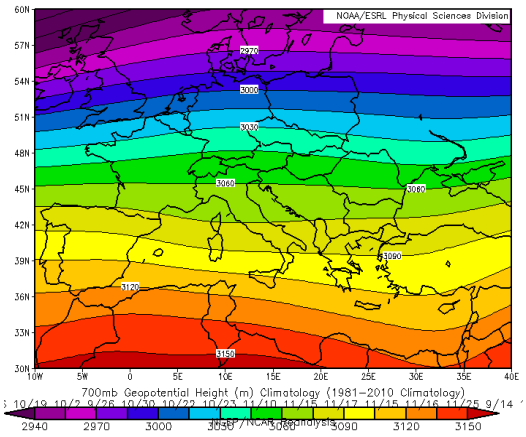
Εικόνα Παρ. Ι 11: Εικόνα από την εμφάνιση υδροσίφωνα στις 17/5/2012, 13:30 στο νότιο Κρητικό Πέλαγος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

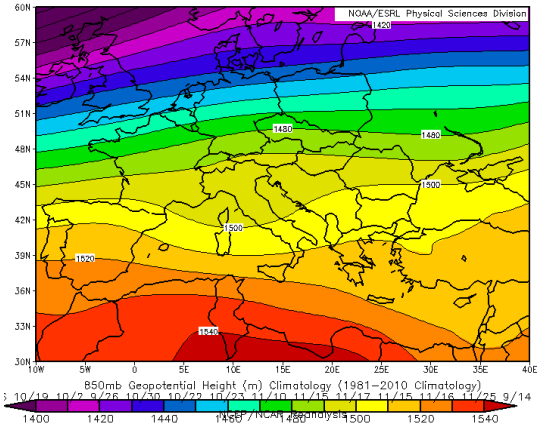
Στο Παράρτημα ΙΙ παρουσιάζεται η κλιματολογία του NCEP για τις ημέρες εκδήλωσης φαινομένων σιφώνων, υδροσιφώνων με βάση τις οποίες υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία της ατμόσφαιρας στα βασικά κατακόρυφα επίπεδα της ατμόσφαιρας.



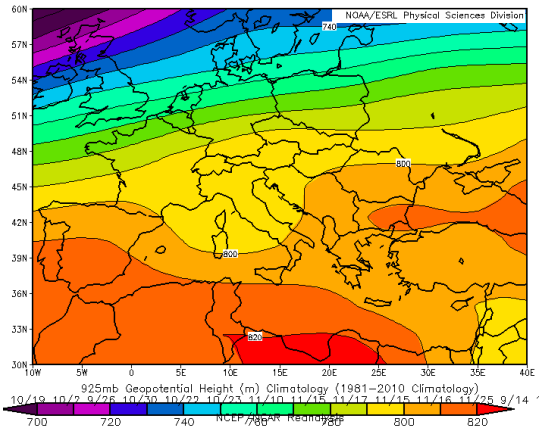
500 hPa



700 hPa

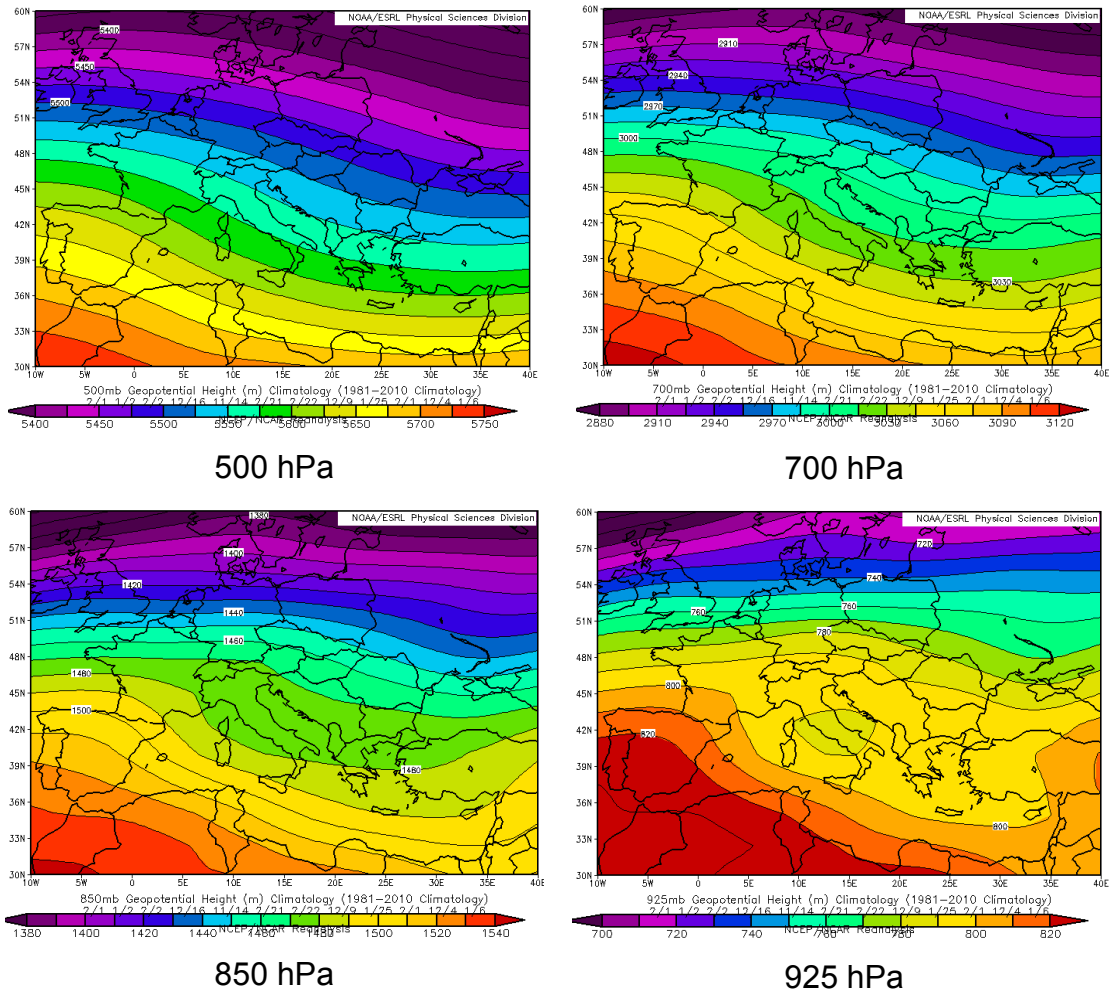


850 hPa

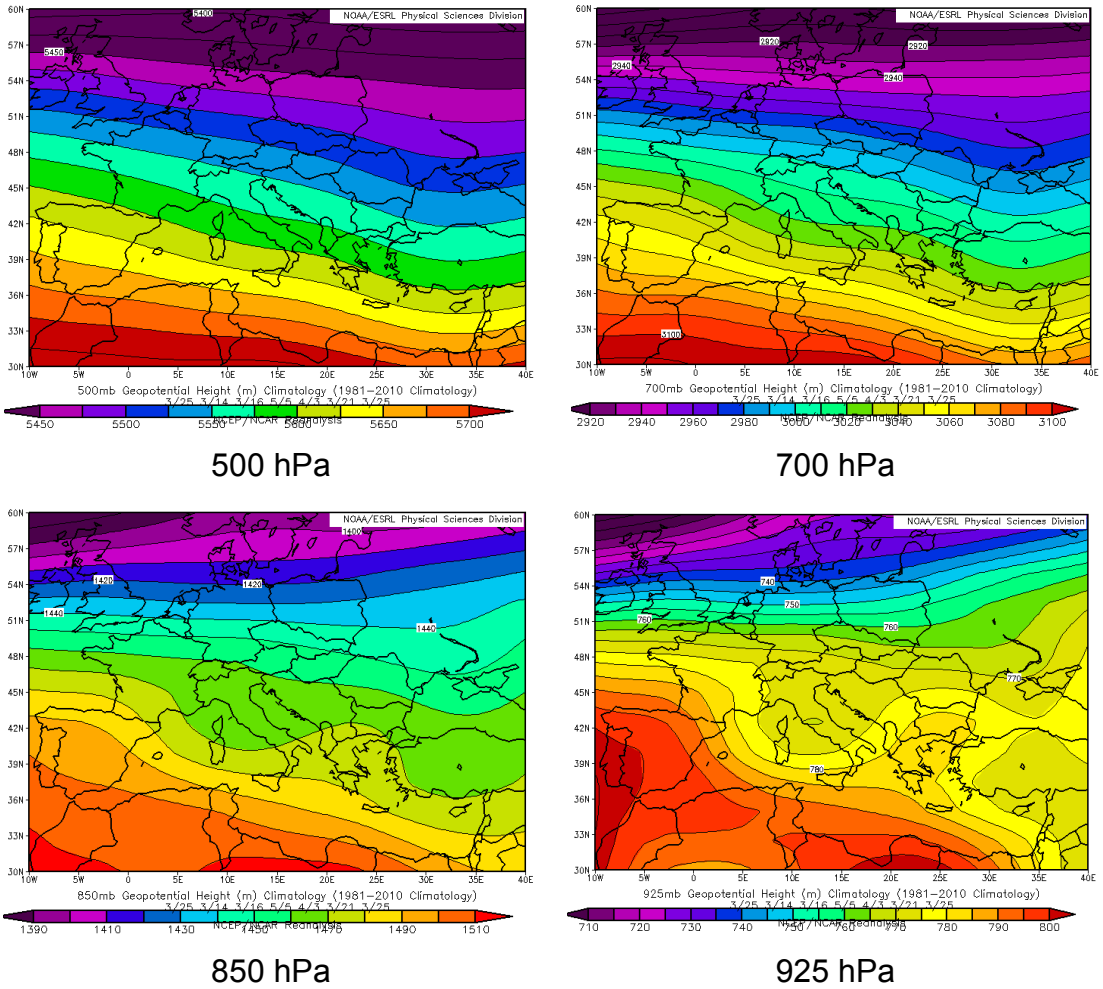


925 hPa

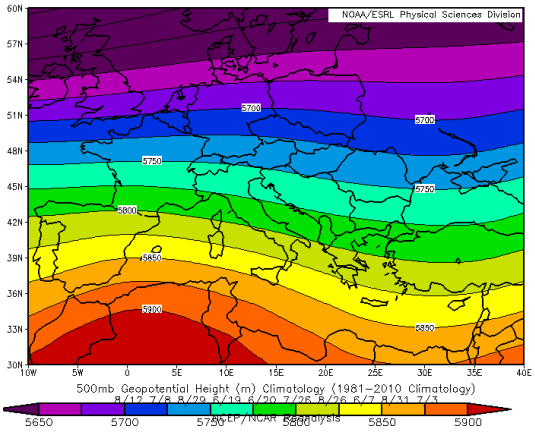
Εικόνα Παρ. ΙΙ 1: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της φθινοπωρινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850 και 925 hPa των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



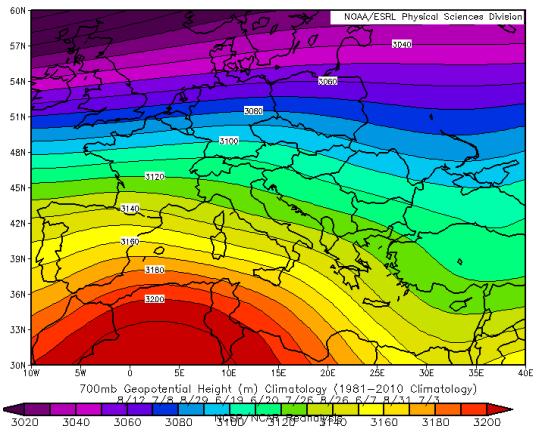
Εικόνα Παρ. ΙΙ 2: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της χειμερινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850 και 925 hPa των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



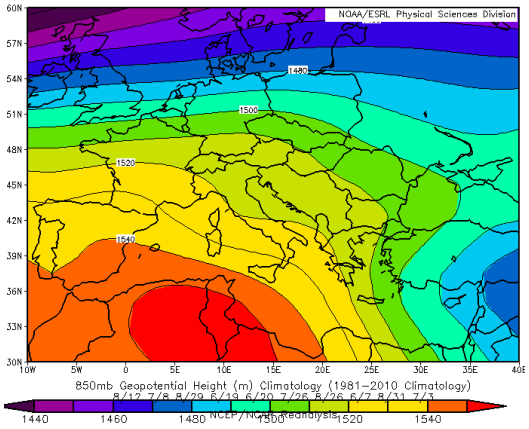
Εικόνα Παρ. ΙΙ 3: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της εαρινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850 και 925 hPa των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



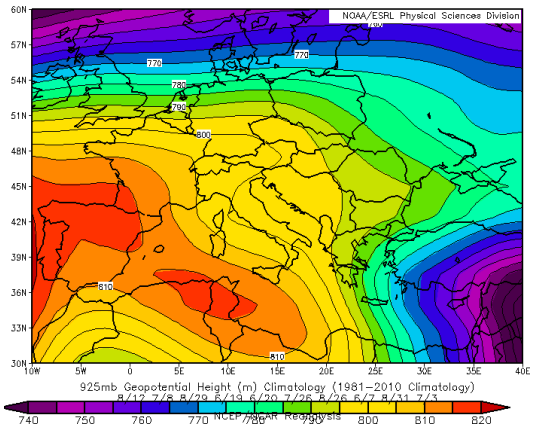
500 hPa



700 hPa

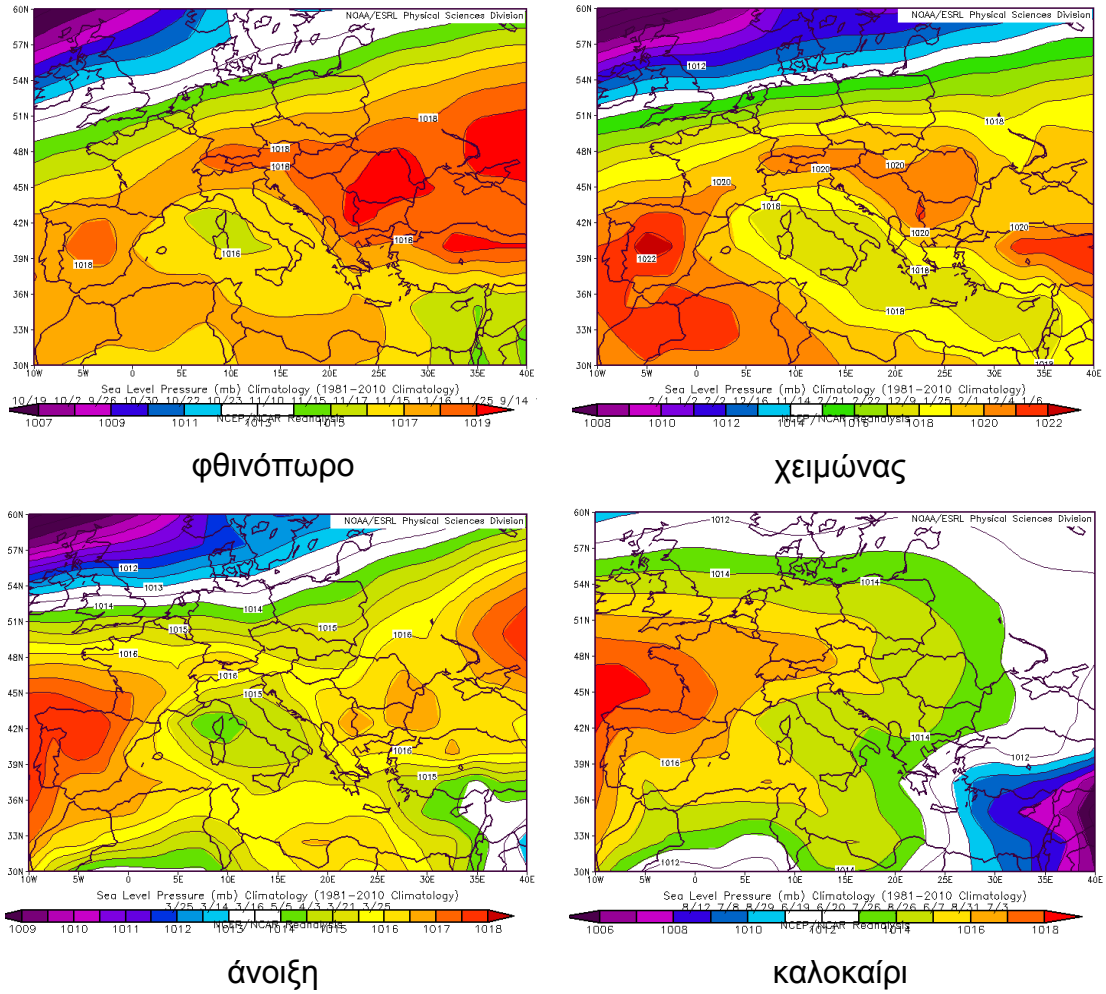


850 hPa

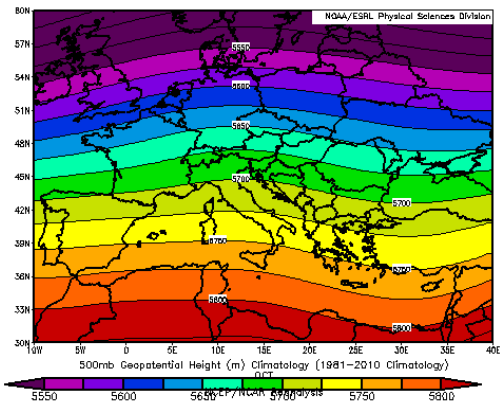


925 hPa

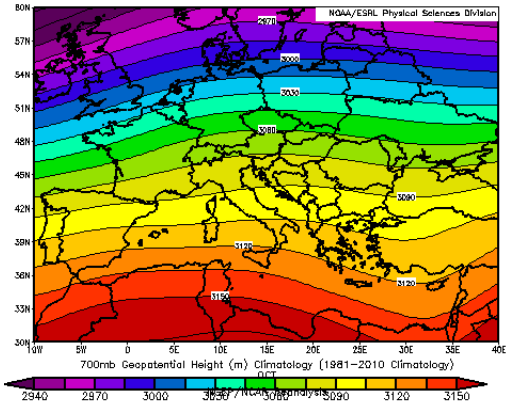
Εικόνα Παρ. ΙΙ 4: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της καλοκαιρινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850 και 925 hPa των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



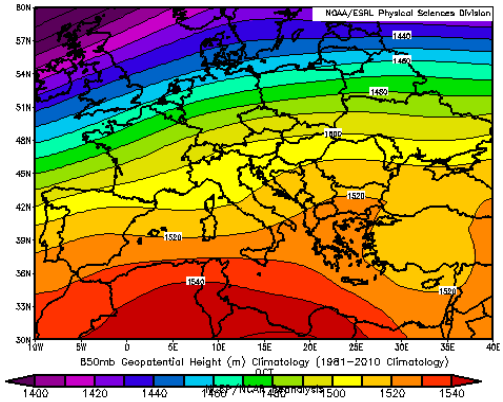
Εικόνα Παρ. ΙΙ 5: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών στη μέση στάθμη θάλασσας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) για τη φθινοπωρινή, χειμερινή, εαρινή και θερινή περίοδο, με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στη μέση στάθμη θάλασσας για τις αντίστοιχες εποχές των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



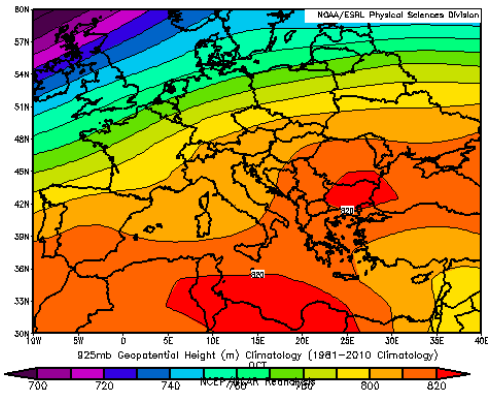
500 hPa



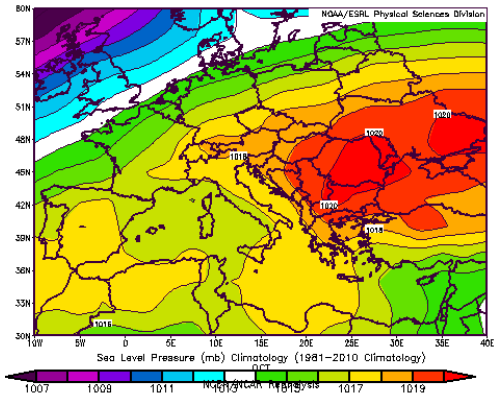
700 hPa



850 hPa

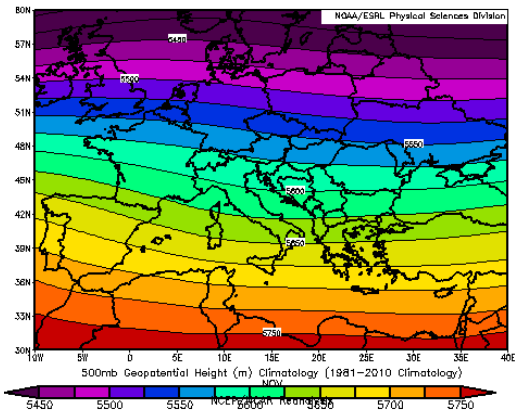


925 hPa

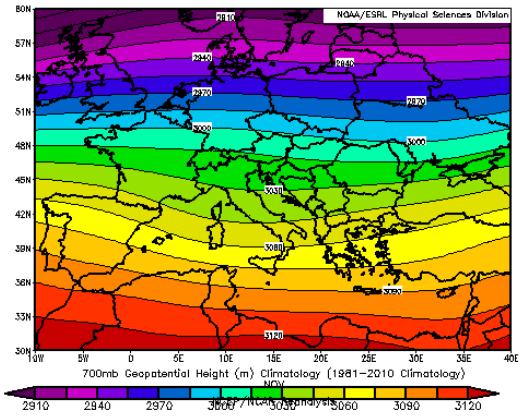


ΜΣΘ

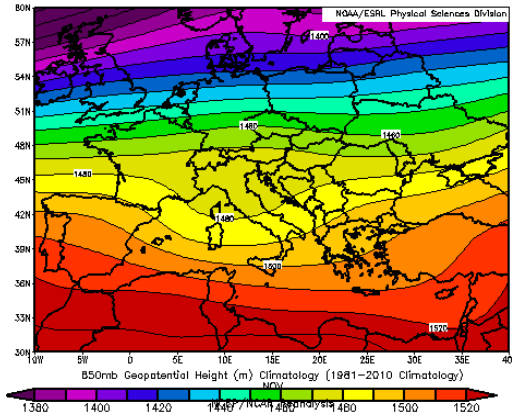
Εικόνα Παρ. ΙΙ 6: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών σε κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012 για το μήνα Οκτώβριο.



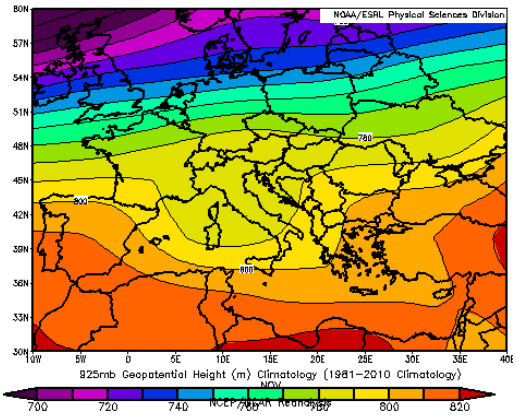
500 hPa



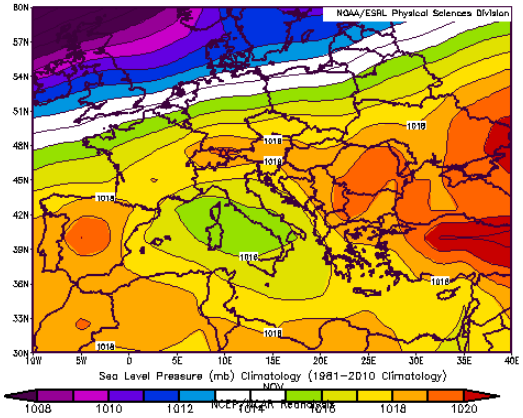
700 hPa



850 hPa

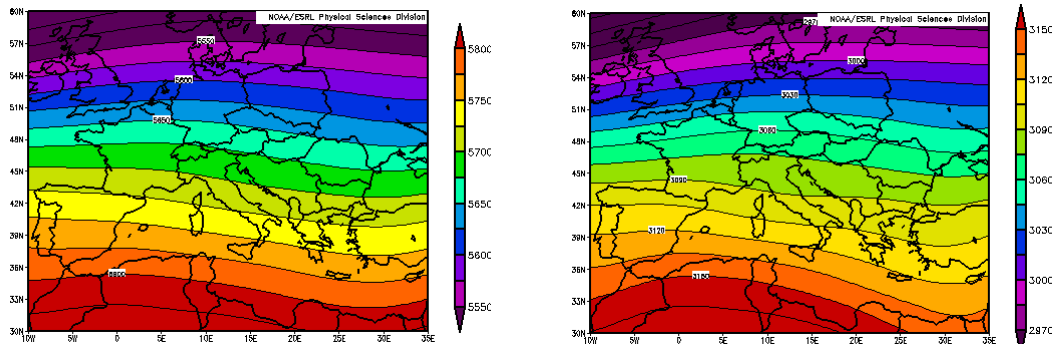


925 hPa

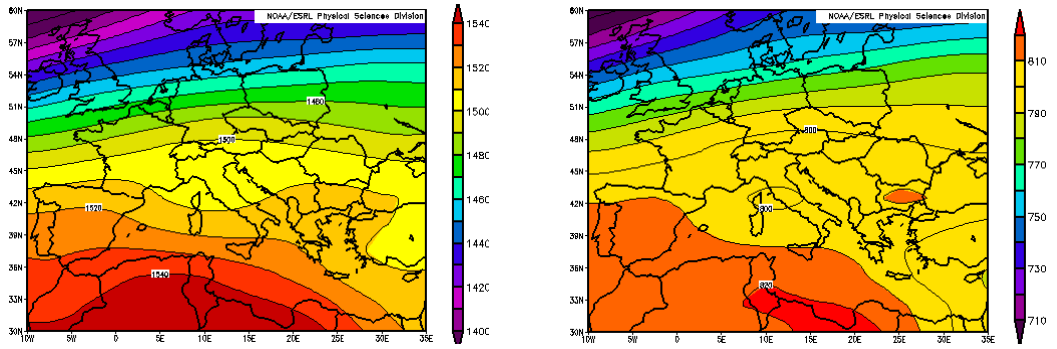


ΜΣΘ

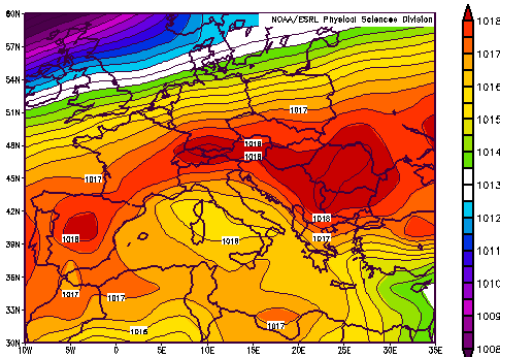
Εικόνα Παρ. ΙΙ 7: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών σε κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης σιφώνων ξηράς στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012 για το μήνα Νοέμβριο.



500 hPa 700 hPa

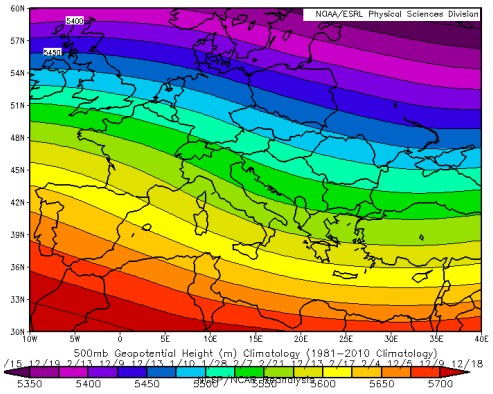


850 hPa 925 hPa

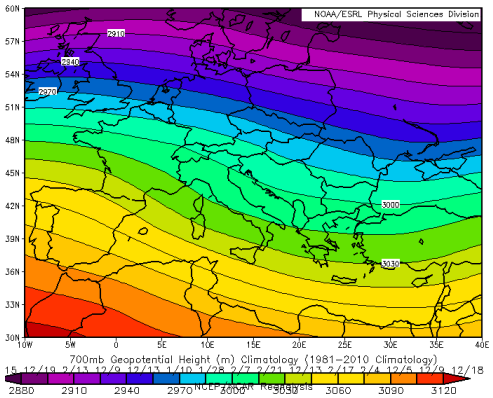


ΜΣΘ

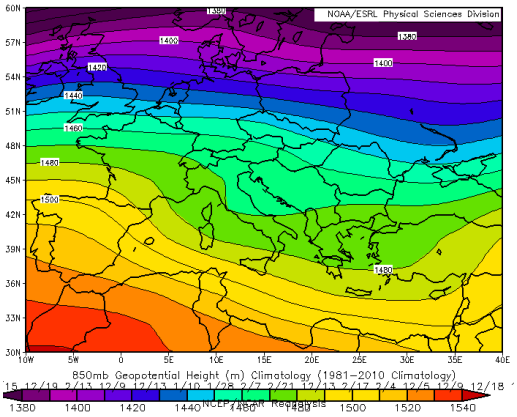
Εικόνα Παρ. ΙΙ 8: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, σε κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



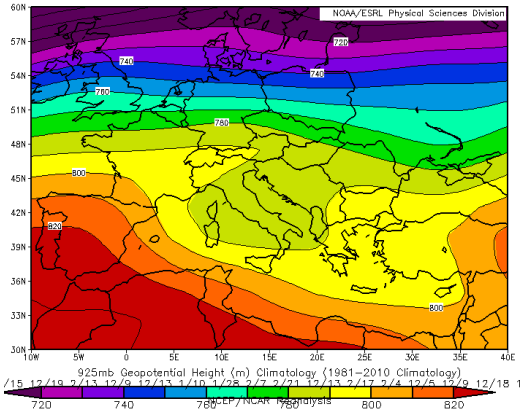
500 hPa



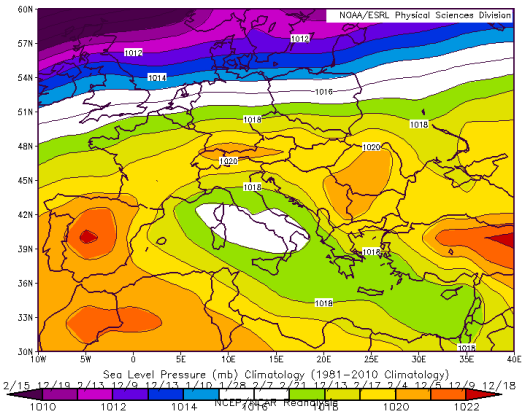
700 hPa



850 hPa

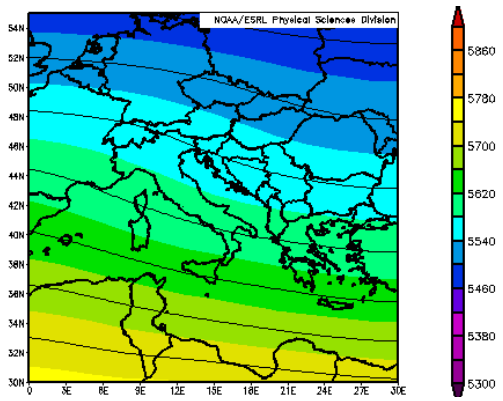


925 hPa

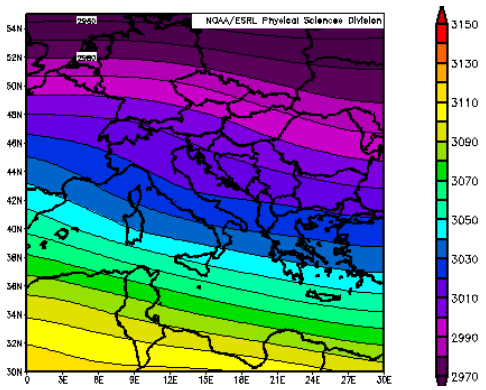


ΜΣΘ

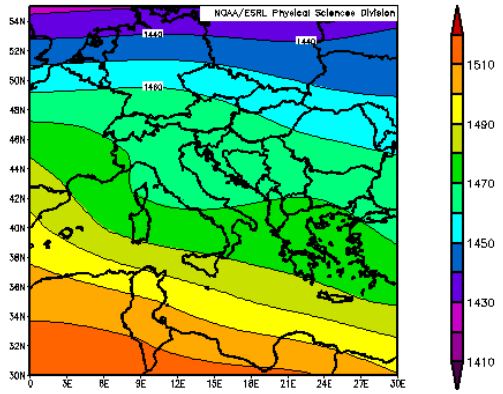
Εικόνα Παρ. ΙΙ 9: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών κατά τη χειμερινή περίοδο, σε κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



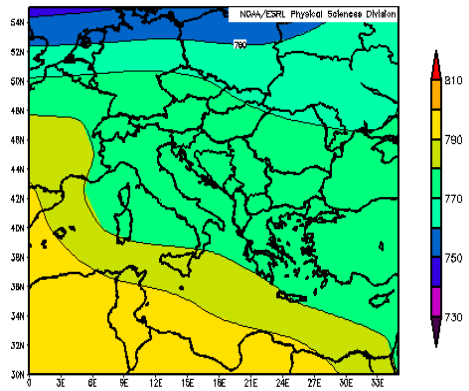
500 hPa



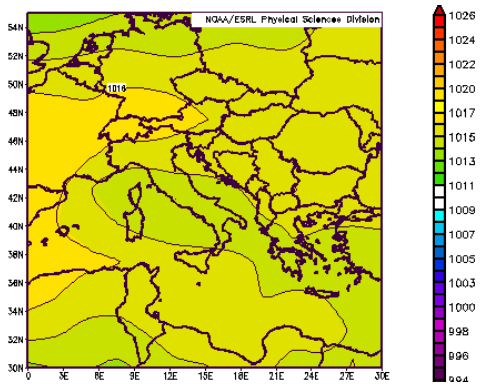
700 hPa



850 hPa

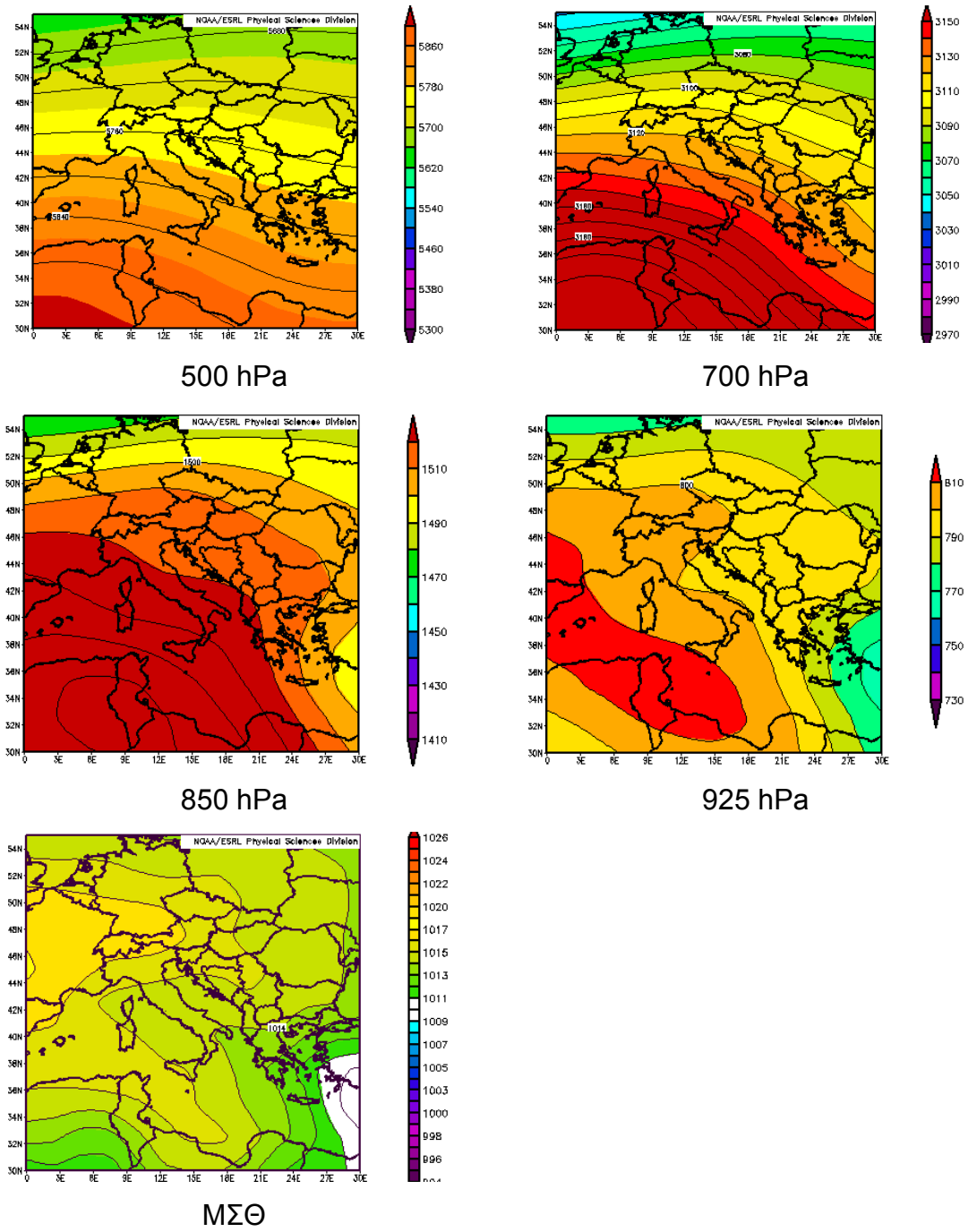


925 hPa

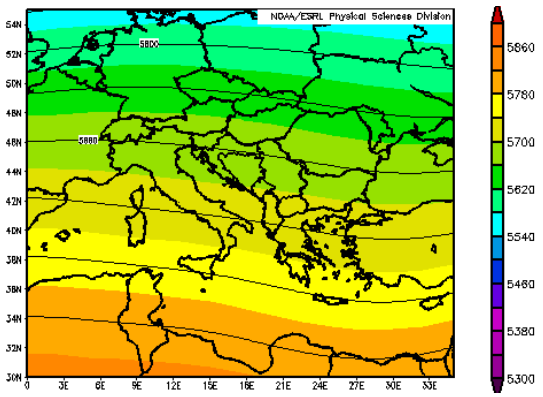


ΜΣΘ

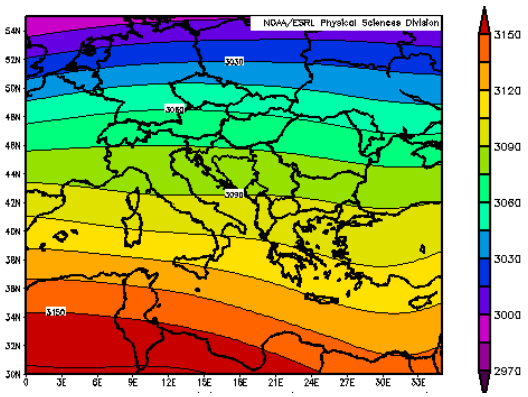
Εικόνα Παρ. ΙΙ 10: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών κατά την εαρινή περίοδο, σε κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



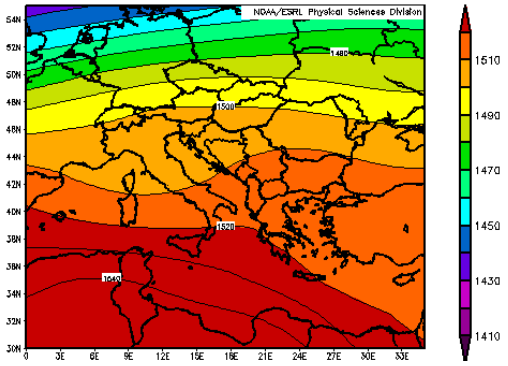
Εικόνα Παρ. ΙΙ 11: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών κατά την καλοκαιρινή περίοδο, σε κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011) με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία των ημερών εμφάνισης υδροσιφώνων στη Δυτική Ελλάδα από 12/8/1953 έως 31/12/2012.



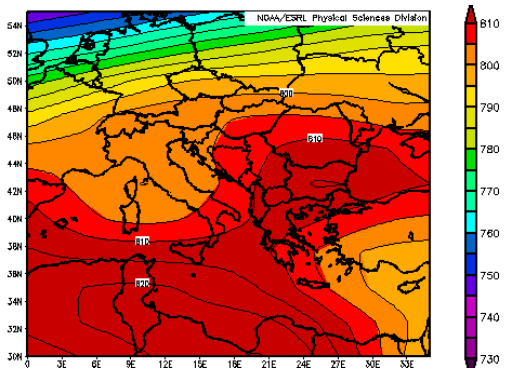
500 hPa



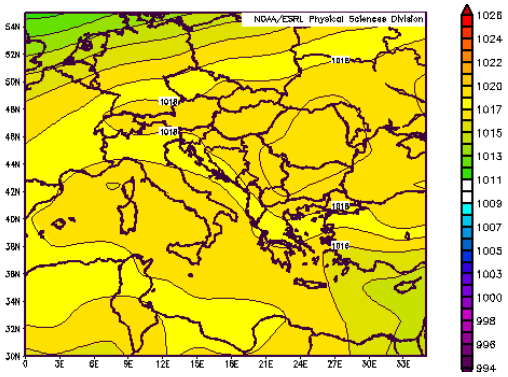
700 hPa



850 hPa

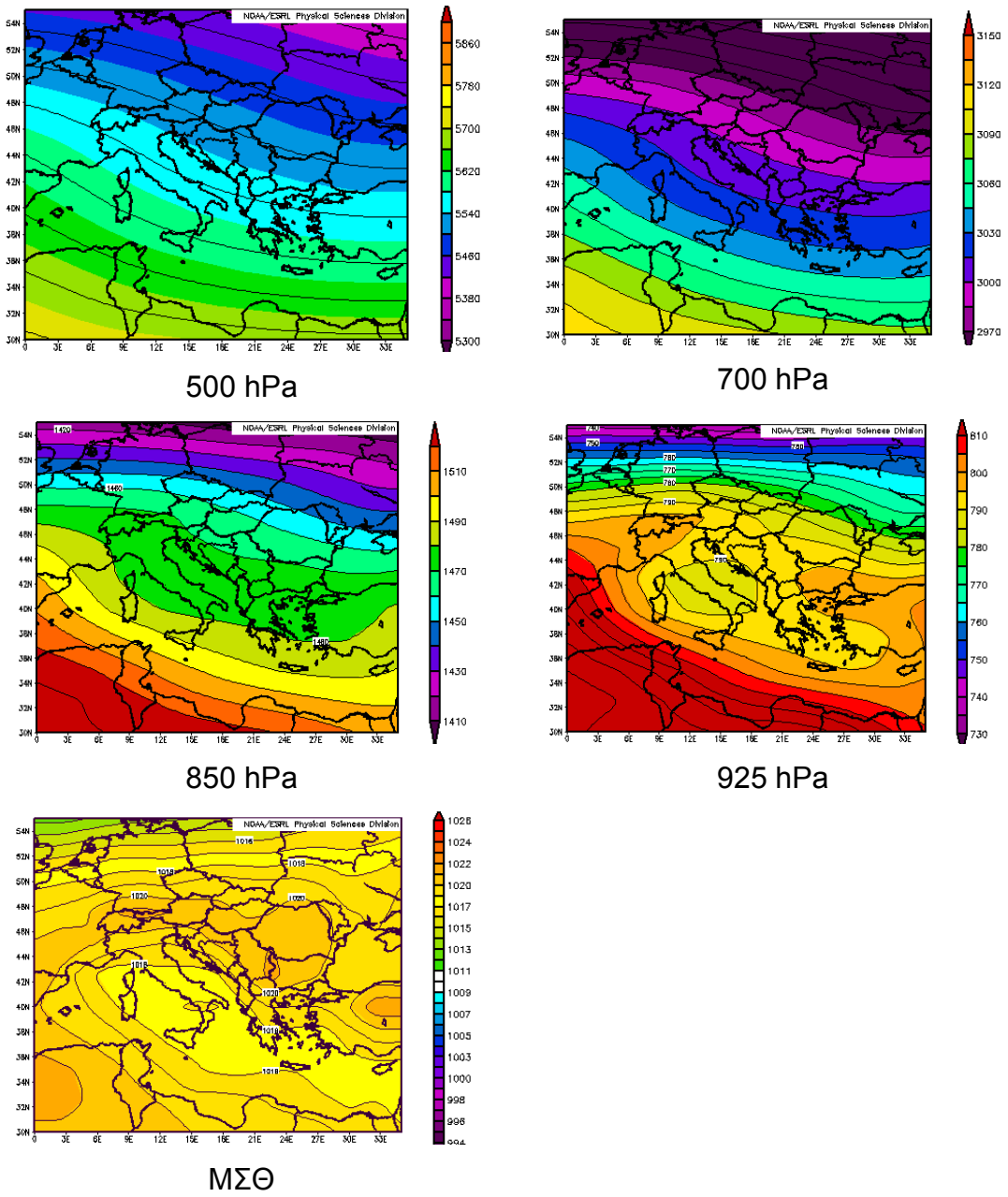


925 hPa

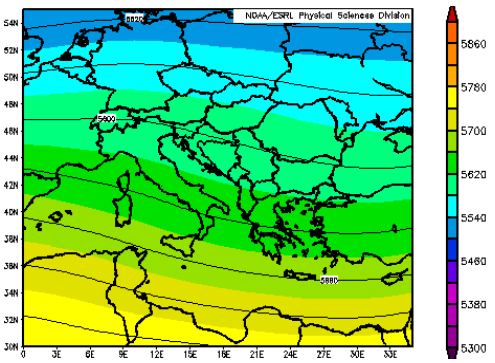


ΜΣΘ

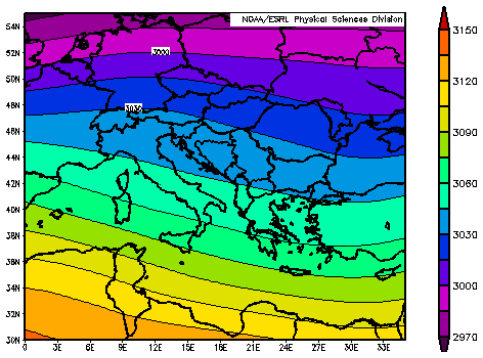
Εικόνα Παρ. ΙΙ 12: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της φθινοπωρινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850, 925 hPa και ΜΣΘ για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012 στο νότιο Αιγαίο.



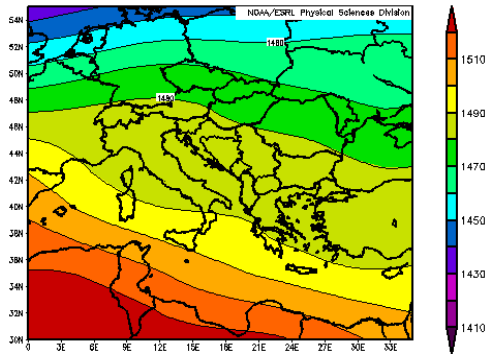
Εικόνα Παρ. ΙΙ 13: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της χειμερινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850, 925 hPa και ΜΣΘ για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012 στο νότιο Αιγαίο.



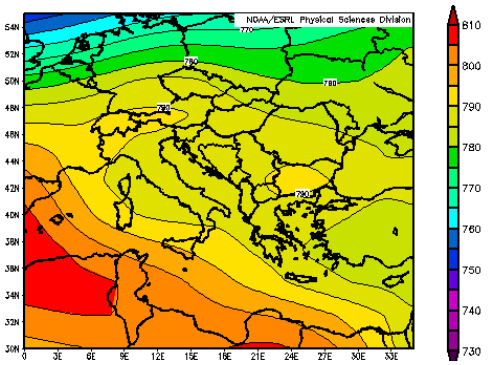
500 hPa



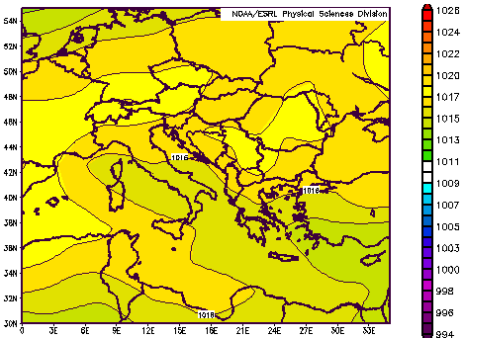
700 hPa



850 hPa

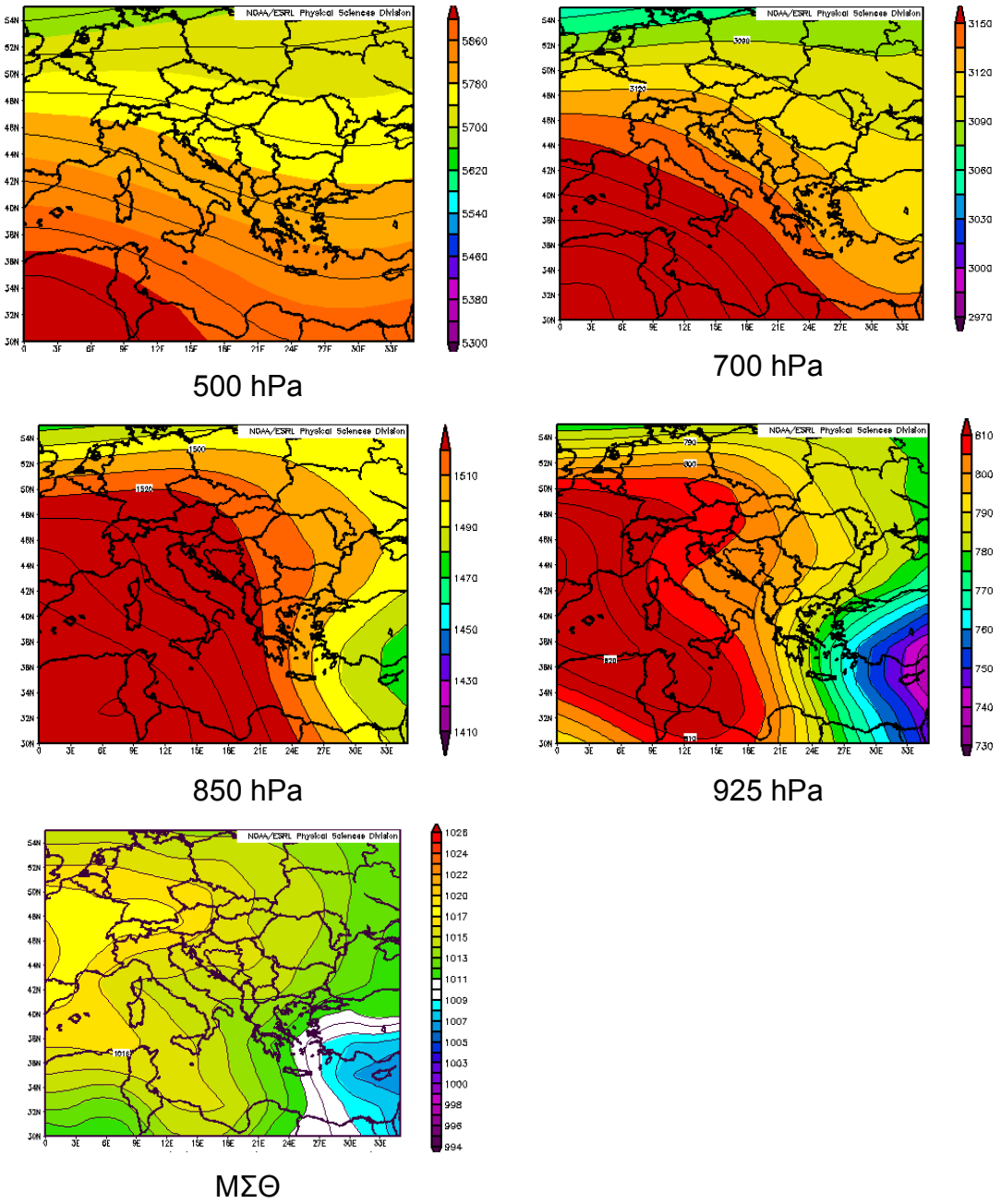


925 hPa



ΜΣΘ

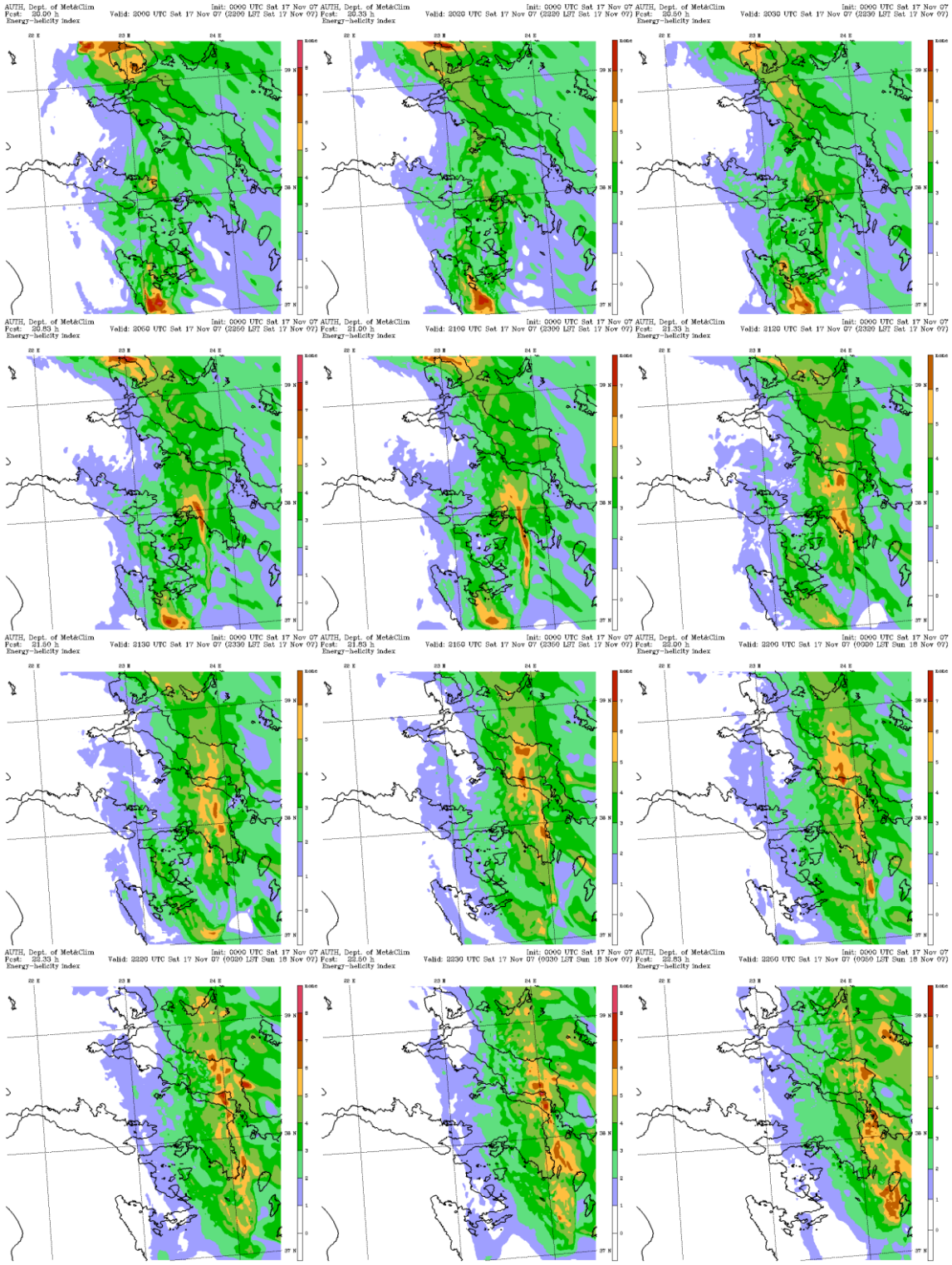
Εικόνα Παρ. ΙΙ 14: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της εαρινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850, 925 hPa και ΜΣΘ για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012 στο νότιο Αιγαίο.



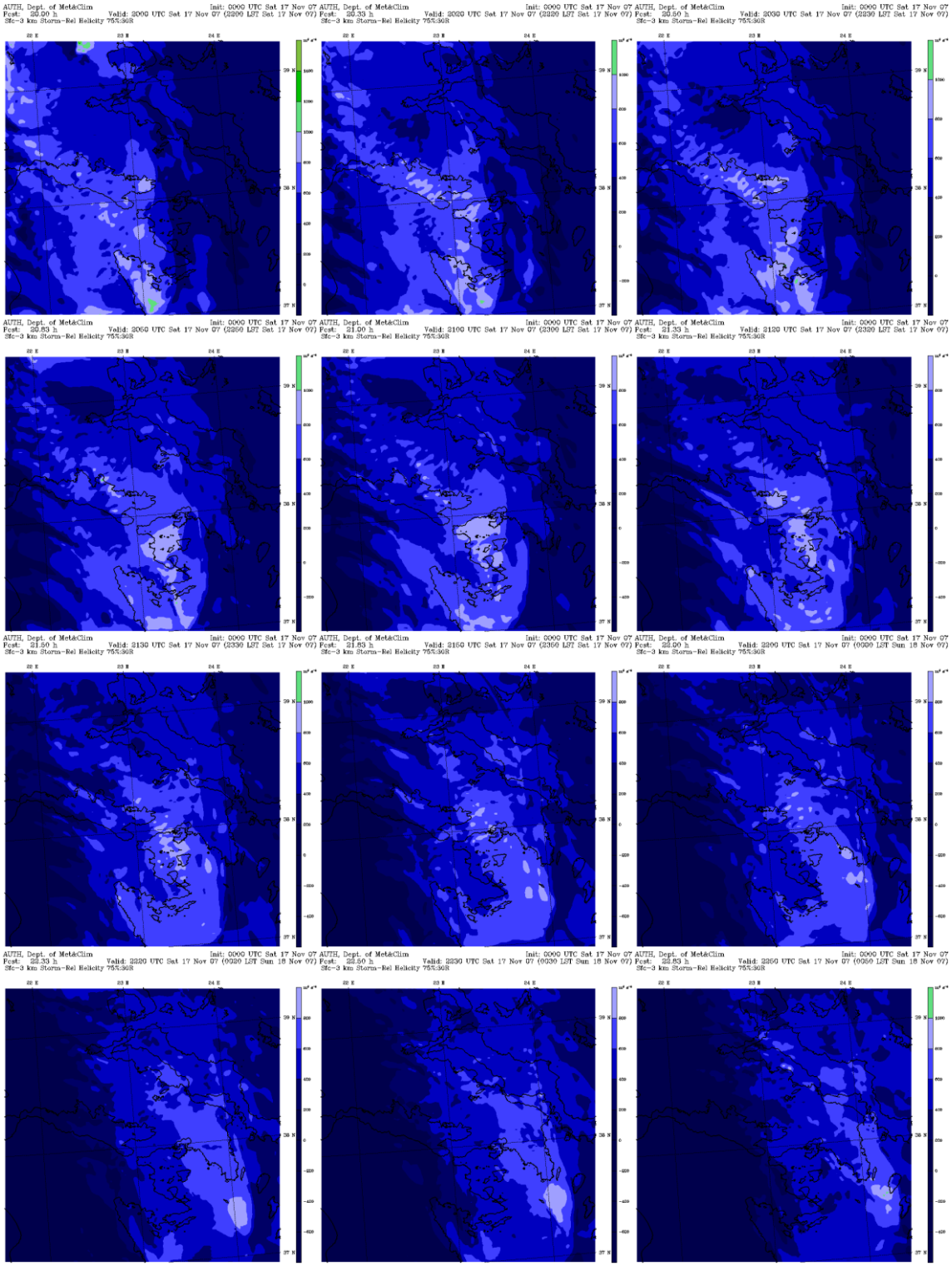
Εικόνα Παρ. ΙΙ 15: Αποτύπωση των κλιματολογικών συνθηκών της καλοκαιρινής περιόδου των τελευταίων 30 χρόνων (1981-2011), με βάση της οποίας υπολογίστηκε η μέση ημερήσια ανωμαλία στα κατακόρυφα επίπεδα της μέσης και κατώτερης ατμόσφαιρας: 500, 700, 850, 925 hPa και ΜΣΘ για τα γεγονότα υδροσιφώνων που εκδηλώθηκαν από 2/2/1954 έως 23/10/2012 στο νότιο Αιγαίο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III

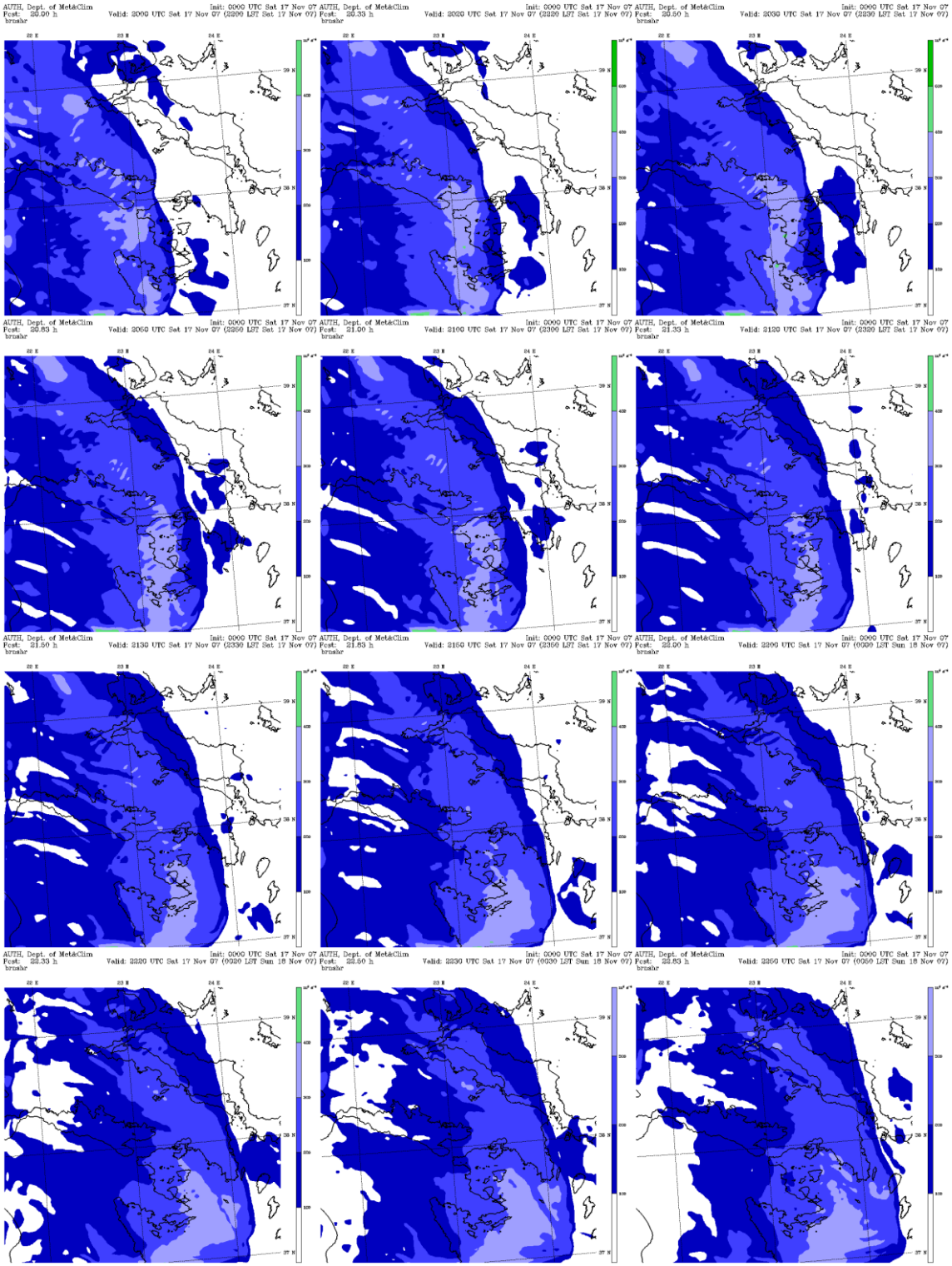
Στο Παράρτημα III παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης με τροποποιημένη 100% (TOPOM100) την τοπογραφία στο εσωτερικό πλέγμα δεδομένων (D3) για τις διαγνωστικές παραμέτρους EHI, SRH, BRN και MCAPE για τις περιπτώσεις εμφάνισης σιφώνων T07, T09,T10 και T11.



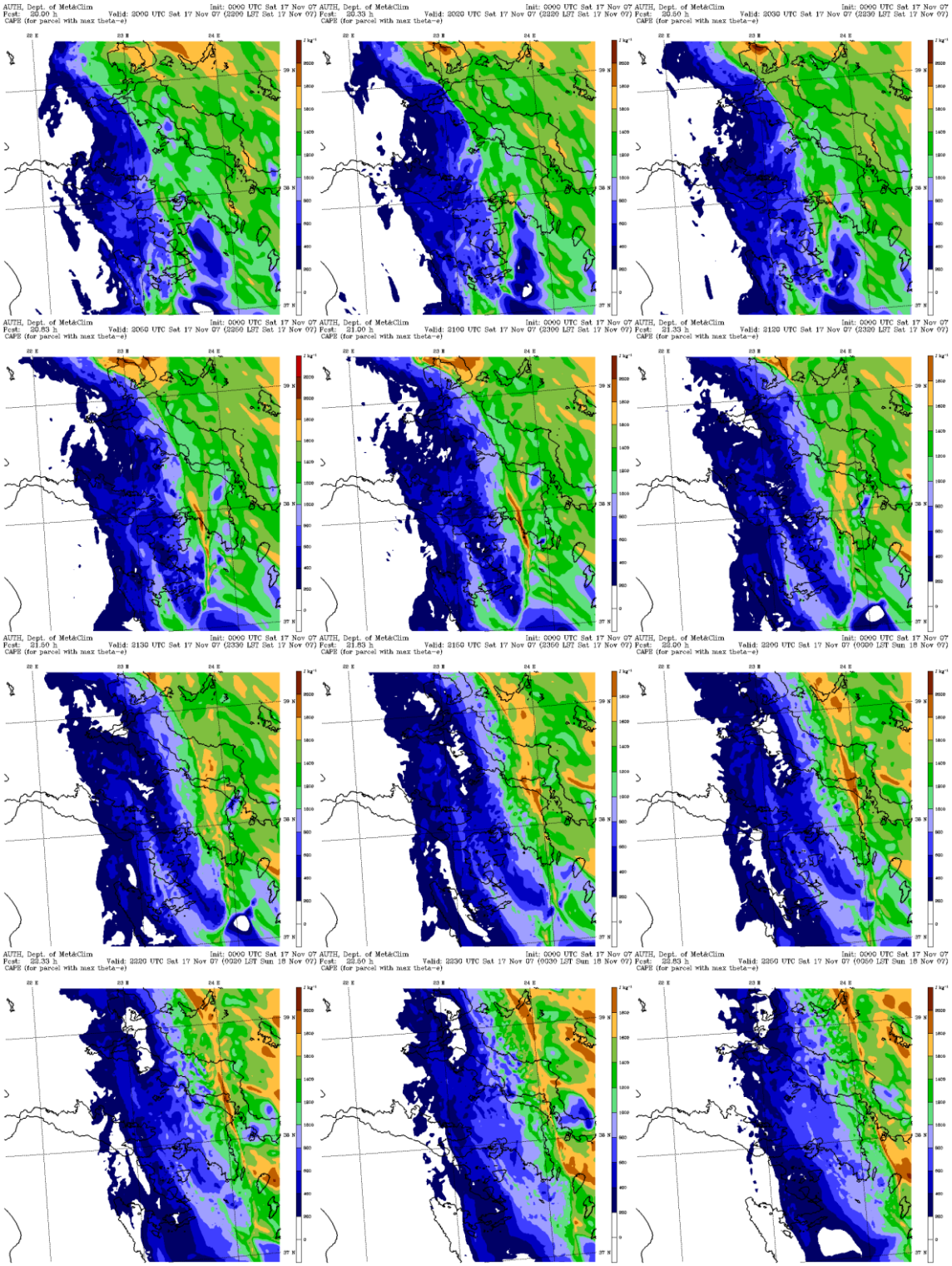
Εικόνα Παρ. III 1: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T07 με τροποποιμένη την τοπογραφία (TOPOM100) στο εσωτερικό πλέγμα (D3), από τις 20:00 UTC έως 22:50 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



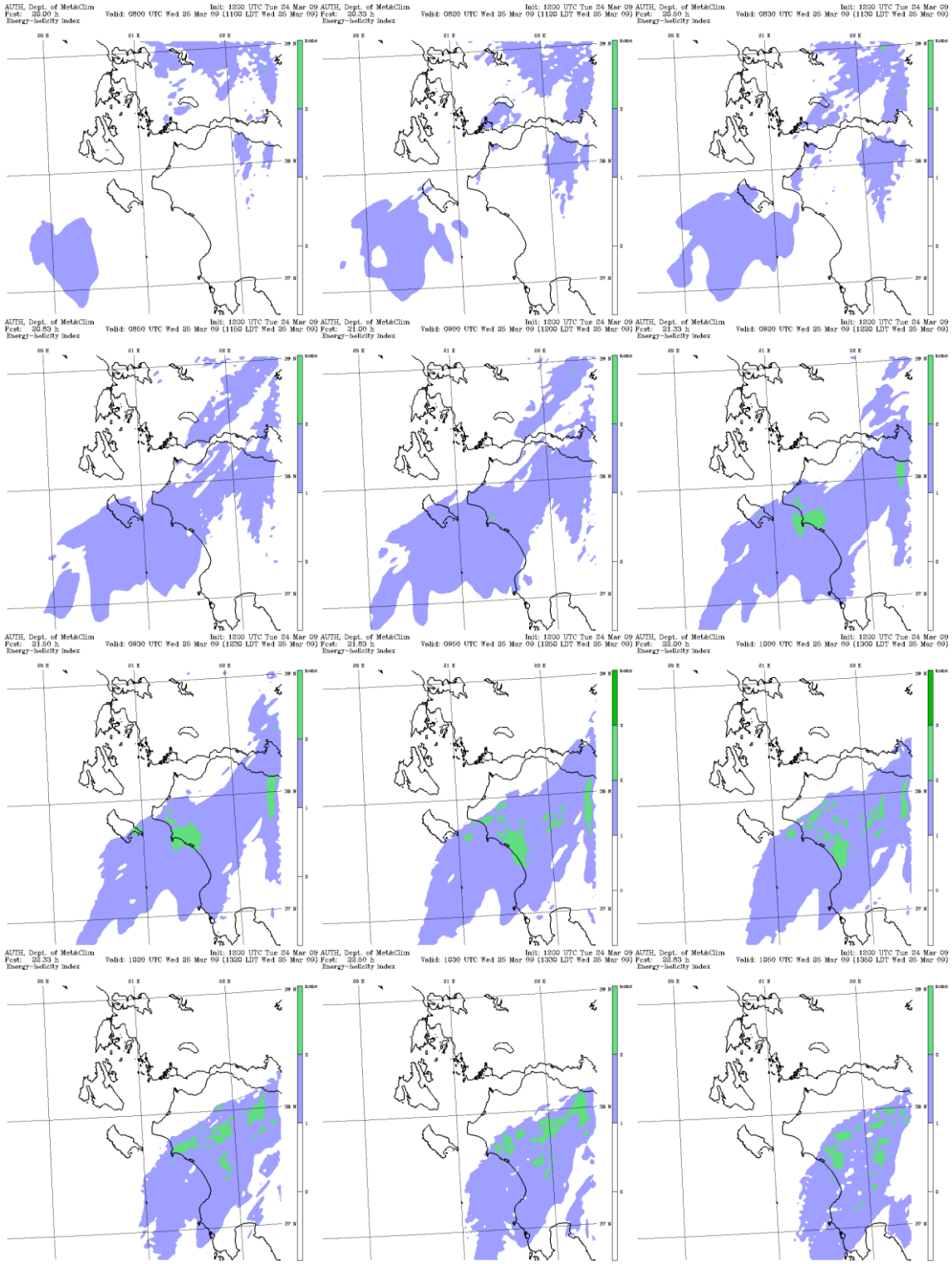
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 2: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 1 αλλά για το δείκτη SRH.



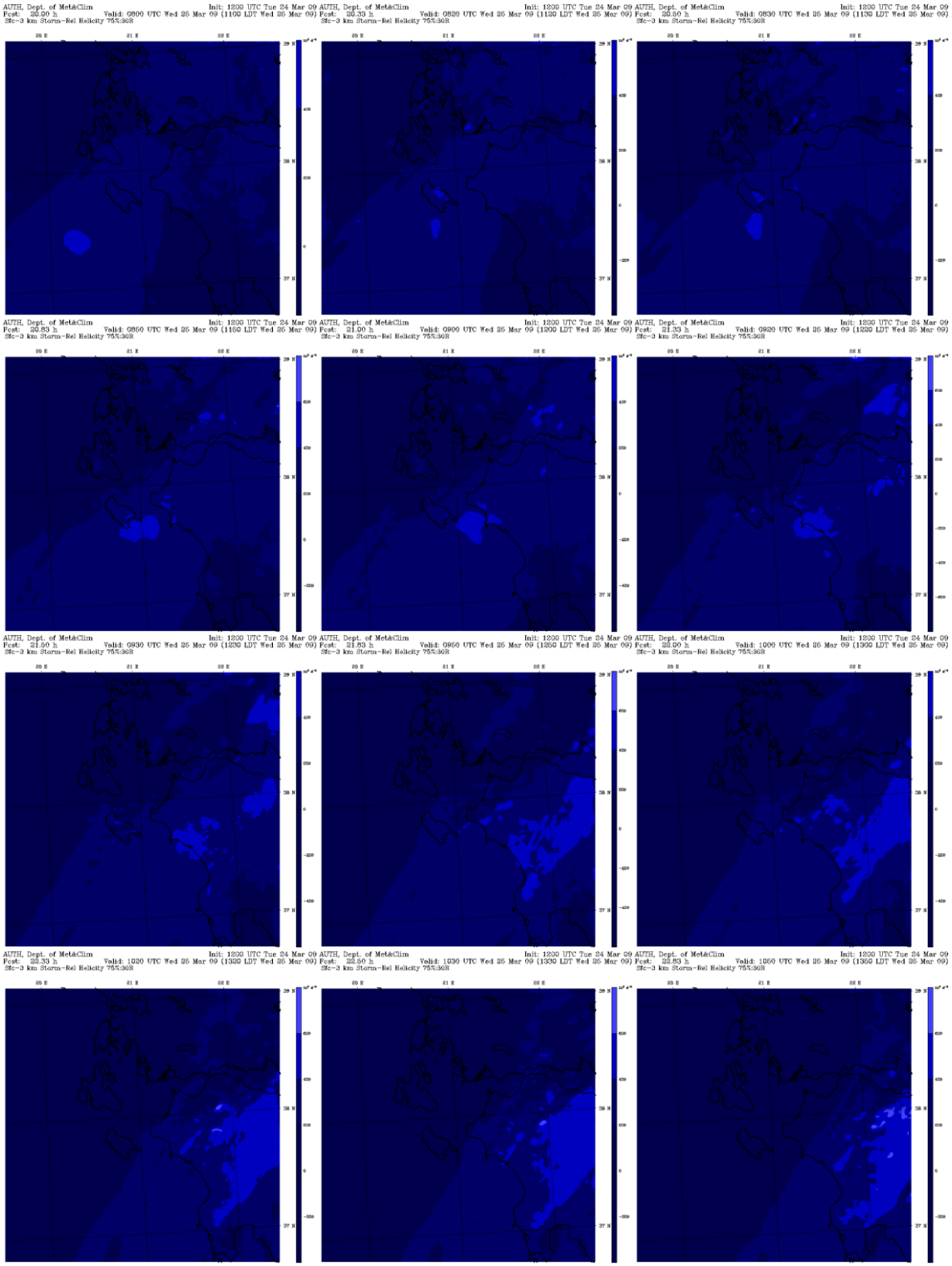
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 3: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 1 αλλά για το δείκτη BRN.



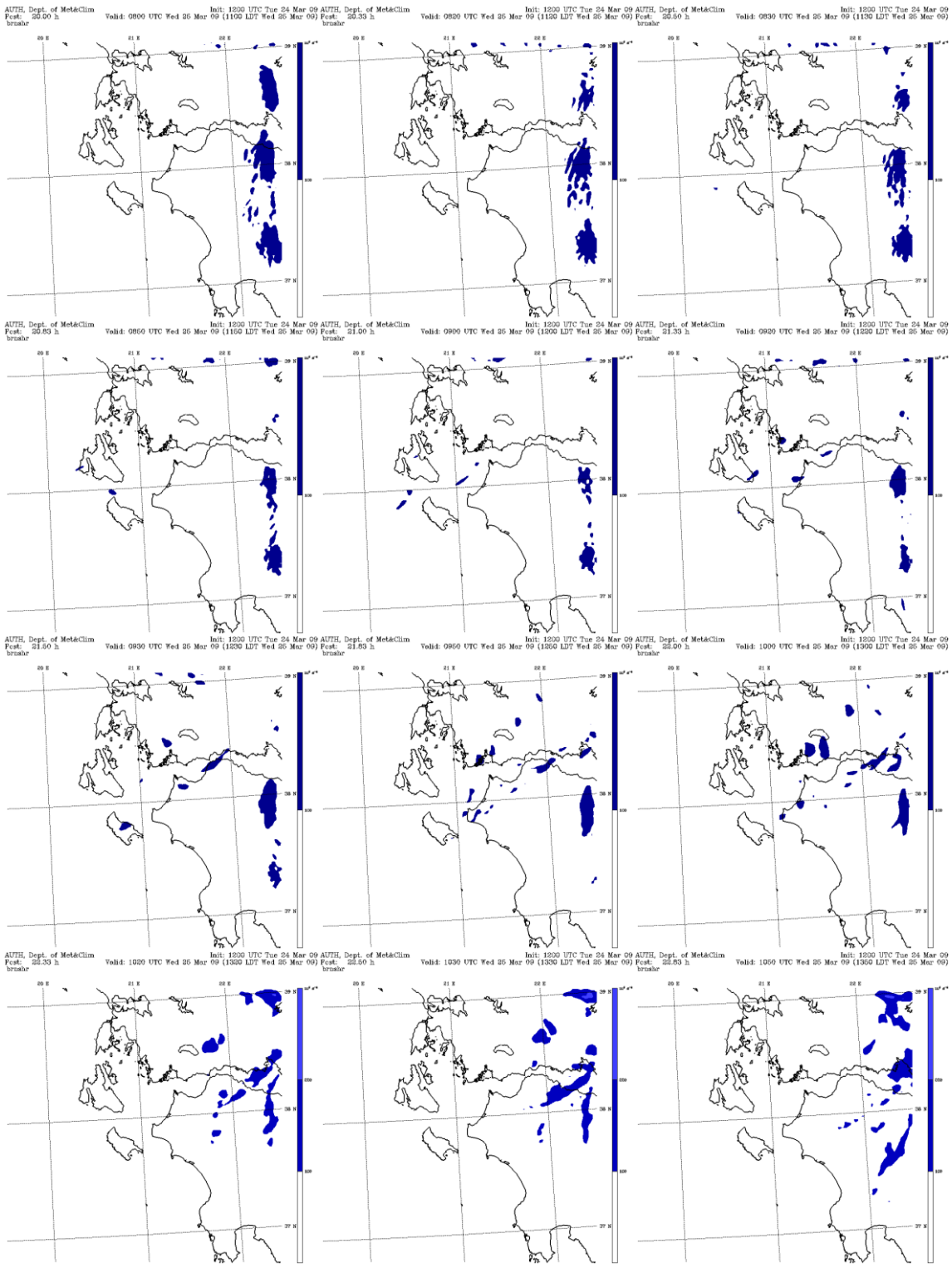
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 4: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 1 αλλά για το δείκτη MCAPE.



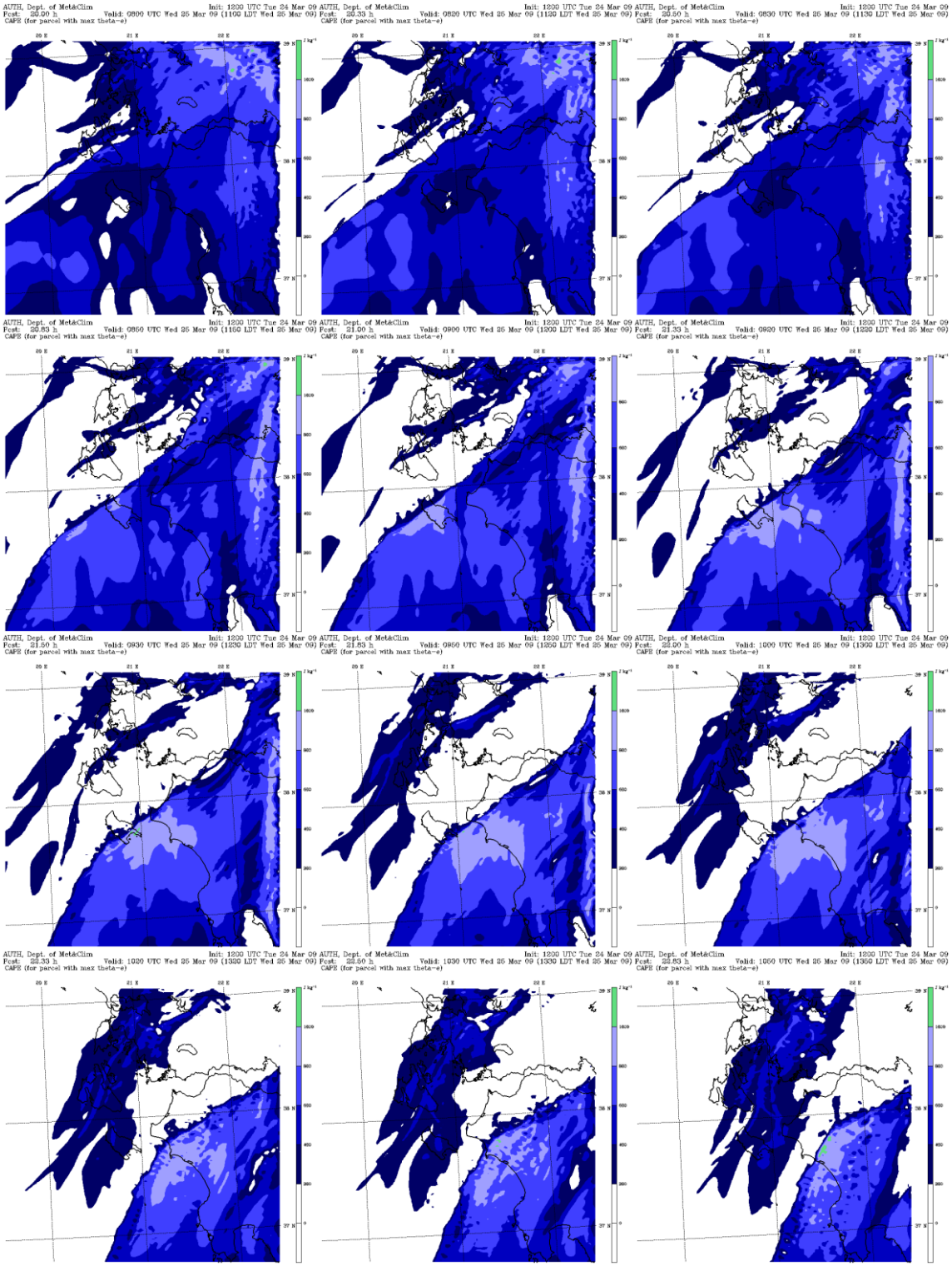
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 5: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T09, με τροποποιημένη την τοπογραφία (TOPOM100) στο εσωτερικό πλέγμα (D3), από τις 08:00 UTC έως 10:50 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



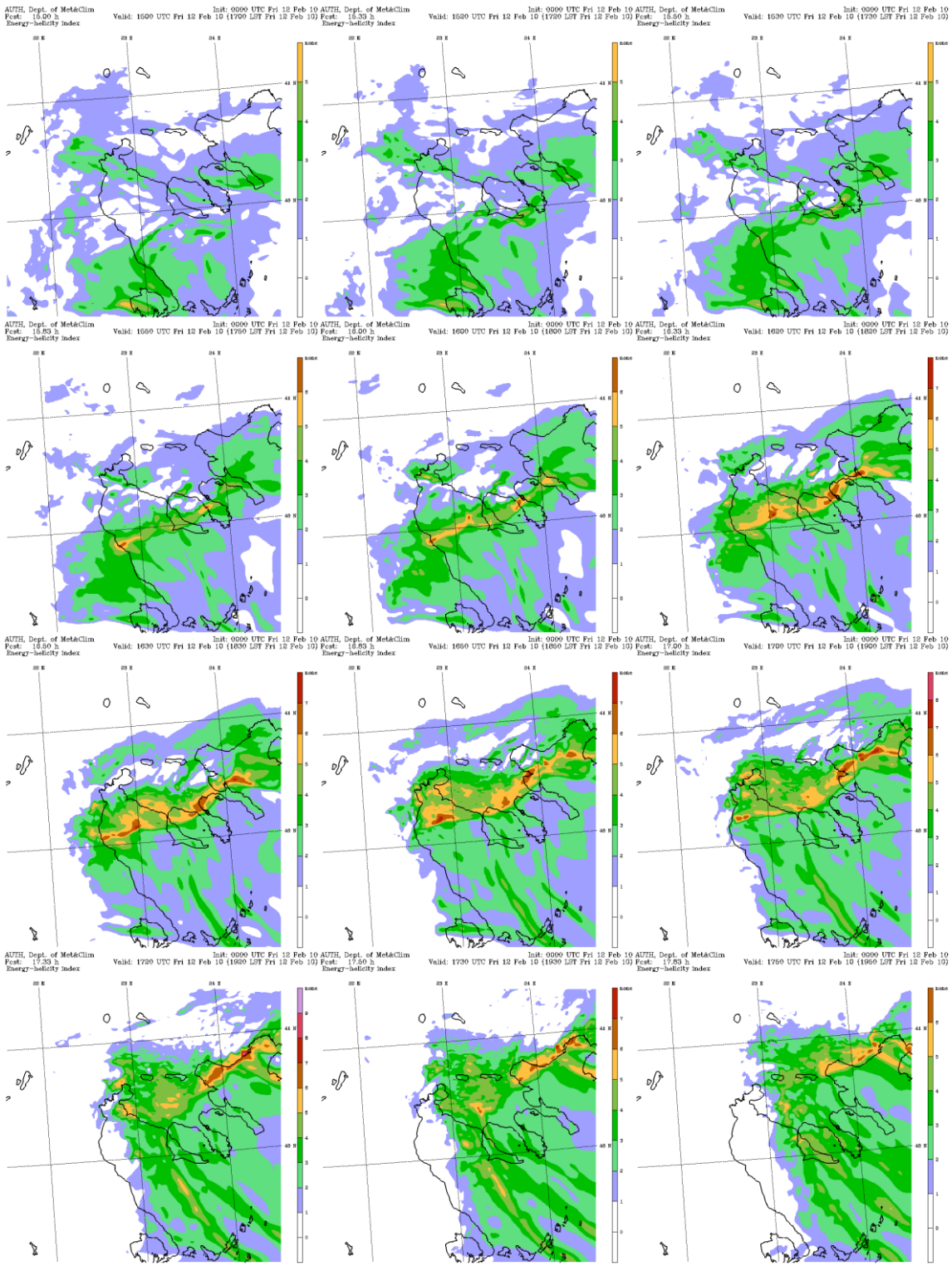
Εικόνα Παρ. III 6: Όμοια με την Εικόνα Παρ. III 5 αλλά για το δείκτη SRH.



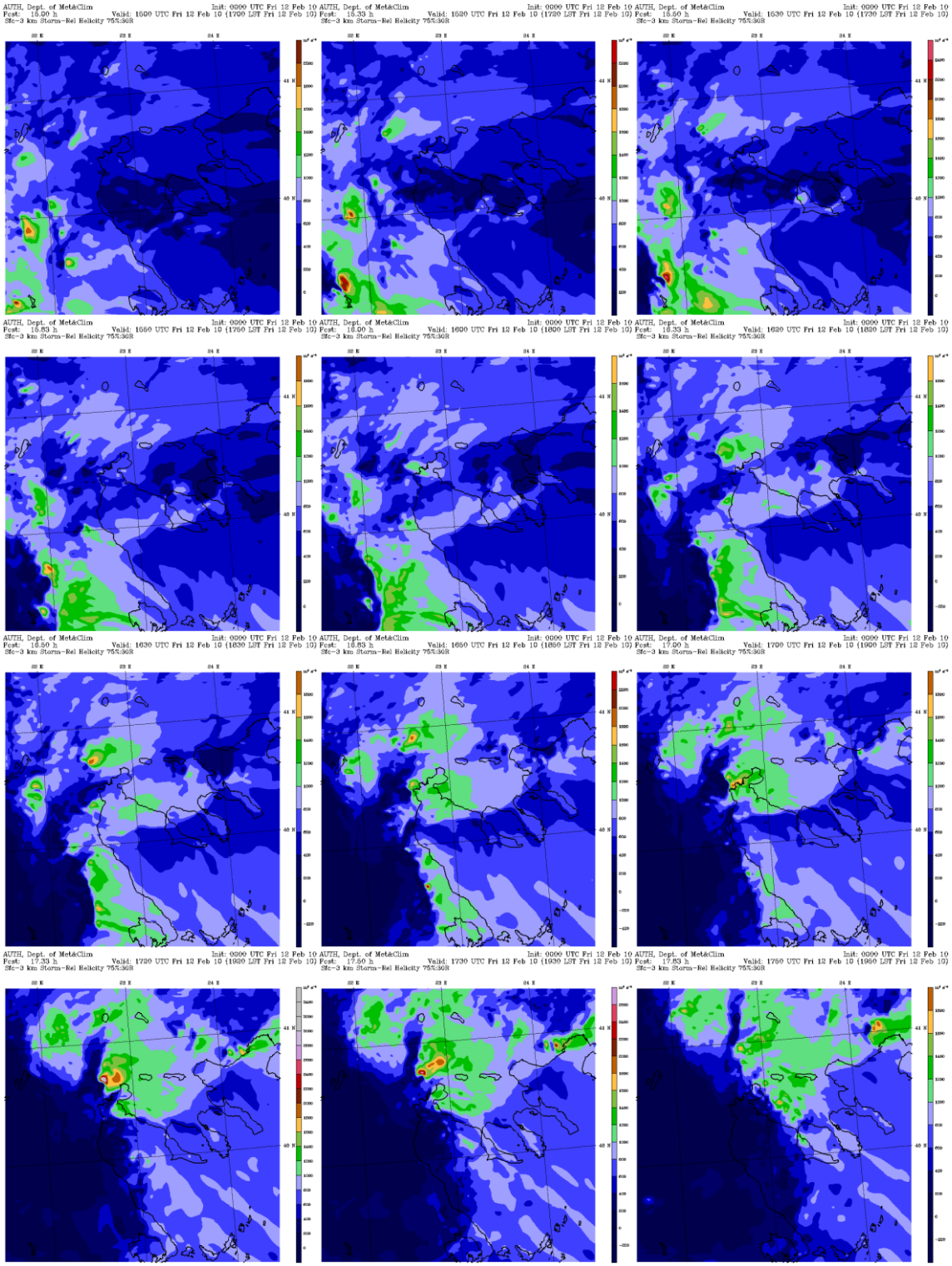
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 7: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 5 αλλά για το δείκτη BRN.



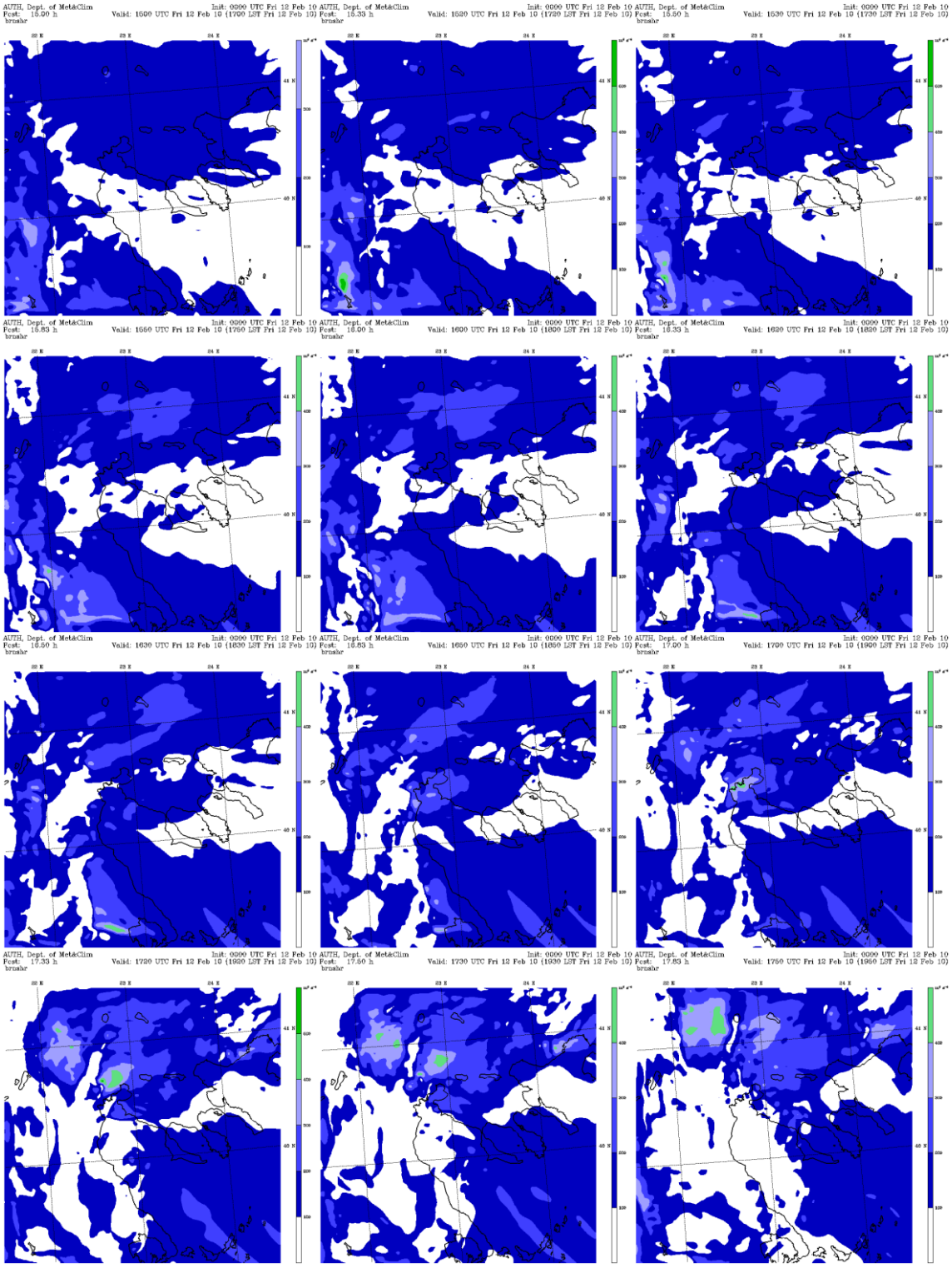
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 8: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 5 αλλά για το δείκτη MCAPE.



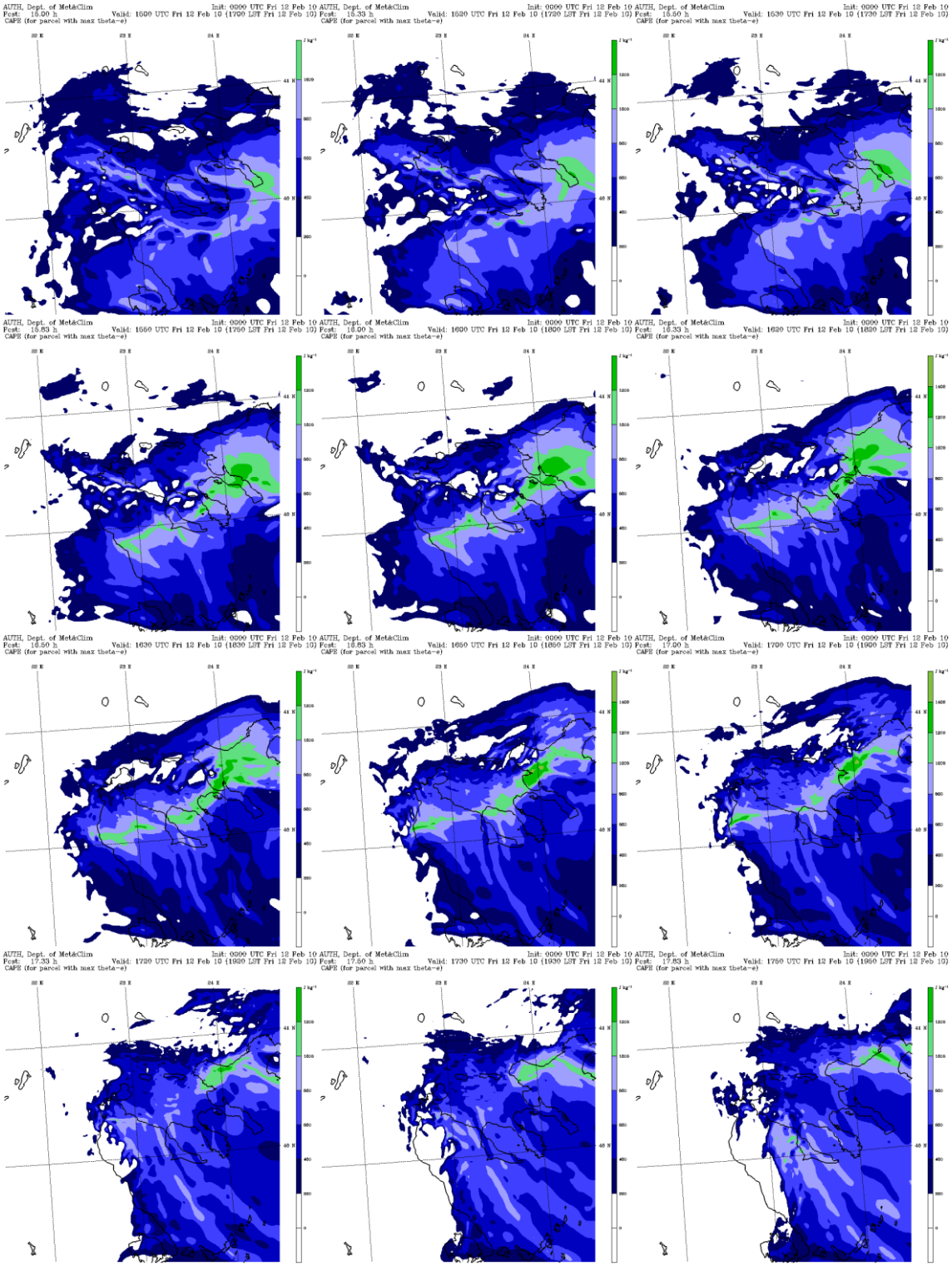
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 9: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T10, με τροποποιημένη την τοπογραφία (TOPOM100) στο εσωτερικό πλέγμα (D3), από τις 15:00 UTC έως 17:50 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



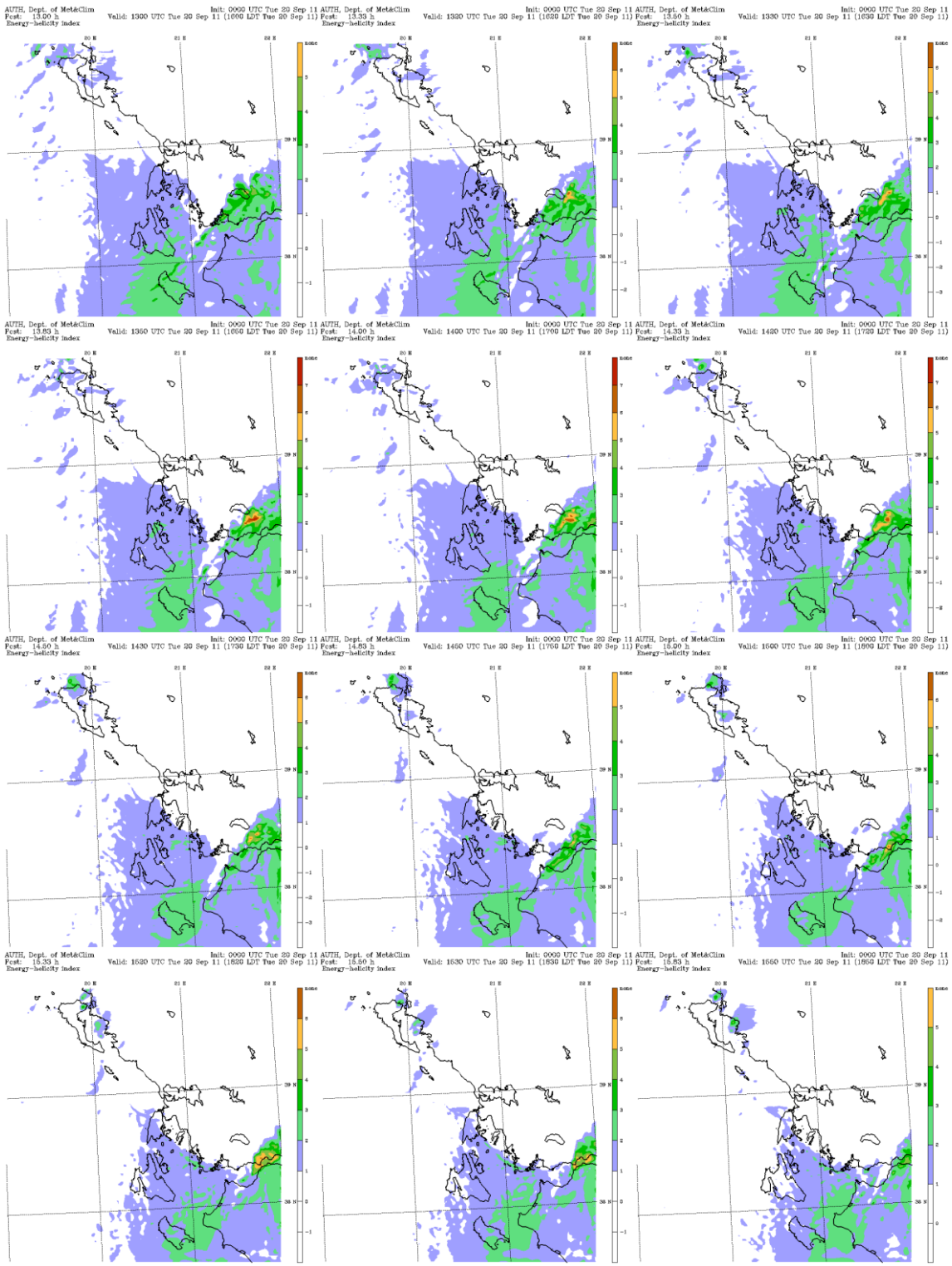
Εικόνα Παρ. III 10: Όμοια με την Εικόνα Παρ. III 9 αλλά για το δείκτη SRH.



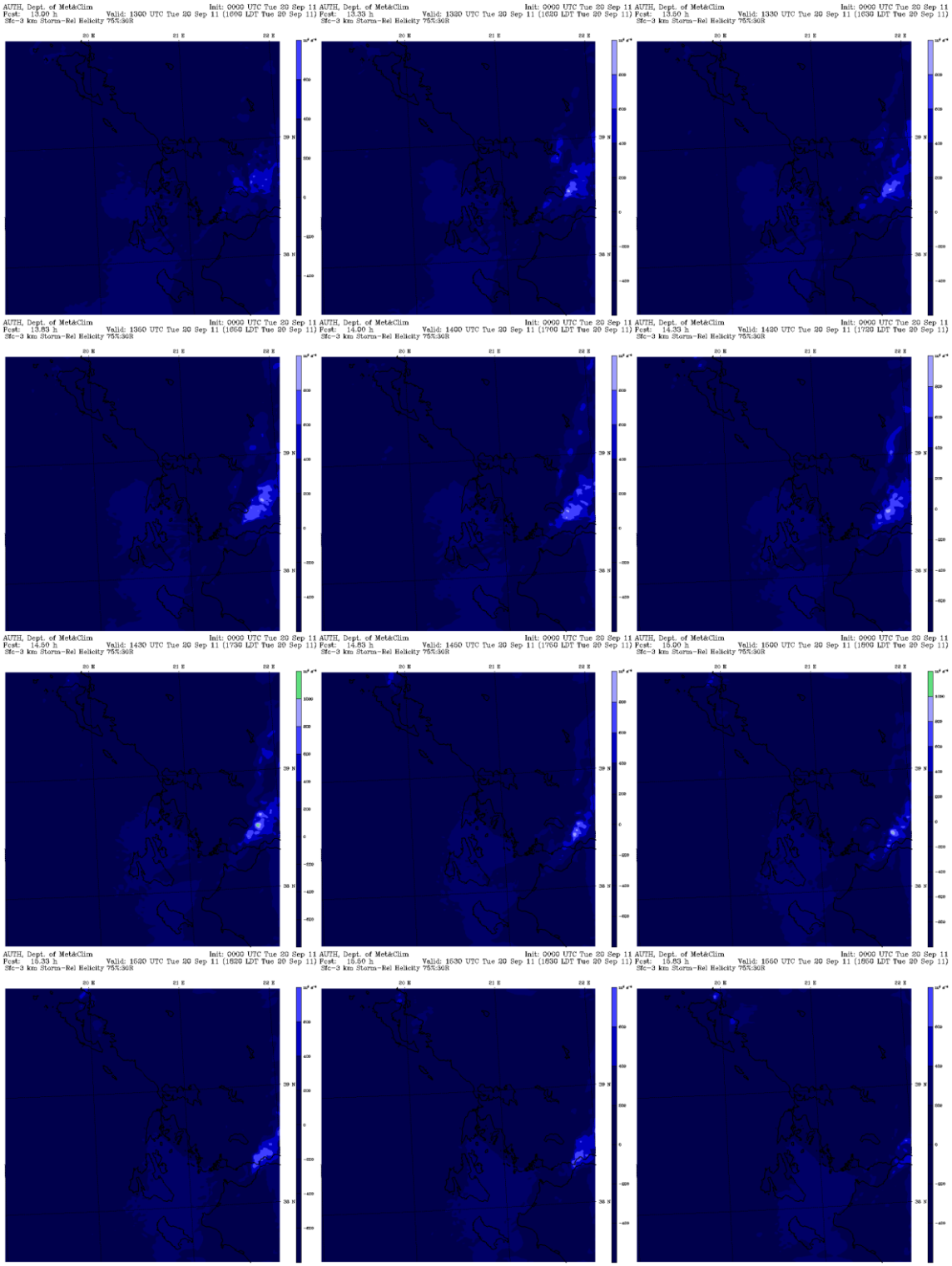
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 11: ΄Ομοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 9 αλλά για το δείκτη BRN.



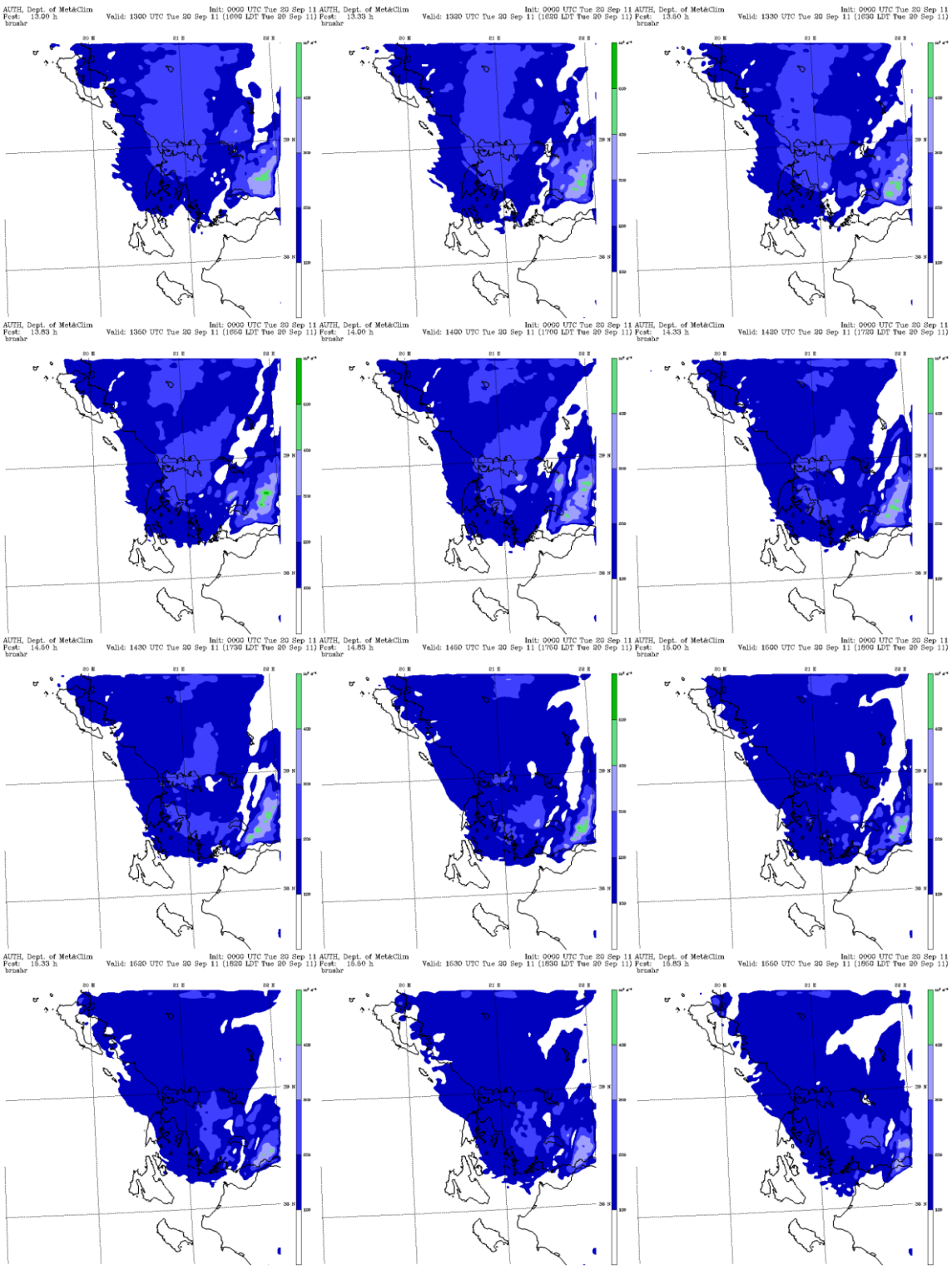
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 12: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 9 αλλά για το δείκτη MCAPE.



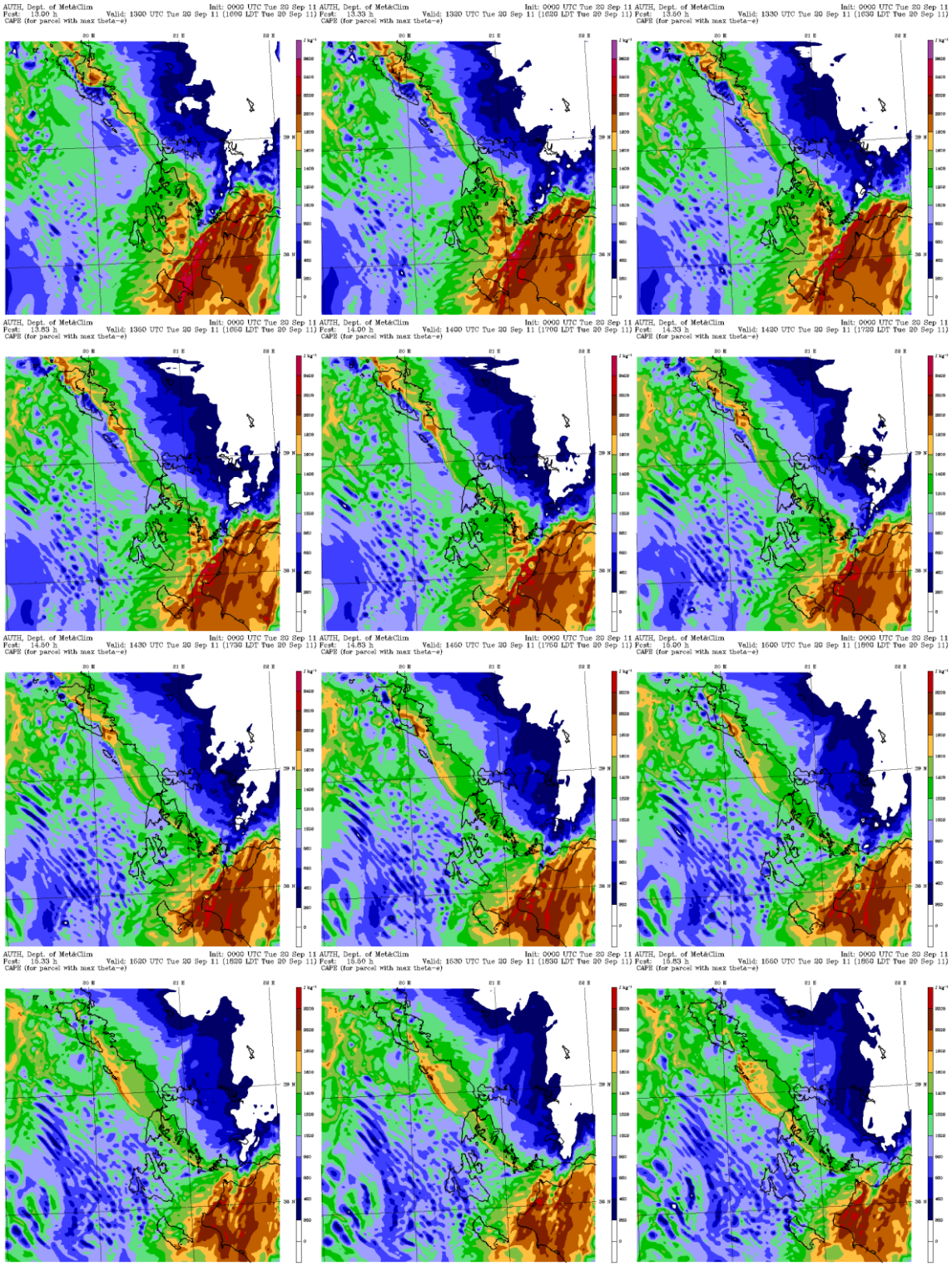
Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 13: Οπτικοποίηση του δείκτη EHI για την περίπτωση εκδήλωσης σίφωνα T11, με τροποποιημένη την τοπογραφία (TOPOM100) στο εσωτερικό πλέγμα (D3), από τις 13:00 UTC έως 15:50 UTC με χρονικό βήμα 20 min.



Εικόνα Παρ. III 14: Όμοια με την Εικόνα Παρ. III 13 αλλά για το δείκτη SRH.



Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 15: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 13 αλλά για το δείκτη BRN.



Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 16: Όμοια με την Εικόνα Παρ. ΙΙΙ 13 αλλά για το δείκτη MCAPE.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Golden, J.H., 2003. WATERSPOUTS, In J.R. Holton (Eds.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, (pp. 2510-2525), Oxford, Academic Press, ISBN 9780122270901.

[2] Riehl, H., Introduction to the Atmosphere, New York, McGraw-Hill Book Co. Inc., 1965.

[3] Bundgaard, R.C., On the Formation and Development of Waterspouts, Detachment 4, Headquarters, Air Weather Service, MacDill Air Force Base, Tampa, 1953. p. 29.

[4] Dinwiddie, F.B., 1959. Waterspout-Tornado Structure and Behavior at Nags Head, N.C., August 12, 1952, Monthly Weather Review, 87 (7), 239-250.

[5] Rossmann, F.O., On the Physics of Tornadoes,' Cumulus Dynamics: Proceedings of the 1st Conference on Cumulus Convection, Aerophysics Laboratory, AF Cambridge Research Center, Portsmouth, New Hampshire, May 19-68, 1969, Pergamon Press, New York, 1960, 167-174.

[6] Ferrel, W.A., A Popular Treatise on the Winds, 2d Edition, John Wiley and Sons, New York, 1893, 505.

[7] Golden, J.H., 1974. The life-cycle of Florida Keys' waterspouts, I.Journal of Applied Meteorology, 13, 676–692.

[8] Golden, J.H., 1974. The life-cycle of Florida Keys' waterspouts, II.Journal of Applied Meteorology, 13, 693–709.

[9] A. L. Wegener, *Wind- und Wasserhosen in Europa.* Vieweg, Braunschweig, 1917, p.301.

[10] Huschke, R.E., Glossary of Meteorology, In American Meteorological Society, edited by Huschke, Boston, Massachusetts, 1959, 638.

[11] T.S. Glickman, Glossary of Meteorology, 2nd Edition, In American Meteorological Society, edited by Glickman, Boston, Massachusetts, 2000, p. 855, ISBN: 9781878220349

[12] Bluestein, H.B., Tornadoes, In Encyclopedia of Atmospheric Sciences, edited by James R. Holton, Academic Press, Oxford, 2003, 2290-2297, ISBN 9780122270901

[13] E.M. Brooks, The tornado cyclone. Weatherwise, vol. 2, 1949, pp. 32–33.

[14] Davies-Jones, R.P., 1986. Tornado dynamics, In: Kessler E (ed.) Thunderstorm Morphology and Dynamics, Norman, OK: University of Oklahoma Press, 1986, 197–236.

[15] Fujita, T.T., The mystery of severe storms, Tech. Rep. 239, Wind Res. Lab., Dep. Geophys. Sci., Univ. Chicago, 1972.

[16] Markowski, P., Richardson, Y., Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. 2010, NewYork:Wiley

[17] Klemp, J.B., 1987. Dynamics of tornadic thunderstorms, Annu. Rev. Fluid Mech., 19, 369–402.

[18] Markowski, P.M., Straka, J.M., and Rasmussen, E.N., 2002. Direct surface thermodynamic observations within the rear-flank downdrafts of nontornadic and tornadic supercells, Mon. Wea. Rev, 130, 1692-1721.

[19] Markowski, P.M., Straka, J.M., Rasmussen, E.N., Davies-Jones, R.P., Richardson, Y.P., & Trapp, R.J., 2008. Vortex lines within low-level mesocyclones obtained from pseudo-dual-Doppler radar observations, Mon. Weather Rev., 136, 3513–3535.

[20] Marquis, J., Richardson, Y., Markowski, P., Dowell, D., Wurman, J., 2012. Tornado maintenance investigated with high-resolution dual-Doppler and EnKF analysis, Mon. Weather Rev., 140, 3–27

[21] Wakimoto, R.M., Atkins, N.T., Wurman, J., 2011. The LaGrange tornado during VORTEX2. Part I: photogrammetric analysis of the tornado combined with single-Doppler radar data, Mon. Weather Rev., 139, 2233–2258.

[22] McDonald, J.R., 2002. Development of an enhanced Fujita scale for estimating tornado intensity, InPreprints, 21st Conference on Severe Local Storms. Austin, Boston, American Meteorological Society, 174–177.

[23] McDonald, J.R., Mehta, K.C., Mani, S., 2003. F-scale modification process and proposed revisions, In Preprints, 83rd AMS Annual Meeting: Symposium on the F-Scale and Severe-Weather Damage Assessment. Long Beach, American Meteorological Society, Boston, 2003, 5 pp.

[24] McDonald, J.R., Forbes, G.S., Marshall, T.P., 2004. The enhanced Fujita (EF) scale. In Preprints 22nd Conference on Severe Local Storms. Hyannis, Boston, American Meteorological Society, 7 pp.

[25] WSEC, 2004. A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-scale). Wind Science and Engineering Center, Texas Tech University, Lubbock, Texas, 2004, 95 pp.

[26] Meaden, G.T., 1975. Tornadoes in Britain: their intensities and distribution in time and space, J. Meteorology, 1, 1975-76, 242-251 (based on a lecture to the Royal Meteorological Society in 1975).
[27] Dotzek, N., 2009. Derivation of physically motivated wind speed scales, Atmos. Res., 93, 564–574.
[28] Meaden, G.T., Kochev, S., Kolendowicz, L., Kosa-Kiss, A., Marcinoniene, I., Sioutas, M., Tooming, H., Tyrrell, J., 2007. Comparing the theoretical versions of the Beaufort scale, the T-Scale and the Fujita scale, Atmospheric Research, 83 (2-4), 446-449,
[29] Fujita, T.T., Tornadoes around the World, Weatherwise, 1973, vol. 56, pp. 56-62.
[30] Goliger, A.M., and Milford, R.V., 1998. Review of worldwide occurrence of tornadoes, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76, 111-121.
[31] Kounkou, R., Mills, G., and Timbal, B., 2009. A reanalysis climatology of cool-season tornado environments over southern Australia, Int. J. Climatol., 29, 2079–2090, doi:10.1002/joc.1856.
[32] De Schwarzkopf, M.L.A., Rosso, L.C., Sorichetti, P., 1992. Riesgo de tornados y correintes descendentes en la Argentina, Presented at the Workshop of the Task Force on High Intensity Windson Transmission Lines, Buenos Aires, Argentina, 1992.
[33] Milford, R.V., Goliger, A.M., 1994. Tornado Activity in South Africa, J. South African Inst. Civil Engrs, 36, 17-23.
[34] Evesson, D.T., 1969. Tornado occurrences in New South Wales, Austral. Meteor. Mag., 17 143-165.
[35] Allen, S.C., 1980. Preliminary Australian tornado climatology, Australian Bureau of Meteorology, Technical Report 39, 694.
[36] Goliger, A.M., Milford, R.V., Adam B.F. and Edwards, M., 1997. Inkanyamba - Tornadoes in South Africa, United Litho,1997, ISBN 0-7988-5417-0.
[37] Tomlinson, A.I., Nicol, B., 1976. Tornado reports in New Zealand 1961-1975, Technical Note 229, New Zealand Meteorological Service, Wellington.
[38] Peterson, R.E., 1998. A historical review of tornadoes in Italy, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 74-76, 123-130.
[39] Hiroshi, N., Fujitani, T., Watanase, N., 1996. A Statistical Study of Tornadoes and Waterspouts in Japan from 1961 to 1993, Journal of Climate, 10, 1730-1752.
[40] Bluestein, H.B., 1999. Tornado Alley, Monster Storms of the Great Plains, Oxford University Press: New York, Oxford, 1999.
[41] Clark, M., 2008. The 'Super Tuesday' tornado outbreak of 5–6 February 2008 over the Southern US, Int. J. Meteorol., 33, 127–140.
[42] Forbes, G.S., Bluestein, H.B., 2001. Tornadoes, tornadic thunderstorms, and Photogrammetry: a review of the contributions by T.T. Fujita, Bull. Am. Meteorol. Soc, 82, 73–96.
[43] Hall, S.J.A., 2011. The Joplin tornado, Missouri 22 May 2011: a report from a storm chaser's perspective, Int. J. Meteorol., 36, 161–176.
[44] McCarthy, D. D., Schaefer, J., 2004. Tornado trends over the past thirty years, Bull. Am. Meteorol. Soc., 4879–4883.
[45] McCarthy, D. D., Schaefer, J., 2004. Tornado trends over the past thirty years, In14th Conference on Applied Meteorology, Preprints, Seattle,WA, American Meteorological Society 3.4, 2004.
[46] Snow, J.T., Wyatt, A.L., 1997. The tornado, Nature's most violent wind: part 1 – world-wide occurrence and categorization, Weather, 52, 298–304.
[47] Snow, J.T., Wyatt, A.L., 1998. The tornado, nature's most violent wind:part 2 – formation and current research, Weather, 53, 66–72.
[48] Verbout, S.M., Brooks, H.E, Leslie, L.M., Schultz, D.M., 2006. Evolution of the U. S. tornado database: 1954–2003, Weather Forecast, 21, 86–93.
[49] Brooks, H.E., Doswell, C.A. III, 2002. Deaths in the 3 May 1999 Oklahoma City tornado from a historical perspective, Weather Forecast, 17, 354–361.
[50] Kelly, D.L., Schaefer, J.T., McNulty, R.P., Doswell, C.A. III, Abbey, R.F.,1978. An augmented tornado climatology, Mon. Weather Rev., 106, 1172–1183.
[51] Walker, S.A., 2007. Spatial and temporal analysis of tornado fatalities in the United States: 1880–2005, Weather Forecast, 22, 1214–1228.
[52] Kis, K.A., Straka, M.J., 2010. Nocturnal tornado climatology, Weather Forecast, 25, 545–561.

[53] Moore, T.W., Dixon, R.W., 2011. Climatology of tornadoes associated with gulf coast-landfalling hurricanes, Geogr. Rev.,101, 371–395.
[54] Etkin, D., Brun, S.E., Shabbar, A., Joe, P., 2011. Tornado climatology of Canada revisited: Tornado activity during different phases of ENSO, Int. J. Climatol, 21, 915–938.
[55] Rotunno, R., 1977. Numerical simulation of a laboratory vortex., J. Atmos. Sci., 34, 1942–56.
[56] Rotunno, R., 1978. A note on the stability of a cylindrical vortex sheet, J. Fluid Mech., 87, 761–71.
[57] Rotunno, R., 1979. A study in tornado-like vortex dynamics, J. Atmos. Sci., 36, 140–55.
[58] Rotunno, R., 1980. Vorticity dynamics of a convective swirling boundary layer, J. Fluid Mech., 97, 623–40.
[59] Rotunno, R., 1989. An investigation of a three-dimensional asymmetric vortex, J. Atmos. Sci., vol. 41, 283–98.
[60] Fiedler, B.H., Rotunno, R., 1986. A theory for the maximum windspeeds in tornado-like vortices, J. Atmos. Sci., 43, 2328–2340.
[61] Wilson, T., Rotunno, R., 1986. Numerical simulation of a laminar endwall vortex and boundary layer.Phys. Fluids, 1986, 29, 3993–4005.
[62] Howells, P.A., Rotunno, R., Smith, R.K., 1988. A comparative study of atmospheric and laboratory-analogue numerical tornado-vortex models.Q. J. Roy. Meteorol. Soc., 114, 801–22.
[63] Fiedler, B.H., 2009. Suction vortices and spiral breakdown in numerical simulations of tornado-like vortices.Atmos. Sci. Lett., 10,109–14.
[64] Rotunno, R., 2013. The fluid dynamics of tornadoes.Annu. Rev. Fluid Mech., 45, 59–84.
[65] Meaden, G.T., 1976. Tornadoes in Britain: their intensities and distribution in space and time. J. Meteorol., 1, 242–251.
[66] Peterson, R.E., 1982.Tornadic activity in Europe – the last half-century, In Paper presented at the Conference on Severe Local Storms, 63–66.
[67] Peterson, R.E., Letzmann and Koschmieder's, 1992. "Guidelines for research on funnels, tornadoes, waterspouts and whirlwinds". Bull. Am. Meteorol. Soc., 73, 597–611.
[68] Grazulis, T.P., 1993. Significant Tornadoes, 1680–1991. Environmental Films: St. Johnsbury, Vermont, 1993.
[69] Peterson, R.E., Johannes, P. Letzmann, 1992. Meteorology in Estonia in Johannes Letzmann's Times and Today, H. Eelsalu and H. Tooming. Estonian Academy Publishers: Tallinn, Estonia; 9–43, 1992.
[70] Tarand, A., 1995. How often do tornadoes occur in Estonia?. In Meteorology in Estonia in Johannes Letzmann's Times and Today, Eelsalu H, Tooming H (eds). Estonian Academy Publishers: Tallinn, Estonia; 132–138, 1995.
[71] Tooming. H.K., Peterson R.E., 1995. Vigorous tornadoes and waterspouts during the last 35 years in Estonia. InMeteorology in Estonia in Johannes Letzmann's Times and Today, Eelsalu H, Tooming H (eds). Estonian Academy Publishers: Tallinn, Estonia; 168–179, 1995.
[72] Reynolds, D.J., 1999. A revised U.K. tornado climatology, 1960–1989, J. Meteorol., 24 (242): 290–321.
[73] Reynolds, D.J., 1999. European tornado climatology 1960–1989, J. Meteorol., 24, 376–403.
[74] Tyrrell, J., 2000. Tornadoes in Ireland: an historical and empirical approach. Atmos. Res., 56, 281–290.
[75] Setvak, M., Salek, M., Munzar, J., 2003. Tornadoes within the Czech Republic: from early medieval chronicles to the "internet society", Atmos. Res., 67–68, 589–605.
[76] Marcinoniene, I., 2003. Tornadoes in Lithuania in the period of 1950–2002 including analysis of the strongest tornado of 29 May 1981.Atmos. Res., 67–68, 475–484.
[77] Nastos, P.T., Matsangouras, I.T., 2010. Tornado activity in Greece within the 20th Century. Adv. Geosci., 26, 49–51.
[78] Gaya, M., Lasat, M., Ar´ us J., 2011. Tornadoes and waterspouts in Catalonia (1950–2009).Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,11 (7), 1875–1883.
[79] Brazdil, R., Chrom´ a, K., Dobrovoln.´ yP.,ˇ Cernoch, Z., 2012. The tornado history of the Czech Lands, AD 1119–2010. Atmos. Res., 118, 193–204.
[80] Rauhala, J., Brooks, E.H., Schultz, M.D., 2012. Tornado climatology of Finland.Mon. Weather Rev., 140, 1446–1456.
[81] Matsangouras, I.T., Nastos, P.T., Bluestein, H.B., Sioutas, M.V., 2013, A climatology of tornadic activity over Greece based on historical records. *International Journal of climatology,* Article first published online: 6 NOV 2013, In press, DOI:10.1002/joc.3857.

[82] Dessens, J., 1984. Les Trombes en France. Climatologie et Caract´ eristiques Physiques: Lannemezan, France.
[83] Dessens, J., Snow, J.T., 1987. Tornadoes in France.Weather Forecast. 4,110–132.
[84] Paul, J.F. 1999. An inventory of tornadoes in France.Weather 54, 217–219.
[85] Gaya, M., Lasat, M., Ar´ us, J., 2011. Tornadoes and waterspouts in Catalonia (1950–2009). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11 (7), 1875–1883.
[86] Dotzek, N., 2000. Tornadoes in Germany. Atmos. Res., 56, 233–251.
[87] Holzer, A.M., 2000. Tornado climatology of Austria.Atmos. Res., 56,203–211.
[88] Bertato, M., Giaiotti, D.B., Manzato, A., Stel, F., 2003. An interesting case of tornado in Friuli-North-eastern Italy. Atmos. Res., 67–68, 3–21.
[89] Dotzek, N., 2003. An updated estimate of tornado occurrence in Europe, Atmos. Res., 67–68, 153–161.
[90] Gianfreda, F., Miglietta. M.M., Sans` o, P., 2005. Tornadoes in Southern Apulia (Italy).Nat. Hazards, 34 (1), 71–89.
[91] Giaiotti, D.B., Giovannoni, M., Pucillo, A., Stel, F., 2007. The climatology of tornadoes and waterspouts in Italy. Atmos. Res., 83, 534–541.
[92] Keul, A.G., Sioutas, M.V., Szilagyi, W., 2009. Prognosis of central-eastern Mediterranean waterspouts. Atmos. Res., 93 (1–3), 426–436.
[93] Sioutas, M.V., 2003. Tornadoes and waterspouts in Greece.Atmos. Res., 67–68, 645–656.
[94] Sioutas, M.V., 2011. A tornado and waterspout climatology for Greece. Atmos. Res., 100 (4), 344–356.
[95] Paul, F. 2001. A developing inventory of tornadoes in France. Atmos. Res., vol. 56, pp. 269-280.
[96] Tyrrell J. 2003. A tornado climatology for Ireland.Atmos. Res., vol. 67–68, pp. 671–684.
[97] Bolton, N., Elsom, D.M., Meaden, G.T., 2003. Forecasting tornadoes in the United Kingdom. Atmos. Res., 67–68, 53–72.
[98] Elsom, D.M., Meaden, G.T., Reynolds, D.J., Rowe, M.W., Webb, J.D.C., 2001. Advances in tornado and storm research in the United Kingdom and Europe: the role of the Tornado and Storm Research Organisation, Atmos. Res., 56, 19– 29.
[99] Holden, and Wright, A., 2004. UK tornado climatology and the development of simple prediction tools. J. R. Meteorol. Soc., 130, 1009–1021.
[100] Lacy, R.E., 1968. Tornadoes in Britain during 1963-66, Weather, 23, 116-124.
[101] Palmieri, S., Pulcini, A.,1979. Trombe dÕaria sullÕItallia, Riv. Meteorologia Aeronautica, 39, 263-277.
[102] Sioutas, M.V., Keul, A.G., 2007. Waterspouts of the Adriatic, Ionian and Aegean Sea and their meteorological environment, Atmos. Res., 83, 42–557.
[103] Snitkovsky, A.I., 1987. Tornadoes in the USSR, Meteorologia I Gidrologia, 9, 12-25.
[104] Doswell, III C.A., Moller, A.R., Brooks, H.E., 1999. Storm spotting and public awareness since the first tornado forecasts of 1948. Weather Forecast., 14, 544–557.
[105] Rauhala, J., Schultz, D. M., 2005. Severe thunderstorm and tornado warnings in Europe, Atmos. Res., 93, 369-380.
[106] Kanellopoulou, H., 1977. The waterspout of 1st September 1973 in Corfu (in Greek).Bull. Greek Meteorol. Soc., 5(5), 41–50.
[107] Κυριαζόπουλος, Β., Λιβαδάς, Γ., 1975. Πρακτικά Μετεωρολογίας, σελ. 296-298
[108] Livadas, G., 1954. Fish rain in western Macedonia. Meteorologica, No. 2 (Publications of the Meteorological Institute of the University of Thessaloniki)
[109] Φλόκας, Α.Α., 1992. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, σελ. 296– 299
[110] Sioutas, M.V., 2002. Damaging tornadoes in Greece: July and September 2001., J. Meteorol., 27(265), 17–22.
[111] Politis, N.G., 1880. Modern Greek mythology. Folk legends.Parnassus, 4(10), 762–773.
[112] Salvanos G, Salvanu-Papavlasopulu M. 1930. Folklore material from Corfu: Folklore collection of Argiradon Corfu, Athens, 97 pp.
[113] Telelis, I., 2004a. Meteorological phenomena and climate in Byzantium. Acad. Athens, 1, 1–494 (in Greek).
[114] Telelis I., 2004b. Meteorological phenomena and climate in Byzantium. Acad. Athens, 2, 495–923 (in Greek).
[115] Telelis, I., 2005. Historical-climatological information from the time of the Byzantine Empire (4th–15th centuries AD). Hist. Meteorol., 2, 41–50.
[116] Tomkinson, J., 2006. Travellers' Greece, Memories of an Enchanted Land. Anagnosis Books: Athens, Greece; 1–604.

[117] Mackenzie, 1858. Notice of the produce of the olive crop in the Island of Corfu during the past season, in a Letter from Mr Mackenzie, Corfu, to Dr George Lawson, dated January 11, 1858.Trans. Bot. Soc. Edinb.1–4: 42–43, DOI: 10.1080/03746606009467693

[118] Golden, J.H., 1973. Some statistical aspects of waterspout formation. Weatherwise, 26, 108–117.

[119] Peterson, R.E., 1978. Waterspout statistics for Nassau, Bahamas.J. Appl.Meteorol., 17, 444–448.

[120] Simpson, J.S., Morton, B.R., McCumber, M.C., Penc, R.S., 1986. Observations and mechanisms of GATE waterspouts.J. Atmos. Sci.,43, 753–782.

[121] Szilagyi, W., 2009. A waterspout forecasting technique. In5th European Conference on Severe Storms, Landshut, Germany, 12–16 October, ECSS-129.

[122] Miller, R. C., 1972. Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. AWS Tech. Rep. 200 (rev.), Air Weather Service, Scott AFB, IL, 190 pp.

[123] Rauhala, J., and Schultz, D.M.: Synoptic climatology of tornadoes in Finland. 5th European Conference on Severe Storms (ECSS 2009), 12–16 October 2009, Landshut, Germany, 2009.

[124] Matsangouras, I.T., Nastos, P.T., Sioutas. M.V., 2011. 300 Years historical records of tornadoes, waterspouts and funnel clouds over Greece. In 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011), 3–7 October 2011, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain

[125] Nastos, P.T., Matsangouras, I.T., 2012. Composite mean and anomaly of synoptic conditions for tornadic days over North Ionian Sea (NW Greece). In Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Helmis CG, Nastos PT (eds). Springer Berlin: Heidelberg, Germany; 639–645, DOI: 10.1007/978-3-642-29172-2_91.

[126] Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437–471.

[127] Galway, J.G.,1956. The lifted index as a predictor of latent instability. Bull. Amer. Meteor. Soc., 43, 528–529.

[128] Clark, M.R., 2008. The southern England tornadoes of 30 December 2006:case study of a tornadic storm in a low SBCAPE, high shear environment. Atmos. Res. 93, 50–65.

[129] Smart, D.J., Browning, K.A., 2009. Morphology and evolution of cold-frontal misocyclones. Q. J. R. Meteorol. Soc. 639, 381–393.

[130] Groenemeijer, P., Corsmeier, U., and Kottmeier, Ch., 2010. The development of tornadic storms on the cold side of a front favoured by local enhancement of moisture and CAPE, Atmos. Res. 83, 765-781.

[131] Markowski, P.M., Rasmussen, E.N., and Straka, J.M., 1998. The occurrence of tornadoes in supercells interacting with boundaries during VORTEX-95. Wea. Forecasting 13, 852–859.

[132] Yarnal, B., 1993. Synoptic climatology inenvironmental analysis. London: Bellhaven Press.

[133] Barry, R., and Perry, A., 1973. Synoptic climatology: methods and applications. London: Methuen & Co, Ltd.

[134] Lamb, H., 1972. British Isles weather types and a register of the daily sequences of circulation patterns 1861-1971.Geophysical memoirs, 116, 85.

[135] Yarnal, B., Comrie, A., Frakes, B., and Brown, D., 2001. Developments and prospects in synoptic climatology. International journal of climatology, 21, 1923-1950.

[136] Lund, I., 1962. Map-pattern classification by statistical methods. Journal of applied meteorology, 2, 56-65.

[137] Kirchhofer, W., 1974. Classification of European 500 mb patterns. Swiss Meteorological Institute Zurich, No. 43.

[138] Willmott, C., 1987. Synoptic weather-map classification: correlation versus sums-ofsquares. Professional Geographer, 39(2), 205-207.

[139] Yarnal, B., 1984. The effect of weather map scale on the results of a synoptic climatology. Journal of climatology, 4, 481-493.

[140] Fragoso, M., and Gomes, P., 2008. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. International journal of climatology, 28, 537-544.

[141] Maheras, P., Patrikas, I., Karacostas, T., and Anagnostopoulou, C., 2000. Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis. Theoretical applied climatology, 67, 205-223.

[142] Smith, L. (2002). A tutorial on principal components analysis. Accessed online May 1, 2007 fromhttp://kybele.psych.cornell.edu/~edelman/Psych-465Spring-2003/PCA-tutorial
[143] Hastings, K., 2007. Synoptic climatology of the western interior of North America 1948-2006. Winnipeg: University of Winnipeg Press.
[144] Brinkmann, W., 1999. Application of non-hierarchically clustered circulation components to surface weather conditions: Lake Superior basin winter temperatures. Theoretical and applied climatology, 63, 41-56.
[145] Kaiser, H., 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23(3), 187-200.
[146] Abdi, H., 2003. Factor rotations in factor analysis. The University ofTexas at Dallas.
[147] Blanchard, D.O., 1998. Assessing the vertical distribution of convective available potential energy. Wea. Forecasting, 13, 870–877.
[148] Weisman, M.L., Klemp, J.B., 1982. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. Mon. Wea. Rev., 110, 504–520.
[149] Showalter, A.K., 1947. A stability index for forecasting thunderstorms. Bull. Amer. Meteor. Soc., 34, 250–252.
[150] George, J.J., 1960. Weather Forecasting for Aeronautics. Academic Press, 673 pp.
[151] Williams, E., Renno, N., 1993. An analysis of the conditional instability of the tropical atmosphere. Mon. Weather Rev., 121, 21 –36.
[152] Sioutas, M.V., Szilagyi, W., Keul, A., 2013. Waterspout outbreaks over areas of Europe and North America: Environment and predictability. Atmos. Res.,123, 167-179.
[153] Hopkins, T.S., 1978. 'Physical Processes in the Mediterranean Basins'. In: Estuarine Transport Processes.Björn Kjerfve (ed.) Columbia: University of South Carolina Press, 269-310.
[154] SoHelME, 2005. State of the Hellenic Marine Environment. In: E. Papathanassiou & A. Zenetos (eds.) , HCMR Publ., 360 pp, ISBN 960-86651-8-3
[155] Ünluata, Ü., Oguz, T., Latif, M.A., & Öszoy, E., 1990. 'On the physical Oceanography of the Turkish Straits'. In: The Physical Oceanography of Sea Straits.Edited by L. J. Pratt, Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 26-60.
[156] Georgopoulos, D., Theocharis, A. & Zodiatis, G., 1989. Intermediate water formation in the Cretan Sea (S. Aegean Sea). Oceanol. Acta, 12 (4), 353-35.
[157] Zervakis, V., Georgopoulos, D., Drakopoulos, P.G., 2000. The role of the North Aegean in triggering the recent Eastern Mediterranean climatic changes, J. Geophys. Res., 105 (C11), 26103–26116
[158] Malanotte-Rizzoli, P., Manca, B.B., D'Alcara, M.R., Theocharis, A., Bergamasco, A., Bregant, D., Budillon, G., Civitarese, G., G, D., Michelato, A., Sansone, A., Scarazzato, P. & Souvermezoglou, E., 1997. A synthesis of the Ionian Sea hydrography, circulation and water mass pathways during POEMPhase I. Progr. Oceanog., 39, 153-204.
[159] Theocharis, A. & Kontoyiannis, H., 1999. Interannual variability of the circulation and hydrography in the eastern Mediterranean (1986-1995). The eastern Mediterranean as a Laboratory Basin for the Assessment of Contrasting Ecosystems. P. Malanotte-Rizzoli and V.N. Eremeev (Eds). Kluwer Academic Publishers, 453-464.
[160] Georgopoulos, D., (2002). Water masses, dynamic structure and circulation in the North Aegean Sea. Thesis (PhD). University of Patras. (in Greek).
[161] Pinardi, N., Zavatarelli, M., Adani, M., Coppini, G., Fratianni, C., Oddo, P., Simoncelli, S., Tonani, M., yubartsev, V., Dobricic, S., Bonaduce, A., 2013. Mediterranean Sea large-scale low-frequency ocean variability and water mass formation rates from 1987 to 2007: A retrospective analysis. Progress in Oceanography.
[162] Robinson, A.R. et al., 1991. The eastern mediterranean general circulation: features, structure and variability. Dynamics of Atmospheres and Oceans, 15 (3–5), 215–240.
[163] Pujol, M.I., Larnicol, G., 2005. Mediterranean Sea eddy kinetic energy variability from 11 years of altimetric data. Journal of Marine Systems 58 (3-4), 121–142,
[164] Isern-Fontanet, J., García-Ladona, E., Font, J., 2003. Identification of marine eddies from altimetric maps. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 20 (5), 772–778.
[165] Poulos, S.E., Drakopoulos, P., Collins, M.B., 1997. Seasonal variability in the oceanographic conditions in the Aegean Sea (eastern Mediterranean): an overview. J. Mar. Syst., 3 (1–4), 225–244.
[166] Skliris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Axaopoulos, P., Mantziafou, A., Vervatis, V., 2011. Long-term sea surface temperature variability in the Aegean Sea. Adv. Oceanogr. Limnol. 2(2), 125–139.

[167] Keltieka, F., 1987.Internal report. National Oceanic and Atmospheric Administration: Cleveland, Ohio.

[168] Matsangouras, I.T., Nastos, P.T., Nikolakis D., 2010. Study of meteorological conditions related to the tornado activity on 25-3-2009 over NW Peloponnesus, Greece. In Proceedings of 10th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2010). 25–38 May 2010, Patras, Greece, 417–425 (in Greek).

[169] King, P., Leduc, J.M., Sills, D., Donaldson, R.N., Hudak, R.D., Joe, P., Murphy P.B., 2003. Lake breezes in southern Ontario and their relation to tornado climatology. Weather Forecast.,18, 795–807

[170] Renko, T., Tomislav K., Martina T., 2012. An assessment of waterspout occurrence in the Eastern Adriatic basin in 2010: Synoptic and mesoscale environment and forecasting method, Atmos. Res., doi:10.1016/j.atmosres.2012.06.018

[171] Dotzek, N., Emeis, S., Lefebvre, C., Gerpott, G., 2010. Waterspouts of the North and Baltic Seas: Observation and climatology, prediction and reporting. Meteorol. Z. 19 (1), 115–129.

[172] Schaefer, J.T., 1986. Severe thunderstorm fore-casting: A historical perspective. Wea. Forecasting, 1, 164–189.

[173] Johns, R.H. and Doswell III, C.A., 1992. Severe local storms forecasting. Wea. Forecasting, 7, 588–612.

[174] Doswell, C.A.III and Schultz, D.M., 2006. On the use of indices and parameters in forecasting severe storms. Electronic J. Severe Storms Meteor., 1(3), 1–22.

[175] Doswell, C.A.III, 1987. The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: a case study example. Wea.Forecasting 2, 3–16.

[176] Doswell, C.A.III, Brooks, H.E., and Maddox, R.A., 1996. Flash flood forecasting: an ingredients-based methodology. Wea. Forecasting 11, 560–580.

[177] Monteverdi, J.P., Doswell III, C.A., and Lipari, G.S., 2003. Shear parameter thresholds for forecasting tornadic thunderstorms in northern and central California. Wea. Forecasting 18, 357–370.

[178] Hannesen, R., Dotzek, N., Gysi, H., and Beheng, K.D., 1998. Case study of a tornado in the Upper Rhine valley. Meteorol. Z., 7, 163–170.

[179] Groenemeijer, P. and van Delden, A., 2007. Sounding-derived parameters in the vicinity of large hail and tornadoes in The Netherlands. Atmos. Res. 67–68, 273–299.

[180] Rasmussen, E.N., 2008. Refined supercell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 18, 530–535.

[181] Craven, J.P. and Brooks, H.E.: Baseline climatology of sounding derived parameters associated with deep, moist convection. Preprints, 21st Conference on Severe Local Storms, 12–16 August 2002, St. Antonio, TX, USA, 2002.

[182] Brooks, H.E., 2009. Proximity soundings for severe convection for Europe and the United States from reanalysis data. Atmos. Res. 93, 546–553.

[183] Moncrieff, M. W., and Green, J.S.A., 1972. The propagation and transfer properties of steady convective overturning in shear. Quart. J. Roy. Meteor. Soc.,98, 336–352.

[184] Droegemeier, K.K., Lazarus, S.M., and Davies-Jones, R.D., 1993. The influence of helicity on numerically simulated convective storms. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2005-2029.

[185] Johns, R.H., Davies, M., and Leftwich, P.M., 1993. Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. Part II: Variations in the combinations of wind and instability parameters. The Tornado: Its Structure, Dynamics, Hazards, and Prediction, Geophys. Monogr., Vol. 79, Amer. Geophys. Union, 583–590.

[186] Rasmussen, E.N. and Blanchard, D.O., 1998. A baseline climatology of sounding-derived super-cell and tornado forecast parameters. Wea. Forecasting, 13, 1148–1164.

[187] Brooks, H.E., Doswell, C.A.III, and Kay, M.P., 2003. Climatological estimates of local daily tornado probability for the United States. Wea. Forecasting, 18, 626–640.

[188] Doswell, C.A.III and Evans, J.S., 2003. Proximity sounding analysis for derechos and supercells: An assessment of similarities and differences. Atmos. Research, 67-68, 117-133.

[189] Thompson, R.L., Edwards, R., Hart, J.A., Elmore, K.L., and Markowski, P., 2003. Close proximity soundings within supercell environments obtained from the Rapid Update Cycle. Wea. Forecasting, 18, 1243–1261.

[190] Schaefer, J.T., 1986. Severe thunderstorm forecasting: A historical perspective. Wea. Forecasting, 1, 164–189.

[191] Matsangouras, I.T., Nastos, P.T., and Pytharoulis, I., 2011. Synoptic-mesoscale analysis and numerical modelling of a tornado event on 12 February 2010 in northern Greece. Adv. Sci. Res. 6, 187–194.

[192] Matsangouras, I.T., Nastos, P.T., and Pytharoulis, I., 2012. Numerical Investigation of the Role of Topography in Tornado Events in Greece. In C. G. Helmis & P. T. Nastos (Eds.), Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (pp. 209–215). Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-29172-2_30.

[193] Davies-Jones, R.D., Burgess, and Foster M.: Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, AB, Canada, Amer. Meteor. Soc., 588–592, 1990.

[194] Hart, J.A. and W. Korotky, W., 1991. The SHARP workstation v1.50 users guide. National Weather Service, NOAA, U.S. Department of Commerce, 30 pp.

[195] Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W., and Powers, J.G., 2008. A description of the Advanced Research WRF Version 3.NCAR/TN-475.

[196] Wang, W., Bruyere, C., Duda, M., Dudhia, J., Gill, D., Lin, H.-C., Michalakes, J., Rizvi, S., Zhang, X., Beezley, J., Coen, J., and Mandel, J., 2010. ARW Version 3 Modeling System User's Guide, NCAR-MMM, 352.

[197] Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.J., Park, B.K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.N., and Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137, 553–597. doi: 10.1002/qj.828.

[198] Ferrier, B., Lin, Y., Black, T., Rogers, E., DiMego, G., 2002. Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model. Prepr, 15th Conference on Numerical Weather Prediction, San Antonio, TX, Amer Meteorol Soc 280-283,

[199] Iacono, M.J., J.S. Delamere, E.J. Mlawer, M.W. Shephard, S.A. Clough, and Collins, W.D., 2008. Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models, J. Geophys. Res., 113, D13103, doi:10.1029/2008JD009944.

[200] Janjic, Z.I. The surface layer in the NCEP Eta Model, Eleventh Conference on Numerical Weather Prediction. Amer. Meteor. Soc., Norfolk, VA, 19–23 August; 354–355, 1996.

[201] Mellor, G.L. and Yamada, T., 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851–875.

[202] Janjic, Z.I., 2002. Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model, NCEP Office Note, No. 437, 61.

[203] Chen, F. and Dudhia, J., 2001. Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/ NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. Mon. Wea. Rev., 129, 569–585.

[204] Kain, J.S., 2004. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. J. Appl. Meteor., 43, 170–181.

[205] Kumjian M, 2008**.** Interpretation of the "Flying Eagle" Radar Signature in Supercells. *24th Conference on Severe local Storms*, Savannah, Georgia.

[206] Gofa, F., Pytharoulis, I., Andreadis, T., Papageorgiou, I., Fragkouli, P., Louka, P., Evgoustoglou, E., and Tyrli, V., 2008. Evaluation of the operational NWP forecasts of the Hellenic National Meteorological Service. *9th Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, 28-31 May, Thessaloniki, 51-58

[207] Pytharoulis, I., 2009. High-resolution operational numerical weather forecasts for agrometeorological applications. *6th Hellenic Conference of Agricultural Engineering*, 8-10 October, Thessaloniki, Greece, 75-82 (in Greek),

[208] Papadopoulos, A. and Katsafados, P., 2009. Verification of operational weather forecasts from the POSEIDON system across the Eastern Mediterranean. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1299-1306.

[209] Ebert, E.E., 2008. Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: a review and proposed framework, Meteorol. Appl., 15, 51-64

[210] Chiao, S., Yuh-Lang L., Kaplan, L.M., 2004. Numerical study of the orographic forcing of heavy precipitation during map iop-2b, Monnthly Weather Review, 132, 2184–2203.

[211] Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Peng, W.-C., Liu, C.-L., 2010. Investigation of a heavy rainfall event over southwestern Taiwan associated with a subsynoptic cyclone during the 2003 Mei-Yu season. Atmospheric Research, 95, 235–254.

[212] Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Hsu, N.-N., Liu, C.-L., Chen, C.-Y., 2011. Orographic effects on localized heavy rainfall events over southwestern Taiwan on 27 and 28 during the Post-Mei-Yu season. Atmos. Res. 101, 595–610.

[213] Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Zeng, H.-T., Chen, C.-Y., Liu, C.-L., 2013. Orographic effects on heavy rainfall events over northeastern Taiwan during the northeasterly monsoon season (2013) Atmospheric Research, 122, 310-335.

[214] Koletsis I., Lagouvardos K., Kotroni V., Bartzokas A., 2009. Numerical study of a downslope windstorm in Northwestern Greece, Atmospheric Research, 94 (2), 178-193, DOI:10.1016/j.atmosres.2009.05.012.

[215] Koletsis I., Lagouvardos K., Kotroni V., Bartzokas A., 2009. The interaction of northern wind flow with the complex topography of Crete Island – Part 2: Numerical study. Natural Hazards Earth System Science, 10, 1115-1127.

[216] Houze, R.A.Jr, Cloud Dynamics. Academic Press Inc. San Diego, California, 1993.

[217] CRED (2005) Data from EM-DAT, the OFDA/CRED International Disaster Database, www.em-dat.net, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Universite´Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. (OFDA is the US Office of Foreign DisasterAssistance.)

[218] IFRC (2005) World disasters report 2005. (Disasters data prepared by the Centre for Research onthe Epidemiology of Disasters from the EM-DAT database.) International Federation of RedCross and Red Crescent Societies, Geneva.

[219] ISDR (2005) Disaster statistics 1994–2004. (Prepared in collaboration with the Centre for Researchon the Epidemiology of Disasters from the EM-DAT database.) http://www.unisdr.org/disaster-statistics/introduction.htm. International Strategy for Disaster Reduction Secretariat,Geneva.

[220] Nastos, P.T., Zerefos, C.S., 2007. On extreme daily precipitation totals at Athens, Greece. *Advances in Geosciences*, 10, 1–8.

[221] Nastos, P.T., Zerefos, C.S., 2008. Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece. *Advances in Geosciences,* 16, 55–62.

[222] Dotzek, N., Groenemeijer, P., Feusterstein, B. and Holzer, A.M., 2009. Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmospheric Research*, 93 (1-3), 575-586.

[223] Chronis, T.G., 2012. Preliminary lightning observations over Greece. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 117(3).

[224] Nastos P.T., Matsangouras I.T., Chronis T., 2013: Spatio-temporal analysis of lightning activity over Greece. Preliminary results derived from the recent precision lightning network. Atmospheric Research, Available online 5 November 2013, ISSN 0169-8095, In press, DOI:10.1016/j.atmosres.2013.10.021.

[225] Glantz, M., 2003. “Usable Science 8: Early Warning Systems: Do’s and Don’ts”. Report of Workshop 20-23 October 2003. Shangai, China. 77 p.

[226] Savvidou, K., Michaelides, S., Nicolaides, K.A., Constantinides, P., 2009. Presentation and preliminary evaluation of the operational Early Warning System in Cyprus. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1213-1219.

[227] EWC II (2004) Early warning as a matter of policy: the conclusions of the Second International Conference on Early Warning, 16–18 October, Bonn, Germany. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) secretariat and the German Disaster Reduction Committee (DKKV), 28 pp.

[228] ISDR-PPEW (2005a) Many of the points presented in this paper have been discussed and illustrated in the early warning web pages of the ISDR. The 4-element view of effective people-centred early warning systems is discussed at http://www.unisdr.org/ppew/whats-ew/basics-ew.htm and in ISDR-PPEW (2005b). ISDR Platform for the Promotion of Early Warning (PPEW), Bonn.

[229] ISDR-PPEW (2005b) International Early Warning Programme (IEWP). Brochure, 4 pp, downloadable at http://www.unisdr.org/ppew/info-esources/docs/ IEWP.pdf. ISDR Platform for the Promotion of Early Warning (PPEW), Bonn.

[230] Basher, R. (UNISDR Platform for the Promotion of Early Warning). 2006. “Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred”. Philosophical Transactions of the Royal Society, A 364,2167-2182

[231] Dysktra, E., 2005. “Early Warning Systems – Interdisciplinary Observations and Policies from a Local Government Perspective”. Symposium Concept Paper and Call for Papers. Early Warning Systems – A Public Entity Risk Institute Symposium. 5 p.

[232] Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., DeDear, R., 2008. The Universal Thermal Climate Index UTCI - Goal and State of COST Action 730 and ISB Commission 6. *18th International Congress Biometeorology ICB 2008*, September 22-26, 2008, Tokyo, Conference Proceedings.
[233] Mayer, H., Höppe, P., 1987. Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38, 3-49.
[234] Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M., 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43, 76-84.
[235] Matzarakis, A., Nastos, P., 2010. Human-Biometeorological assessment of heat waves in Athens.*Theoretical and Applied Climatology*, 105 (1), 99-106.
[236] Nastos, P.T., Matzarakis, A., 2008. Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 93, 75–89.
[237] Siple, P.A., Passel, C.F., 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proceedings of the American Philosophical Society 89, 177-199.
[238] Thom, E.C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 57-60.
[239] Nastos, P.T., 2012, Meteorological patterns associated with intense Saharan dust outbreaks over Greece in winter. *Advances in Meteorology* (in press).
[240] Kaskaoutis, D.G., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., Kosmopoulos, P.G., 2008. Study on an intense dust storm over Greece. *Atmospheric Environment*, 42 (29), 6884-6896.