

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τμήμα Γεωγραφίας και Κλιματολογίας

Πτυχιακή Εργασία του Λεονάρδου Στρυφούνια Πολέμη

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τμήμα Γεωγραφίας και Κλιματολογίας

Πτυχιακή Εργασία του Λεονάρδου Στρυφούνια Πολέμη

Επιβλέπων Καθηγητής: Παναγιώτης Νάστος

Αθήνα, Ιούνιος 2016

Αφιερωμένη στον Ουμπέρτο Έκο

- *Stat rosa pristina nomine, nomina nuda temenus*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	11
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	14
1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	14
1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	15
1.2 ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	18
2 ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	19
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
2.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	20
2.2.1 ΣΙΦΩΝΕΣ- ΥΔΡΟΣΙΦΩΝΕΣ-ΧΟΑΝΩΕΙΔΗ ΝΕΦΗ.....	20
2.2.2 ΙΣΧΥΡΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ.....	26
2.2.3 ΧΑΛΑΖΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	27
2.2.4 ΚΕΡΑΥΝΟΙ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ.....	30
2.2.5 ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	34

2.2.6	ΙΣΧΥΡΟΙ ΑΝΕΜΟΙ-WIND GUSTS.....	38
2.2.7	ΜΕΓΑ-ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ-WILDFIRES.....	39
2.3	ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	45
2.3.1	ΞΗΡΑΣΙΑ (DROUGH).....	45
2.3.2	ΚΥΜΑΤΑ ΚΑΥΣΩΝΑ (HEAT WAVES).....	48
2.3.3	ΠΑΓΕΤΟΣ (FROST)	48
2.4	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	53
2.4.1	ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ (FLOODS-FLASH FLOODS).....	53
2.4.2	ΚΥΜΑΤΑ ΘΥΕΛΛΑΣ (STORM SURGE).....	59
	ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	64
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ (ΣΥΛΛΟΓΗ/ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ-ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΕ Σ.Γ.Π.).....	64
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	64
3.2	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	64
3.3.	ΕΠΕΞΕΡΓΕΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	65
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	71
4.1	ΣΙΦΩΝΕΣ-ΥΔΡΟΣΙΦΩΝΕΣ-ΧΟΑΝΟΕΙΔΗ ΝΕΦΗ.....	72
4.2	ΚΕΡΑΥΝΟΙ.....	80
4.3	ΧΑΛΑΖΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	83
4.4	ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	87
4.5	ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΕΙΣ.....	91

4.6 WIND GUSTS.....	93
4.7 ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ.....	97
5 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ, ΡΑΔΙΟΒΟΛΙΔΕΣ, ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ).....	100
5.1 ΣΚΑΛΑ ΛΑΚΩΝΙΑΣ / ΜΕΘΑΝΑ.....	100
5.2 ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ / ΚΕΡΚΥΡΑ.....	118
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	125
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	128

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάζει τη ανάπτυξη μια βάσης δεδομένων των ακραίων καιρικών φαινομένων που συνέβησαν στην Ελλάδα μεταξύ του χρονικού διαστήματος 2012-2016. Τα επιλεγμένα συμβάντα σχετίζονται με μετεωρολογικά (ανεμοστρόβιλοι, υδροστρόβιλοι, χιονοπτώσεις, χαλαζοπτώσεις, κεραυνοί, μέγα-πυρκαγιές και δυνατοί άνεμοι), υδρολογικά (πλημμύρες, surge storms), και κλιματολογικά (ξηρασία, κύματα καύσωνα) που είχαν αρνητικές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις. Η βάση δεδομένων περιέχει μεταξύ άλλων την γεωγραφική κατανομή των καταγεγραμμένων συμβάντων, σχετικά μετεωρολογικά δεδομένα, και μια σύντομη περιγραφή των επιπτώσεων. Επιπρόσθετα, στην εργασία παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των ακραίων καιρικών φαινομένων της εξεταζόμενης περιόδου με τη χρήση λογισμικού Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών(Σ.Γ.Π.). Τέλος θα γίνει και λεπτομερής μετεωρολογική ανάλυση συμβάντων από ραδιοβολίδες, μέταρ, και μετεωρολογικούς χάρτες

Λέξεις Κλειδιά Ακραία Καιρικά φαινόμενα, Ελλάδα, χωροχρονική κατανομή, Σ.Γ.Π., Υδροστρόβιλοι, Ανεμοστρόβιλοι, Ηλεκτρικές καταιγίδες, χαλαζοπτώσεις, χιονοπτώσεις, πλημμύρες, μέγα-πυρκαγιές, ραδιοβολίδες

ABSTRACT

This thesis introduces the development of a database of high-impact weather events that occurred in Greece in the period 2013-2016 (4 years). The selected events are related to the occurrence of meteorological events (tornados, waterspouts, lightnings, hailstorms, wildfires snowstorms, severe storms), climatological (droughts, heatwaves) and hydrological (surge storms, flush floods) with adverse socio-economic consequences. The database includes, among others, the geographical distribution of the recorded events, relevant meteorological data, and a brief description of the induced impacts. This thesis further offers an analysis of the spatial distribution of high-impact weather events for the period 2012–2016, with the use of Geographical Information Systems (G.I.S). Finally there will be a detailed meteorological analysis of events with the use of radiosondes, and weather maps.

Key-Words Extreme weather phenomena, Greece, spatiotemporal distribution, G.I.S., waterspouts, tornados, lightning, frost, hail, heat waves, flash-floods, wildfires, frost, surge storms, weather maps,

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, αποτελούν σημαντική απειλή για την δημόσια υγεία, προκαλώντας υλικές ζημιές, τραυματισμούς, ακόμα και θανάτους. Τις τελευταίες δεκαετίες οι καταστροφές που συνδέονται με καιρικά φαινόμενα έχουν προσελκύσει το επιστημονικό ενδιαφέρον εξαιτίας των σημαντικών κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεών τους. Επιπρόσθετα, πρόσφατες επιστημονικές εργασίες δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή θα επιδράσει στην συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Μια πιθανή αύξηση των ακραίων φαινομένων και των αρνητικών τους επιπτώσεων απαιτεί την συστηματική καταγραφή και παρακολούθηση των φαινομένων που είναι απαραίτητη, τόσο για τον μετριάσμό των επιπτώσεων αυτών, όσο και για την δημιουργία των κατάλληλων εργαλείων και μοντέλων διαχείρισης κινδύνων και καταστροφών.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι καταγραφή ακραίων καιρικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο 2012-2016. Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει συμβάντα που σχετίζονται με χαλαζοπτώσεις, υδροστρόβιλους, ανεμοστρόβιλους, χιονοπτώσεις, παγετό και ηλεκτρικές καταιγίδες. Τα δεδομένα αυτά αποτυπώθηκαν σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) όπου έγινε γεωγραφική κατανομή τους. Επιπρόσθετα έχουν επιλεγεί συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου μελετήθηκαν με μετεωρολογικούς χάρτες, και δεδομένα από ραδιοβολίδες. Η εργασία καλύπτει την πλειονότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων που συνέβησαν από το 2012 ως σήμερα και είχαν αρνητικές επιπτώσεις.

Οι ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζουν τη βιβλιογραφική ανασκόπηση στη μελέτη των ακραίων καιρικών φαινομένων στην Ελλάδα, τις μεθοδολογικές πτυχές που σχετίζονται με την κατασκευή της βάσης

δεδομένων, τις πηγές των δεδομένων και πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν, τη γεωγραφική κατανομή των φαινομένων και επεξήγησή τους καθώς και συνοπτική και δυναμική ανάλυση των επιλεγμένων περιπτώσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν μοναδικά φαινόμενα καθώς πολύ παράγοντες διαδραματίζουν ρόλο στο βαθμό όπου οι επιπτώσεις ενός φυσικού γεγονότος θα δημιουργηθούν. Συχνά τα ακραία καιρικά φαινόμενα αλληλοεπιδρούν και παράγουν μια σύνθετη διαδικασία.

Οι Kron et al στην μελέτη τους «How to deal properly with a natural catastrophe database – analysis of flood losses» (2012), αναλύουν τα προβλήματα και τις δυσκολίες που μπορούν να προκύψουν στην δημιουργία και ανάλυση μια βάσης δεδομένων για την επίδραση των ακραίων καιρικών φαινομένων, ενώ δίνουν παραδείγματα στη ανάλυση πλημμυρικών φαινομένων.

Η Ελλάδα βιώνει ποικιλία ακραίων καιρικών φαινομένων που συχνά ακολουθούνται από αρνητικές συνέπειες στην κοινωνικοοικονομική δραστηριότητα. Παρόλα αυτά η μελέτη των ακραίων καιρικών φαινομένων επικεντρώνεται κυρίως σε ορισμένες περιοχές της χώρας, και σε συγκεκριμένα καιρικά φαινόμενα.

Οι Nastos και Matsangouras έχουν επισταμένως ασχοληθεί με την ανάλυση των ανεμοστρόβιλων και υδροστρόβιλων, πάνω από τον Ελλαδικό χώρο, (Nastos and Matsangouras ,2010, Nastos and Matsangouras 2014, Matsangouras, Nastos et al, 2014, Nastos and Matsangouras 2011, Matsangouras et al, 2015). Στην μελέτη τους «Analysis of synoptic conditions for tornadic days over western Greece» (2014), αναλύουν τις συνοπτικές συνθήκες που επικρατούν στην κατώτερη τροπόσφαιρα εμφάνιση ανεμοστροβιλικών φαινομένων πάνω από την Δυτική Ελλάδα. Στη μελέτη περίπτωσης που αναλύεται στη δημοσίευση «Track Analysis Of Cyclones Related To Tornadoes Over Western Greece» (2015) αναφέρονται στη χρήση του αριθμητικό μοντέλου των Murray και Simmonds, όπου το εφαρμόζουν και εντοπίζουν την κυκλωνική πορεία που συνδέεται με την παρουσία ανεμοστροβίλων στην Δυτική Ελλάδα. Η ανάλυσή τους έδειξε μια συγκεκριμένη εποχική χωρική

κατανομή κυκλογενετικών φαινομένων που ευνοεί την παρουσία ανεμοστρόβιλων στην Δυτική Ελλάδα.

Στη μελέτη «High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database» (2010) γίνεται προσπάθεια να κατασκευαστεί μια βάση δεδομένων για όλη την περιοχή της Μεσογείου, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί και ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου στις χώρες της Μεσογείου.

Ο Lastoria et al. (2006) παρουσιάζει μια βάση δεδομένων των μεγαλύτερων πλημμυρών που συνέβησαν στην Ιταλία από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, όπου περιλαμβάνει δεδομένα όπως, γεωγραφική θέση, ποσότητα βροχόπτωσης, αριθμός απωλειών. Οι Diakakis et al. στη μελέτη «Floods in Greece, a statistical and spatial approach» (2012) επιχειρούν μια χωρική κατανομή των πλημμυρικών φαινομένων στην Ελλάδα τα τελευταία 130 χρόνια, ενώ στην μελέτη «Flood fatalities in Greece: 1970–2010» (2015) οι Diakakis και Deligiannakis μελετούν τις ανθρώπινες απώλειες από 151 πλημμυρικά φαινόμενα στο χρονικό διάστημα 1970–2010.

Στην εργασία τους «The extreme heatwave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology» οι Matzarakis A. και Mayer H. χρησιμοποιούν βιομετεωρολογικούς δείκτες και αναλύουν το θερμικό στρες που είχε ως επίπτωση στον ανθρώπινο οργανισμό το κύμα καύσωνα που εκδηλώθηκε τον Ιούλιο του 1987. Παρόμοια στην μελέτη του «Human-biometeorological assessment of heat waves in Athens» (2010) ο Nastos αναλύει τα κύματα καύσωνα στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών από το 1955 ως το 2001 και μελετάει την επίδρασή τους χρησιμοποιώντας βιομετεωρολογικούς δείκτες.

Η μελέτη «Storms and Lightning Activity in Greece during the Warm Periods of 2003–06» (2008) των Mazaraki *et al*, αναλύεται η δραστηριότητα και η χωρική κατανομή των ηλεκτρικών καταιγίδων πάνω

από τον Ελλαδικό χώρο, κατά την θερινή περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος) για την χρονική περίοδο 2003-2006. Οι Katsanos et al. στην μελέτη «Combined analysis of rainfall and lightning data produced by mesoscale systems in the central and eastern Mediterranean» αναλύουν την ηλεκτρική (lightning) δραστηριότητα που παράγεται κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων, από τον Οκτώβριο του 2003 έως τον Μάρτιο του 2004 στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο.

Οι Prezerakos και Angouridakis εξετάζουν τις συνθήκες των βαρομετρικών συστημάτων που προκαλούν χιονοπτώσεις στην Αττική και την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας για την περίοδο 1956-1973. Τέλος οι Papadopoulos et al (2012) μελετούν τη σχέση κλιματικών-μετεωρολογικών φαινομένων και μέγα-πυρκαγιών, ενώ οι Sifakis et al (2011) αναλύουν την γέννηση και πορεία μεγαπυρκαγιών με δεδομένα τηλεπισκόπισης.

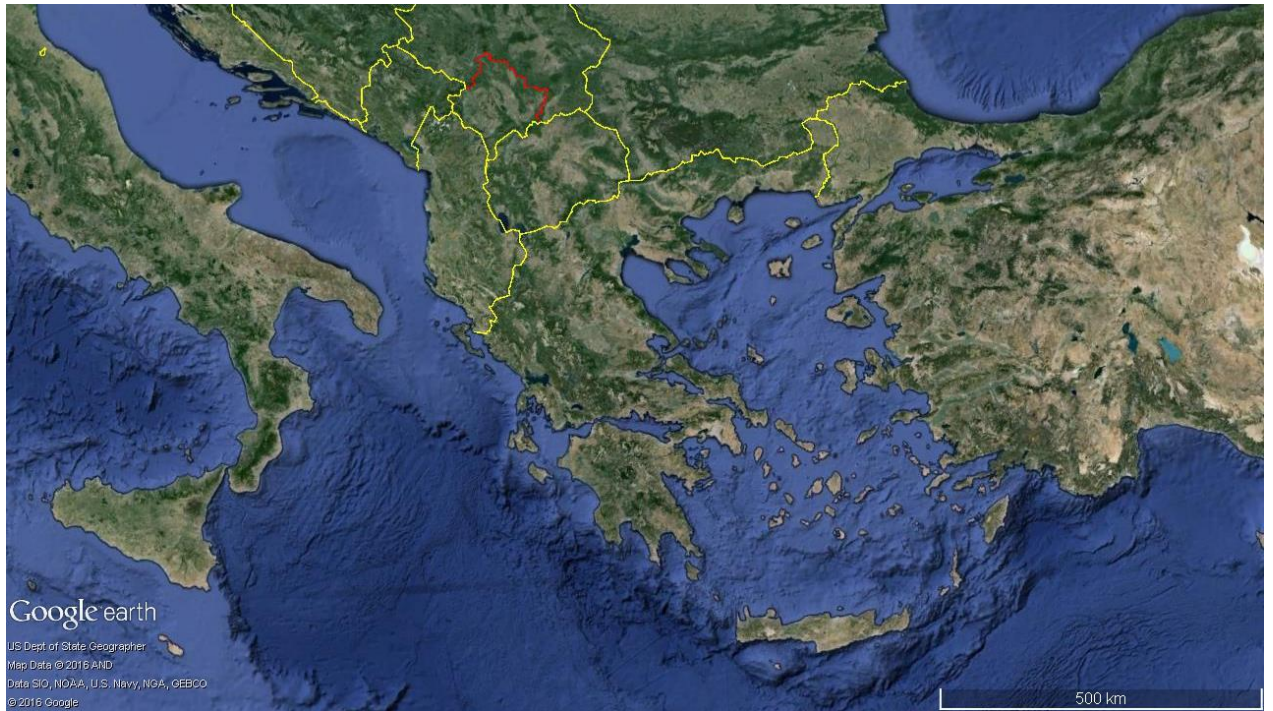
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης

Η περιοχή μελέτης μας είναι ο Ελλαδικός χώρος. Η Ελλάδα εντοπίζεται μεταξύ των 34^{ου} και 41,5^{ου} παράλληλου του Βόρειου ημισφαιρίου και του 20^{ου} και 29^{ου} μεσημβρινού ανατολικά του Greenwich. Βρίσκεται στο νότιο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου και συνορεύει στα βορειοδυτικά με την Αλβανία, στα βόρεια με την πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας και τη Βουλγαρία και στα βορειοανατολικά με την Τουρκία. Έχει ακτές στην Ανατολική Μεσόγειο και βρέχεται στα ανατολικά από το Αιγαίο Πέλαγος, στα δυτικά από το Ιόνιο και στα νότια από το Λιβυκό. Έχει συνολικό μήκος ακτών 13.676 χλμ. και μεγάλο αριθμό νησιών, τα περισσότερα ακατοίκητα. Το ανάγλυφο είναι ορεινό με οροσειρές να εκτείνονται στην θάλασσα ως χερσόνησοι ή συμπλέγματα νησιών, ενώ το μέσο υψόμετρο ανέρχεται στα 498 μ. από την Μέση Στάθμη Θάλασσας¹. Ο πληθυσμός της χώρας ανέρχεται σε 10.816.286 κατοίκους με το μεγαλύτερο ποσοστό να συγκεντρώνεται σε κοντινή απόσταση από την ακτογραμμή².

¹ CIA World Factbook, Greece, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gr.html>, Πρόσβαση στις 11/3/2016

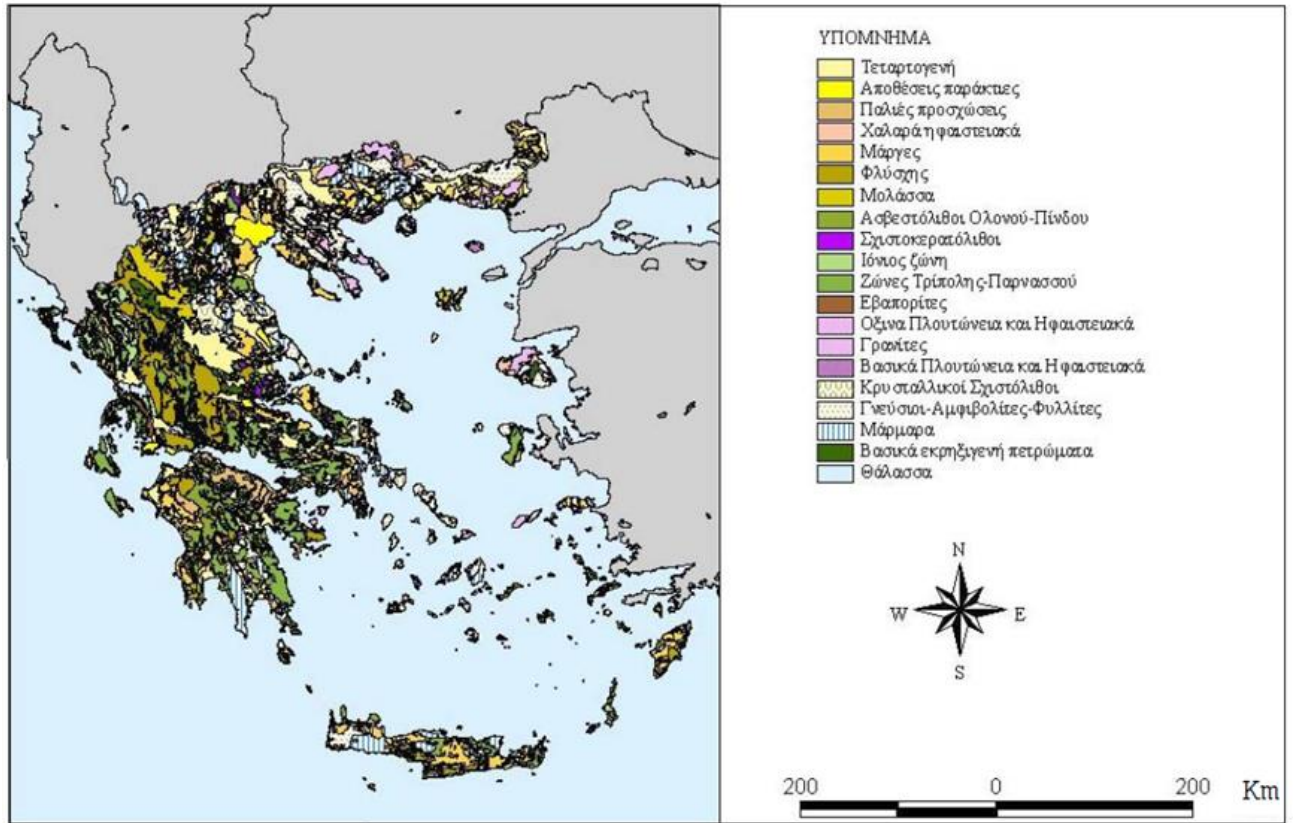
² Ελληνική Στατιστική Αρχή, Απογραφή 2011



Εικόνα 1.1 Η θέση της Ελλάδας στον ευρύτερο χώρο Πηγή: Google Earth

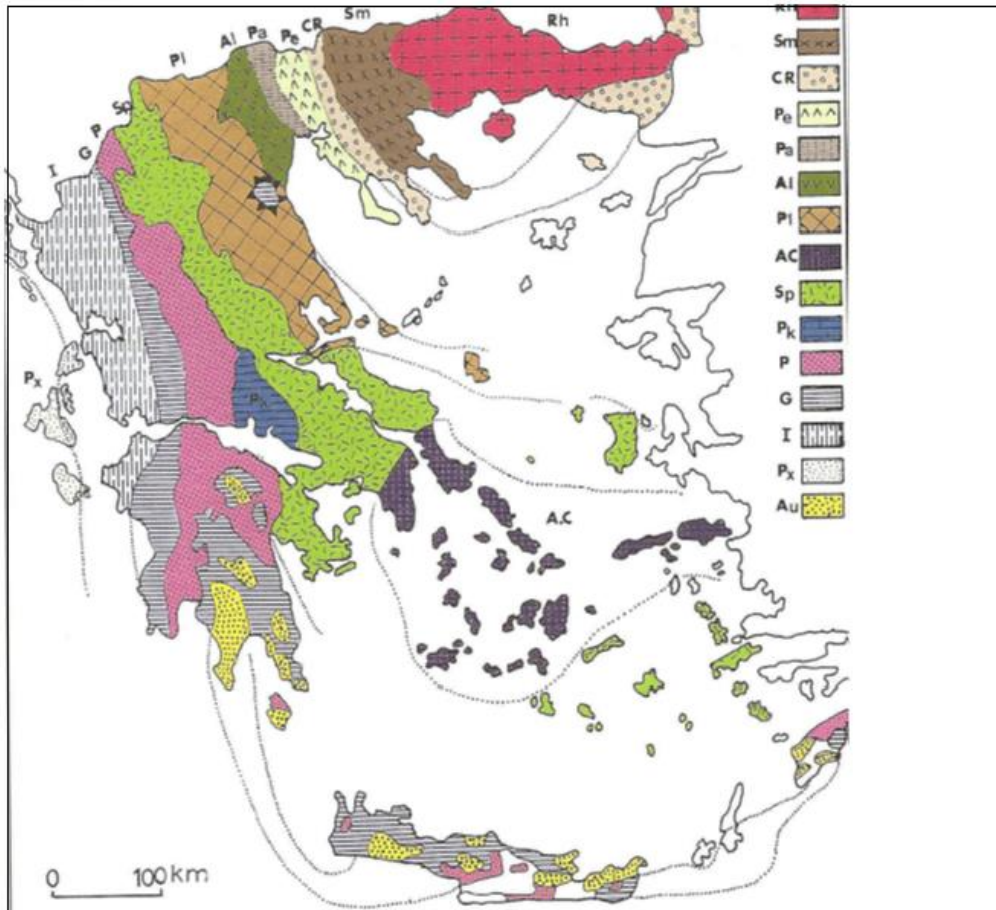
1.1. Γεωλογία της Ελλάδας

Η Ελλάδα παρουσιάζει μία σύνθετη γεωλογική δομή με μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών, αποτέλεσμα της σύνθετης γεωλογικής ιστορίας και εξέλιξης της.



Εικόνα 1.1.1 Γεωλογικός χάρτης Ελλάδος Πηγή: Κατασκευή Σεισμικού-Γεωτεκτονικού χάρτη Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000, σελ. 13

Χωρίζεται σε 11 γεωτεκτονικές ζώνες, η κάθε μία από τις οποίες συνίσταται από ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά, στοιχεία γενικά που εξαρτώνται από την παλαιογεωγραφική της θέση.



Εικόνα 1.1.2 Οι ισοπικές-γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας. Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch3.htm> Αναζήτηση στις 11/03/2016

Οι ισοπικές ζώνες της Ελλάδας χωρίζονται σε δύο ενότητες, τις εσωτερικές Ελληνίδες και τις εξωτερικές Ελληνίδες. Στις εσωτερικές Ελληνίδες ανήκουν οι ζώνες, Βοιωτίας, η Πελαγονική Ζώνη, η Αττικοκυκλαδική Ζώνη ή Μάζα, η Ζώνη Αξιού, η Περιοδοπική Ζώνη, η Ζώνη της Ροδόπης και, η Σερβομακεδονική Ζώνη. Στις εξωτερικές Ελληνίδες διακρίνονται από τα δυτικά προς τα ανατολικά οι ζώνες Γαββρόβου-Τρίπολης, η Προαπούλια ζώνη ή Ζώνη Παξών, η Ιόνια Ζώνη, η Ζώνη Πίνδου και, η Ζώνη Παρνασσού.

1.2 Κλίμα της Ελλάδας

Γενικά το κλίμα της Ελλάδας ανήκει στο Μεσογειακό τύπο, με κύρια χαρακτηριστικά του τις βροχοπτώσεις την ψυχρή εποχή του έτους, και την ξηρασία την εποχή του θέρους. Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας.

Το έτος διαιρείται σε δύο μέρη από κλιματολογικής πλευράς, το ψυχρό, από τα μέσα Οκτωβρίου, ως τα μέσα Απριλίου, και το θερμό την υπόλοιπη περίοδο. Την ψυχρή περίοδο επηρεάζεται από τον σιβηρικό αντικυκλώνα που επεκτείνεται στην κεντρική και Νοτιοανατολική Ευρώπη, και τα Βαλκάνια, τους αντικυκλώνες της Δυτικής Ρωσίας και Κεντρικής Ευρώπης, καθώς και από τον αντικυκλώνα τον Αζορών όπου αποτελεί την αιτία εμφάνισης νότιων και νοτιοδυτικών ανέμων. Τέλος οι κινητοί αντικυκλώνες της Βορείου Ευρώπης προκαλούν αστάθεια στην ψυχρή περίοδο. Κατά την Απρίλιο τα αντικυκλωνικά συστήματα εξασθενούν και η «υφεσιακή» δράση είναι αμελητέα. Την θερμή περίοδο, το κλίμα επηρεάζεται από τον Αντικυκλώνα των Αζορών που μετατοπίζεται βόρεια προς την περιοχή των Βαλκανίων, και το θερμικό χαμηλό των Ινδιών που επεκτείνεται ως την ανατολική Μεσόγειο. Ο συνδυασμός τους αποτελεί την γενεσιουργό αιτία του σταθερού ρεύματος ετήσιων ανέμων (μελτέμια)³.

³ Γεωμορφολογική Εξέλιξη της Νότιας Αττικής, Παυλόπουλος Κ., ΕΑΔΔ, Τμ. Γεωλογίας ΕΚΠΑ, 1992, σελ 41

Η μέση ετήσια θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντική χωρική μεταβλητότητα, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζεται στην Ανατολική Κρήτη και την Ρόδο (20 °C) και τις χαμηλότερες τιμές στην ΒΔ Ελλάδα (9 °C).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει μια διαφορά Ανατολής-Δύσης, εξαιτίας του μηχανισμού της ορεογραφικής ανύψωσης με την Πινδική Κορδιλιέρα να λειτουργεί ως φυσικό φράγμα το οποίο χωρίζει το πλούσιο σε υγρασία δυτικό κομμάτι από το ξηρότερο ανατολικό. Η σχετική υγρασία ακολουθεί παρόμοια χωρική κατανομή με μεγάλα ποσοστά να εμφανίζονται και στην Β. Ελλάδα⁴.

2.Ακραία Καιρικά Φαινόμενα

2.1 Εισαγωγή

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα συμβαίνουν από τις ίδιες συνθήκες που δημιουργούν φαινόμενα όπως βροχή ή μικρές καταιγίδες: αστάθεια, ατμοσφαιρική υγρασία και μηχανική ανύψωση αερίων μαζών. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους ένα συνηθισμένο φαινόμενο θα μπορούσε να μετατραπεί σε ακραίο (π.χ. η ξαφνική μηχανική ανύψωση μιας μάζας ψυχρού αέρα). Ο ίδιος ο όρος ακραία καιρικά φαινόμενα περιλαμβάνει ασυνήθιστα, σοβαρά ή φαινόμενα που συμβαίνουν εκτός εποχής τους. Βασίζεται στο καταγεγραμμένο καιρικό ιστορικό της περιοχής, και συχνά ορίζεται ως το 10% των καταγεγραμμένων περισσότερο ασυνήθιστων φαινομένων⁵. Επίσης καιρικά ή κλιματικά φαινόμενα μπορεί να τους

⁴ Mapping Long term Atmospheric Variables over Greece, Katsafados P., Kalogirou S., Papadopoulos A., Korres G., Journal Of Maps, 2012

⁵ NOAA, Extreme events, <http://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events>, Αναζήτηση στις 12/03/2016

αποδοθεί ο χαρακτηρισμός ακραία αν οδηγήσουν σε ακραίες επιπτώσεις ή συνδυαστούν με άλλα φυσικά φαινόμενα, ακόμα και αν από στατιστικής πλευράς δεν ανήκουν σε αυτά⁶. Τα τελευταία χρόνια κάποια ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν αποδοθεί στην παγκόσμια άνοδος της θερμοκρασίας, με μελέτες να δείχνουν αυξανόμενη απειλή από ακραία καιρικά φαινόμενα στο μέλλον. Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή ορισμένων φαινομένων διαχωρισμένων, σε Μετεωρολογικά, Υδρολογικά και Κλιματικά.

2.2 Μετεωρολογικά Φαινόμενα

2.2.1 Σίφωνες (tornados)- Υδροσίφωνες (waterspouts)- Χοανοειδή Νέφη (Funnel Clouds)

Σίφωνα είναι μια ταχέως περιστρεφόμενη στήλη ανέμου η οποία βρίσκεται σε επαφή ταυτόχρονα με το έδαφος και από τη βάση σωρειτομελανιών. Οι σωρειτομελανίες είναι κατηγορία νεφών με πολύ μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη, και συνδέονται με έντονα καιρικά φαινόμενα. Υδροσίφωνες (waterspouts) είναι κατηγορία σιφώνων που αναπτύσσονται πάνω από κάθε επιφάνεια νερού-συνήθως αυτή είναι η θάλασσα. Τέλος Funnel Clouds αποκαλείται η κωνοειδής ή σωληνοειδής επέκταση προς το έδαφος ενός νέφους, το οποίο προκαλείται από μια ταχέως περιστρεφόμενη δίνη αέρα, η οποία όμως δεν φτάνει στη επιφάνεια⁷. Οι περισσότεροι σίφωνες περνούν από το στάδιο του funnel cloud, υπάρχουν funnel clouds όμως που δεν φθάνουν ποτέ στην κατάσταση του σιφώνα.

⁶ IPCC: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, σελ 113

⁷ European Severe Weather Database Definitions

http://www.eswd.eu/?action=showdefinitions&lang=en_0 ,Αναζήτηση στις 14/3/2016

Οι σίφωνες ξηράς περιστρέφονται με ταχύτητες από 30 μ./δ. μέχρι 135 μ./δ. ενώ η διάμετρός τους δεν ξεπερνά τα 2 χλμ.⁸ Μπορούν να έχουν αρκετά σχήματα αλλά η κλασική εμφάνιση τους είναι η προβοσκίδα ελέφαντα που αποφύεται από τη βάση των σωρειτομελανιών.



Εικόνα 2.2.1.1 Χαρακτηριστική εμφάνιση στροβίλου ξηράς προβοσκίδας ελέφαντα. Κοντά στο έδαφος βλέπουμε να σχηματίζεται και νέφος από σκόνη και άλλα υλικά που σηκώνει ο αέρας. Πηγή : <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%AF%CF%86%CF%89%CE%BD%CE%B1%CF%82#/media/File:Dszpics1.jpg>, Αναζήτηση 15/03/2016

Δύο ή περισσότερες δίνες μπορεί να σχηματιστούν στο εσωτερικό ενός μεγαλύτερου σίφωνα, φαινόμενο που αναφέρεται ως «σίφωνας πολλαπλών στροβιλισμών» (multiple vortex tornado). Άλλες φορές, εναλλακτικά, ένας ή περισσότεροι «δορυφορικοί σίφωνες» (satellite tornadoes), συνήθως μικρών διαστάσεων, περιστρέφονται γύρω από έναν σίφωνα μεγάλων διαστάσεων⁹.

⁸ Glossary of Meteorology, <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Tornado>, Αναζήτηση στις 14/3/2016

⁹ NOAA, http://www.spc.ncep.noaa.gov/faq/tornado/#satellite_tornado1, Αναζήτηση στις 14/03/2016

Η κλίμακα ταξινόμησης των σιφώνων, ονομάζεται κλίμακα Φουτζίτα (Fujita Scale) και ταξινομεί τους σίφονες με βάση τις ζημιές στις ανθρώπινες κατασκευές και την βλάστηση. Η κλίμακα Φουτζίτα ξεκινάει από τους σίφονες F0, που προκαλούν ζημιές μόνο σε δέντρα και καπνοδόχους και φτάνει ως τους F5, που καταστρέφουν ολοκληρωτικά τα πάντα, αφήνοντας μόνο τα θεμέλια των κτιρίων και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές σε κατασκευές. Υπάρχει και το θεωρητικό επίπεδο F6, αλλά στην πράξη δεν έχει καταγραφεί ποτέ και οι πιθανότητες να συμβεί είναι ελάχιστες. Το 2004 αναπτύχθηκε η Ενισχυμένη Κλίμακα Φουτζίτα (Enhanced Fujita Scale) μια αναβάθμιση της παλαιότερης κλίμακας Φουτζίτα^{10 11}.

Η περιοχή με την μεγαλύτερη εκδήλωση αυτού του φαινομένου είναι οι Η.Π.Α. με 1170 παρατηρούμενους σιφώνες ετησίως. Στην Ευρώπη καταγράφονται πολύ λιγότεροι σιφώνες ετησίως (329+- 12) αν και θεωρείται πως ο πραγματικός αριθμός είναι πολύ μεγαλύτερος (697 +- 36)¹². Πιο συγκεκριμένα, στη Γερμανία, ο αριθμός των σιφώνων κυμαίνεται από 40 έως 70/έτος με τη μεγαλύτερη συχνότητα να παρουσιάζεται τη θερμή εποχή του έτους και χωρικά στη βόρεια παραλιακή ζώνη, στη κεντρική και νότια Γερμανία και στα ΝΔ¹³. Στην Ιταλία οι σίφονες παρουσιάζονται συχνότερα το καλοκαίρι και το φθινόπωρο στις Τυρρηνικές ακτές και τις ακτές του Ιονίου, ενώ το χειμώνα και την άνοιξη στην πεδιάδα του Φρίουλι και του Πο¹⁴.

¹⁰ NOAA Storm Prediction Center, <http://www.spc.noaa.gov/efscale/>, Αναζήτηση στις 14/03/2016

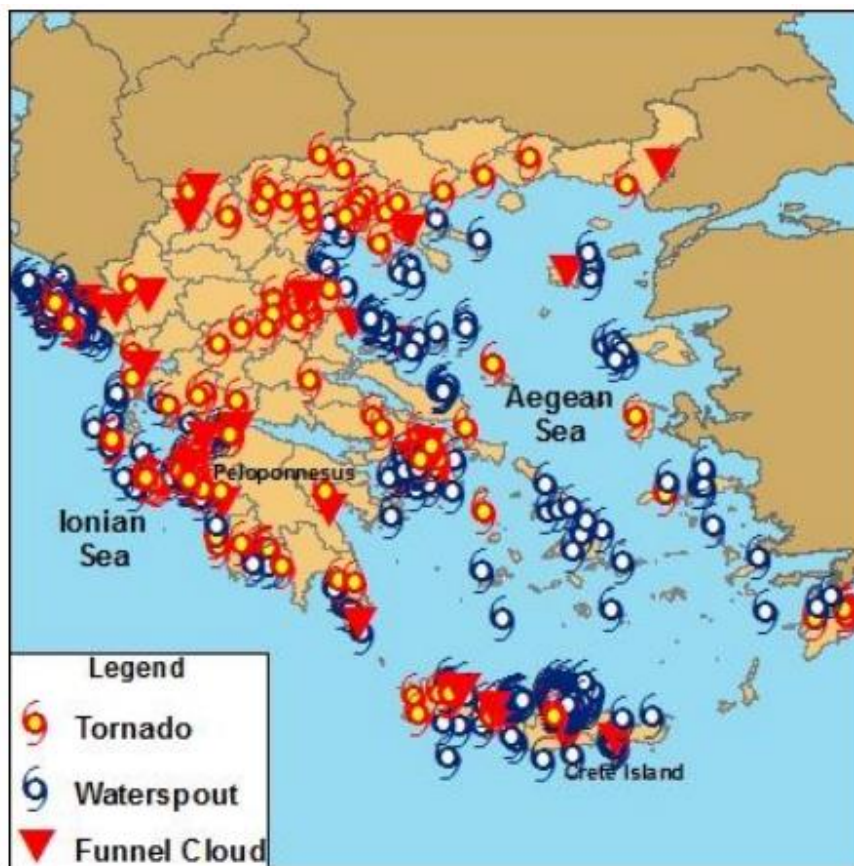
¹¹ Fujita Scale Enhancement Project
http://web.archive.org/web/20070306232403/http://www.wind.ttu.edu/F_Scale/, Αναζήτηση στις 14/03/2016

¹² Dotzek N., An updated estimate of tornado occurrence in Europe, Atmospheric Research, Volumes 67–68, July–September 2003, σελ. 153

¹³ Dotzek N., Tornadoes in Germany, Atmospheric Research Volume 56, Issues 1–4, Ιανουάριος 2001, σελ 233

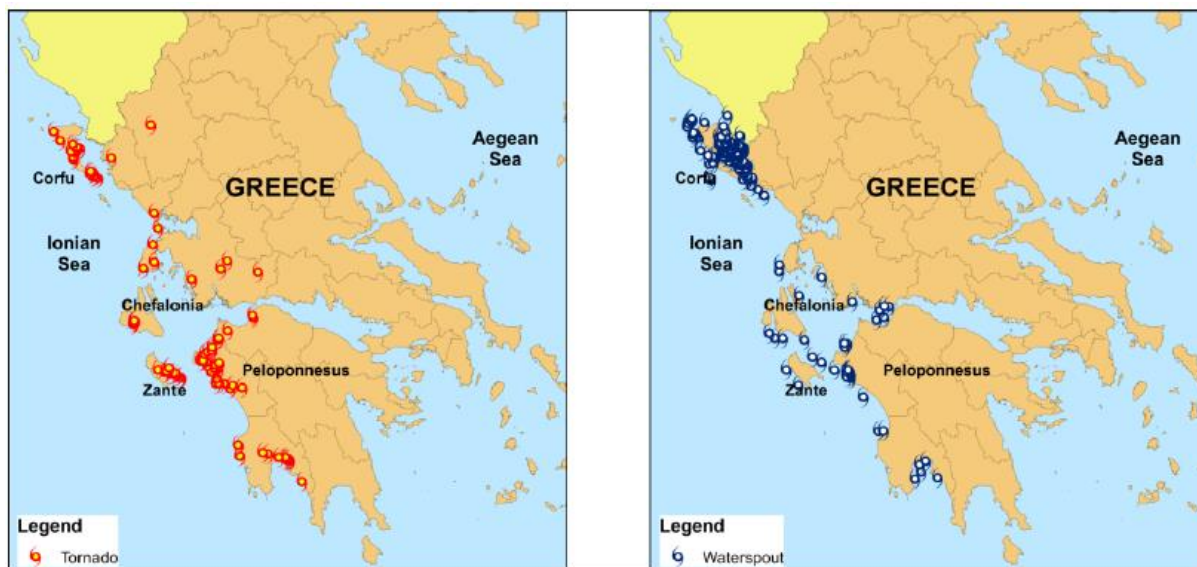
¹⁴ Dario B. Giaiottia, Mauro Giovannonib, Arturo Pucilloa, Fulvio Stel, The climatology of tornadoes and waterspouts in Italy, Atmospheric Research Volume 83, Issues 2–4, Φεβρουάριος 2007, σελ 534

Στην Ελλάδα οι σίφωνες εμφανίζονται συχνότερα στο Ιόνιο Πέλαγος και τις δυτικές παραλιακές περιοχές, καθώς και την Κρήτη και το Νότιο Αιγαίο Πέλαγος, κατά την ψυχρή εποχή του έτους¹⁵.



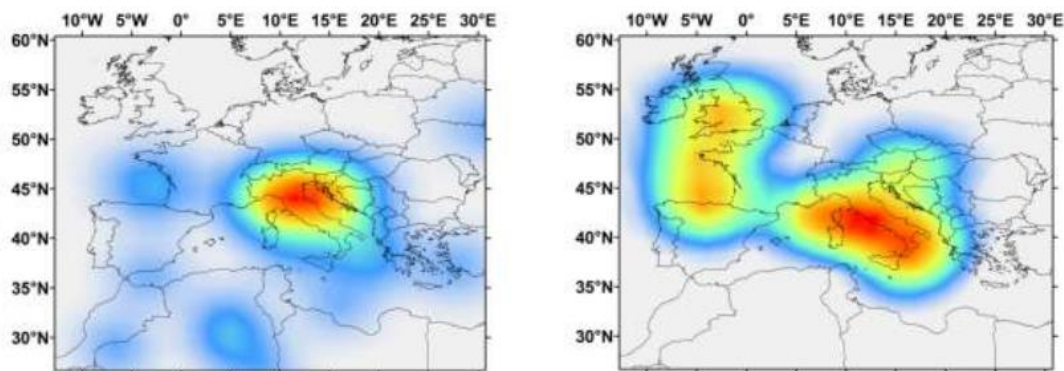
Εικόνα 2.2.1.2. κατανομή σιφώνων και funnel cloud στον Ελλαδικό χώρο. Πηγή: 300 YEARS HISTORICAL RECORDS OF TORNADOES, WATERSPOUTS AND FUNNEL CLOUDS OVER GREECE

¹⁵ Matsangouras I., Nastos P., Kouroutzoglou J., Flokas H., Hatzaki M., Track analysis of cyclones related to tornadoes over western Greece, Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, 2015



Εικόνα 2.2.1.3 Κατανομή των σιφώνων (αριστερά) και υδροσιφώνων (δεξιά) στην Δυτική Ελλάδα. Πηγή: Analysis of synoptic conditions for tornadic days over western Greece

Η ανάπτυξη των σιφώνων στην Δυτική Ελλάδα συνδέεται με την κυκλογενετική λειτουργία στην Ιταλία, που εντοπίζεται στα βόρεια της Ιταλίας το φθινόπωρο και στα δυτικά της Ιταλίας το χειμώνα¹⁶.



Εικόνα 2.2.1.4 Μέση χωρική κατανομή της κυκλογενετικής λειτουργίας που συνδέεται με την παρουσία στροβίλων στην Ελλάδα. Πηγή: Track analysis of cyclones related to tornadoes over western Greece

¹⁶ Matsangouras I., Nastos P., Kouroutzoglou J., Flokas H., Hatzaki M., Track analysis of cyclones related to tornadoes over western Greece, Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, 2015

Μεγαλύτερη συχνότητα παρουσιάζουν οι υδροσίφωνες, με 27,69 υδροσίφωνες/ έτος με το 1/3 από αυτούς να συμβαίνει στον χώρο της Κρήτης¹⁷.

Καθώς ο πληθυσμός έχει αυξηθεί και περισσότεροι άνθρωποι έχουν στην κατοχή τους σύγχρονα μέσα καταγραφής ο αριθμός καταγραφών έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, το οποίο σημαίνει ότι η εκτίμηση της τάσης εμφάνισης σιφώνων στην Ελλάδα δεν είναι απόλυτα ακριβής.



Εικόνα 2.2.1.5 Υδροστρόβιλος στα ανοιχτά της Κεφαλονιάς, 13/03/2016, στα αριστερά αυτού παρατηρείται ένα funnel cloud. Πηγή <http://www.kefaloniapress.gr/2016/03/13>

¹⁷ Atmospheric conditions analysis of waterspout events based on thermodynamic environment and sea surface temperature distribution over south Aegean Sea, Greece, Matsangouras I.T., Nastos P.T, Pytharoulis I., Miglietta M.M.

2.2.2 Ισχυρές Καταιγίδες (Severe Storms)

Καταιγίδα ονομάζεται κάθε διαταραχή της ατμόσφαιρας η οποία επηρεάζει την επιφάνεια της γης και υπονοεί δυσμενείς ή καταστροφικές καιρικές συνθήκες. Υπάρχουν τρεις απόψεις για τις καταιγίδες. Η πρώτη που αναφέρεται στη συνοπτική μετεωρολογία, όπου η καταιγίδα είναι μια διαταραχή που εντοπίζεται σε συνοπτικούς χάρτες ως ένα σύμπλεγμα πιέσεων, ανέμων, νεφών κτλ. Και προσδιορίζεται από μέσα όπως ραντάρ ή ραδιοβολίδες. Έτσι οι καταιγίδες κυμαίνονται σε κλίμακα από σίφωνες και κυκλώνες. Από μια ειδική άποψη ενδιαφέροντος, μια καταιγίδα είναι ένα παροδικό φαινόμενο που προσδιορίζονται από την πιο καταστροφική πτυχή του. Με τον τρόπο αυτό μιλάμε για καταιγίδες, θύελλες, χαλαζοπτώσεις, χιονοθύελλες. Τέλος από υδρολογικής άποψης ο όρος, "καταιγίδα" παραπέμπει κυρίως στη χωροχρονική κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιοχής. Ραγδαίες καταιγίδες ονομάζονται κάθε καταστροφική καταιγίδα, αλλά κυρίως σοβαρές τοπικές καταιγίδες όπως χαλαζοπτώσεις, χιονοθύελλες κτλ.¹⁸ Πολλές φορές ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλούνται από supercell καταιγίδες.

¹⁸ Glossary of Meteorology, <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Storm>, Αναζήτηση στις 22/03/2016



Εικόνα 2.2.2.1 Supercell cloud. Καθότι άλλα είδη καταιγίδων μοιάζουν αρκετά με αυτήν, την διακρίνουμε από το μέγεθός της και από την μεγάλης έκτασής της περιστροφή της. Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Chaparral_Supercell_2.JPG, Αναζήτηση στις 15/03/2016

Αυτές είναι καταιγίδες που χαρακτηρίζονται από επίμονα περιστρεφόμενα ανοδικά ρεύματα. Τα supercells εντοπίζονται συχνά απομονωμένα από τα άλλα είδη καταιγίδας, στο θερμό τμήμα ενός συστήματος χαμηλής πίεσης ακολουθώντας το ψυχρό μέτωπο. Τα supercell προκαλούν χαλαζοπτώσεις, καταρρακτώδεις βροχές, ισχυρούς ανέμους και είναι είδη των νεφών που παράγουν σιφώνες, αν και λιγότερο του 30% το πράττουν.

2.2.3 Χαλαζοπτώσεις (hailstorms)

Το χαλάζι είναι μια μορφή υετού, που αποτελείται από κομμάτια πάγου, μορφής σφαιριδίων ή άλλων σχημάτων, που ονομάζονται χαλαζόκοκκοι και πέφτουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων, από μεγάλα

καταιγιδοφόρα σύννεφα (σφρειτομελανίες). Οποιαδήποτε καταιγίδα συνοδεύεται από χαλάζι το οποίο φθάνει στο έδαφος χαρακτηρίζεται ως χαλαζόπτωση.



Εικόνα 2.2.3.1 Νέφη με χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα είναι σημάδι για πιθανή χαλαζόπτωση Πηγή https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CE%B6%CE%B9#/media/File:Hail_clouds.jpg
Αναζήτηση στις 15/03/2016

Για τον σχηματισμό χαλαζιού απαιτείται ισχυρά ανοδικά ρεύματα αέρα μέσα στο καταιγιδοφόρο νέφος, και χαμηλό υψόμετρο σημείου πήξης. Χαλαζοπτώσεις συμβαίνουν συχνότερα στην ηπειρωτική ενδοχώρα στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, ενώ είναι λιγότερο συχνές στις τροπικές περιοχές, παρά την πολύ υψηλότερη συχνότητα των καταιγίδων¹⁹. Οι χαλαζοπτώσεις είναι αρκετά συχνές κατά μήκος των οροσειρών καθώς λόγω του μηχανισμού της ορογραφικής ανύψωσης εντείνονται τα

¹⁹ Hand W., Cappelluti G., Global hail climatology using the UK Met Office convection diagnosis procedure (CDP) and model analyses, Meteorological Applications, Volume 18, Issue 4, σελ 446

ανοδικά ρεύματα στο εσωτερικό της καταιγίδας και αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης χαλαζιού.

Σοβαρές προειδοποιήσεις εκδίδονται για το χαλάζι, όταν οι χαλαζόκοκκοι φθάσουν σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος, που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στις ανθρώπινες κατασκευές και, συνηθέστερα, στις καλλιέργειες των αγροτών.



Εικόνα 2.2.3.2 Χαλαζόκοκκοι μετά από καταιγίδα στην περιοχή της Λάρισας, 17/06/2015. Πηγή: <http://www.newsbeast.gr/greece/arthro/1844429/zimies-stis-kalliergies-apo-chalazoptosi-sti-larisa>. Αναζήτηση στις 16/03/2016

Στην Ευρώπη αρκετές περιοχές πλήττονται από χαλαζοπτώσεις αλλά εξαιτίας της τοπικής έκτασης των περιοχών αυτών και της έλλειψης των κατάλληλων συστημάτων παρακολούθησης χαλαζοπτώσεων, η στατιστική ανάλυση της συχνότητάς τους δεν είναι εύκολη. Παρόλα αυτά φαίνεται πως μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζεται στην Κεντρική και ΝΑ Ευρώπη²⁰. Πιο συγκεκριμένα η Κροατία και η Σερβία, λόγω της

²⁰ H. Punge, M. Kunz, Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography, Atmospheric Research, Volumes 176–177, 1 July–1 August 2009, σελ 159

ορειογραφίας των περιοχών αυτών επηρεάζονται έντονα από το φαινόμενο αυτό²¹. Στη Γερμανία τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί αύξηση στον αριθμό ημερών με χαλαζόπτωση καθώς και αύξηση των καταστροφών που προκαλούνται από χαλαζοπτώσεις, παρόλο που ο αριθμός των καταιγίδων έχει μείνει σταθερός²².

Στην Ελλάδα οι χαλαζοπτώσεις εντοπίζονται γεωγραφικά στην Δυτική Ελλάδα και την Πελοπόννησο, το νησιά του Ιονίου, την οροσειρά της Πίνδου και την Ήπειρο κατά την ψυχρή εποχή του έτους και στην Μακεδονία και τα νησιά του Αιγαίου κατά την θερμή εποχή²³.

2.2.4 Κεραυνοί-Ηλεκτρικές Καταιγίδες (Lighting)

Οι κεραυνοί είναι ατμοσφαιρική εκκένωση ηλεκτρικής ενέργειας που συνοδεύεται από βροντή, και θεωρείται από τα πιο ισχυρά και εντυπωσιακά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Οι εκκενώσεις αυτές μπορεί να είναι από σύννεφο σε σύννεφο (Cloud to Cloud- CtC), από σύννεφο στον αέρα (Cloud to Air) CtA ή από σύννεφο στο έδαφος (Cloud to Ground-CtG). Κατέχουν ιδιαίτερη θέση στην επιστημονική βιβλιογραφία δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσουν θανάτους, τραυματισμούς και ζημιές. Ως εκ τούτου, μια λεπτομερή γνώση της εμφάνισης και των επιπτώσεων του κεραυνού είναι απαραίτητη για το

²¹ Počakal D., Večenaj Z., Štalec J., Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography, Atmospheric Research Volume 93, Issues 1–3, Ιούλιος 2009, σελ 517

²² M. Kunz, J. Sandera, Ch. Kottmeiera, Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany, INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY, 2009, Volume 29, σελ. 2287

²³ Catsoulis B., Carapiperis L. Frequency of Hail Occurrence in Greece, 2012, Weather, Volume 39, σελ 183

γενικό κοινό, καθώς και για ειδικούς χρήστες, όπως οι υπηρεσίες πολιτικής αεροπορίας και τις εταιρείες ηλεκτρισμού είναι αναγκαία^{24 25}.



Εικόνα 2.2.4.1 Cloud to Ground, negative Πηγή: <http://alldaynews.gr/wp-content/uploads/2015/06/image007.jpg>
Αναζήτηση 20/03/2016

Στην Ευρώπη η κατανομή του φαινομένου παρουσιάζει ιδιαιτερότητες. Την θερμή εποχή του έτους σημειώνεται η μεγαλύτερη παρουσία του πάνω από τη ξηρά ενώ την ψυχρή παρατηρείται το αντίθετο. Το καλοκαίρι η μεγαλύτερη συγκέντρωση παρατηρείται πάνω από τοπογραφικά ανυψωμένες περιοχές όπως οι Άλπεις. Τον χειμώνα ο συνολικός αριθμός των κεραυνών είναι μικρότερος και την μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζει η ΝΑ Μεσόγειος. Την άνοιξη παρουσιάζεται αρκετά μεγάλος

²⁴ Holt M., Hardaker P. McLelland G., A lightning climatology for Europe and the UK, 1990-99, Weather, 2001, Volume 56, σελ. 290

²⁵ Matsangouras I., Nastos P., Kapsomenakis J. ,Cloud-to-ground lightning activity over Greece: Spatio-temporal analysis and impacts, Elsevier, 2015 σελ 486

αριθμός κεραυνών σε όλη την ήπειρο. Το φθινόπωρο οι περισσότεροι κεραυνοί εμφανίζονται πάνω από τοπογραφικά ανυψωμένες περιοχές²⁶.

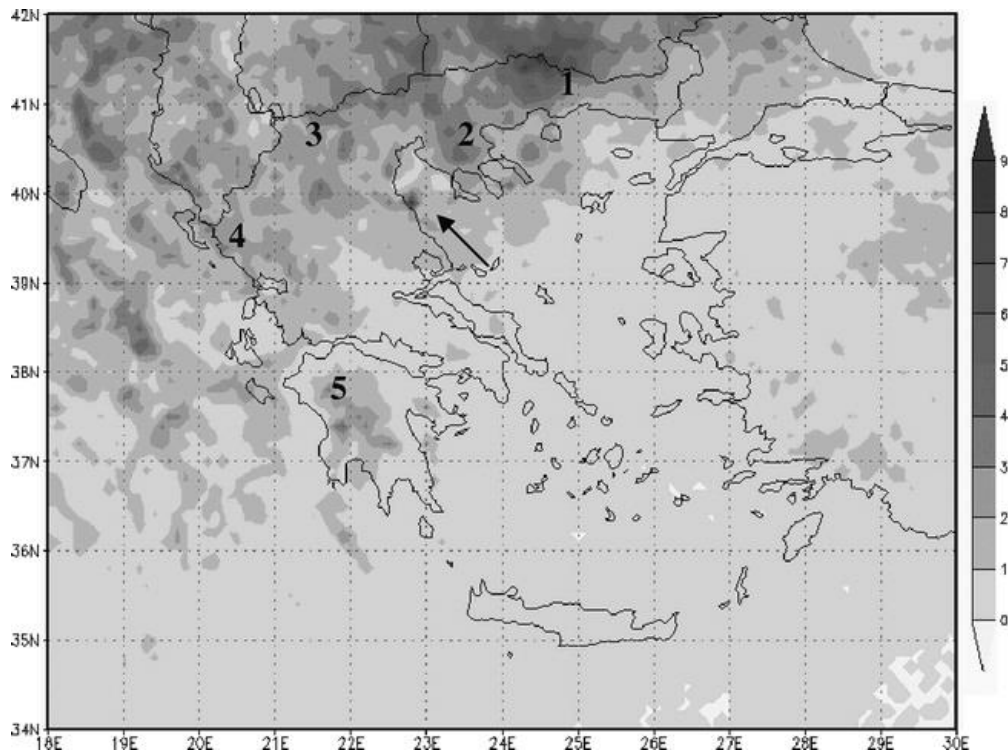
Στην περιοχή των Άλπεων οι πυρκαγιές που ξεσπούν και οφείλονται σε πτώση κεραυνού αυξάνονται τις τελευταίες δεκαετίες; σε μερικές περιοχές μάλιστα φτάνει και στο 1/3 των περιπτώσεων πυρκαγιάς²⁷.

Στην Ελλάδα, κάθε χρόνο, καταιγίδες που συνοδεύεται με κεραυνούς προκαλεί σοβαρές ζημιές στη γεωργία και το θάνατο τουλάχιστον ενός ατόμου. Οι πυρκαγιές που προκαλούνται από κεραυνούς μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στη περιουσία και τη φυσική βλάστηση. Όσον αφορά τη χωρική κατανομή των κεραυνών, η ηπειρωτική περιοχή της Ελλάδας συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό φαινομένων. Αντίθετα στην περιοχή του Αιγαίου παρουσιάζονται οι λιγότερες περιπτώσεις κεραυνών. Επίσης η πυκνότητά του φαινομένου αυτού αυξάνεται με το υψόμετρο²⁸.

²⁶ Holt M., Hardaker P. McLelland G., A lightning climatology for Europe and the UK, 1990-99, *Weather*, 2001, Volume 56, σελ. 292-293

²⁷ Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem, V International Conference on Forest Fire Research, D. X. Viegas (Ed.), 2006

²⁸ Mazarakis N., Kotroni V., Lagouvardos K., Storms and Lightning Activity in Greece during the Warm Periods of 2003–06, <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/2008JAMC1798.1>, Ανάκτηση 20/03/2016



Εικόνα 2.2.4.2 Σχετική πυκνότητα κατανομής κεραυνών στον Ελλαδικό χώρο, θερμή εποχή του έτους (Μάιος-Οκτώβριος). Πηγή : *Storms and Lightning Activity in Greece during the Warm Periods of 2003–06*

Από το 2007 η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία εγκατέστησε δίκτυο από αισθητήρες ανίχνευσης κεραυνών το οποίο καλύπτει τον Ελλαδικό χώρο. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται με μεγαλύτερη συχνότητα κατά το φθινόπωρο και την άνοιξη, στην ηπειρωτική Ελλάδα και την οροσειρά της Πίνδου²⁹.

²⁹ Matsangouras I., Nastos P., Kapsomenakis J. ,Cloud-to-ground lightning activity over Greece: Spatio-temporal analysis and impacts, Elsevier, 2015 σελ 487-488



Εικόνα 2.2.4.3 Πυρκαγιά από πτώση κεραυνού, 14/08/2015, Πρέβεζα, Πηγή: <http://1.bp.blogspot.com/-9niVJZDRhcq/Vc5oenyDcTI/AAAAAABwTO/RjpbYiUP9w/s1600/%25CE%25A4%25CE%2591%25CE%25A1%25CE%2591.jpg>, Ανάκτηση 20/03/2016

2.2.5 Χιονοπτώσεις-Snowfalls

Ως χιονόπτωση ονομάζεται η πτώση υετού με την μορφή χιονιού από τα νέφη και σχηματίζονται εντός περιοχών με ανοδική κίνηση του αέρα γύρω από ένα τύπο συστήματος χαμηλής πίεσης γνωστό ως extratropical κυκλώνας. Όταν φτάσει στο έδαφος το χιόνι έχει συνήθως μορφή νιφάδων και είναι ελαφρύ, ώστε το παρασέρνει ο άνεμος και το καταθέτει σε περιοχές συγκέντρωσης μάζας χιονιού που ονομάζονται snowdrifts.

Η χιονοθύελλα είναι μια έντονη χειμερινή καταιγίδα που χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες, ισχυρούς ανέμους και έντονη χιονόπτωση. Τα κριτήρια για να κατηγοριοποιηθεί μια καταιγίδα ως χιονοθύελλα διαφέρουν από χώρα σε χώρα.



Εικόνα 2.2.5.1 Χιόνι, προϊόν χιονόπτωσης στα Καρπάθια. Πηγή:
https://en.wikipedia.org/wiki/Snow#/media/File:Snow_on_the_Carpathian_Mountains,_Romania.JPG.
Αναζήτηση στις 22/03/2016

Χιονοστιβάδα ονομάζεται μια ταχέως κινούμενη μάζα χιονιού η οποία έχει αποκοπεί από μια κεκλιμένη επιφάνεια. Οι χιονοστιβάδες ξεκινάν μετά από μια μηχανική αποτυχία (failure) στη μάζα χιονιού (snowpack) που έχει συγκεντρωθεί, λόγω αυξημένου φορτίου χιονιού εξαιτίας μεγάλης συγκέντρωσης υετού. Μετά την έναρξη τους, οι χιονοστιβάδες συνήθως επιταχύνουν γρήγορα και αναπτύσσονται σε μάζα και όγκο, καθώς συμπαρασύρουν περισσότερο χιόνι. Συμβαίνουν σε ορεινές περιοχές, την ψυχρή εποχή του έτους και απειλούν ανθρώπινες ζωές και εγκαταστάσεις όπως χειμερινά θέρετρα και αθλητικές εγκαταστάσεις³⁰.

³⁰ NOAA, <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Snowslide>, Αναζήτηση στις 22/03/2016

Αν τα προϊόντα της χιονόπτωσης παραμείνουν στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα, το χιόνι σταδιακά και περνώντας από διάφορα στάδια (firn-ενδιάμεσο είδος πάγου μεταξύ χιονιού και παγετωνικού πάγου³¹) εξελίσσεται σε μια μάζα πάγου που ονομάζεται παγετώνας (glacier). Υπάρχουν πολλά είδη παγετώνων ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την τοπογραφία.



Εικόνα 2.2.5.2 Firn στο Hohe Tauern στις Κεντρικές Ανατολικές Άλπεις. Πηγή : https://en.wikipedia.org/wiki/Firn#/media/File:Firn_field_on_the_top_of_S%C3%A4uleck.jpg

Σοβαρή χιονόπτωση μπορεί να διαταράξει τις δημόσιες υποδομές και υπηρεσίες, ενώ οι εναέριες και χερσαίες μεταφορές μπορεί να παρεμποδιστούν ή και να σταματήσουν την λειτουργία τους τελείως. Υπηρεσίες κοινής ωφελείας όπως οι τηλεφωνικές γραμμές ή το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά σε περίπτωση χιονοθύελλας³². Η

³¹ Encyclopedia Britannica, <http://www.britannica.com/science/firn>, Αναζήτηση στις 22/03/2016

³² National Snow and Ice Data Center, <https://web.archive.org/web/20090428171243/http://nsidc.org:80/snow/shovel.html>, Αναζήτηση στις 23/03/2016

καταστροφή των υποδομών αυτών μπορεί να επιφέρουν διαταραχή στην ομαλή λειτουργία μιας κοινότητας ή μιας περιοχής.

Στην Ευρώπη υπάρχουν δύο κύριες οδοί αερίων μαζών που φέρουν άφθονες χιονοπτώσεις. Η περιοχή του Ατλαντικού και η Μεσόγειος³³. Χώρες και περιοχές της Ευρώπης που βρίσκονται παραθαλάσσια (όπως το Η.Β. η Πορτογαλία περιοχές της Γαλλίας της Γερμανίας κτλ.) δέχονται μικρή ποσότητα χιονόπτωσης σε αντίθεση με περιοχές που βρίσκονται στο εσωτερικό της ηπείρου (περιοχή των Άλπεων, Ανατολική Ευρώπη κτλ.).³⁴

Στην Ελλάδα μεγάλη συχνότητα χιονόπτωσης παρουσιάζεται στα Δυτικά και ΒΔ όπου οι χιονοπτώσεις συνδέονται χαμηλές πιέσεις πάνω από το Ιόνιο Πέλαγος σε συνδυασμό με αντικυκλώνες πάνω από τη Δυτική Ευρώπη, που προκαλούν ψυχρές ΒΔ ροές στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Από τα Ανατολικά αντικυκλώνες της ανατολικής Ευρώπης σε συνδυασμό με χαμηλές βαρομετρικές πιέσεις στην Ανατολική Μεσόγειο προκαλεί ισχυρούς ΒΑ ανέμους με παρουσία χιονιού στην Ανατολική Ελλάδα³⁵. Ο μήνας με τις περισσότερες μέρες με χιονόπτωση στις παράκτιες περιοχές είναι ο Φεβρουάριος, ενώ στα υψίπεδα ο Ιανουάριος³⁶.

³³ Bednorz E., Synoptic conditions of heavy snowfalls in Europe, 2012, Geografiska Annaler,

³⁴ Snow Engineering 2000: Recent Advances and Developments, Hjorth E., Hansen, I. Holand S., Loset S., Norem H. (ed), A.A.BALKEMA, 2000, σελ.275

³⁵ Prexerakos G., Angouridakis E., ,SYNOPTIC CONSIDERATION OF SNOWFALL IN ATHENS, JOURNAL OF CLIMATOLOGY, VOL. 4, (1984), σελ. 271

³⁶ Prexerakos G., Angouridakis E., ,SYNOPTIC CONSIDERATION OF SNOWFALL IN ATHENS, JOURNAL OF CLIMATOLOGY, VOL. 4, (1984), σελ. 270



Εικόνα 2.2.5.3 Χιονόπτωση στο Βόλο, 30/12/2014, Πηγή: <http://magnesianews.gr/wp-content/uploads/2014/12/portaria2.jpg>, Αναζήτηση στις 22/03/2016

2.2.6 Ισχυροί άνεμοι (Wind gusts)

Wind gust ονομάζεται μια ριπή ανέμου υψηλής ταχύτητας όπου η μέγιστή του ταχύτητα υπερβαίνει την ελάχιστή του κατά 19 χλμ/ώρα. Τα wind gusts δεν διαρκούν πολύ (από κάποια δευτερόλεπτα έως λίγα λεπτά) αλλά προκαλούν ζημιές σε στέγες, κατάρρευση δέντρων κτλ. και μπορεί να προκαλέσουν μέχρι και απώλεια ζωών³⁷. Στην Ευρώπη παρατηρείται με μεγαλύτερη συχνότητα στη Κεντρική και Δυτική Ευρώπη και την Ισλανδία, και λιγότερο στην Ιβηρική χερσόνησος και την Μεσόγειο. Στην Ελλάδα παρατηρείται κυρίως στο Ιόνιο και την Δυτική Ελλάδα, την Πελοπόννησο και τη νήσο της Κρήτης³⁸.

³⁷ NOAA, <http://graphical.weather.gov/definitions/defineWindGust.html>, Αναζήτηση στις 22/03/2016

³⁸ European Severe Weather Database, <http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>, Αναζήτηση στις 24/03/2016



Εικόνα 2.2.6.1 Πτώση δέντρου μετά από Wind Gust, Αχαΐα, 20/02/2016. Πηγή : <http://www.onairnews.gr/wp-content/uploads/2016/02/1-1335-620x371.jpg> Αναζήτηση στις 22/03/2016

2.2.7 Μέγα-Πυρκαγιές (Wild Fires)

Ονομάζονται οι μεγάλες πυρκαγιές που αναπτύσσονται με μεγάλη ταχύτητα σε περιοχές με δασικές εκτάσεις ή χαμηλή βλάστηση που χρησιμεύει ως καύσιμη ύλη για την πυρκαγιά. Μια τέτοια πυρκαγιά ξεχωρίζει από άλλες λόγω του μεγέθους της, της ταχύτητάς επέκτασής από το σημείο γέννησής της, της ικανότητά της να αλλάζει κατεύθυνση απότομα και να δημιουργεί το δικό της κλίμα στην περιοχή που επηρεάζει³⁹ ⁴⁰. Αν η πυρκαγιά αναπτυχθεί πολύ σε σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να δημιουργήσουν ιδιαίτερα είδη νεφών, όπως ένα pyrocumulus ή ακόμα και ένα pyrocumulonimbus. Τα τελευταία έχουν

³⁹ Cambridge Dictionaries, <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/wildfire>, Αναζήτηση στα 24/03/2016

⁴⁰ BBC forest fires, http://www.bbc.co.uk/science/earth/natural_disasters/forest_fire, Αναζήτηση στα 24/03/2016 από αυτά

μεγάλη κάθετη ανύψωση και οποία συχνά φθάνουν στην κατώτερη στρατόσφαιρα. Δημιουργούνται λόγω της αναδυόμενης θερμότητας και του καπνού της πυρκαγιάς και έχουν λευκό ως υπόλευκο χρώμα, ενώ έχει παρατηρηθεί και δημιουργία καταιγιδοφόρων φαινομένων σε αυτά ⁴¹.



Εικόνα 2.2.7.1 Ίχνος καπνού και δημιουργία νέφους pyrocumulus, wildfire, Υμηττός 17/07/2015, Πηγή: <http://www.naftemporiki.gr/fu/p/979643/638/399/0x000000000e3ee8d/2/se-ekseliksi-purkagia-ston-ymitto.jpg>, Αναζήτηση στις 24/03/2016

Οι πυρκαγιές έχουν ως επίπτωση την καταστροφή μεγάλων δασικών και αγροτικών εκτάσεων, ιδιωτικής περιουσίας, ενώ έχουν σημειωθεί και πολλές απώλειες ζωής. Η απώλεια δασικών εκτάσεων έχει ως συνέπεια την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ενώ στις περιοχές τα οποία έχουν σημειωθεί πυρκαγιές, το έδαφος αποπλένεται και έχουμε ως αποτέλεσμα την διάβρωση με και την αύξηση πλημμυρικών φαινομένων. Τέλος η απελευθέρωση καπνού και άλλων αερίων κατά την πυρκαγιά προκαλεί αύξηση των αναπνευστικών

⁴¹ Glossary of Meteorology ,<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Pyrocumulonimbus>, Αναζήτηση στις 24/03/2016

προβλημάτων του εκτεθειμένου πληθυσμού, ενώ έχουν ανιχνευθεί και ψυχολογικά προβλήματα στον πληθυσμό τα οποία δεν πρέπει να αγνοηθούν⁴².

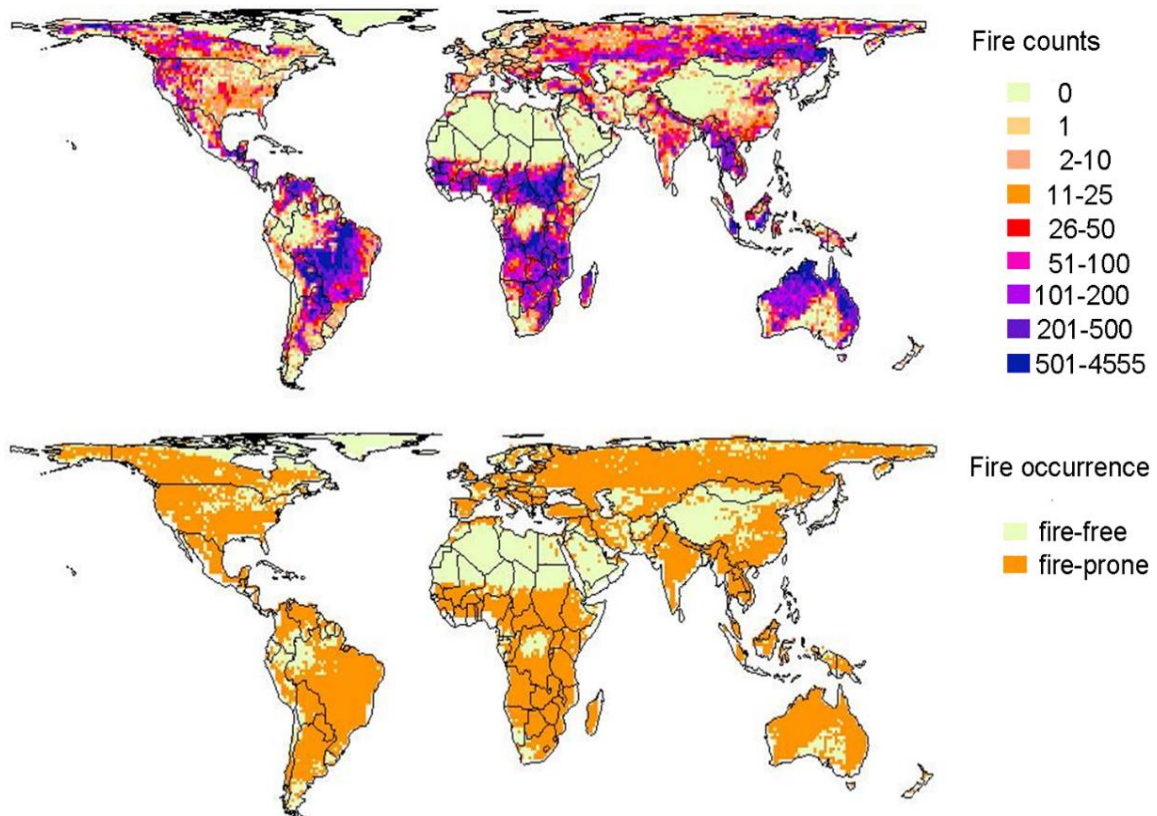
Οι δασικές πυρκαγιές είναι «οιονεί-φυσικό» (quasi-natural) φαινόμενο, διότι δεν είναι απόλυτα φυσικές διεργασίες καθώς προκαλούνται και από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η πιο συνηθισμένη ανθρώπινη αιτία πυρκαγιών είναι ο εμπρησμός ενώ οι μεγαλύτερες φυσικές αιτίες ανάφλεξης πυρκαγιών είναι η πτώση κεραυνού, οι εκρήξεις ηφαιστείων, σπινθήρες από πτώσεις βράχων, και η αυτανάφλεξη⁴³. Επίσης καιρικά ή κλιματικά φαινόμενα όπως, περίοδοι ξηρασίας (drought) κύματα καύσωνα (heat waves), και τηλεσυνδέσεις όπως το ENSO (El Nino-Southern Oscillation) μπορεί να αυξήσουν την εμφάνιση μέγα-πυρκαγιών.

Η παγκόσμια χωρική κατανομή πυρκαγιών παρουσιάζει συγκέντρωση στην τροπική ζώνη , τις δυτικές ΗΠΑ, μεγάλες εκτάσεις της Αυστραλίας καθώς και περιοχές της Μεσογείου και της Κ. Ασίας⁴⁴.

⁴² Caamano-Isorna F., Figueiras A., Sastre I., Montes-Martínez A., Taracido M., Piñeiro-Lamas M., Respiratory and mental health effects of wildfires:an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain), *Environmental Health*, σελ. 2,3

⁴³ Scott A., The Pre-Quaternary history of fire, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 164, Issues 1–4, December 2000, σελ. 164

⁴⁴ Krawchuk M. , Moritz M. , Parisien M. , Dorn J. , Hayhoe K., (2009)Global Pyrogeography: the Current and Future Distribution of Wildfire, <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0005102>, Αναζήτηση στις 24/03/2016



Εικόνα 2.2.7.2 Χωρική κατανομή των μέγα-πυρκαγιών. Επάνω αριθμός πυρκαγιών ανά περιοχή. Κάτω οι περιοχές που απειλούνται από πυρκαγιά. Πηγή: *Global Pyrogeography: the Current and Future Distribution of Wildfire*, <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0005102#s2>, Ανάκτηση 24/03/2016

Στις ΗΠΑ από την δεκαετία του 1980 οι μέγα-πυρκαγιές σημειώνουν αύξηση στη συχνότητα και στο χρονικό διάστημα που οι πυρκαγιές δρούσαν. Ταυτόχρονα έχει σημειωθεί αύξηση των θερμοκρασιών των περιόδων της άνοιξης και ξηρότερα καλοκαίρια⁴⁵. Στην Υποσαχάρια Αφρική η χωρική κατανομή των πυρκαγιών είναι εκτεταμένη, ενώ η χρονική τους κατανομή συγκεντρώνεται στην ξηρή εποχή του έτους. Για τις περιοχές βόρεια του Ισημερινού αυτή είναι από Νοέμβριο ως Φεβρουάριο, ενώ αντίστοιχα νότια του Ισημερινού από Μάιο ως τον

⁴⁵ Westerling A.L., Hidalgo A. G., Cayan D. R, Swetnam T. W., Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity, *Science* 18 Aug 2006: Vol. 313, Issue 5789

Οκτώβριο. Ο τύπος βλάστησης που καίγεται συχνότερα είναι η σαβάνα (~50% καίγεται κάθε 2 χρόνια).⁴⁶

Στην Αυστραλία φαινόμενα όπως το ENSO επηρεάζουν σε πολύ σημαντικό βαθμό την εμφάνιση wildfires. Η φάση La Nina του ENSO προκαλεί περισσότερες βροχοπτώσεις και μεγαλύτερη παραγωγή βλάστησης (undergrowth), η οποία λειτουργεί ως καύσιμη ύλη για τις πυρκαγιές στην θερμή εποχή του έτους⁴⁷. Η χωρική κατανομή εντοπίζεται στα Β στα ΝΑ και στα ΝΔ. Ενδεχόμενες αλλαγές στην ένταση των κλιματικών ακραίων θα επιφέρει αλλαγές στη συχνότητα και την διάρκεια των υγρών και ξηρών περιόδων του έτους και πιθανά των μεγαπυρκαγιών. Αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιών θα επιφέρει κινδύνους στα οικοσυστήματα και τις κοινότητες της χώρας.⁴⁸

Year of wildfire	Rainfall in the rain-year before wildfire	Rainfall in the rain-year of wildfire
1917	503.8	303.5
1951	364.6	143.9
1974	809.2	157
2001	403.6	226.6
$\bar{X} (\pm 1 SE)$	520.3 (100.6)	207.8 (36.7)

Εικόνα 2.2.7.3 Η βροχόπτωση τη χρονιά πριν και μετά την εμφάνιση μεγαπυρκαγιών. Πηγή: THE RESPONSES OF MAMMALS TO LA NINA (EL NINO SOUTHERN OSCILLATION)–ASSOCIATED RAINFALL, PREDATION, AND WILDFIRE IN CENTRAL AUSTRALIA, σελ 691

⁴⁶ Gatebe C. K., Ichoku C. M., Poudyal R, Román M. O., Wilcox E., Surface albedo darkening from wildfires in northern sub-Saharan Africa, Environmental Research Letters, Volume 9, Number 6, June 2014

⁴⁷ Letnic M., Tamayo B., Dickman C. Journal of Mammalogy, THE RESPONSES OF MAMMALS TO LA NINA (EL NINOSOUTHERN OSCILLATION)–ASSOCIATED RAINFALL, PREDATION, AND WILDFIRE IN CENTRAL AUSTRALIA, 2006, <https://jammal.oxfordjournals.org/content/86/4/689.full>, σελ. 690

⁴⁸ O'Donnel A. J., Boer M. M., McCaw W. L., Grierson P. F., Climatic anomalies drive wildfire occurrence and extent in semi-arid shrublands and woodlands of southwest Australia, ECOSPHERE, November 2011, Volume 2, σελ. 10

Στην Ευρώπη οι πυρκαγιές καταστρέφουν $5 \cdot 10^5$ εκτάρια γης κάθε χρόνο, με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της έκτασης να εντοπίζεται στη περιοχή της Μεσογείου, η οποία λόγω των βιογεωγραφικών της συνθηκών βρίσκεται σε υψηλότερο κίνδυνο σε τέτοια φαινόμενα. Με την κλιματική αλλαγή είναι πιθανό, η βλάστηση που λειτουργεί ως καύσιμη ύλη για την πυρκαγιά, να γίνει πιο εύφλεκτη λόγω ξηρασίας⁴⁹.

Η Ελλάδα λόγω των κλιματικών και βιογεωγραφικών της συνθηκών βρίσκεται σε μεγάλο κίνδυνο από wildfires. Κάθε χρόνο μεγάλες εκτάσεις γης καταστρέφονται εξαιτίας πυρκαγιών. Η χειρότερη χρονιά ήταν το 2007 όπου υπήρξε απώλεια $2 \cdot 10^5$ εκτ. γης (~6% των δασικών και καλλιεργούμενων εκτάσεων).⁵⁰ Οι μετεωρολογικές-κλιματικές συνθήκες που ευνοούν στην ανάπτυξη και εξάπλωση μεγαπυρκαγιών είναι αρκετές αλλά μπορούμε να πούμε πως οι μεταβλητές της θερμοκρασίας, σχετικής και απόλυτης υγρασίας, ο γεωστροφικό άνεμος και η πίεση στη ΜΣΘ είναι οι πιο βασικές. Ισχυρή θερμή κυκλωνική λειτουργία δημιουργεί ασυνήθιστα υψηλή ταχύτητα ανέμου ενώ η ξηρασία που επικρατεί την θερμή εποχή του έτους λόγω της ελάχιστης βροχόπτωσης βοηθάει στην εξάπλωση πυρκαγιών⁵¹.

⁴⁹ Sifakis N. , Iossifidis C., Kontoes C. Keramitsoglou I. , Wildfire Detection and Tracking over Greece Using MSG-SEVIRI Satellite Data, Remote Sensing, 9 March 2011

⁵⁰ Sifakis N. , Iossifidis C., Kontoes C. Keramitsoglou I. , Wildfire Detection and Tracking over Greece Using MSG-SEVIRI Satellite Data, Remote Sensing, 9 March 2011

⁵¹ Papadopoulos A., Paschalidou A., Kassomenos A., McGregor G, Investigating the relationship of meteorological/climatological conditions and wildfires in Greece, Springer-Verlag 22 July 2012, σελ. 125



Εικόνα 2.2.7.4 Οι μέγα-πυρκαγιές του Αυγούστου του 2007, δορυφορική εικόνα. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/2007_Greek_forest_fires#/media/File:25August_2007_Greek_fires.jpg, Αναζήτηση στις 25/03/2016

2.3 Κλιματικά Φαινόμενα

2.3.1 Ξηρασία (Drought)

Ξηρασία ονομάζεται η παρατεταμένη περίοδος ανομβρίας πάνω από μια περιοχή, η οποία προκαλεί έλλειψη νερού με δυσμενείς συνέπειες. Η ξηρασία είναι μια εκτροπή από τις κανονικές κλιματικές συνθήκες, και μπορεί να διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Ο ανθρώπινος παράγοντας μπορεί να επιδεινώσει την επίδραση της ξηρασίας σε μια

περιοχή, μέσω της μεγάλης χρήσης των υδάτινων πόρων μια περιοχής για ύδρευση, άρδευση, ενέργεια κ.α.

Υπάρχουν αρκετοί τρόπου να προσδιοριστεί ο όρος ξηρασία.

Η μετεωρολογική ξηρασία αναφέρεται στην ξηρασία που υφίσταται σε μια περιοχή και προηγείται από τα άλλα είδη ξηρασίας. Προκαλείται όταν υπάρξει παρατεταμένο διάστημα με κάτω του μέσου όρου υετός.

Αγροτική ή καλλιεργητική ξηρασία (agricultural drought) είναι αυτές που επηρεάζουν τις σοδειές ή την οικολογία μια περιοχής. Αυτές προκαλούνται από αλλαγές στην ποσότητα υετού όταν οι συνθήκες του εδάφους και η διάβρωση που προκαλούνται από κακές αγροτικές τακτικές προκαλέσουν ελλείματα νερού στη γη.⁵²

Η υδρολογική ξηρασία προκαλείται όταν η ποσότητα νερού σε ταμιευτήρες όπως λίμνες, φράγματα και τον υδροφόρο ορίζοντα πέσουν κάτω από το μέσο όρο τους. Μια τέτοια ξηρασία προκαλείται από έναν συνδυασμό παραγόντων. Ένα παράδειγμα υδρολογικής ξηρασίας είναι η λίμνη Αράλη.⁵³

⁵² NOAA, Drought, <http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/climate/Drought.pdf>, Αναζήτηση στις 23/03/2016

⁵³ NOAA, <http://www.nws.noaa.gov/os/brochures/climate/DroughtPublic2.pdf>, Αναζήτηση στις 23/03/2016



Εικόνα 2.3.1.1 Υδρολογική Ξηρασία-Πλοίο παρατημένο στο- ξηρό πια- πυθμένα της λίμνης Αράλης. Πηγή: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Aralship2.jpg/1024px-Aralship2.jpg>, Αναζήτηση στις 21/03/2016

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να αλλάξει το ισοζύγιο νερού σε πολλές περιοχές του κόσμου αλλά και στην Ευρώπη, με πιθανές αλλαγές στη χωρική κατανομή του νερού, και μείωση των απορροών των υδρογραφικών συστημάτων της ηπείρου, κυρίως στα Ν και ΝΑ αυτής⁵⁴.

Στην Ελλάδα οι ξηρασίες παρατηρούνται συνήθως στο θερμό τμήμα του έτους, ενώ η συχνότητά τους είναι σχεδόν ίδια σε όλο τον Ελλαδικό χώρο- με μια μικρή μείωση από τα δυτικά στα ανατολικά. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μια αυξητική τάση των πυρκαγιών που ξεσπούν και των ετήσιων και θερινών περιπτώσεων ξηρασίας στην Ελλάδα, τόσο σε αριθμό όσο και σε καμένη έκταση⁵⁵. Με την κλιματική αλλαγή και την

⁵⁴ G. Forzieri, L. Feyen, R. Rojas, M. Flörke, F. Wimmer, A. Bianchi Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2013, σελ. 10720-10722

⁵⁵ Dimitrakopoulos A., Vlahou M., Anagnostopoulou G., Mitsopoulos D., Impact of drought on wildland fires in Greece: implications of climatic change?, *Climatic Change* (2011), σελ. 344,345

άνοδο των θερμοκρασιών στο χώρο της Μεσογείου αναμένεται αύξηση της συχνότητας των ξηρασιών αλλά και των ακροτάτων αυτών⁵⁶.

2.3.2 Κύματα Καύσωνα (Heat Waves)

Κύματα καύσωνα (heat waves) ονομάζονται χρονικές περίοδοι πολύ υψηλών θερμοκρασιών που μπορεί να συνοδεύονται από υψηλή υγρασία. Παρόλο αυτά οι ορισμοί ποικίλουν και συχνά ορίζονται με βάση τις συνηθισμένες καιρικές συνθήκες μια περιοχής και τις θερμοκρασίες μια συγκεκριμένης εποχής⁵⁷. Ο ορισμός της E.M.Y. για τον καύσωνα είναι η μέγιστη θερμοκρασία σε συνοπτικούς ή αεροναυτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς να είναι μεγαλύτερη ή ίση των 39 βαθμών Κελσίου, η ελάχιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση των 26 βαθμών Κελσίου, να επικρατεί άπνοια ή ασθενείς άνεμοι και το θερμοκρασιακό εύρος να είναι μικρό. Τέλος οι υψηλές θερμοκρασίες να παρατηρούνται σε ευρεία γεωγραφική έκταση και η διάρκειά τους υπερβαίνει τις τρεις ημέρες.

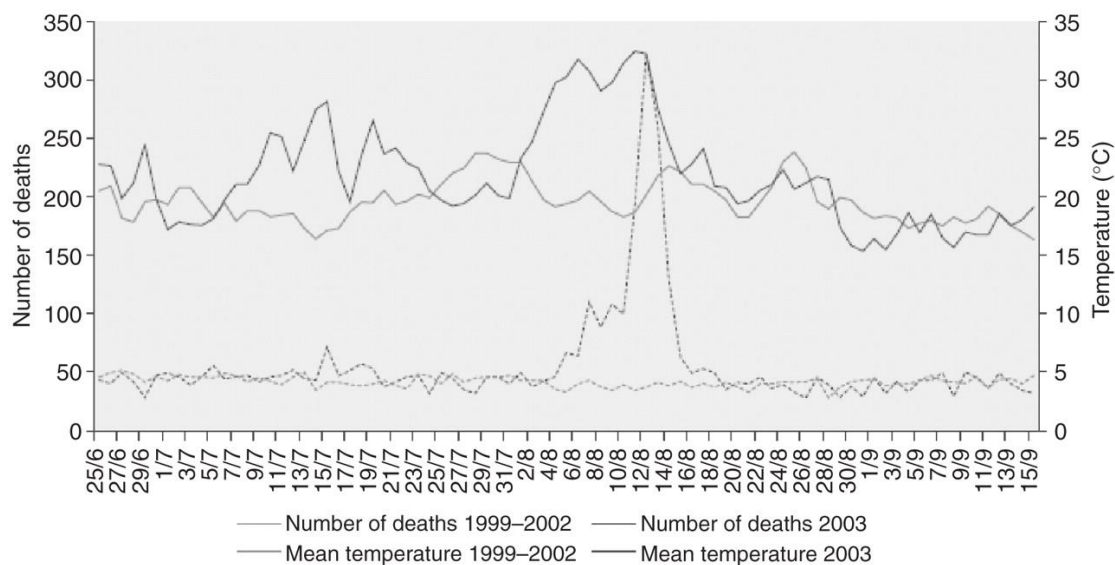
Τα κύματα καύσωνα προκαλούν αρκετές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Είναι συνδεδεμένα με βραχυπρόθεσμη αύξηση στη θνησιμότητα συνήθως στις ευπαθείς ηλικιακές ομάδες με περιστατικά καρδιαγγειακών και αναπνευστικών παθήσεων. Οι εισαγωγές στα νοσοκομεία αυξάνουν τόσο για τους ενήλικες όσο και για τους ηλικιωμένους για τις ασθένειες που συνήθως σχετίζονται με την αυξημένη θερμότητα (θερμοπληξία, αφυδάτωση), αλλά και για νευρολογικές παθήσεις, νεφρική νόσο κ.α.⁵⁸

⁵⁶ Livada I., Assimakopoulos V., Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI), *Theoretical and Applied Climatology*, 2006 σελ. 150, 152, 153

⁵⁷ Robinson P., On the Definition of a Heat Wave, American Meteorological Society, <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/15200450%282001%29040%3C0762%3AOTDOAH%3E2.0.CO%3B2>, Open Access, Αναζήτηση στις 25/03/2016

⁵⁸ Kovats S., Kristie E., Heatwaves and public health in Europe, *European Journal of Public Health*, Vol. 16, No. 6, σελ. 593

Επίσης παρατεταμένες περιόδους καύσωνα αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης και επικινδυνότητας πυρκαγιών.



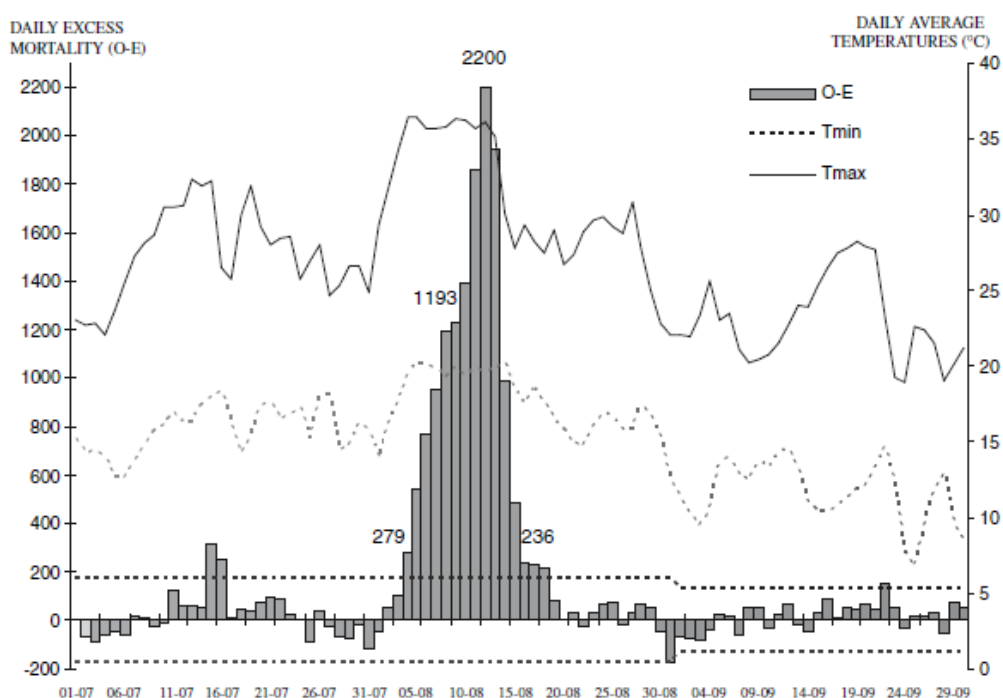
Εικόνα 2.3.2.1 Πηγή: Θνησιμότητα και μέση θερμοκρασία, Παρίσι, καλοκαίρι 2003 <https://eurpub.oxfordjournals.org/content/16/6/592> Αναζήτηση στις 25/03/2016

Στην Ευρώπη τα κύματα καύσωνα συνδέονται με υψηλές πιέσεις πάνω από την Σκανδιναβία και την κεντρική Ευρώπη, ενώ η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας και η ποσότητα νετού παίζουν σημαντικό ρόλο⁵⁹. Χαρακτηριστική περίπτωση στην Ευρώπη ήταν το κύμα καύσωνα του 2003, όπου σε μεγάλο μέρος της Ευρώπης, αλλά κυρίως στη Γαλλία, οι θερμοκρασίες ανέβηκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα (11-12 °C πάνω από το συνηθισμένο επίπεδο), όπου και παρέμειναν για αρκετές ημέρες. Η θνησιμότητα στη Γαλλία από την 1 έως της 20 Αυγούστου αυξήθηκε κατά 55%⁶⁰. Άλλες χώρες όπως οι Ισπανία, η Βρετανία, η Γερμανία και οι Κάτω-Χώρες ανέφεραν άνοδο στην θνησιμότητα. Παρόμοια μεγαλύτερη θνησιμότητα παρουσίασαν οι ευπαθείς ομάδες όπως οι ηλικιωμένοι, τα

⁵⁹ Della-Marta Luterbacher M., von Weissenfluh H., E. Xoplaki M. Brunet, H. Wanne, Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability, Springer-Verlag 2007, 20 March 2007, σελ 270

⁶⁰ A. Fouillet, G. Rey, F. Laurent, G. Pavillon, S. Bellec, C. Guihenneuc-Jouyau, J. Clavel, E. Jouglu, Denis Hémon, Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France, International Archives of Occupational and Environmental Health, October 2006, Volume 80, Issue 1, σελ. 21

βρέφη, οι πάσχοντες από ασθένειες του αναπνευστικού και καρδιαγγειακές παθήσεις, αλλά και άτομα που είχαν δυσκολία στην προσαρμογή στο κύμα καύσωνα όπως άτομα που έμεναν μόνοι τους, άτομα με χαμηλό εισόδημα, και περιορισμένα μέσα μετακινήσεων, καθώς και άτομα που ζούσαν στους τελευταίους ορόφους πολυκατοικιών. Τέλος στις Άλπεις, την ίδια περίοδο σημειώθηκε μέση απώλεια πάχους 3 μέτρα από τους αλπικούς παγετώνες (valley glaciers) σημάδι γενικής ανόδου θερμοκρασιών στην ευρύτερη περιοχή.⁶¹



Εικόνα 2.3.2.2 Αριθμός θανάτων στη Γαλλία από τον Ιούλιο ως την 1^η Σεπτεμβρίου, και μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία. Οι οριζόντιες γραμμές δείχνουν τα όρια της διακύμανσης του διαστήματος του 95% της καθημερινής θνησιμότητας. Πηγή: *Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France*, σελ. 18

Η Ελλάδα έχει υποστεί το φαινόμενο αυτό αρκετές φορές με πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις τα heat waves των ετών 1987-88 και του καλοκαιριού του 2007. Στην πρώτη περίπτωση οι θερμοκρασίες ξεπέρασαν τους 40 °C σε πολλές περιοχές (Αθήνα 43,6 °C) ενώ η

⁶¹Leticia Grizea L, Hussa A., Thommena O., Schindlera C., -Fahrländer C. ,Heat wave 2003 and mortality in Switzerland, σελ.202

θνησιμότητα την περίοδο του καύσωνα διπλασιάστηκε⁶². Οι περιοχές που υπέφεραν περισσότερο ήταν τα αστικά κέντρα ενώ υπό όρους φυσιολογικής πίεσης και γενικής δυσφορίας η Θεσσαλονίκη υπέφερε περισσότερο από άλλες περιοχές⁶³. Το 2007 το καλοκαίρι ήταν αφύσικα θερμό σε όλη την βαλκανική χερσόνησο, ενώ στην Ελλάδα καταγράφηκαν από τις υψηλότερες ακραίες θερμοκρασίες στην ιστορία των ενόργανων μετρήσεων (44,8 °C στο Εθνικό Παρατηρητήριο Αθηνών στις 26 Ιουνίου).⁶⁴ Πέραν των μεγάλων κυμάτων καύσωνα οι Νάστος και Μαντζαράκης αναλύοντας δεδομένα από το 1955 μέχρι το 2001 στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών έδειξαν μια αύξηση στην μέση εμφάνιση κυμάτων καύσωνα, ενώ μέσω βιοκλιματικών δεικτών μελέτησαν τις επιπτώσεις του heat stress στον ανθρώπινο οργανισμό⁶⁵.

2.3.3 Παγετός (Frost/ glaze)

Ο παγετός είναι φαινόμενο που σχηματίζεται τις νύκτες της ψυχρής εποχής του έτους όταν δεν υπάρχει νεφοκάλυψη. Έτσι υπό αυτές τις συνθήκες η επιφάνεια του εδάφους ακτινοβολεί θερμότητα στην ατμόσφαιρα με συνέπεια βαθμηδόν να παγώνει, ομοίως και το χαμηλότερο στρώμα αέρος που έρχεται άμεσα σε επαφή μ' αυτή. Τα μόρια των υδρατμών λοιπόν που υφίστανται σ' αυτό το πολύ χαμηλό ύψος στρώμα της ατμόσφαιρας, της τροπόσφαιρας, αγγίζοντας τις ψυχρές επιφάνειες των σωμάτων αρχίζουν να συμπυκνώνονται και να κολλούν σ' αυτές

⁶² Giles B., Balafoutis C., The Greek heatwaves of 1987 and 1988, International Journal of Climatology, Volume 10, σελ. 506

⁶³ Giles B., Balafoutis C., Maheras P., Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988, Biometeorology, 1990, σελ 98,104

⁶⁴ Founda D., Giannakopoulos C., The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece — A typical summer in the future climate?, Global and Planetary Change, Volume 67, Issues 3–4, June 2009, σελ.227

⁶⁵ Mantzarakis A., Nastos P., Human-bio meteorological assessment of heat waves in Athens, Springer, August 2011, Volume 105, Issue 1, σελ. 99-106

έλκοντας και άλλα μόρια υδρατμών. Επειδή όμως η θερμοκρασία αυτή της συμπύκνωσης είναι κάτω από το 0 °C οι υδρατμοί από την αέρια μορφή των σχηματίζουν κατευθείαν μικροσκοπικούς παγοκρυστάλλους⁶⁶.



Εικόνα 3.3.3.1 Παγετοποίηση, 04/01/2016 κήποι, Έβρος. Αναζήτηση 25/03/2016

Όσο ωφέλιμο είναι για την γεωργία η δρόσος και το χιόνι, τόσο καταστρεπτικός καθίσταται ο παγετός, ακριβώς επειδή σχηματίζεται σε θερμοκρασία κάτω από το 0 °C . Στη θερμοκρασία αυτή οι χυμοί των φυτών όπως και οι καρποί τους παγώνουν και στερεοποιούνται με συνέπεια την ολοκληρωτική καταστροφή τους.

⁶⁶ <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Frost>, Αναζήτηση στις 26/03/2016

2.4 Υδρολογικά Φαινόμενα

2.4.1 Πλημμύρες (Floods-Flash floods)

Πλημμύρα ονομάζεται η υπερχειλίση των κανονικών ορίων ενός ρέματος ή άλλου φορέα νερού ή η συσσώρευση νερού πάνω από περιοχές που δεν είναι συνήθως βυθισμένες.⁶⁷ Σύμφωνα με την οδηγία 2007/60 του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου για τον κίνδυνο των πλημμυρών (Flood Directive), πλημμύρα ονομάζεται η κάλυψη τμήματος στεριάς από νερό η οποία δεν βρίσκεται συνήθως βυθισμένη⁶⁸. Flash floods ονομάζονται οι πλημμύρες όπου ξεσπούν απότομα και είναι το αποτέλεσμα έντονης βροχόπτωσης, ακραίων καταιγίδων, σιφώνων ή ακόμα και νερού τήξης από παγετώνες^{69 70}.

⁶⁷ METEOROLOGY GLOSSARY, American Meteorological Society ,
<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Flood>, Αναζήτηση στις 28/03/2016

⁶⁸ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0060>, Αναζήτηση στις 28/03/2016

⁶⁹ METEOROLOGY GLOSSARY, American Meteorological Society,
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Flash_flood, Αναζήτηση στις 28/03/2016

⁷⁰ NOAA, definitions of flood and flash flood,
<http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php>, Αναζήτηση στις 28/03/2016



Εικόνα 2.4.1.1 Πλημμυρισμένος δρόμος στο Natal, Rio Grande do Norte, Βραζιλία. Πηγή: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/Natal_Brazil_Flood.jpeg/1024px-Natal_Brazil_Flood.jpeg, Αναζήτηση στις 29/03/2016

Οι πλημμύρες έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια ανθρώπινων ζώων, καταστροφή κτιρίων και κατασκευών, οδικού δικτύου, αποχετευτικών συστημάτων και δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η καταστροφή των υποδομών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχή της παροχής πόσιμου νερού, δυσκολίες στις μεταφορές και στην επικοινωνία, εμφάνιση αρρωστιών που σχετίζονται με την ποιότητα πόσιμου νερού και δυσκολίες στην υγειονομική περίθαλψη.



Εικόνα 2.4.1.2 Flash flood στον Έβρο 07/02/2015. Πηγή: <http://www.candianews.gr/2015/02/07/protofanis-plimmires-ston-evro-apofasisan-na-rixoun-ta-anachomata-gia-na-sosoun-ikismo/>. Αναζήτηση στις 29/03/2016

Επίσης σοβαρά πλημμυρικά φαινόμενα μπορεί να προκαλέσουν ελλείψεις σε τρόφιμα καθώς πλημμυρίζουν την καλλιεργήσιμη γη καθιστώντας την παραγωγή τροφίμων αδύνατη για κάποιο χρονικό διάστημα. Επιπρόσθετα, οι πλημμύρες όπως και άλλα ακραία φυσικά φαινόμενα, μπορεί να προκαλέσουν ψυχολογικά προβλήματα σε ανθρώπους που έχουν βιώσει απώλεια περιουσίας, κατοικίας ή κοντινού προσώπου. Τέλος όμως οι πλημμύρες έχουν και θετικές επιπτώσεις, όπως η επαναφόρτιση των υδάτων του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και η αύξηση των θρεπτικών συστατικών σε ορισμένα εδάφη.⁷¹

Στη Γερμανία η συχνότητα των πλημμυρικών φαινομένων είναι αυξημένη την ψυχρή εποχή του έτους και εντοπίζεται στην κεντρική, νότια και δυτική Γερμανία. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αυξητική τάση στα πλημμυρικά φαινόμενα που πιθανά οφείλεται στις κλιματικές αλλαγές⁷².

⁷¹ Queensland Governmenr, Office of the Queensland Chief Scientist, <http://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/flood-consequences#table1>, Αναζήτηση στις 2016

⁷² Petrow T., Merz B., Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002, Journal of Hydrology, Volume 371, Issues 1–4, 5 June 2009, σελ. 129,130

Οι πλημμύρες αποτελούν την πιο συνηθισμένη κατηγορία φυσικών καταστροφών στη Νότια Ευρώπη, ιδιαίτερα τον τελευταίο αιώνα με την αύξηση του αστικού πληθυσμού και την υψηλή πληθυσμιακή συγκέντρωση.

Στην Ιταλία τα πλημμυρικά φαινόμενα εντοπίζονται κυρίως στην κεντρική και νότια Ιταλία (Πιεμόντε, Σικελία, Λομβαρδία, Καλαβρία και Καμπανία) κυρίως την ψυχρή εποχή του έτους.⁷³

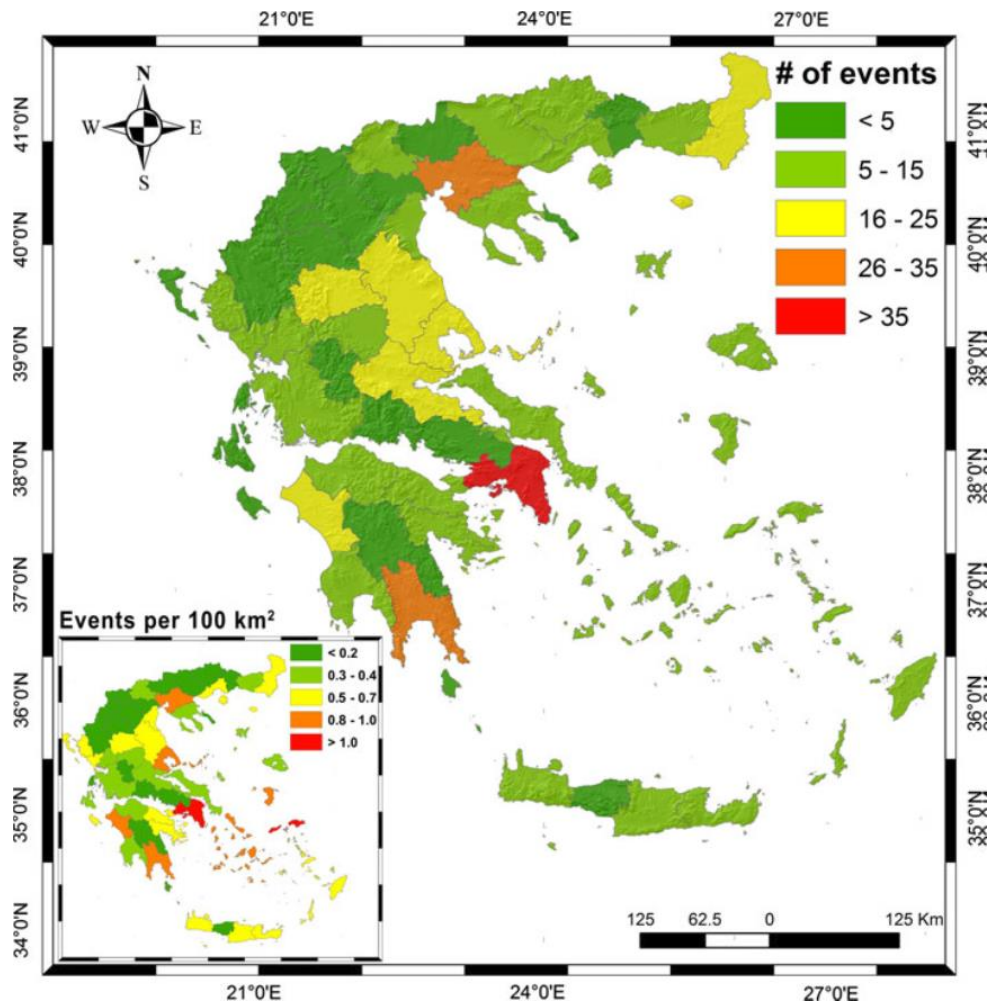
Στην Καταλονία παρατηρείται αύξηση των flash floods σε περιοχές με αύξηση του πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες. Αυτό εξηγείται λόγω του 'τσι αυτές οι περιοχές έγιναν πιο ευάλωτες σε τέτοια ακραία φαινόμενα, καθώς και περισσότεροι μη γηγενείς εγκαταστάθηκαν σε περιοχές χωρίς να γνωρίζουν τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της.⁷⁴

Στην Ελλάδα ειδικότερα, κυριαρχούν τα flash floods καθώς οι περισσότερες πλημμύρες προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας. Επίσης απουσιάζει ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο και η αποστράγγιση των υδρογραφικών λεκανών γίνεται από εποχιακά ρυάκια και χειμάρρους. Η χωρική κατανομή των πλημμυρών επηρεάζει περισσότερο τα αστικά κέντρα την κεντρική Ελλάδα και τη νότια Πελοπόννησο.⁷⁵

⁷³ Lastoria B., Simonetti M. R., Casaioli M., Mariani S., and Monacelli G., Socio-economic impacts of major floods in Italy from 1951 to 2003, *Advances in Geosciences*, 10 March 2006, σελ. 226

⁷⁴ Llasat M. C., López L., Barnolas M., Llasat-Botija, Flash-floods in Catalonia: the social perception in a context of changing vulnerability, *Advances in Geosciences*, Published: 29 July 2008, σελ.63

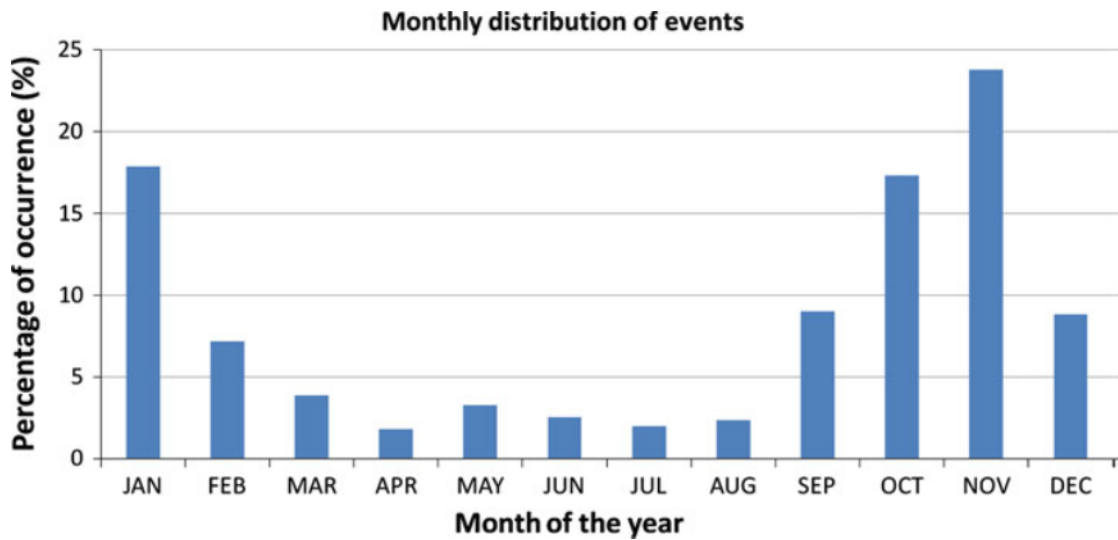
⁷⁵ Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*, Springer Science+Business Media B.V. 2012, 26 January 2012, σελ. 485, 487, 496



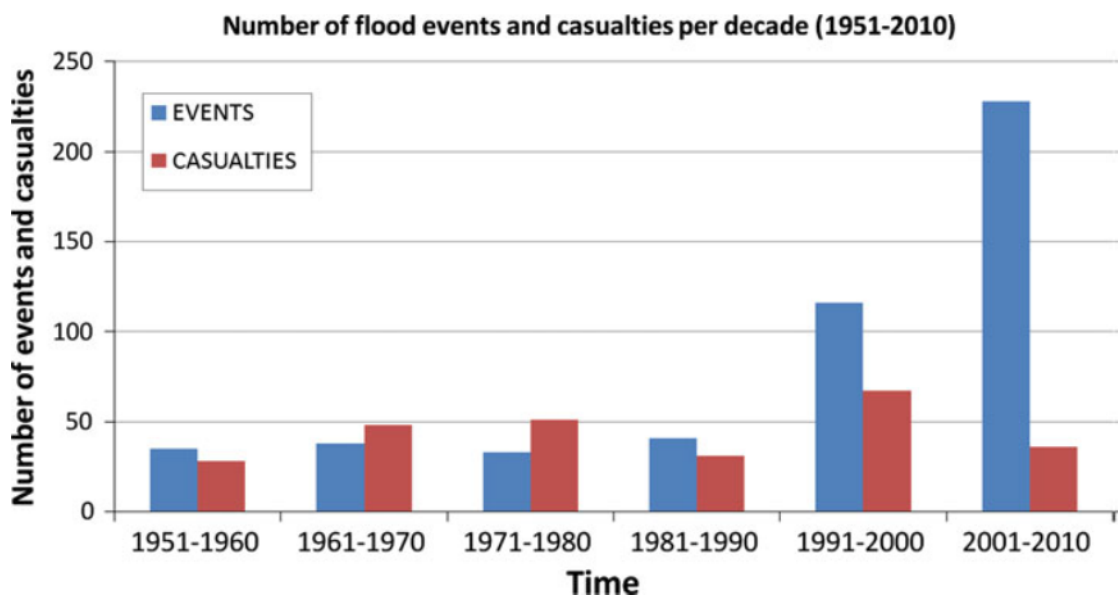
Εικόνα 2.4.1.3 κατανομή πλημμυρικών φαινομένων στην Ελλάδα (1880-2010) Κάτω αριστερά ο αριθμός πλημμυρών εκφρασμένος ανά 100τ. χλμ σε κάθε νομό. Πηγή: *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*, σελ 496

Εποχιακά τα πλημμυρικά φαινόμενα παρατηρούνται με μεγαλύτερη συχνότητα την ψυχρή εποχή του έτους, κυρίως του μήνες Οκτώβριο (17%), Νοέμβριο (24%) και Ιανουάριο (18%) και με μικρότερη συχνότητα την θερμή εποχή του έτους. Ο αριθμός των θυμάτων παραμένει σταθερός παρά την αύξηση των καταγεγραμμένων πλημμυρικών φαινομένων.⁷⁶

⁷⁶ Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*, Springer Science+Business Media B.V. 2012, 26 January 2012, σελ. 491



Εικόνα 2.4.1.4 Κατανομή των πλημμυρικών φαινομένων ανά ποσοστά ανά μήνα. Πηγή: *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*, σελ. 491



Εικόνα 2.4.1.5 Αριθμός πλημμυρικών φαινομένων(μπλε) και θυμάτων (κόκκινο), δεκαετίες 1950-2010). Πηγή: *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*, σελ. 495

2.4.2 Κύματα Θύελλας - Storm Surge

Ονομάζεται η πάνω από το κανονικό αύξηση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας πάνω από την προβλεπόμενη στάθμη της αστρονομικής παλίρροιας. Παλίρροια καταιγίδας (storm tide), είναι η συνδυασμένη αύξηση της στάθμης της θάλασσας λόγω του storm surge και της αστρονομικής παλίρροιας. Τα storm surges προκαλούνται από καταιγίδες, τροπικούς κυκλώνες και υδροσίφωνες, όταν αυτά φθάσουν στην ξηρά.



Εικόνα 2.4.2.1 Αποτέλεσμα storm surge σε παραλιακή περιοχή, Πηγή: <http://geology.com/articles/storm-surge.shtml> Αναζήτηση στις 30/03/2016

Το υψηλότερο surge storm συμβαίνει εκεί όπου έχουμε τους ισχυρότερους ανέμους. Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την παρουσία και το μέγεθος ενός storm surge όπως η ένταση μιας καταιγίδας ή ενός

τυφώνα, και το μέγεθός του, η ταχύτητά του, η γωνία πρόσπτωσης στην ακτή, η κλίση του πυθμένα, καθώς και τοπικά χαρακτηριστικά της ακτής⁷⁷. Επίσης αρκετοί παράγοντες παίζουν ρόλο κατά την διάρκεια ενός storm surge: η μεταφορά Ekman από ανέμους παράλληλους στην ακτή που μπορεί να αυξήσουν το ύψος του, το κυματικό καθεστώς της περιοχής, άνεμος που να φυσάει προς την ακτή και υψηλή παλίρροια που αυξάνει την επιρροή του storm surge⁷⁸.

Τα storm surges είναι η κύρια αιτία πλημμυρών σε παραλιακές περιοχές λόγω ισχυρών καταιγίδων, ή τυφώνων. Αποτελούν κίνδυνο για απώλεια ανθρώπινων ζώων, καταστροφή περιουσίας, και υποδομών όπως λιμάνια οδικό δίκτυο, δίκτυο παροχής ενέργειας κτλ. με αρνητικές συνέπειες. Επίσης τα storm surges μπορούν να προκαλέσουν εμφανής αλλαγές στην παράκτια γεωμορφολογία όπως διάβρωση της παραλίας και των αμμωθινών (foredune system), και να προκαλέσουν πιθανή υποχώρησή της^{79 80}.

⁷⁷NOAA, SURGE STORM http://www.nws.noaa.gov/om/hurricane/resources/surge_intro.pdf, Αναζήτηση στις 29/03/2016

⁷⁸ Krestenitis Y., Androulidakis Y., Kontos Y., Georgakopoulos G., Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events, J Coast Conserv (2011), σελ. 353

⁷⁹ NOAA, storm surge and coastal inundation, <http://www.stormsurge.noaa.gov/>, αναζήτηση στις 30/03/2016

⁸⁰ Bartholdy J., Aagaard T., Storm Surge effects on a back-barrier tidal flat of the Danish Wadden Sea, Springer-Verlag 2 December 2000, σελ 133



Εικόνα 2.4.2.2 Storm Surge στην Υδρα 22/10/2015. Πηγή:
http://thewatchers.adorraeli.com/data/uploads/greece_flood_damage.jpg. Αναζήτηση στις 29/03/2016

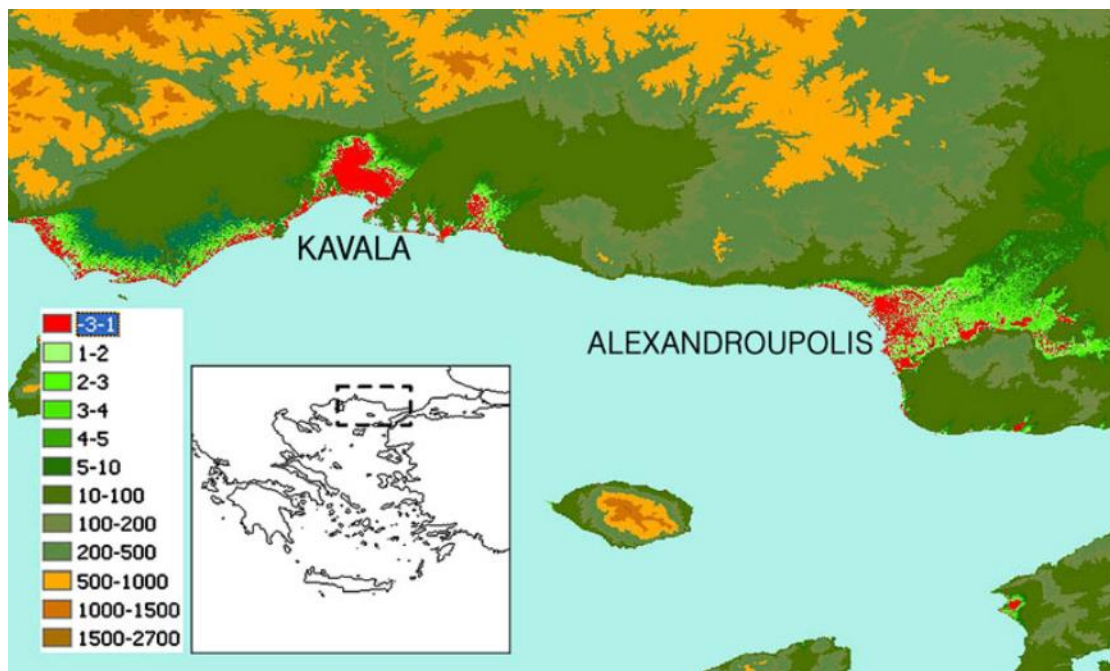
Στην Δ. και ΒΔ. Ευρώπη τα storm surges εμφανίζονται την ψυχρή εποχή του έτους ως αποτέλεσμα συστημάτων χαμηλής πίεσης ερχόμενων από την ανατολή, που αναπτύσσονται στο πολικό μέτωπο του Βόρειου Ατλαντικού και εντοπίζονται κυρίως στα νησιά της Βόρειας Θάλασσας, στο Ηνωμένο Βασίλειο και στη Δανία⁸¹.

Αρκετές περιοχές στη Μεσόγειο είναι επιρρεπής στο να πλημμυρίσουν λόγω surge storm εξαιτίας του χαμηλού υψομέτρου τους αν και η αστρονομική παλίρροια είναι γενικά μικρή με εξαίρεση την περιοχή του Γιβραλτάρ. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εμφάνιση και εξέλιξη των surge storm στην Μεσόγειο είναι ο άνεμος⁸². Το Αιγαίο Πέλαγος όμως, λόγω της μορφολογικής πολυπλοκότητας που παρουσιάζει, με τον

⁸¹ Bartholdy J., Aagaard T., Storm Surge effects on a back-barrier tidal flat of the Danish Wadden Sea, Springer-Verlag 2 December 2000, σελ 133

⁸² Krestenitis Y., Androulidakis Y., Kontos Y., Georgakopoulos G., Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events, J Coast Conserv (2011), σελ. 367

μεγάλο αριθμό νησιών, τα surge storms και οι μεταβολές του επιπέδου της θάλασσας κυριαρχούνται κυρίως από την ατμοσφαιρική πίεση παρά από άλλους παράγοντες.⁸³



Εικόνα 2.4.2.3 Επικινδυνότητα ακτών στο ΒΑ Αιγαίο. Πηγή: Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events, σελ. 358

⁸³ Hans V. et al, A comparison of 2D storm surge models applied to three shallow European seas, Environmental Software, Volume 10, Issue 1, 1995, σελ. 27

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

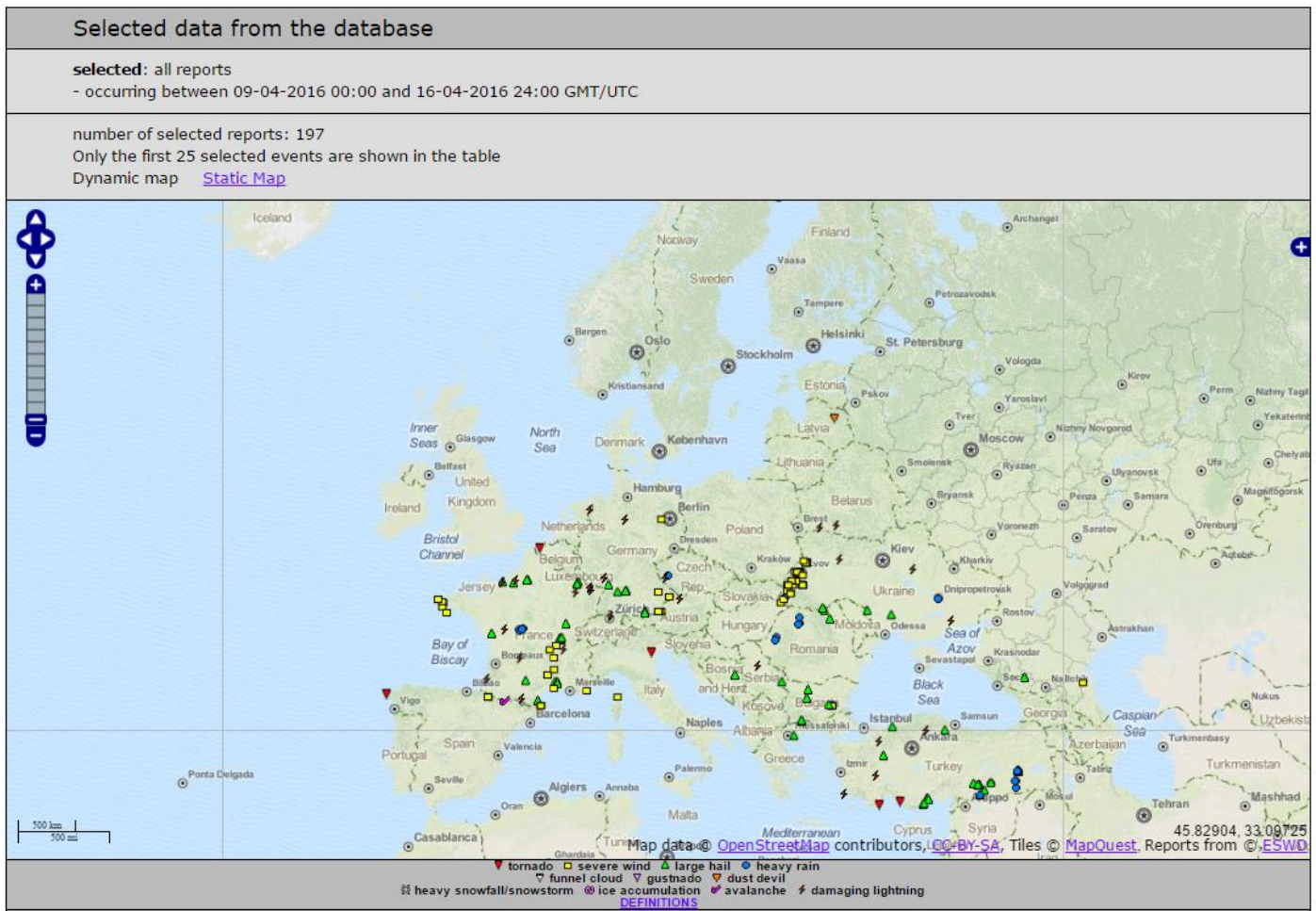
3.Μεθοδολογία

3.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της βάσης δεδομένων, η χρήση και εφαρμογή της, αφορά την συγκέντρωση στοιχείων με αναφορά σε ακραία καιρικά φαινόμενα, την κατηγοριοποίηση αυτών ανάλογα με την χωρική και χρονική εμφάνισή τους, και την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων.

3.2 Συλλογή Δεδομένων

Τα δεδομένα που ανέφεραν τα καιρικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις τους συλλέχθηκαν από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Ακραίων Καιρικών Φαινομένων (European Severe Weather Database-ESWD), καθώς επίσης και από διάφορες διαδικτυακές εκδόσεις εφημερίδων και άλλων μέσων. Η βάση δεδομένων καλύπτει καιρικά φαινόμενα στον Ελλαδικό χώρο την περίοδο 2012-2016, και σχετίζεται με καιρικά φαινόμενα όπως, πλημμύρες, σιφώνες, χαλαζοπτώσεις, ξηρασίες, μέγα-πυρκαγιές, χιονοπτώσεις, καύσωνες, και κεραυνούς, ενώ είναι συχνό κάθε φαινόμενο να επηρεάζει περισσότερες από μία περιοχές της χώρας.



Εικόνα 3.2.1 Τμήμα της Βάσης δεδομένων ESWD-<http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>

3.3 Επεξεργασία των Δεδομένων

Αφού έγινε η συγκέντρωση των πηγών των δεδομένων, η καταγραφή τους έγινε σε υπολογιστικά φύλλα του προγράμματος Microsoft Excel. Το Microsoft Excel είναι μια εφαρμογή λογιστικών φύλλων που αναπτύχθηκε από τη Microsoft και μπορεί να κάνει υπολογισμούς, να δημιουργήσει γραφήματα και συγκεντρωτικούς πίνακες. Καταγράφηκε η τοποθεσία τους, οι συντεταγμένες τους, καθώς και πληροφορίες για αυτά, σύνδεσμοι για βίντεο ή εικόνες, και οι πηγές τους όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.1.

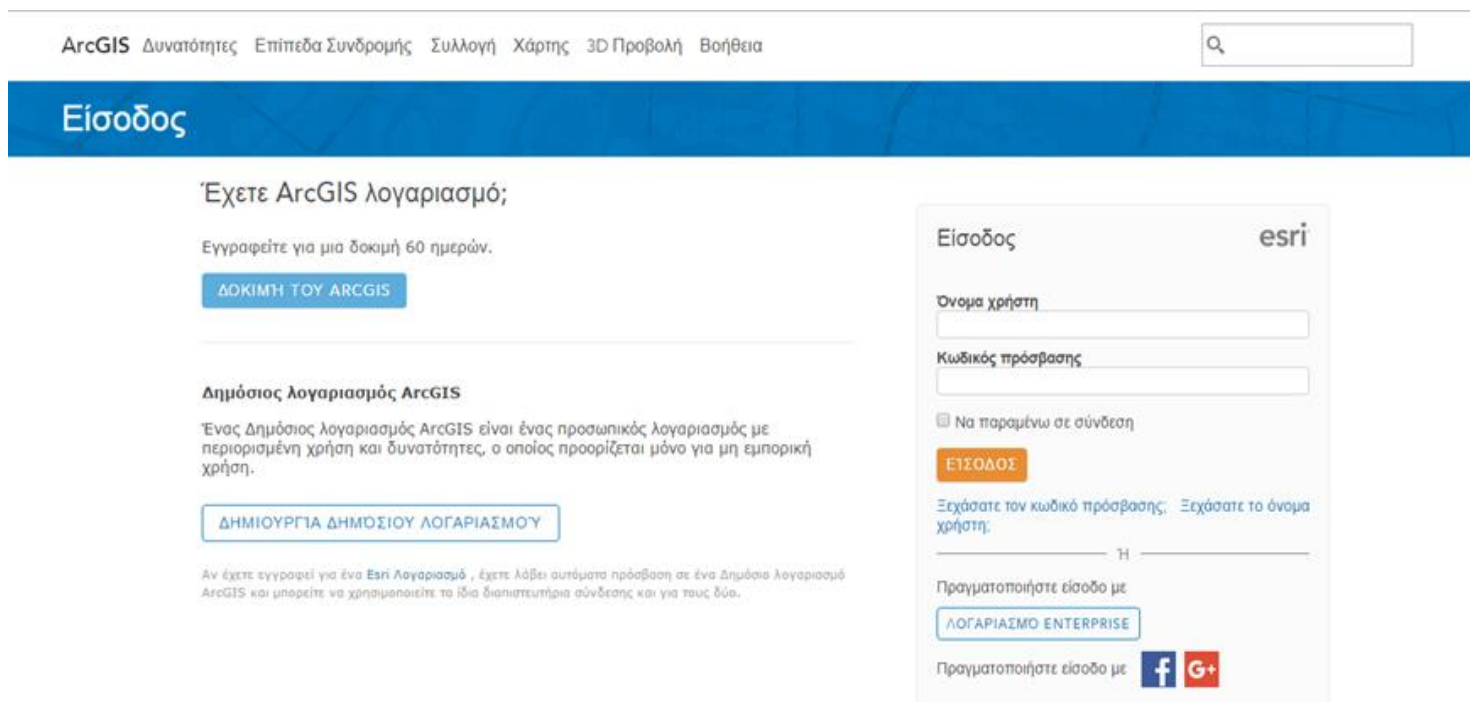
Location	Lat	Long	Date
Funnel Cloud/Athens	38.029301°	23.762834°	22/10/2015
Funnel Cloud/Ag.Nikolaos	35.175924°	25.742593°	17/9/2014
Funnel Cloud/Igoumenitsa	39.372723°	20.268630°	24/11/2015
Funnel Cloud/Athens	37.998549°	23.765937°	15/11/2013
Funnel Cloud/Tatoi Athens	38.093807°	23.764419°	20/11/2013
Funnel Cloud Laurio	37.716080°	24.057797°	22/10/2015
Funnel Cloud/Pilos	36.915332°	21.689037°	15/12/2015
Funnel Cloud/Heraklion	35.348572°	25.134951°	19/1/2016
Funnel Cloud/Tholo Ilia	37.413539°	21.672864°	8/2/2015
Funnel Cloud/Patra	38.265179°	21.720915°	02/02/2015/15:08 UTC
Funnel Cloud/Parga	39.269880°	20.419716°	26/01/2015/11:41 UTC
Funnel Cloud/Astypalaia	36.553933°	26.353732°	26/10/2014/11:10 UTC
Funnel Cloud/Aigaleo, Attica	38.042746°	23.533274°	06/04/2014 11:05 UTC
Funnel Cloud/Limnos	39.870000°	25.270000°	5/3/2014
Funnel Cloud/Mauroudi Ipiros	39.540636°	20.288242°	21/11/2013
Funnel Cloud/Chania	35.510596°	24.019490°	1/1/2013
Funnel Cloud/Pirgos Ilia			
	37.620203°	21.400436°	25/04/2016 16:30 UTC
Funnel Cloud/Argostoli	38.170308°	20.475267°	9/12/2012 09:00 UTC
Funnel Cloud/Patra	38.240006°	21.730002°	18/12/2012 12:10 UTC
Funnel Cloud/Athens	37.980000°	23.730000°	18/12/2012 10:00 UTC

Εικόνα 3.3.1 Τμήμα Υπολογιστικού φύλλου για τα Funnel Cloud. Φαίνεται η τοποθεσία τους και οι συντεταγμένες τους.

Κατόπιν απεικονίσαμε τα δεδομένα μας στο ArcGIS Online - την διαδικτυακή εφαρμογή του ArcGIS της ESRI, το οποίο αποτελεί ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών μπορεί να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΣΓΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν ερωτήσεις (queries) χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον

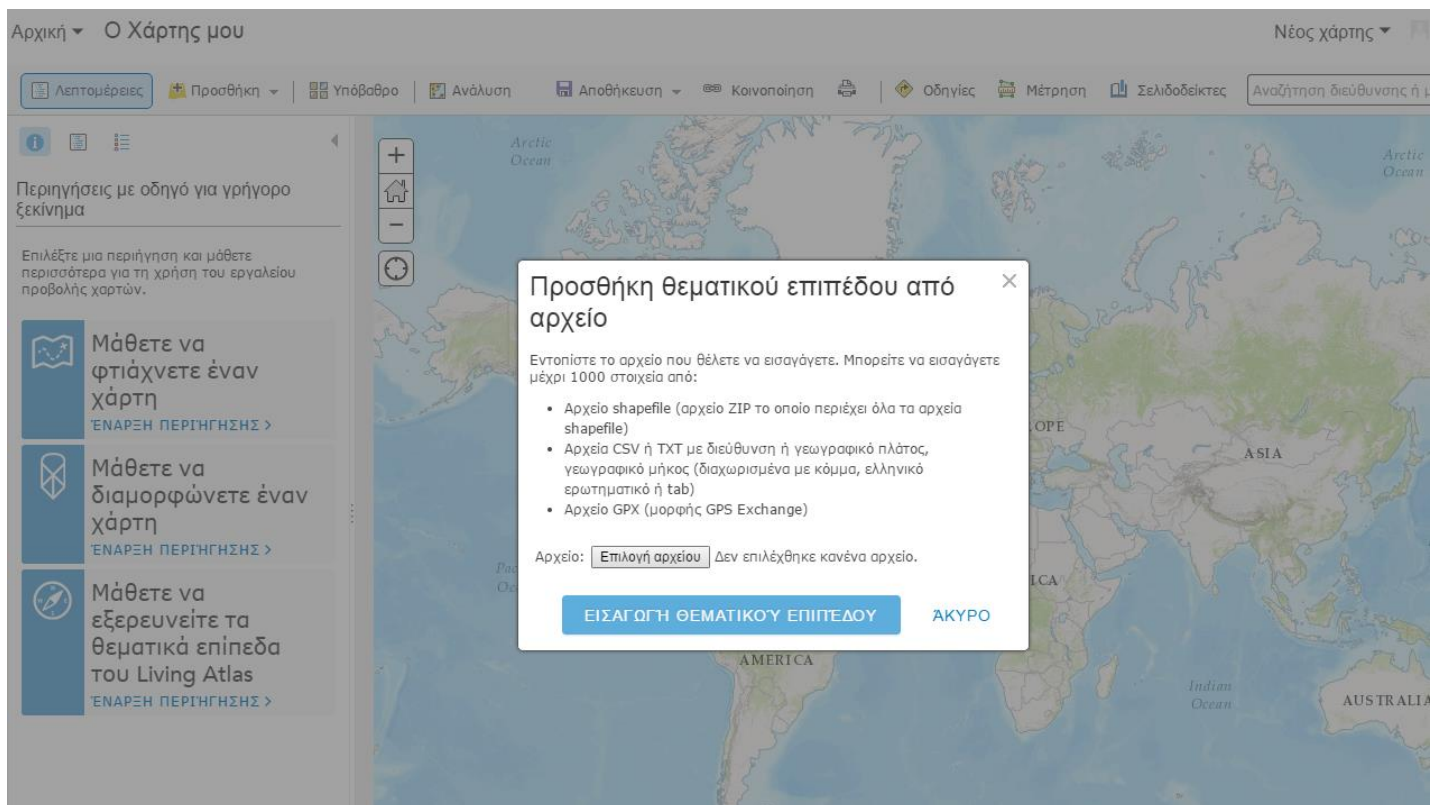
χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο-web maps).

Η χρήση του ArcGIS Online είναι εύκολη και οποιοσδήποτε μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στις χαρτογραφικές και αναλυτικές δυνατότητες του με εγγραφή στον διαδικτυακό χώρο της ESRI (Εικόνα 3.3.2).



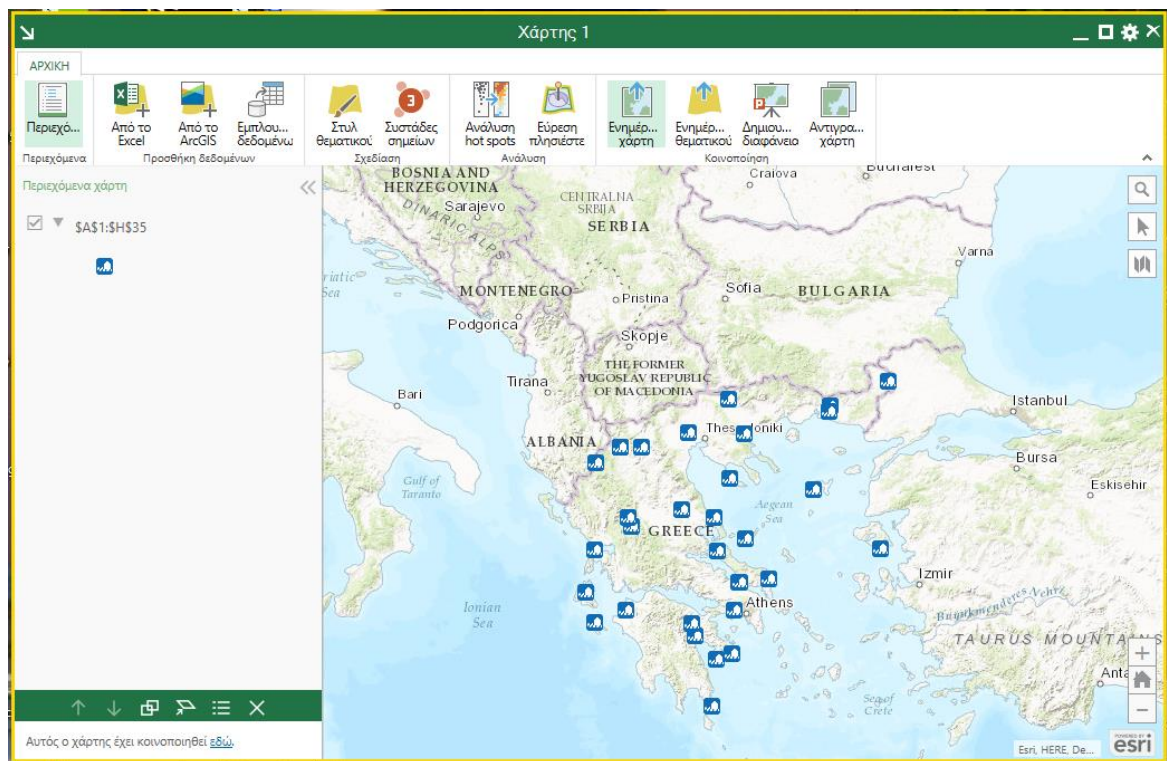
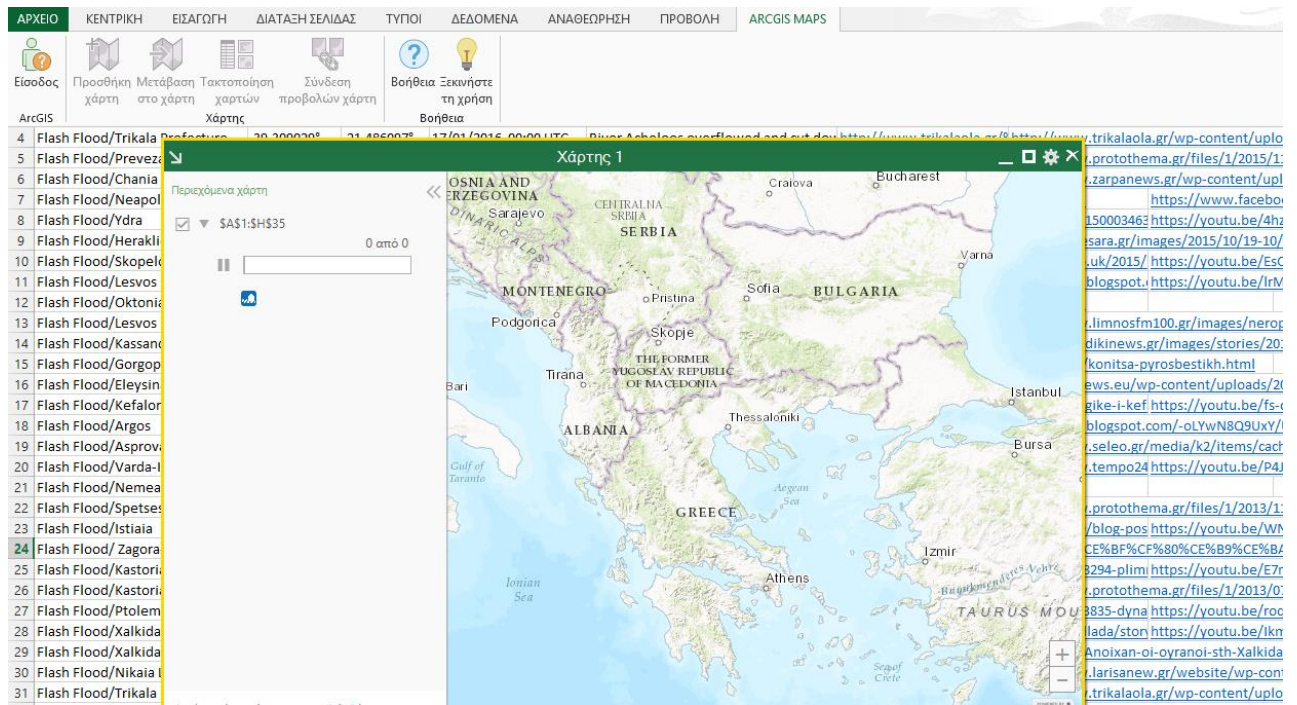
Εικόνα 3.3.2 Δημιουργία Λογαριασμού στην ESRI. <https://www.arcgis.com/home/signin.html>

Η απεικόνιση των δεδομένων από Excel στο ArcGIS Online μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Άμεσα ανοίγοντας έναν καινούργιο χάρτη στο ArcGIS Online και εισάγοντας τα δεδομένα που έχουμε αποθηκευμένα στα υπολογιστικά φύλλα Excel ως αρχεία csv (comma separated values).



Εικόνα 3.3.3 Εισαγωγή δεδομένων από αρχείο στον υπολογιστή μας στο ArcGIS Online

Η εισαγωγή δεδομένων μπορεί να γίνει και έμμεσα, μέσω του Excel στην περίπτωση που έχουμε εγκαταστήσει το πρόσθετο Esri maps for Office. Το συγκεκριμένο πρόσθετο μας επιτρέπει να απεικονίζουμε τα υπολογιστικά φύλλα, τους πίνακες και τις παρουσιάσεις σε χάρτες και να εξάγουμε καλύτερα συμπεράσματα για την χωρική και γεωγραφική κατανομή φαινομένων αλλά και να διατυπώνουμε ερωτήματα για τα δεδομένα μας. Ταυτόχρονα μπορούμε να ανεβάσουμε τους χάρτες αυτούς στον λογαριασμό μας που έχουμε δημιουργήσει στην ESRI. Αρκεί να επιλέξουμε το κουμπί στην κορδέλα που γράφει «Ενημέρωση Χάρτη» όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.5 και μετά από μικρή αναμονή ο χάρτης θα έχει ανέβει στα περιεχόμενα του λογαριασμού μας.



Εικόνες 3.3.4, 3.3.5 Esri Maps for Office, δημιουργία χάρτη

Οι χάρτες και τα θεματικά επίπεδα που δημιουργούνται αποθηκεύονται στην καρτέλα με τα Περιεχόμενα. Από εκεί ο χρήστης μπορεί να μετατρέψει τα αρχεία αυτά σε άλλης μορφής (KML,GEOJSON,GEODATABASE,SHP) για χρήση σε άλλα λογισμικά.

Τίτλος	Τύπος	Τροποποιήθηκε	Κοινοποιήθηκε
Flooding	Web Map	12 Μαΐ 2016	Όλοι
Flooding	Feature Layer	12 Μαΐ 2016	Όλοι
Flooding	Feature Layer	12 Μαΐ 2016	Όχι κοινοποιηθεί
Funel Clouds	Feature Layer	12 Μαΐ 2016	Όχι κοινοποιηθεί
Funel Clouds	Feature Layer	12 Μαΐ 2016	Όχι κοινοποιηθεί
Funnel CLOUDS	Web Map	8 Μαΐ 2016	Όλοι
Lightning	Web Map	17 Μαΐ 2016	Όλοι
Lightnings	Feature Layer	17 Μαΐ 2016	Όλοι
Severe weather Database	Feature Layer	27 Apr 2016	Όλοι
Severe weather Database	Feature Layer	3 Μαΐ 2016	Όλοι
Severe Weather Phenomena	Web Map	4 Μαΐ 2016	Οργανισμός

Εικόνα 3.3.6 Η σελίδα με τα περιεχόμενα λογαριασμού στην ESRI

Να αναφέρουμε πως λόγω των περιορισμών που παρουσιάζει η χρήσης ενός μη ελεύθερου λογισμικού όπως το ArcGIS Online, οδηγεί στην χρήση ελεύθερων υποκατάστατων όπως είναι το Google MyMaps. Το Google MyMaps αποτελεί μια υπηρεσία της Google Που επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργήσουν χάρτες στο διαδίκτυο όπως το ArcGIS Online αν και με λιγότερες δυνατότητες.

4. Ανάλυση των Φαινομένων

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε την χωροχρονική κατανομή των φαινομένων, καθώς και θα αποδώσουμε εξήγηση αυτών με βάση την επιστημονική βιβλιογραφία. Η ανάλυση θα γίνει για κάθε κατηγορία ατμοσφαιρικού φαινομένου ξεχωριστά με παρουσίαση διαγραμμάτων και heat map. Η χωρική ανάλυση γίνεται με βάση τις περιφέρειες της ελληνικής επικράτειας. Σε όσες δεν καταγράφηκαν φαινόμενα για το μελετώμενο διάστημα δεν αναφέρονται σε αυτήν. Heat map είναι η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων από έναν πίνακα ή ένα υπολογιστικό φύλλο, ως χρώματα σε ένα χάρτη. Όσον αφορά τους χάρτες heat maps το υπόμνημά τους είναι το ακόλουθο:



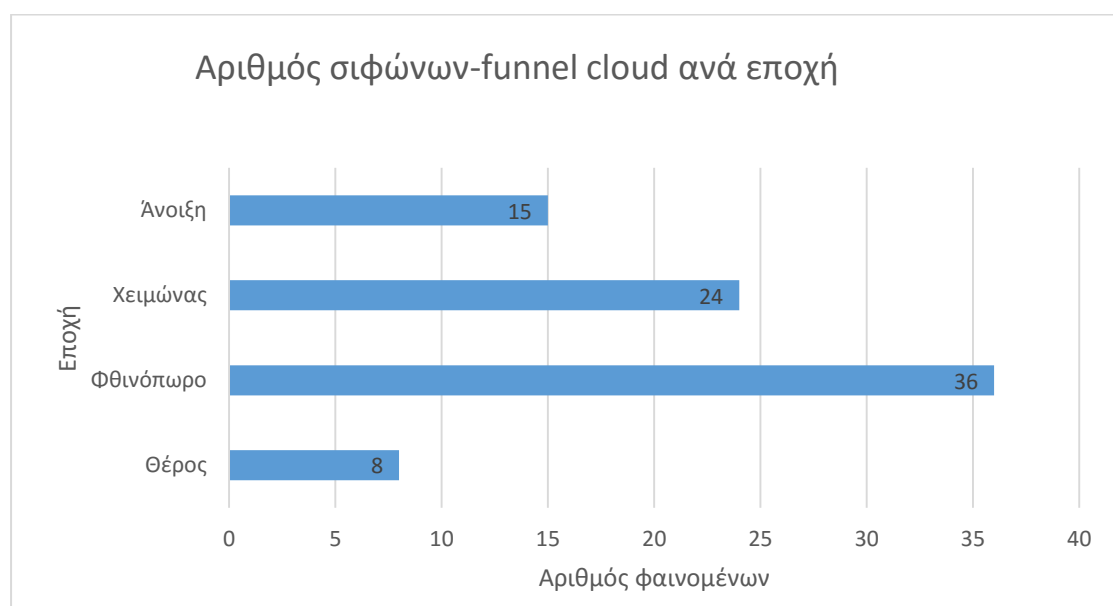
Εικόνα 4.1 Υπόμνημα των heat map

Οι περιοχές στον χάρτη που απεικονίζονται με κόκκινες και πορτοκαλί τιμές εμφανίζουν υψηλή συγκέντρωση ενός φαινομένου, ενώ αντίθετα οι περιοχές που απεικονίζονται με κυανό ή μωβ χρώμα εμφανίζουν χαμηλή συγκέντρωση.

4.1 Σίφωνες-Υδροσίφωνες-Χοανοειδή σύννεφα

Οι σίφωνες (tornadoes), υδροσίφωνες (waterspouts), και τα χοανοειδή σύννεφα (funnel clouds) αναλύθηκαν μαζί καθώς αποτελούν φαινόμενα τα οποία δημιουργούνται από τις ίδιες αιτίες και πολλές φορές παρατηρούνται να συμβαίνουν μαζί. Τα φαινόμενα αυτά θα αναλυθούν και ξεχωριστά.

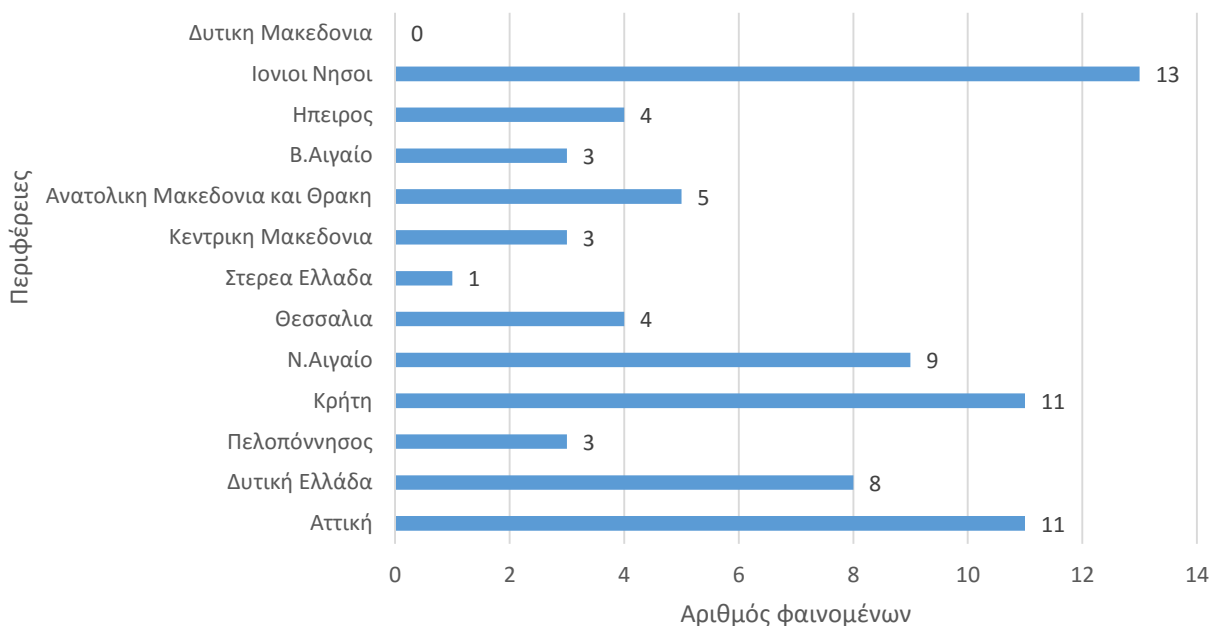
Στην περίοδο 2012-2016 καταγράφηκαν 83 επιβεβαιωμένα⁸⁴ περιστατικά funnel cloud και σιφώνων. Η πλειοψηφία αυτών συμβαίνει τις εποχές του φθινοπώρου και του χειμώνα, ενώ λίγα παρουσιάζονται την θερμή εποχή του έτους.



Διάγραμμα 4.1.1 Αριθμός φαινομένων ανά εποχή

⁸⁴ European Severe Weather Database, <http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>

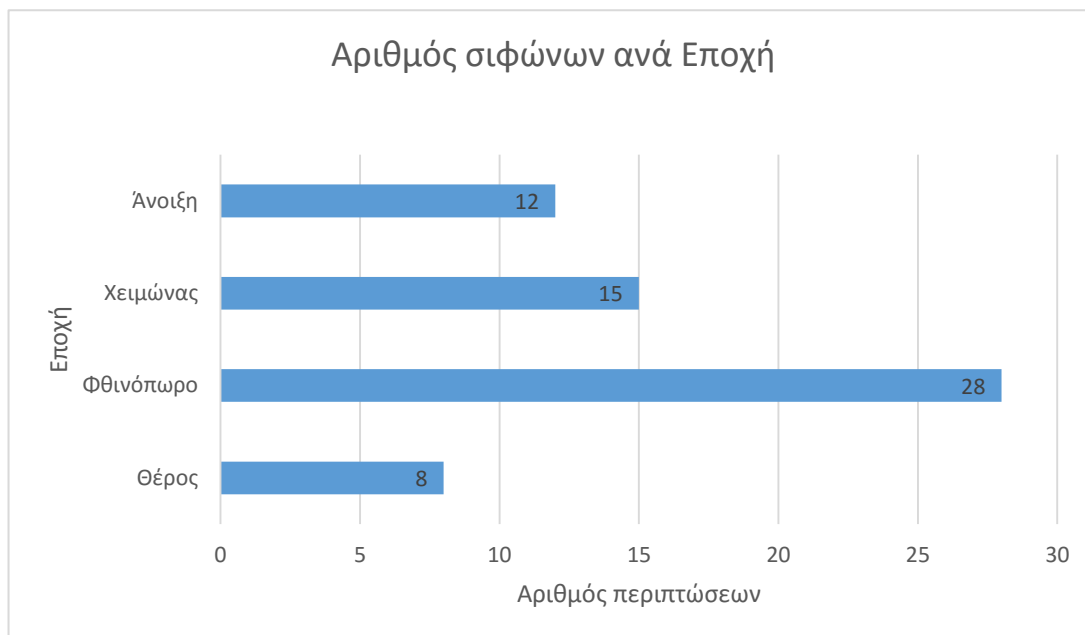
Αριθμός σιφώνων και funnel cloud ανά περιφέρεια



Διάγραμμα 4.1.2 Αριθμός φαινομένων ανά περιφέρεια

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα 4.1.2 η Δυτικής Ελλάδας παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση αυτών των φαινομένων καθώς και η Κρήτη αλλά και η περιοχή της Αττικής. Όσον αφορά την περιοχή της Αττικής παρόλο που η βιβλιογραφία δεν την αναφέρει ως περιοχή με μεγάλη συγκέντρωση σιφώνων και παρόμοιων φαινομένων, μια εξήγηση είναι ότι της μεγάλης πυκνότητας πληθυσμού της, φυσικά φαινόμενα παρατηρούνται και καταγράφονται, σε αντίθεση με άλλες αραιοκατοικημένες περιοχές της χώρας στις οποίες μπορεί να μην καταγραφεί ή να μην μπορεί να επιβεβαιωθεί αντίστοιχο φυσικό φαινόμενο.

Με βάση την αναζήτηση δεδομένων για τους σίφωνες εντοπίστηκαν 63 επιβεβαιωμένα περιστατικά πάνω από την Ελλάδα για την πενταετία 2012-2016 τα οποία απεικονίστηκαν σε χάρτη. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η εποχική τους διακύμανση.



Διάγραμμα 4.1.3 Εποχική συγκέντρωση σιφώνων στον Ελλαδικό χώρο 2012-2016

Όπως είναι φανερό οι περισσότεροι σίφωνες παρουσιάζονται το φθινόπωρο και το χειμώνα, ενώ ακολουθούν η άνοιξη και το θέρος. Αυτό συμβαδίζει με την βιβλιογραφία, όπως αναφέραμε παραπάνω^{85 86} όπου η εμφάνιση των σιφώνων γίνεται κατά κύριο λόγο την ψυχρή εποχή του έτους.

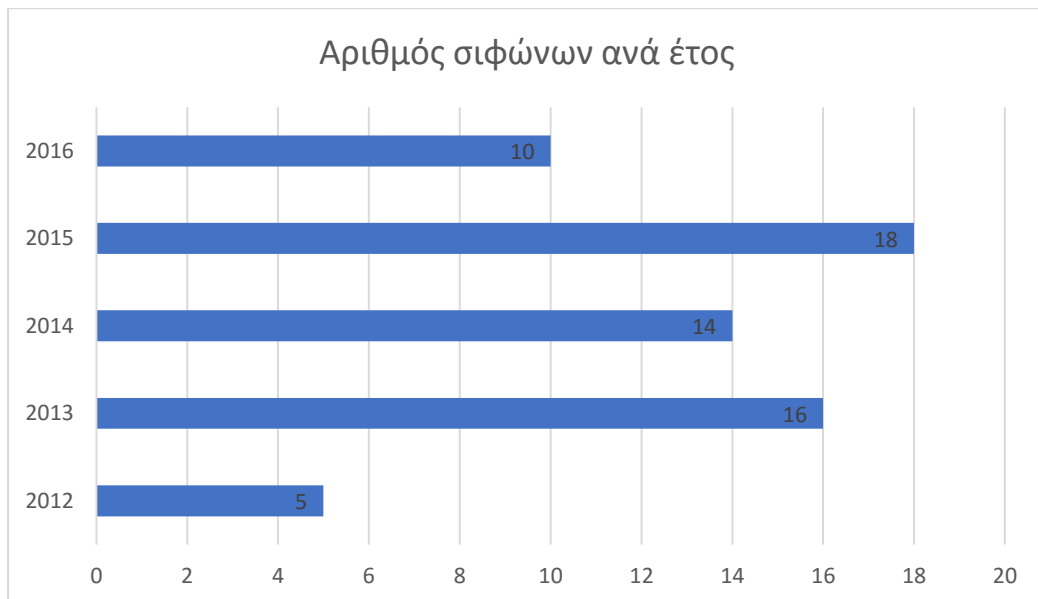
Όσον αφορά την κατανομή τους γεωγραφικά στον Ελλαδικό χώρο, ούτε αυτή παρουσιάζει εκπλήξεις με την Δυτική Ελλάδα να παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό σιφώνων και να ακολουθούν η Κρήτη και το Ν. Αιγαίο.

⁸⁵ Matsangouras I., Nastos P., Kouroutzoglou J., Flokas H., Hatzaki M., Track analysis of cyclones related to tornadoes over western Greece, Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, 2015

⁸⁶ I.T. Matsangouras, P.T. Nastos, M.V.Sioutas ,300 YEARS HISTORICAL RECORDS OF TORNADOES, WATERSPOUTS AND FUNNEL CLOUDS OVER GREECE, 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011) , 3 - 7 October 2011



Διάγραμμα 4.1.4 Συγκέντρωση σιφώνων ανά περιφέρεια



Διάγραμμα 4.1.5 Αριθμός στροβίλων ανά έτος (έως 20 Μαΐου 2016)

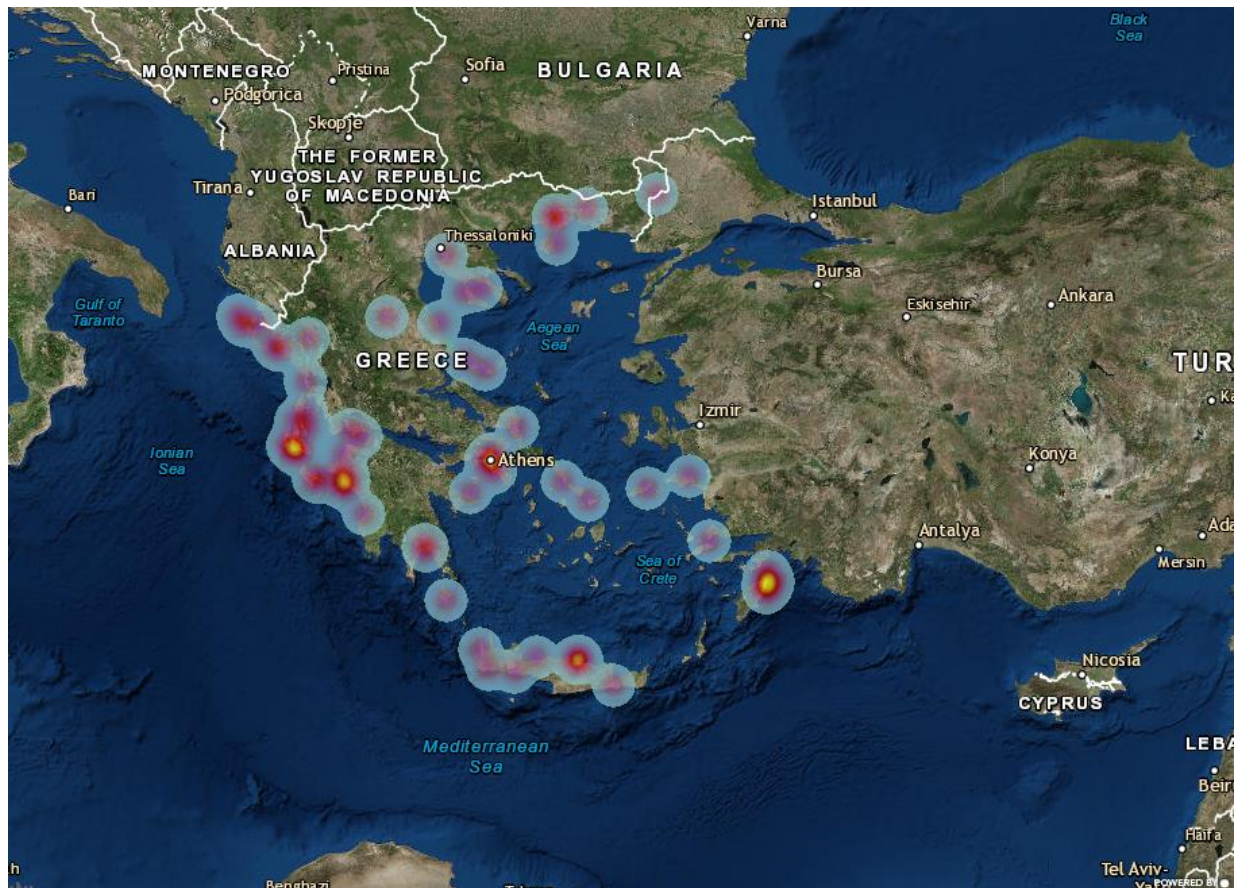
Παραπάνω φαίνεται ο αριθμός των καταγεγραμμένων σιφώνων και υδροσιφώνων ανά έτος. Το 2012 ήταν η χρονιά με τα λιγότερα καταγεγραμμένα τέτοια φαινόμενα.

Το σύμβολο των σιφώνων που χρησιμοποιήθηκε στην χαρτογραφική τους αποτύπωση είναι η λευκή σπείρα σε μπλε φόντο, που συμβολίζει την περιστρεφόμενη στήλη ανέμου πάνω από το έδαφος.



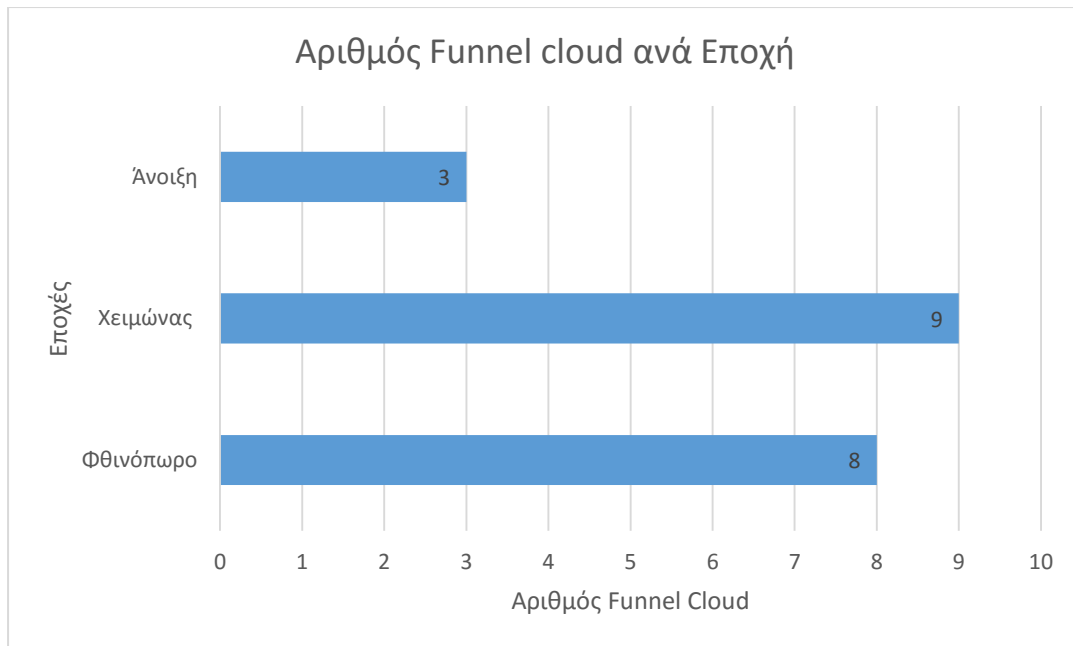
Εικόνα 4.1.1, Σύμβολο σιφώνων

Στον παρακάτω χάρτη αποτυπώνεται η συγκέντρωση όλων των σιφώνων που μελετήθηκαν την περίοδο 2012-2016 στον Ελλαδικό χώρο. Είναι φανερή η μεγαλύτερη συγκέντρωσή τους στη δυτική Ελλάδα (περιφέρειες Δ. Ελλάδας, Ιόνιων νήσων) αλλά και στην περιοχή του νότιου Αιγαίου και την Ρόδο (περιφέρειες Κρήτης, Ν. Αιγαίου).

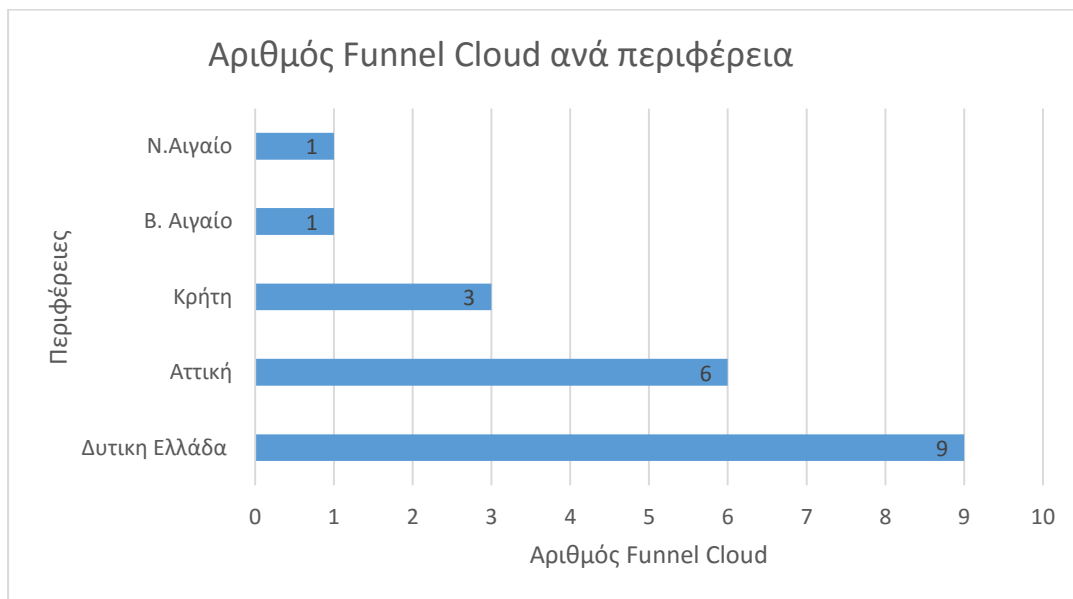


Εικόνα 4.1.2 Heat map σιφώνων και υδροσιφώνων στην Ελλάδα

Να σημειώσουμε ότι στα παραπάνω διαγράμματα εντάχθηκαν μαζί οι σίφωνες και οι υδροσίφωνες ως μια ενιαία κατηγορία. Όσον αφορά τα χοανοειδή σύννεφα, κατά την περίοδο που μελετάμε καταγράφηκαν 20 επιβεβαιωμένα φαινόμενα στον ελλαδικό χώρο κυρίως ψυχρή εποχή του έτους στην Δυτική Ελλάδα, την Πελοπόννησο και την Αττική.



Διάγραμμα 4.1.5 Συγκέντρωση Funnel Cloud ανά εποχή, 2012-2016



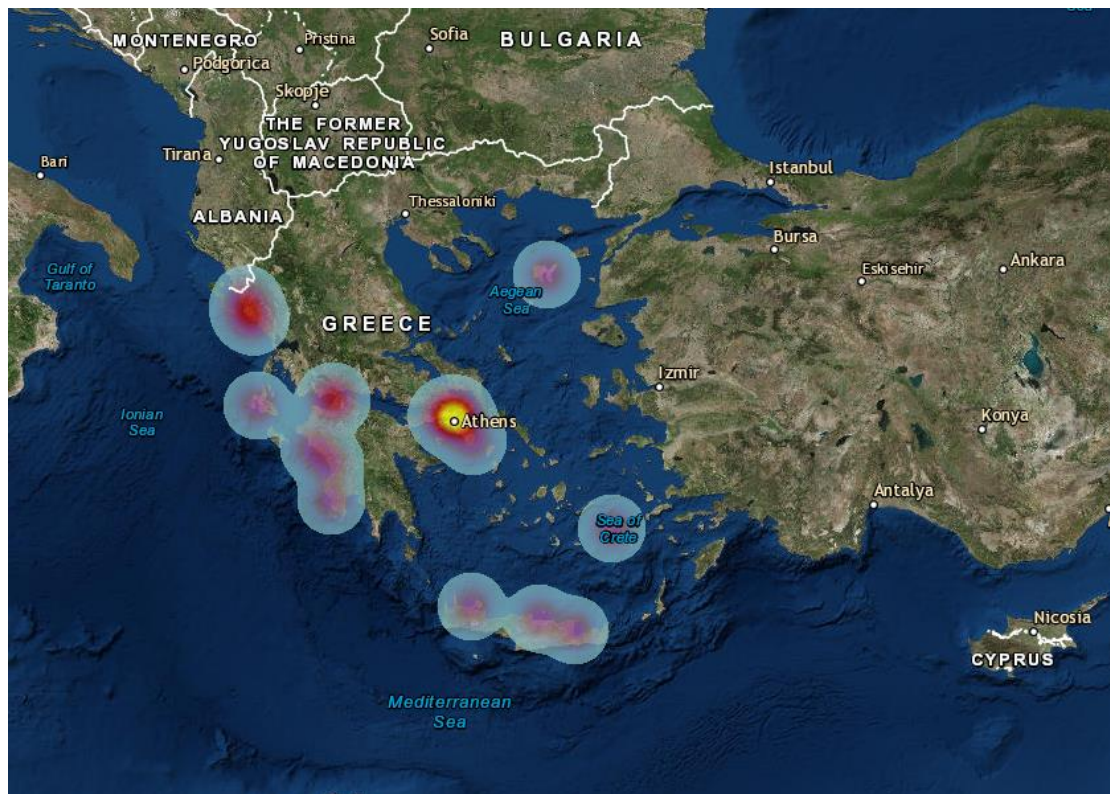
Διάγραμμα 4.1.6 Αριθμός ανά περιφέρεια 2012-2016

Το σύμβολο του χροανοειδούς σύννεφου είναι η στήλη ανέμου που επεκτείνεται προς το έδαφος αλλά δεν το ακουμπάει.



Εικόνα 4.1.3 Σύμβολο Funnel Cloud

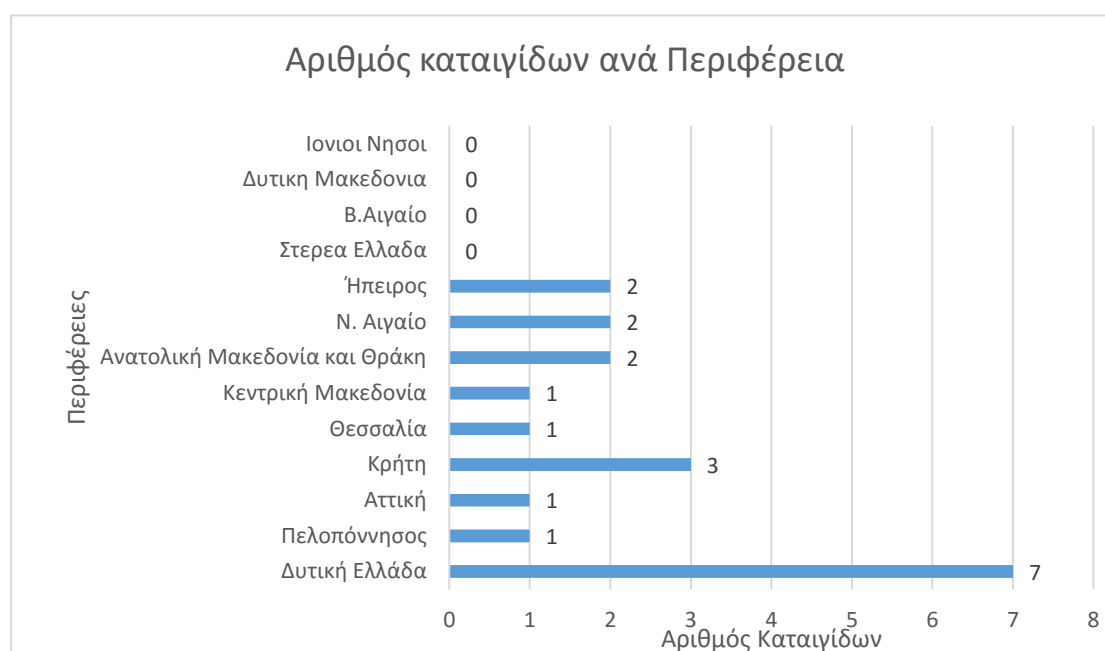
Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η κατανομή των funnel cloud στην Ελλάδα. Η Αττική και η Δυτική Ελλάδα εμφανίζουν την μεγαλύτερη συγκέντρωση αυτού του φαινομένου. Να σημειώσουμε πως το 2012 δεν καταγράφηκε κανένα funnel cloud.



Εικόνα 4.1.4 Heat map funnel cloud στον Ελλαδικό χώρο

4.2 Κεραυνοί-Lightnings

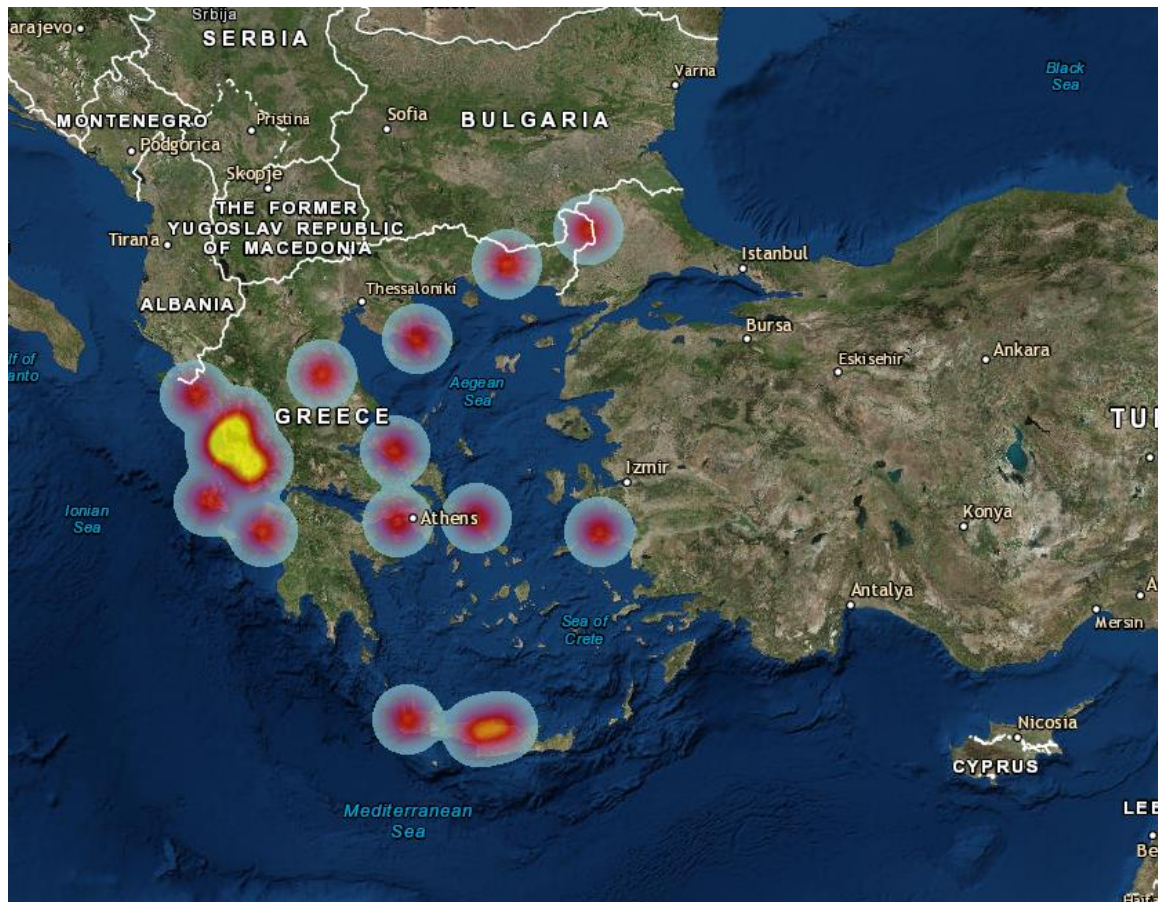
Με βάση τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν για τα ακραία καταιγιδοφόρα φαινόμενα που συνέβησαν στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο 2012-2016, η κατανομή τους



Διάγραμμα 4.2.1 Αριθμός καταιγίδων ανά περιφέρεια, έτη 2013-2016

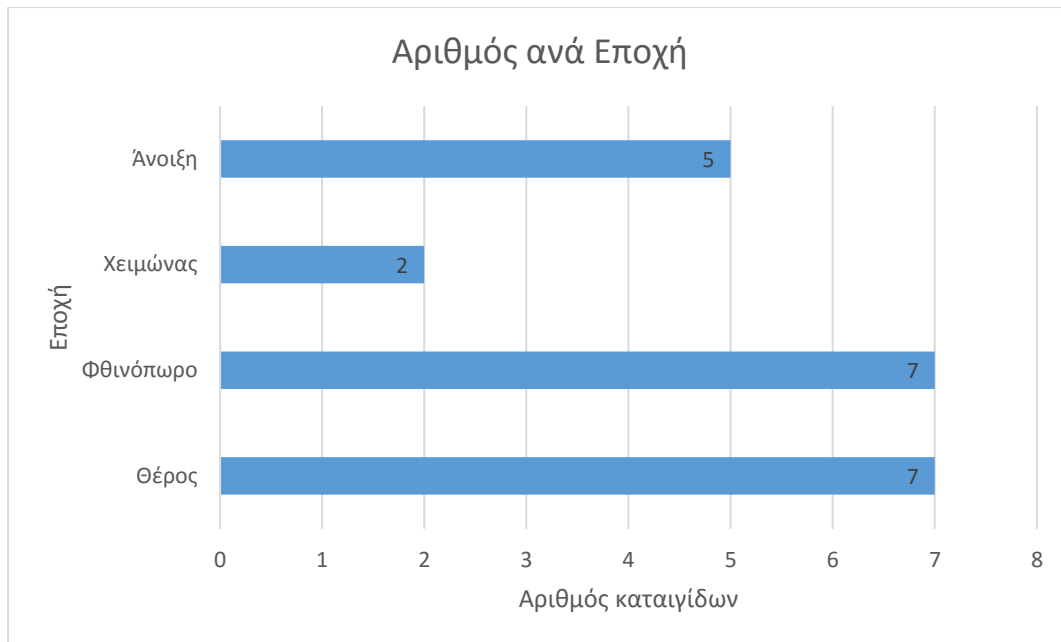
παρουσιάζει ισορροπία στον ελλαδικό χώρο με εξαίρεση την Δυτική Ελλάδα όπου παρατηρούνται τα περισσότερα από αυτά τα φαινόμενα λόγω της παρουσίας της Πινδικής Κορδιλιέρας. Παρόλο που αναμέναμε μεγαλύτερη εμφάνιση των καταιγίδων στα μεγαλύτερα υψόμετρα στην ενδοχώρα σύμφωνα με την βιβλιογραφία ⁸⁷ αυτά δεν εμφανίζονται. Αυτό μπορεί να συμβαίνει διότι σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου με χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού δεν είναι εύκολο να καταγραφθεί αποτελεσματικά ένα τέτοιο φαινόμενο.

⁸⁷ Matsangouras I., Nastos P., Kapsomenakis J. ,Cloud-to-ground lightning activity over Greece: Spatio-temporal analysis and impacts, Elsevier, 2015



Εικόνα 4.2.1 Heat map Καταιγίδων στον ελλαδικό χώρο

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα οι περισσότερες καταιγίδες εμφανίστηκαν κατά το θέρος και το χειμώνα και κατά δεύτερον την άνοιξη.



Διάγραμμα 4.2.2 Αριθμός καταιγίδων ανά εποχή

Το σύμβολο των καταιγίδων στην χαρτογραφική αποτύπωση είναι το ακόλουθο.



Εικόνα 4.2.2 Σύμβολο Lighting

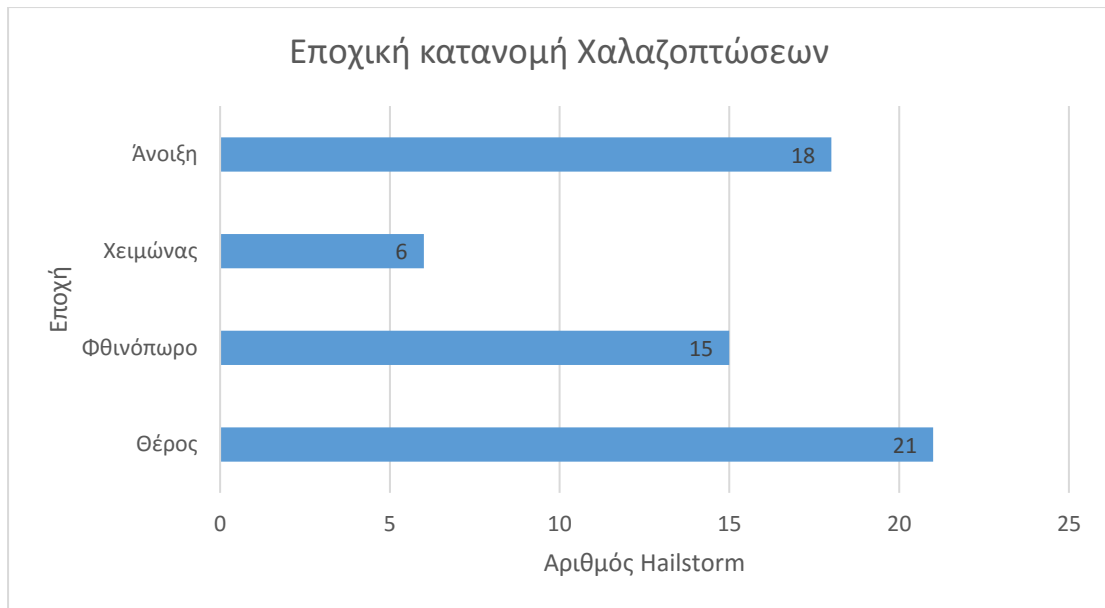
Οι καταιγίδες προκαλέσαν αρκετά προβλήματα, εμποδίζοντας την κίνηση στο οδικό δίκτυο, στομώνοντας αγωγούς όμβριων υδάτων, ενώ σε δύο περιπτώσεις είχαμε τον θάνατο ατόμου (στην Εύβοια όπου ένας κεραυνός έπεσε στο γήπεδο και σκότωσε ποδοσφαιριστή τοπικής ομάδας και στην Βόνιτσα, στον Αμβρακικό όπου κεραυνός χτύπησε βάρκα με επιβαίνοντες σκοτώνοντας έναν εξ 'αυτών).



Εικόνα 4.2.3 Κεραυνός έχει χτυπήσει ανεμογεννήτρια στην Άνδρο, η οποία έχει πάρει φωτιά. Πηγή <http://www.androsportal.gr/keravnos-cthipise-mia-apo-tis-anemogennitries-sto-kalivari/> Αναζήτηση στις 22/05/2016

4.3 Χαλαζοπτώσεις-Hailstorms

Με βάση την αναζήτηση δεδομένων που έγινε για το μελετώμενο διάστημα βρέθηκαν 60 περιπτώσεις χαλαζοπτώσεων που προκάλεσαν αρκετά σημαντικές ζημιές κυρίως σε καλλιεργούμενες εκτάσεις. Η εποχική συγκέντρωση φαίνεται στο διάγραμμα 4.3.1.

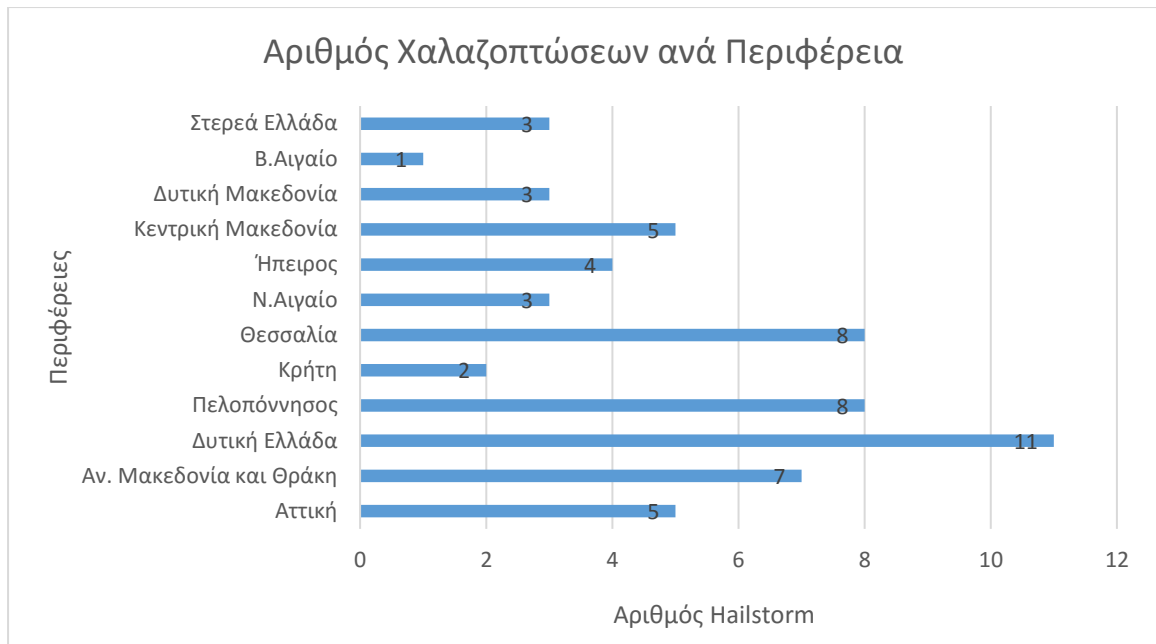


Διάγραμμα 4.3.1 Κατανομή των χαλαζοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο ανά εποχή

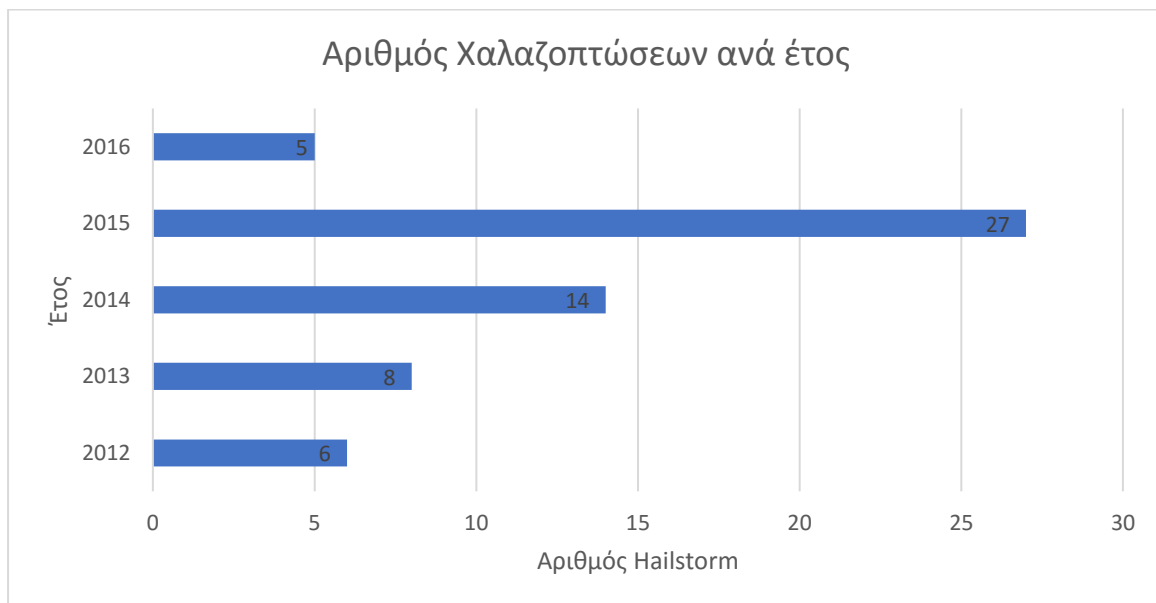
Η εποχική τους κατανομή κατά την μελετώμενη περίοδο παρουσιάζει μια σχετική ισορροπία ανάμεσα στην ψυχρή και την θερμή εποχή του έτους.

Η κατανομή των χαλαζοπτώσεων γεωγραφικά απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα και την Εικόνα 4.3.1. Όπως αναμέναμε με βάση την βιβλιογραφία⁸⁸ μεγαλύτερη συγκέντρωση παρουσιάζει η Δυτική Ελλάδα και η Πελοπόννησος, η Μακεδονία αλλά και η Θεσσαλία.

⁸⁸ Catsoulis B., Carapiperis L. Frequency of Hail Occurrence in Greece, 2012, Weather, Volume 39, σελ 183

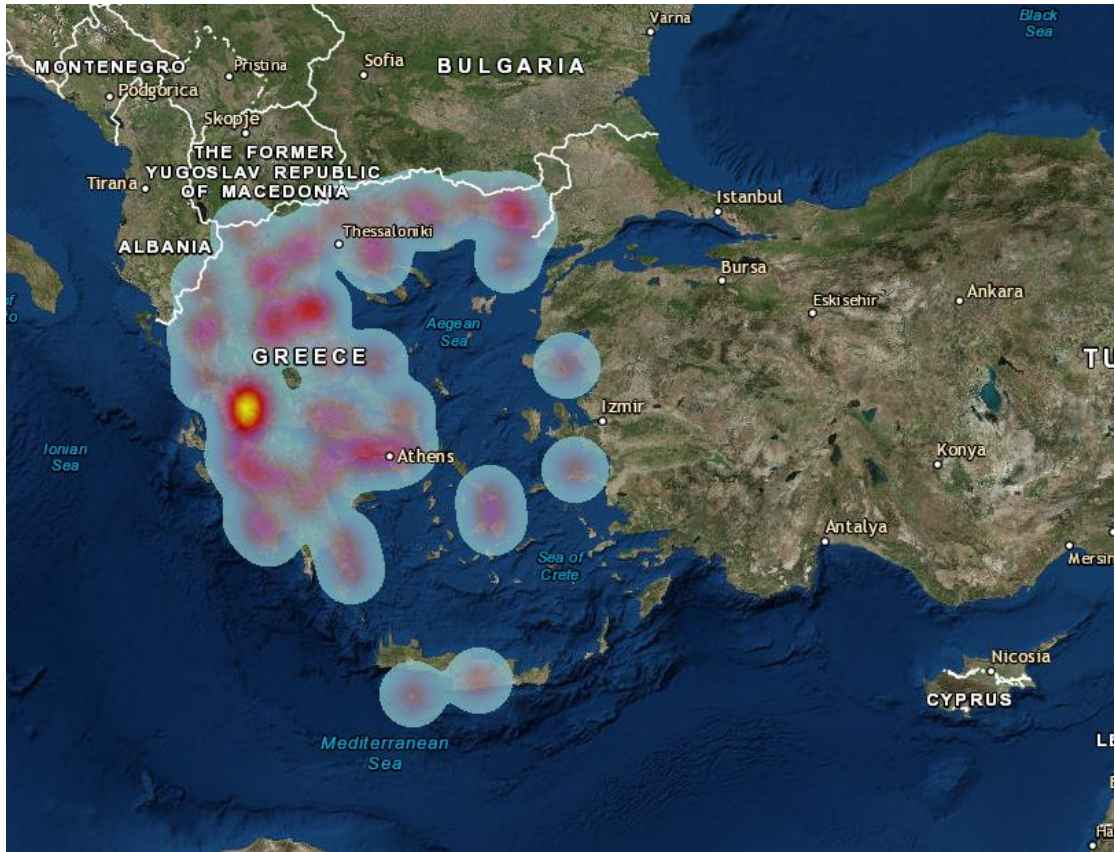


Διάγραμμα 4.3.2 Κατανομή των χαλαζοπτώσεων ανά περιφέρεια



Διάγραμμα 4.3.3 Αριθμός Χαλαζοπτώσεων ανά έτος

Παρακάτω απεικονίζεται η κατανομή των χαλαζοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο 2012-2016.



Εικόνα 4.3.1 Heat map χαλαζοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο 2012-2016

Οι χαλαζοπτώσεις κατέστρεψαν μεγάλες εκτάσεις από καλλιεργούμενες εκτάσεις ενώ συνήθως συνοδεύονταν από άλλα ακραία φαινόμενα όπως ραγδαίες βροχοπτώσεις και καταιγίδες.

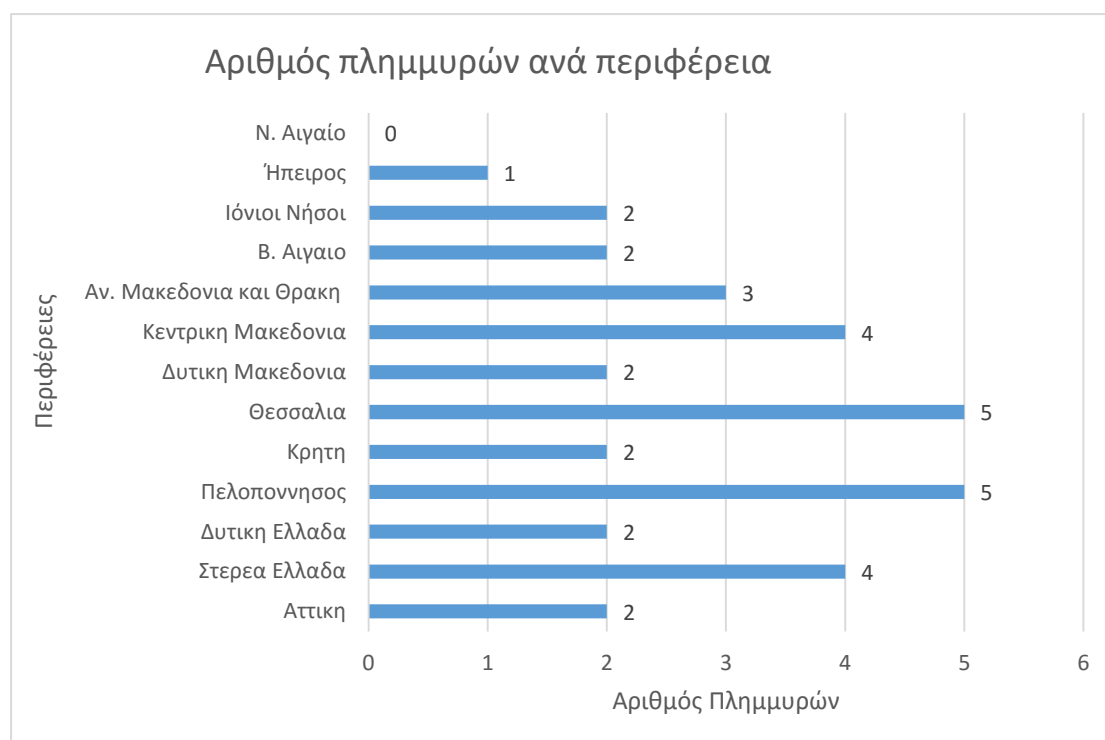
Το σύμβολο των χαλαζοπτώσεων στο χάρτη είναι το ακόλουθο.



Εικόνα 4.3.2 Σύμβολο χαλαζοπτώσεων

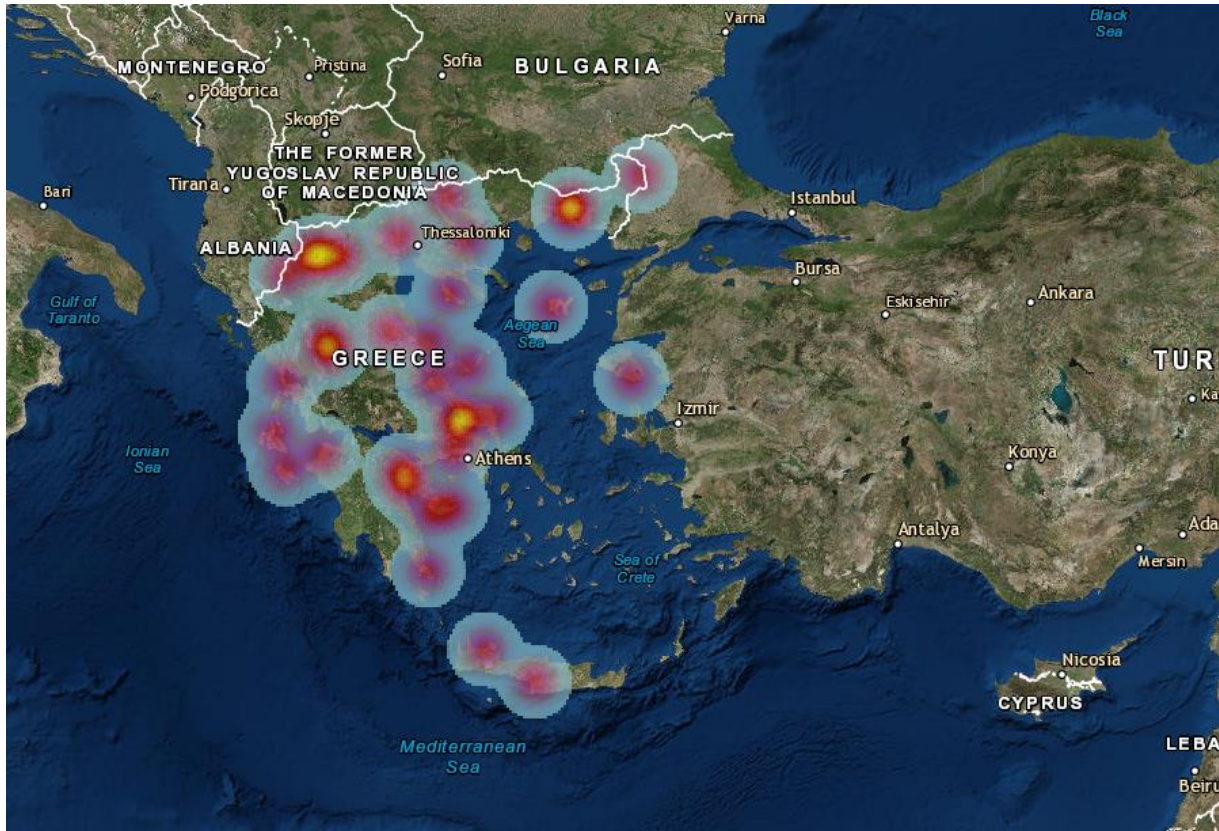
4.4 Πλημμυρικά Φαινόμενα-Flash Floods

Ο αριθμός των πλημμυρικών φαινομένων και των flash floods που συνέβησαν κατά την πενταετία 2012-2016 ανά περιφέρεια φαίνεται στο διάγραμμα. Οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο ήταν η Στερεά Ελλάδα, η Θεσσαλία, η Πελοπόννησος και η Μακεδονία.



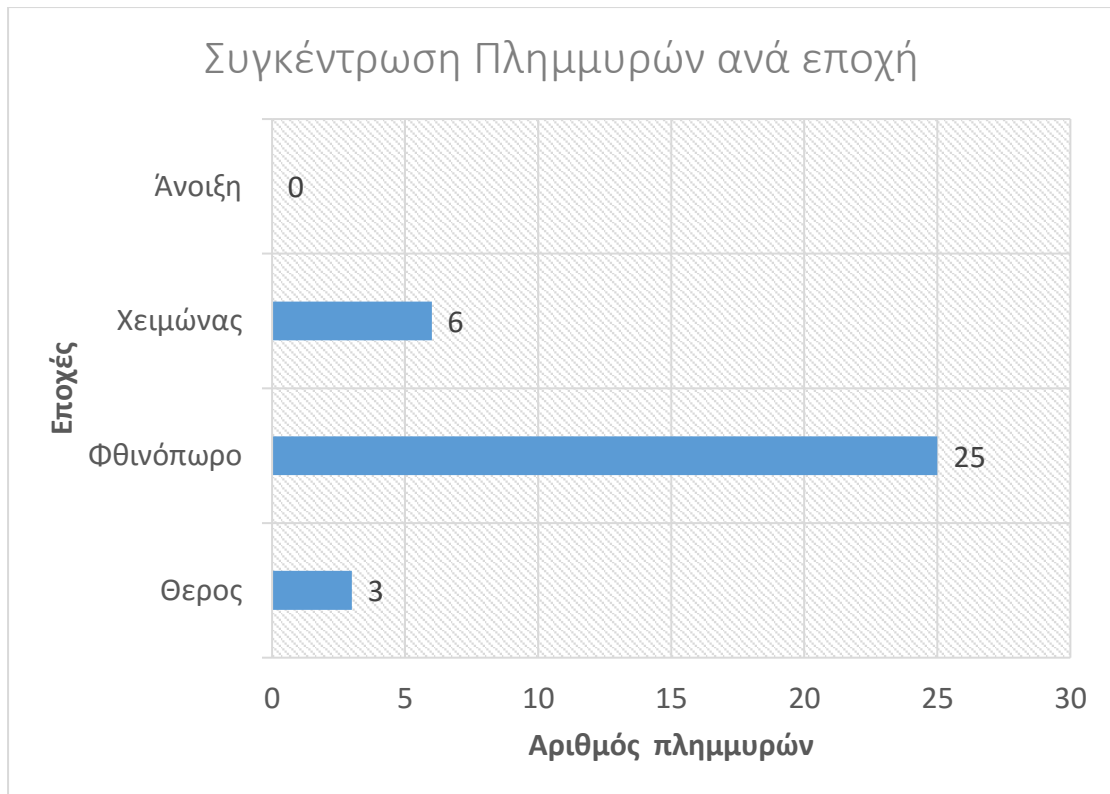
Διάγραμμα 4.4.1 Αριθμός πλημμυρών ανά περιφέρεια

Στον παρακάτω heat map απεικονίζεται η κατανομή των πλημμυρών. Το φαινόμενο των πλημμυρών εκδηλώνεται στο μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής επικράτειας αλλά κυρίως στην Πελοπόννησο, την Θεσσαλία και την Αττική. Συγκρίνεται τα αποτελέσματα αυτά με την εικόνα 2.4.1.3, στο Κεφάλαιο 2.4.1 του Θεωρητικού μέρους.



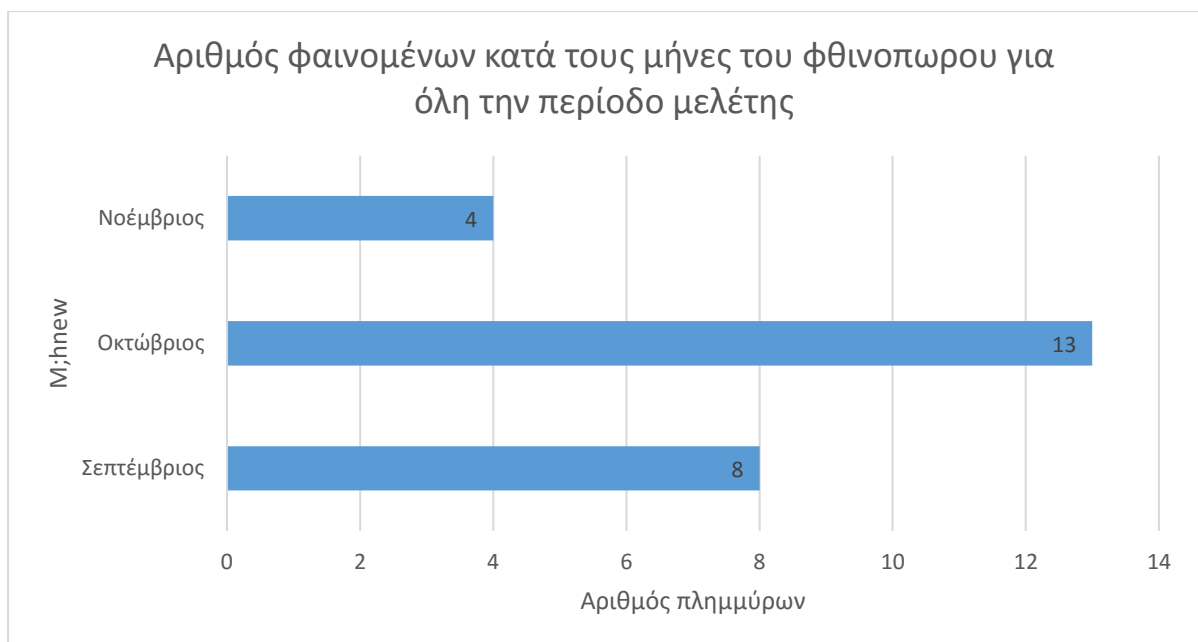
Εικόνα 4.4.1 Heat map πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο

Όπως αναφέραμε παραπάνω οι πλημμύρες που συμβαίνουν στον Ελλαδικό χώρο είναι συνήθως flash floods καθώς οι περισσότερες προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας. Επίσης απουσιάζει ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο και η αποστράγγιση των υδρογραφικών λεκανών γίνεται από εποχιακά ρυάκια και χειμάρρους. Η εποχική τους συγκέντρωση είναι η ακόλουθη.



Διάγραμμα 4.4.2 Εποχική συγκέντρωση πλημμυρικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο

Όπως παρατηρούμε η πλειονότητα των πλημμυρών συμβαίνει την ψυχρή εποχή του έτους και κυρίως το φθινόπωρο. Παρατηρείστε τα διαγράμματα 4.4.2 και 4.4.3 και συγκρίνετέ τα με την εικόνα 2.1.1.4, Κεφάλαιο 2.4.1.



Εικόνα 4.4.3 Αριθμός πλημμυρικών φαινομένων κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, περίοδος 2012-2015

Οι μελετώμενες πλημμύρες προκάλεσαν σοβαρά προβλήματα μπλοκάροντας το οδικό δίκτυο, παγιδεύοντας ανθρώπους για ώρες, ενώ σε δύο περιπτώσεις είχαμε το θάνατο ενός ατόμου (Σιδηρόκαστρο 17/01/2016, Αθήνα 22/10/2015).



Εικόνα 4.4.2 Η μεγάλη πλημμύρα στην Αττική προκάλεσε μεγάλες ζημιές και το θάνατο ενός ατόμου. Πηγή http://www.thetoc.gr/images/articles/2/article_86123/tragwdia-oi-plimmures-epniksan-50xrono-sto-menidi.w_l.jpg

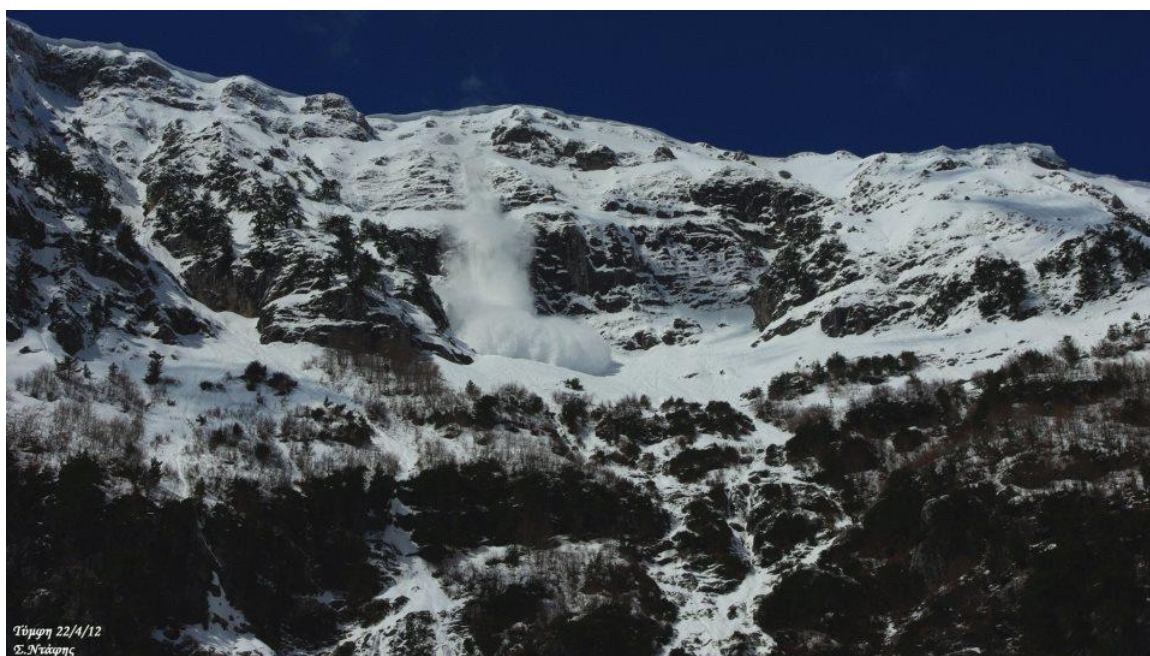
Το σύμβολο των πλημμυρών είναι το ακόλουθο. Περιλαμβάνεται στη λίστα συμβόλων «Καταστροφές» του ArcGIS.



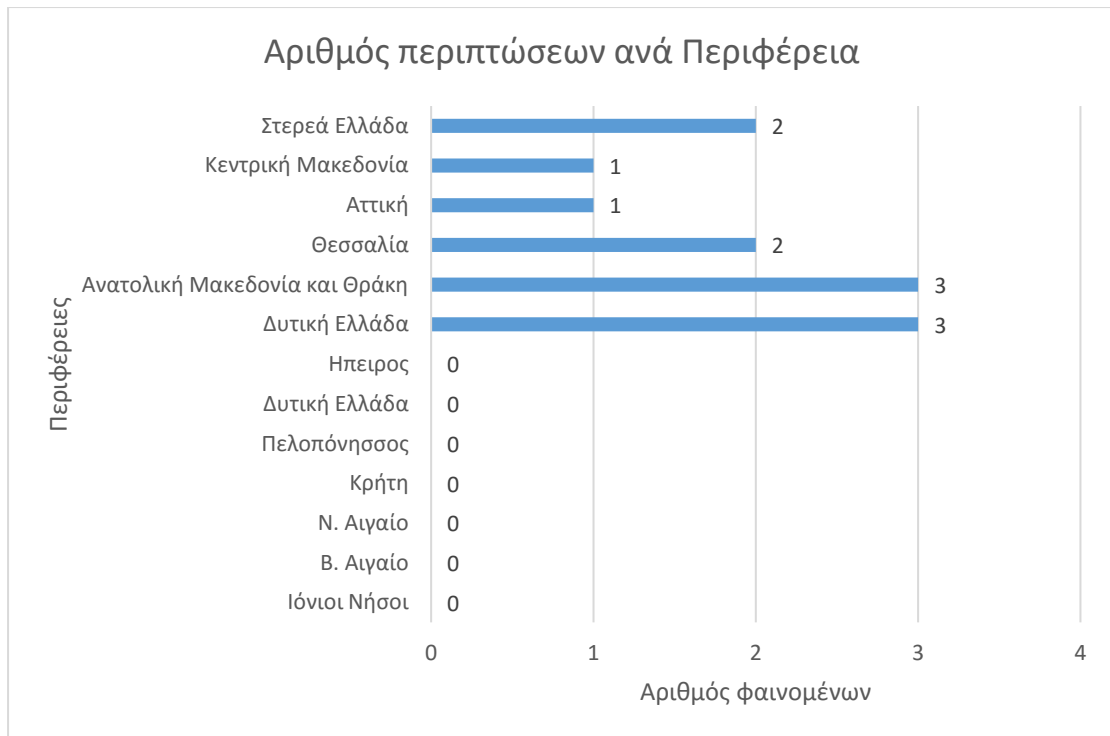
Εικόνα 4.4.3 Σύμβολο πλημμυρών και flash floods

4.5 Χιονοπτώσεις-Snowfalls

Χιονοπτώσεις και χαμηλές θερμοκρασίες που να φθάνουν στο σημείο παγετού σημειώθηκαν κατά την ψυχρή περίοδος του έτους στην ηπειρωτική χώρα και σχεδόν απουσιάζουν από την νησιωτική επικράτεια. Χαρακτηριστικές είναι οι δύο περιπτώσεις χιονοστιβάδας (avalanche) που σημειώθηκαν στην περιοχή του Ζαγορίου και της Κόνιτσας.



Εικόνα 4.5.1 Χιονοστιβάδα στο Ζαγόρι. Πηγή:https://scontent-cdg2-1.xx.fbcdn.net/hphotos-xfa1/v/t1.0-9/36493_3061265855991_2087571408_n.jpg?oh=dbbb789b55b7e79e3cb7acd428bfb2cb&oe=577B6B76



Διάγραμμα 4.5.1 Αριθμός χιονοπτώσεων ανά περιφέρεια

Τα χαρτογραφικά σύμβολα για τις χιονοπτώσεις και τις χιονοστιβάδες ήταν τα ακόλουθα:



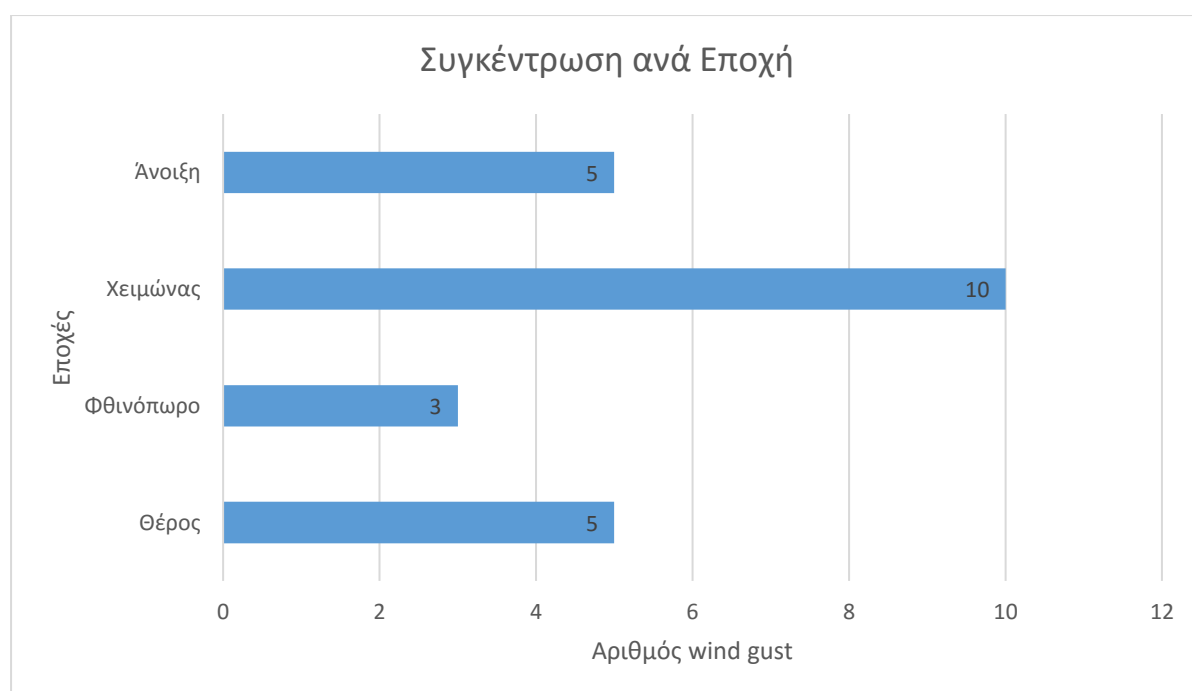
Εικόνα 4.5.1 Σύμβολο χιονόπτωσης



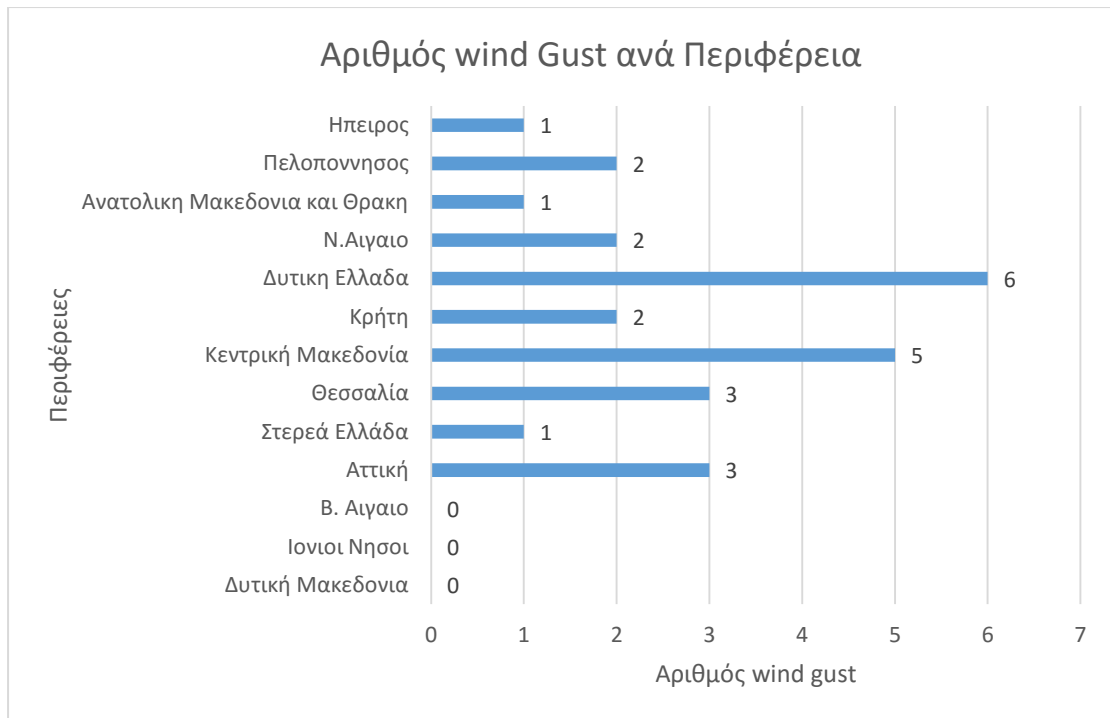
Εικόνα 4.5.2 Σύμβολο avalanचे

4.6 Ισχυροί Άνεμοι-Wind Gusts

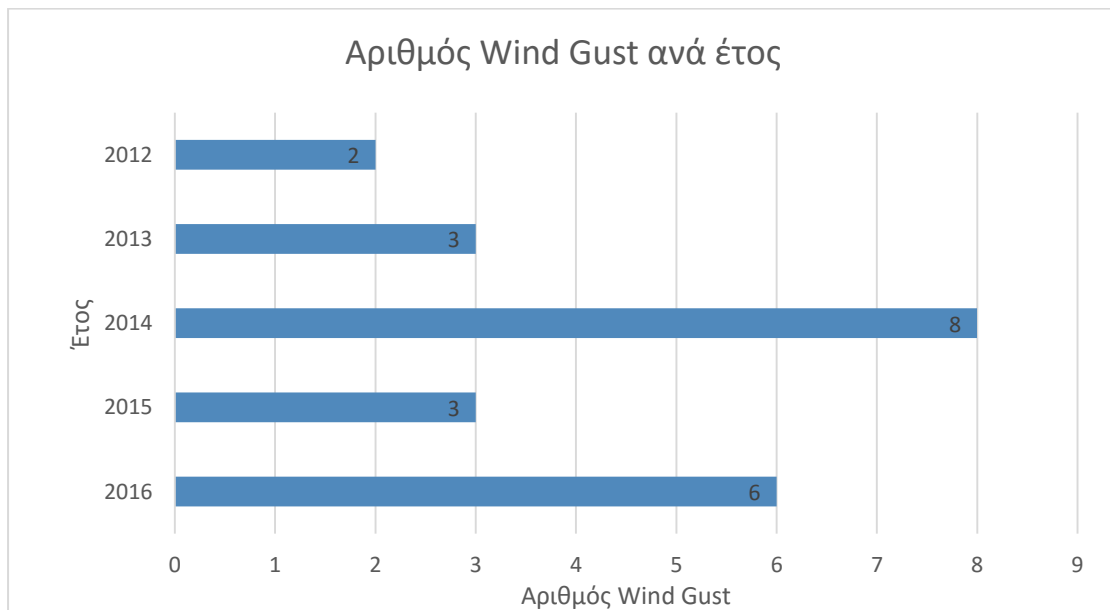
Τα περιστατικά πολύ ισχυρών ανέμων που προκάλεσαν ζημιές (πτώσεις δέντρων, κλείσιμο του οδικού δικτύου, πρόκληση ζημιών σε κτήρια κ.α.) που συγκεντρώθηκαν για το μελετώμενο διάστημα εμφανίζουν μεγαλύτερη συχνότητα τον χειμώνα και έπειτα την άνοιξη και την εποχή του θέρους (διάγραμμα 4.6.1). Όσον αφορά την γεωγραφική τους κατανομή, μεγαλύτερη συγκέντρωση εμφανίζεται στην Δυτική Ελλάδα και την Κεντρική Μακεδονία, και την μικρότερη στην Στερεά Ελλάδα.



Διάγραμμα 4.6.1 Εποχική συγκέντρωση wind gust



Διάγραμμα 4.6.2 Αριθμός wind gust ανά περιφέρεια



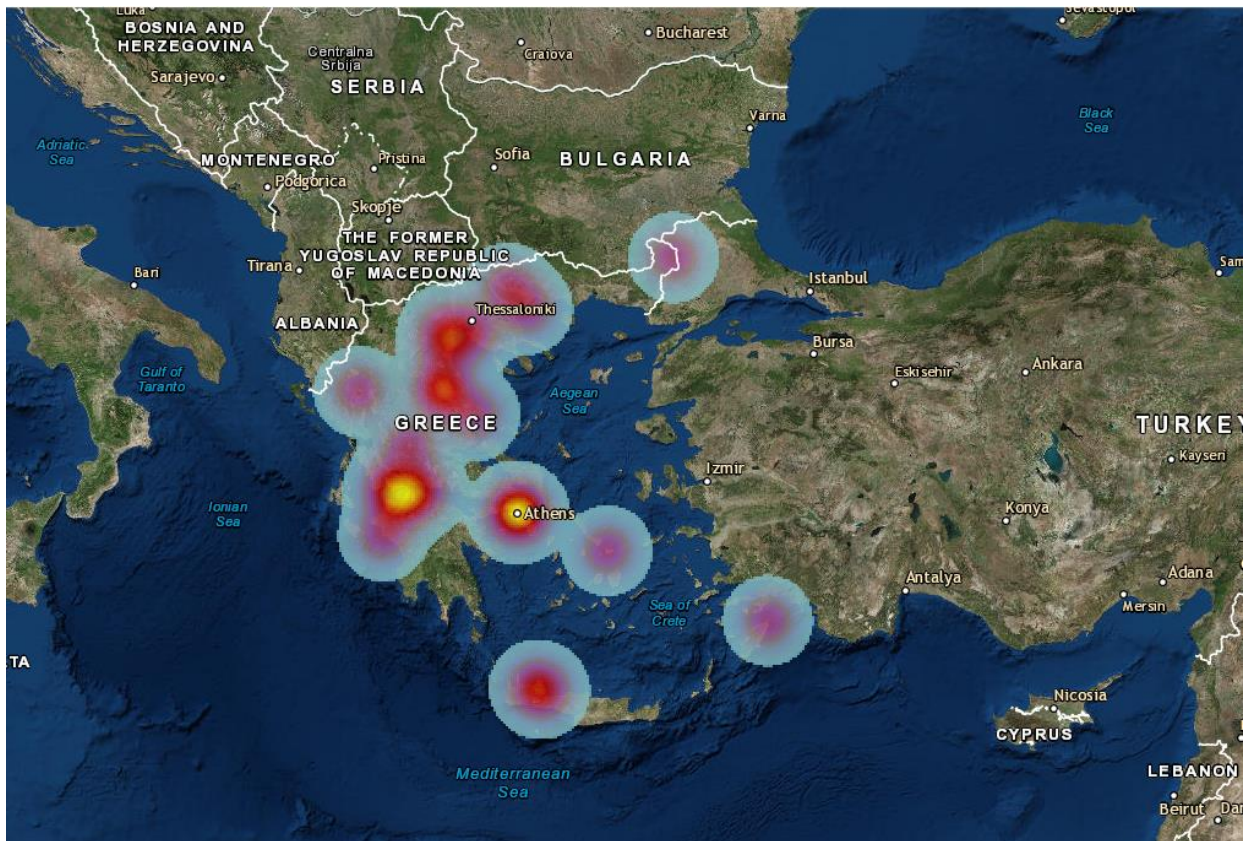
Διάγραμμα 4.6.3 Αριθμός wind gust ανά έτος

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα 4.6.3 η χρονιά με τα περισσότερα καταγεγραμμένα wind gust ήταν το 2014, ενώ το 2012 καταγράφηκαν μόλις 2. Το σύμβολό τους είναι το ακόλουθο.



Εικόνα 4.6.1 Σύμβολο των
wind gust

Παρακάτω απεικονίζεται χάρτης συγκέντρωσης όλων των καταγεγραμμένων wind gust της περιόδου 2012-2016 στην Ελλάδα.



Εικόνα 4.6.2 Heat map wind gust στον Ελλαδικό χώρο

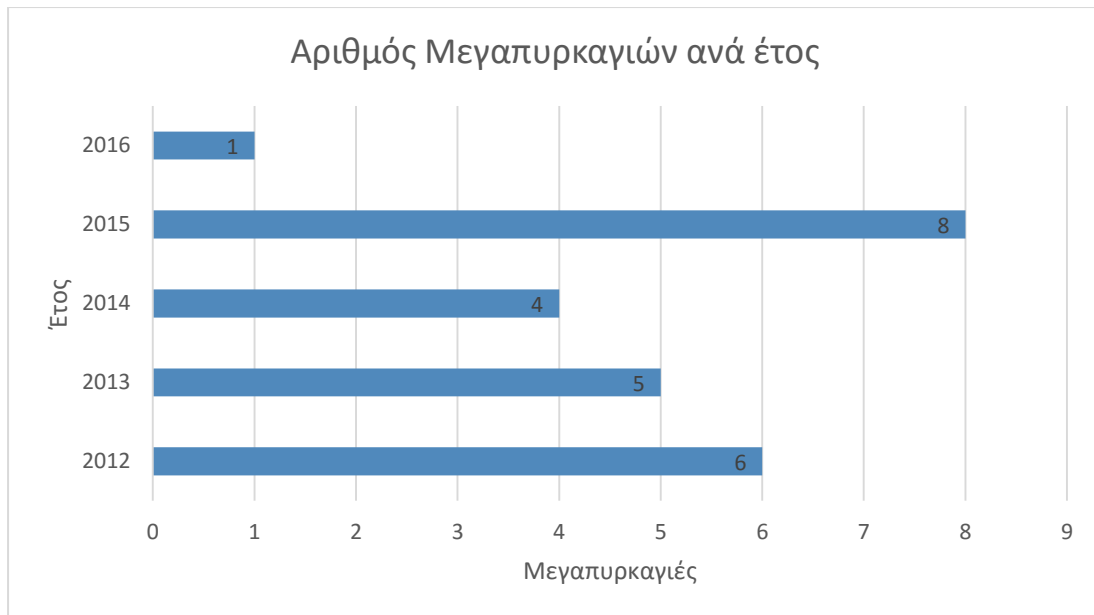
4.7 Μεγαπυρκαγιές-Wildfires

Ο αριθμός μεγάλων δασικών πυρκαγιών για την περίοδο 2012-2016, που προκάλεσαν καταστροφές σε δασικές εκτάσεις, κατοικημένες περιοχές ενώ προκάλεσαν και απώλειες ζωής, ανέρχεται σε 24. Η εποχική τους κατανομή περιορίζεται στην θερμή εποχή του έτους, ενώ η γεωγραφική τους κατανομή απεικονίζεται στο διάγραμμα και την εικόνα 4.7.1.



Διάγραμμα 4.7.1 Αριθμός μεγαπυρκαγιών ανά περιφέρεια

Όπως παρατηρούμε η Αττική συγκεντρώνει τον μεγαλύτερο αριθμό καταστρεπτικών πυρκαγιών την μελετώμενη περίοδο, ακολουθούμενη από την Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο. Όσον αφορά τον ετήσιο αριθμό μεγαπυρκαγιών το 2015 ήταν η χρονιά με τις περισσότερες, ενώ για το 2016 δεν έχουμε διανύσει το μεγαλύτερο διάστημα της θερμής περιόδου ώστε να έχουμε μεγάλες δασικές πυρκαγιές.



Διάγραμμα 4.7.3 Αριθμός Μεγαπυρκαγιών ανά έτος (έως 20 Μαΐου 2016)

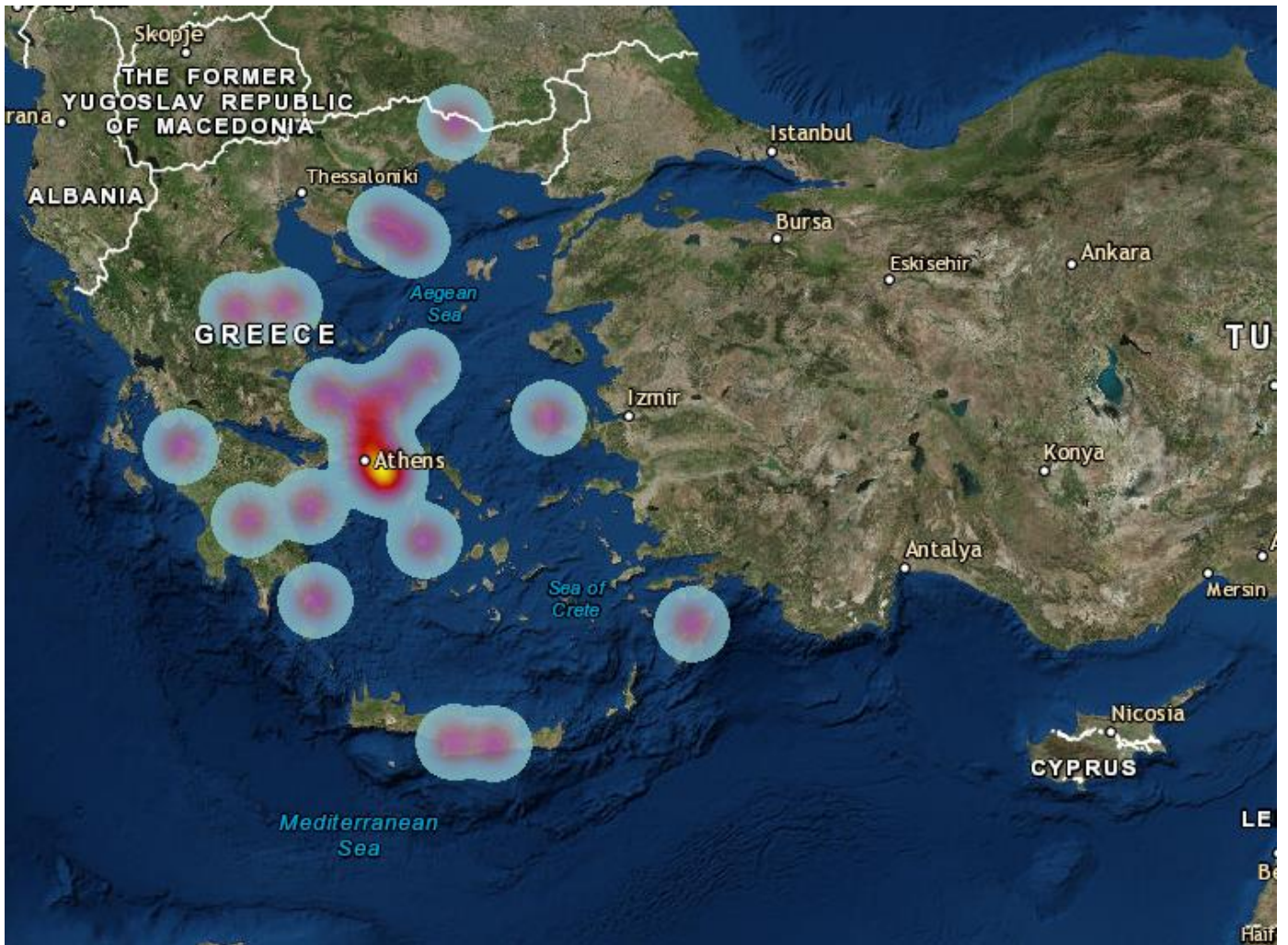
Όσον αφορά το συνολικό αριθμό πυρκαγιών και τα καμένα στρέμματα το 2015 ήταν χρονιά που παρουσιάστηκε μείωση σε σχέση με την προηγούμενη (2014) σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Πυροσβεστικού σώματος⁸⁹. Το σύμβολο των wildfire είναι το παρακάτω.



Εικόνα 4.7.1 Σύμβολο
μεγαπυρκαγιών

Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει την κατανομή των πυρκαγιών την μελετώμενη περίοδο.

⁸⁹ <http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500046764>., Αναζήτηση στις 26/05/2016



Εικόνα 4.7.2 Heat map wildfires 2012-2016

5. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο ακολουθεί παρουσίαση χαρακτηριστικών περιπτώσεων ακραίων καιρικών φαινομένων τα οποία προκάλεσαν καταστροφές στον τόπο εκδήλωσής τους. Η ανάλυσή τους έγινε με βάση τη μελέτη μετεωρολογικών χαρτών και δεδομένων από ραδιοβολίδες.

5.1 Σκάλα Λακωνίας: Σίφωνας 21-09-2015 / Μέθανα: Υδροσίφωνας 22-09-2015

Η πρώτη περίπτωση μελέτης είναι ο στρόβιλος που εκδηλώθηκε στη Σκάλα Λακωνίας τις πρωινές ώρες τις 21ης Σεπτεμβρίου του 2015. Θεωρείται πως η ταχύτητα του ανέμου έφτασε στο επίπεδο 2 της κλίμακας Fujita (179–218 χλμ/ώρα). Είναι ίσως η πιο γνωστή περίπτωση σιφώνα στην Ελλάδα και προκάλεσε πολλές ζημιές. Χαρακτηριστικά άνοιξαν οι τάφοι στο νεκροταφείο του Ασπροχώματος, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος διακόπηκε, δέντρα έπεσαν και μπλοκάραν το οδικό δίκτυο, μια νταλικά δίπλωσε, ενώ αρκετές ζημιές υπήρξαν σε οικίες και εργοστάσια. Μεγάλες ήταν οι καταστροφές σε καλλιέργειες, εγκαταστάσεις φυσικού αερίου κ.α.⁹⁰

⁹⁰ <http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500027045>, Αναζήτηση στις, 17/06/2016



Εικόνα 5.1.1 Κατεστραμμένο εργοστάσιο μετά το πέρασμα του σιφώνα. Πηγή <http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500027045>. Αναζήτηση στις 17/06/2016

Αν και στα πρωτοσέλιδα και στις ειδήσεις έγινε γνωστός ως ανεμοστρόβιλος, αυτός ο ορισμός είναι λανθασμένος, καθώς ο ανεμοστρόβιλος είναι άλλο φαινόμενο διαφορετικό από τον σιφώνα. Ο σίφωνας που εκδηλώθηκε στη Σκάλα Λακωνίας συνοδεύτηκε από ραγδαίες βροχοπτώσεις στην Πελοπόννησο και στη Δυτική Ελλάδα.



Εικόνα 5.1.2 Νταλικά έχει γυρίσει λόγω της δύναμης του σιφώνα. Πηγή <http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500027045>. Αναζήτηση στις 17/06/2016



Εικόνα 5.1.3 Κατεστραμμένο εργοστάσιο στη Σκάλα Λακωνίας. Πηγή <http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500027045> Αναζήτηση στις 17/06/2016



Εικόνα 5.1.4 Ανοιχτοί τάφοι μετά το πέρασμα του σιφώνα. Πηγή:
<http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500027045>, Αναζήτηση στις 17/06/2016

Στα Μέθανα την επόμενη ημέρα εμφανίστηκε ένας εντυπωσιακός υδροστρόβιλος.

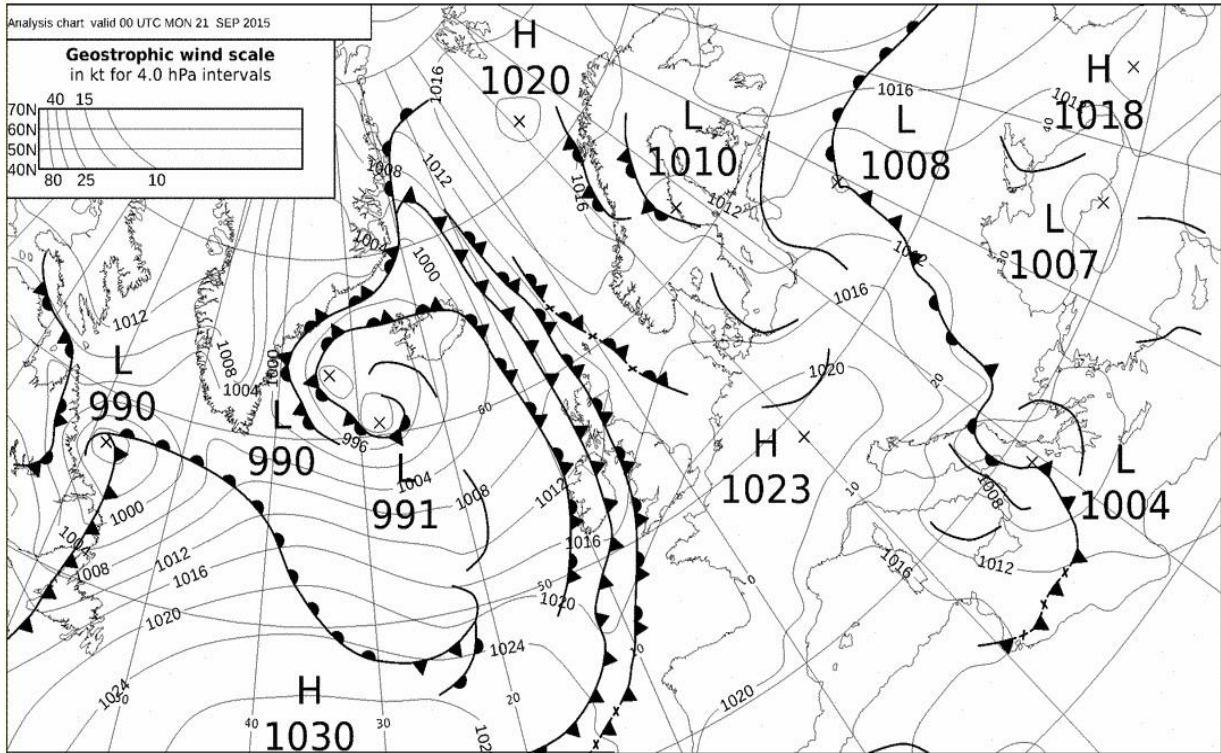


Εικόνα 5.1.5 Εντυπωσιακός Υδροστρόβιλος στα Μέθανα 22092015. Πηγή http://www.athensmagazine.gr/photos/articles/thumbs_large/dbabcb4a6eb70a7f24dd46c584e78b22.jpg. Αναζήτηση στις 17/06/2016

Στο που οφείλονται το παραπάνω φαινόμενα θα το αναλύσουμε παρακάτω. Στην Εικόνα 5.1.6 παρατηρούμε έναν μετεωρολογικό χάρτη επιφανείας. Η Ελλάδα εντοπίζεται στα ανατολικά (δεξιά) της εικόνας. Η ώρα είναι 00 UTC, (η πρώτη ώρα της Δευτέρας 21/09/2015), και όπως διακρίνουμε ένα ψυχρό μέτωπο κινείται από την Ιταλία προς την Δυτική Ελλάδα και την Πελοπόννησο. Η πίεση στην επιφάνεια είναι 1004hPa. Το ψυχρό μέτωπο είναι η γραμμή που ορίζει την επέλαση αέριας μάζας με διαφορετικά χαρακτηριστικά υγρασίας (χαμηλότερο σημείο δρόσου) και θερμοκρασίας (χαμηλότερη) από τις αέριες μάζες που βρίσκονταν προηγουμένως σε μία περιοχή. Ο ψυχρότερος αέρας, όντας πυκνότερος, συγκεντρώνεται χαμηλότερα από τον θερμότερο και αραιότερο αέρα, τον οποίο ωθεί σε άνοδο με αποτέλεσμα τη δημιουργία σωρειτόμορφων νεφών. Το πέρασμα ενός ψυχρού μετώπου συνήθως συνοδεύεται από

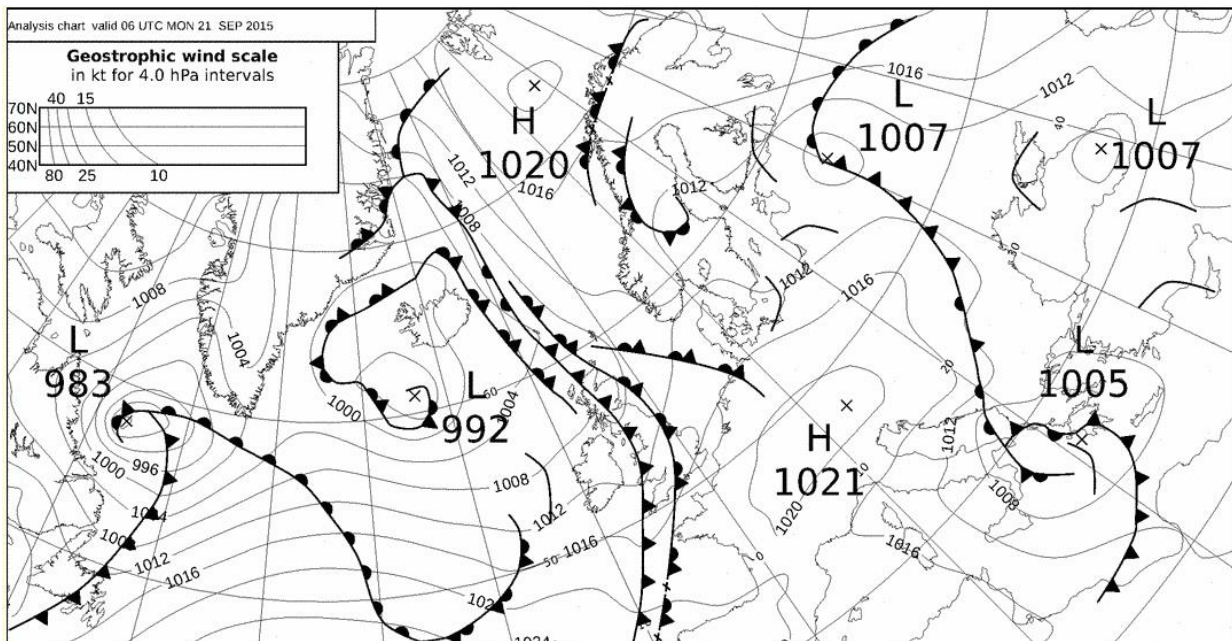
αλλαγή στη διεύθυνση και την ταχύτητα των ανέμων και μπορεί να επιφέρει βροχή ή καταιγίδα⁹¹.

⁹¹ [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(GI\)/guides/mtr/af/frnts/cfrnt/def.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(GI)/guides/mtr/af/frnts/cfrnt/def.xml), University of Illinois. Cold Front. Αναζήτηση στις 17/06/2016



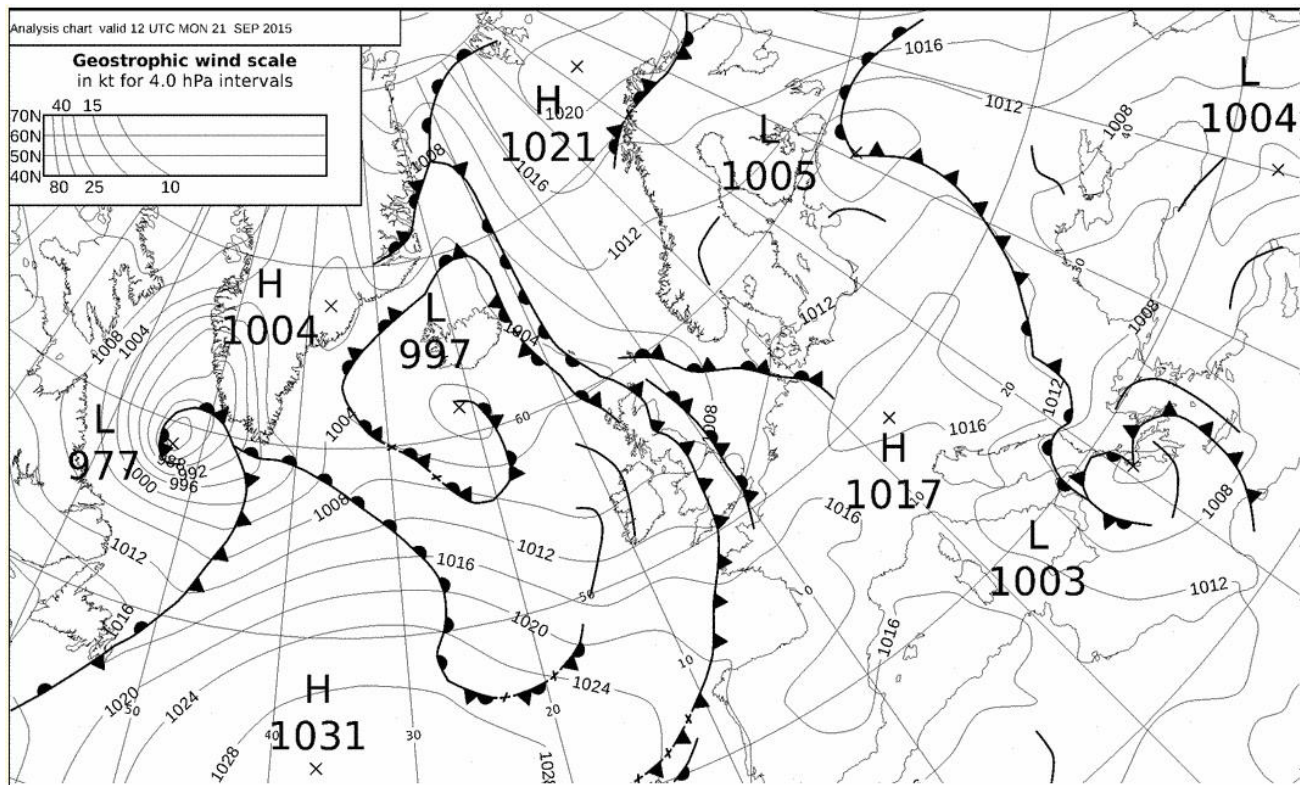
Εικόνα 5.1.6 Μετεωρολογικός χάρτης επιφάνειας, 12-09-2015 00 UTC. Πηγή Wetter3.org

Στις 06 UTC το ψυχρό μέτωπο έχει φτάσει πια στην Δυτική Ελλάδα (Εικ. 5.1.7)

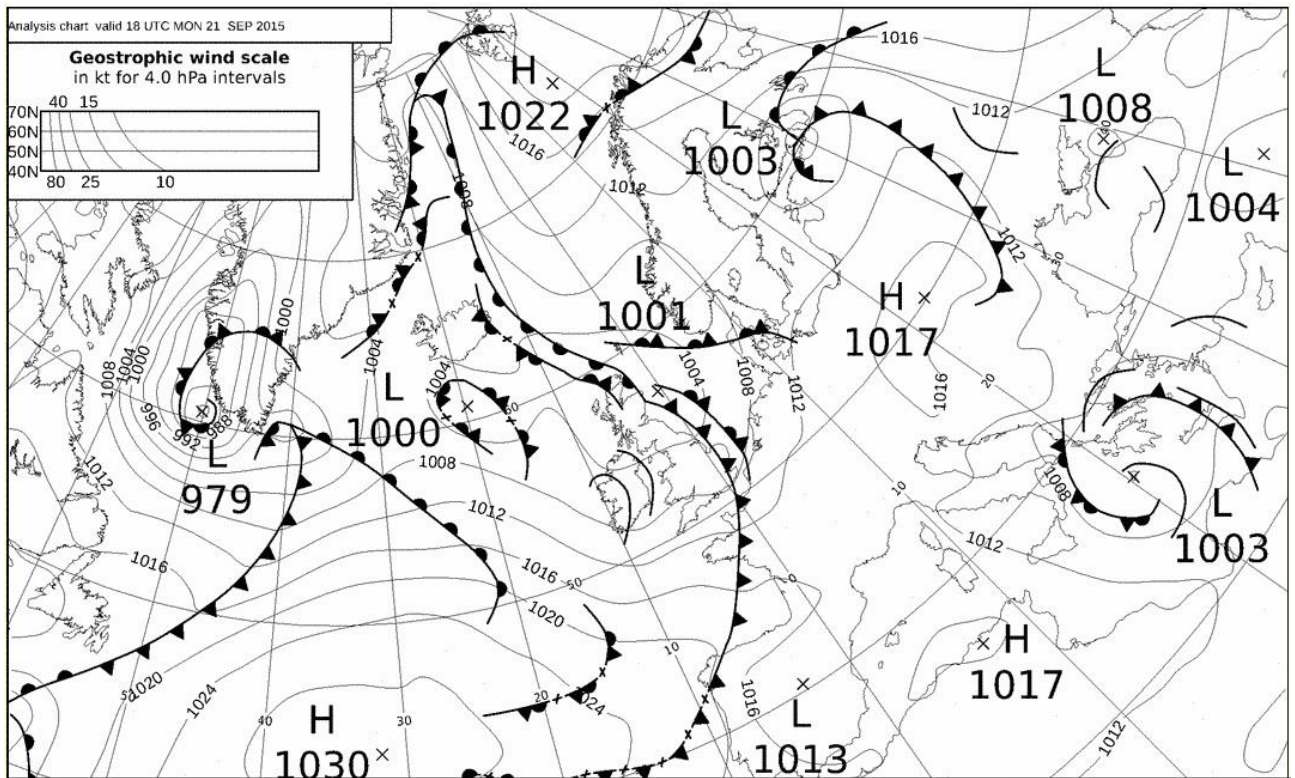


Εικόνα 5.1.7. Μετεωρολογικός χάρτης Επιφανείας, 21-09-2015 06 UTC Πηγή Wetter3.de

Στις Εικόνες 5.1.8 και 5.1.9 βλέπουμε την εξέλιξη του μετώπου και την σταδιακή απομάκρυνσή του προς τα ανατολικά.



Εικόνα 5.1.8 Μετεωρολογικός χάρτης Επιφανείας, 21-09-2015 12 UTC Πηγή Wetter3.de

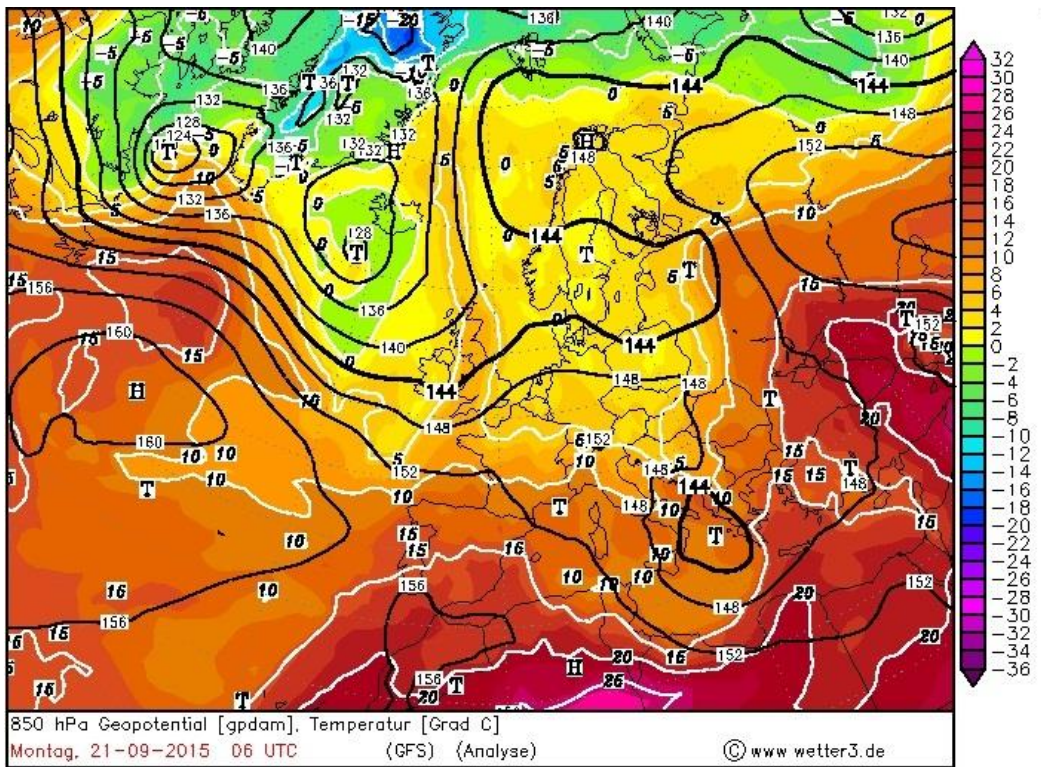
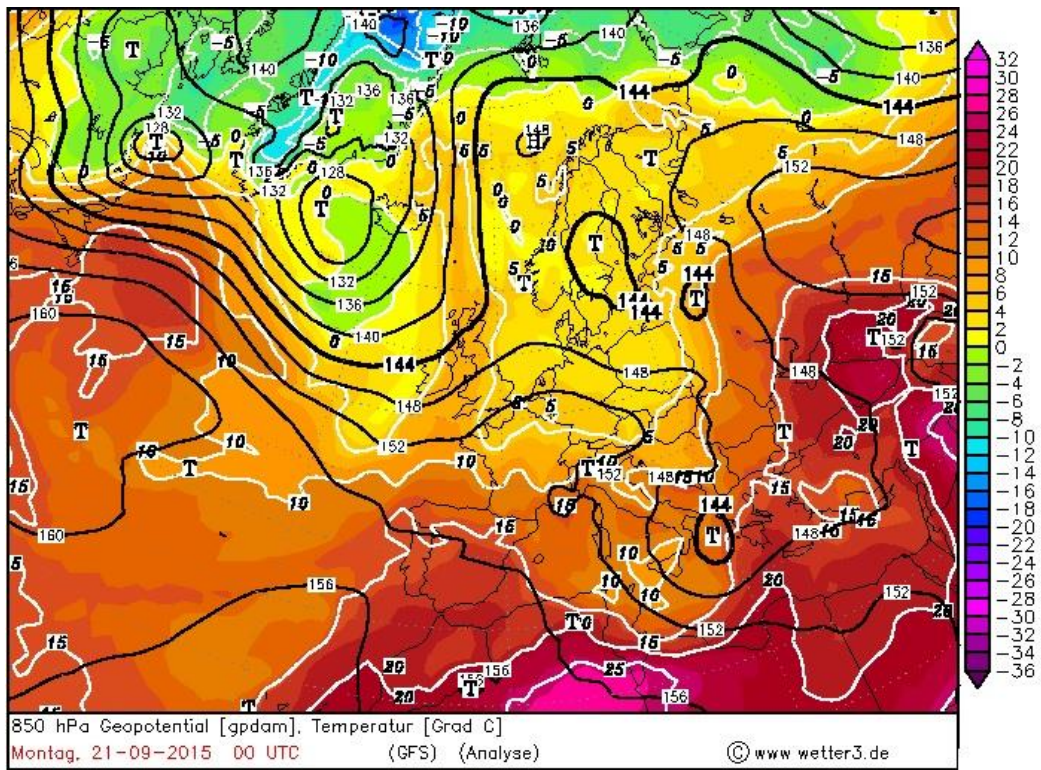


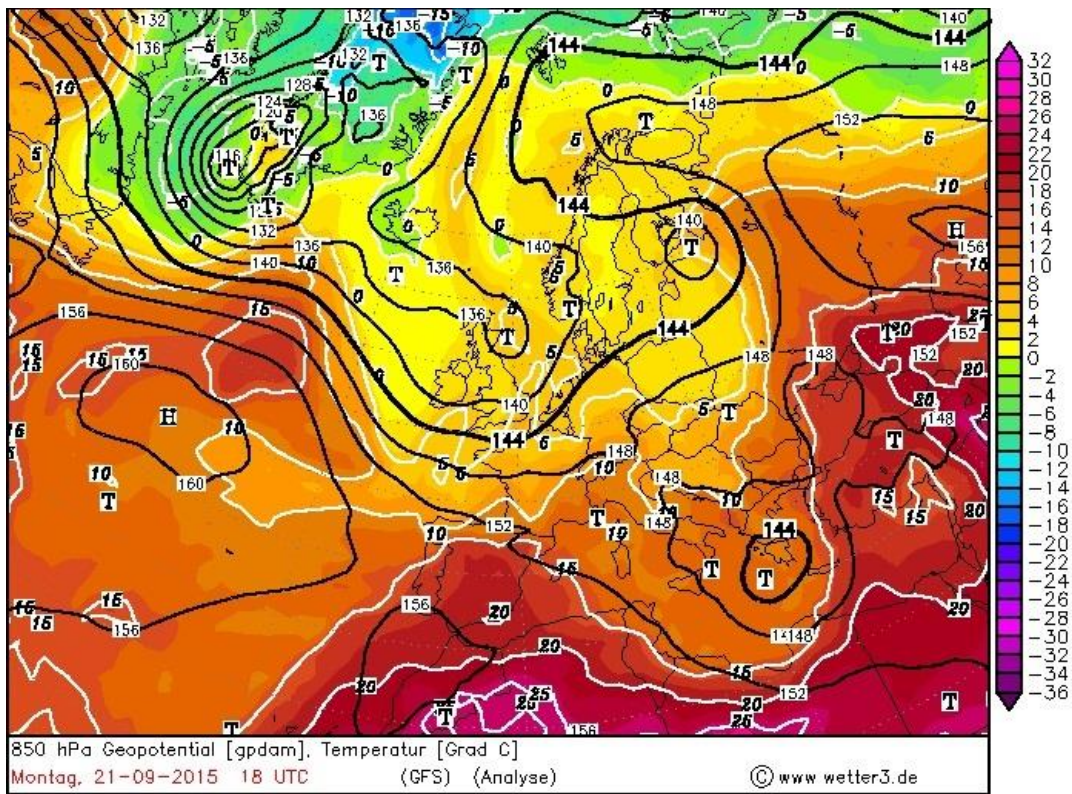
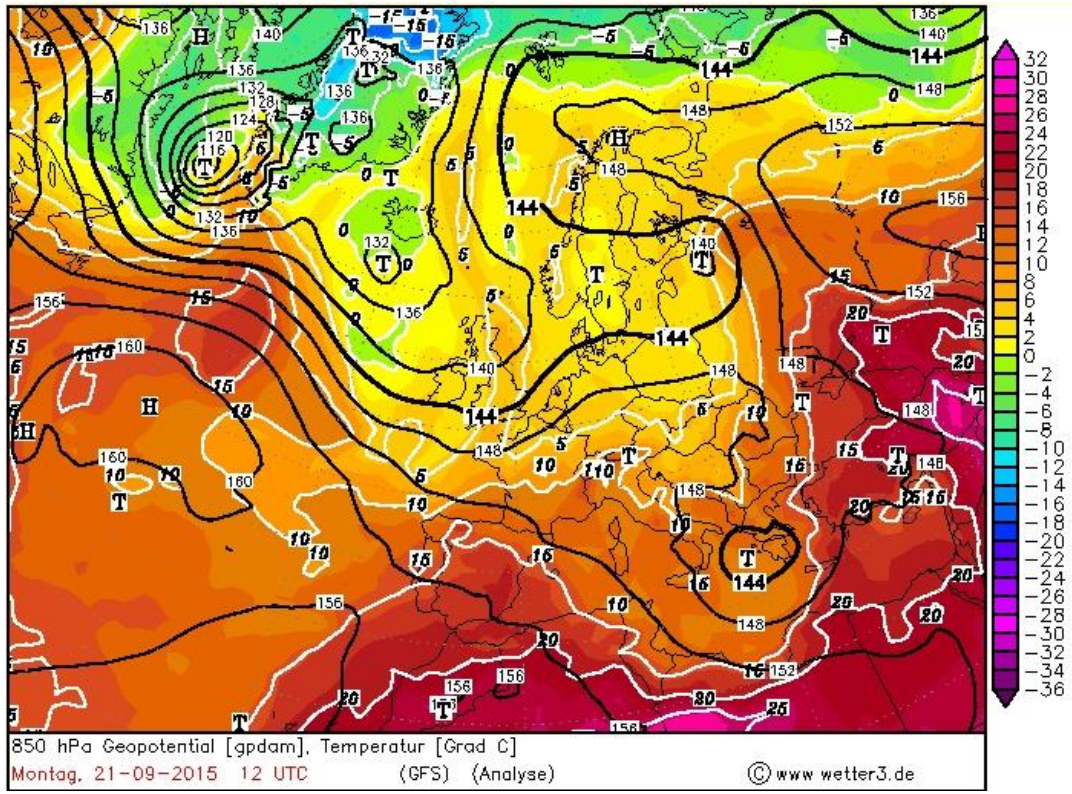
Εικόνα 5.1.9 Μετεωρολογικός χάρτης Επιφανείας, 21-09-2015 12 UTC Πηγή Wetter3.de

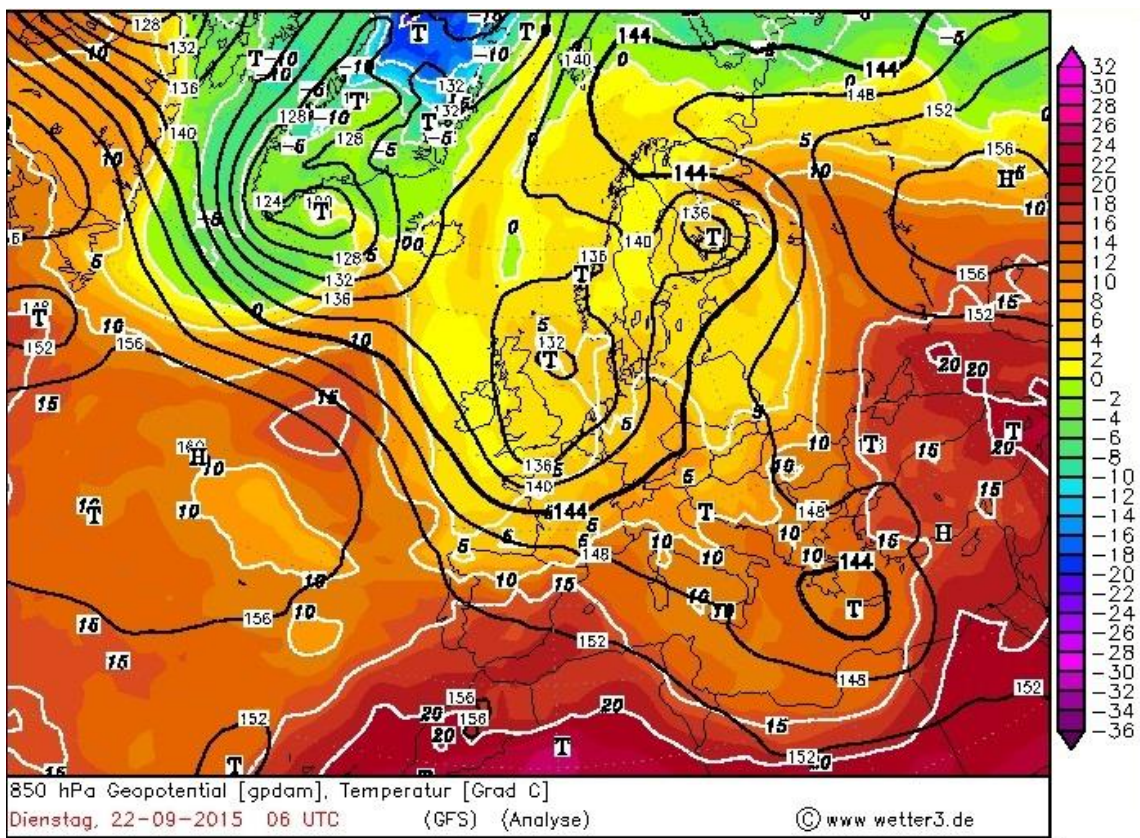
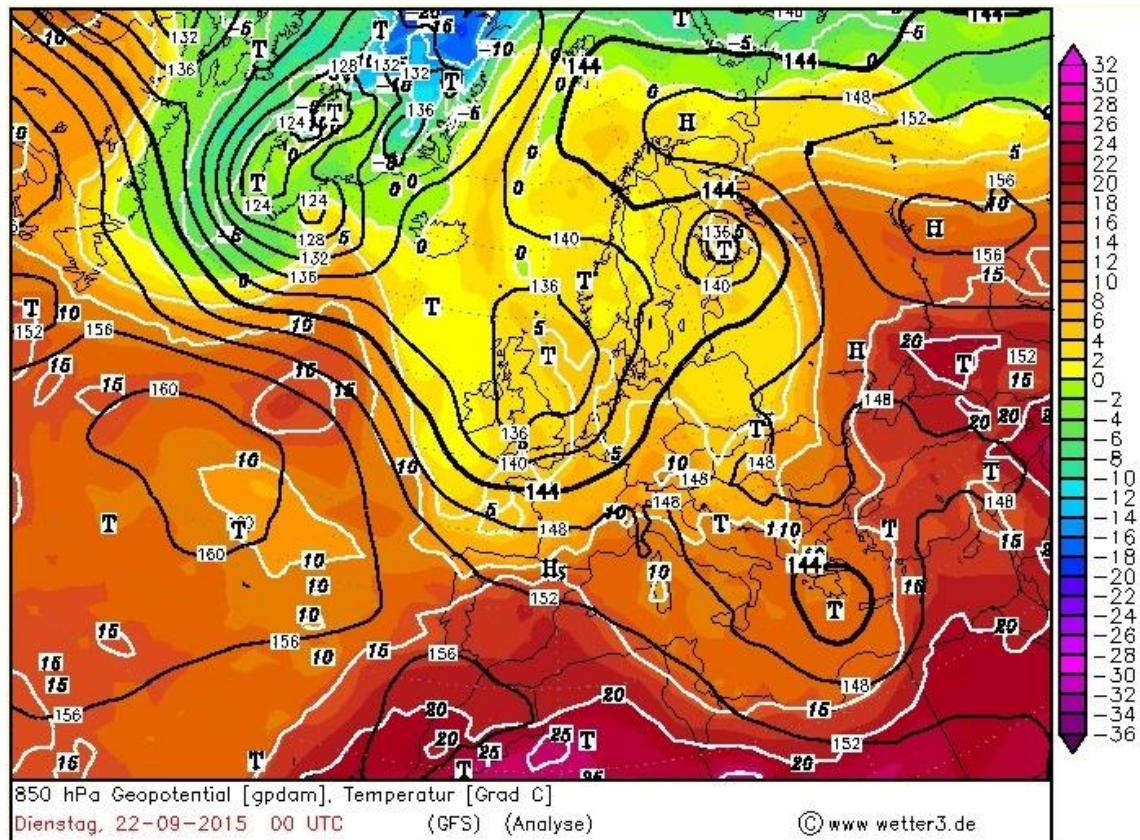
Οι παραπάνω χάρτες απεικονίζουν τι συνέβη στην επιφάνεια και εξηγεί την εμφάνιση των καταιγίδων και των βροχοπτώσεων.

Οι παρακάτω χάρτες απεικονίζουν το γεωδυναμικό και τη θερμοκρασία στα 850 hPa. Όπως φαίνεται στους χάρτες η πίεση αυτή συναντάται στα 1440 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας στην περιοχή που μελετάμε, (αυτό μας το δείχνει η καρτελίτσα με τον αριθμό 144). Η θερμοκρασία είναι 16-18 βαθμούς Κελσίου C δηλαδή περίπου 25-26 βαθμοί στην επιφάνεια της θάλασσας.

Όπως παρατηρούμε στις 00 UTC έχει σχηματιστεί στα δυτικά της Ελλάδας -η περιοχή σε μαύρο κύκλο. Στις 06 UTC έχει φθάσει στην Πελοπόννησο ενώ στις 12 έχει επεκταθεί σε μεγάλο κομμάτι του ελλαδικού χώρου.

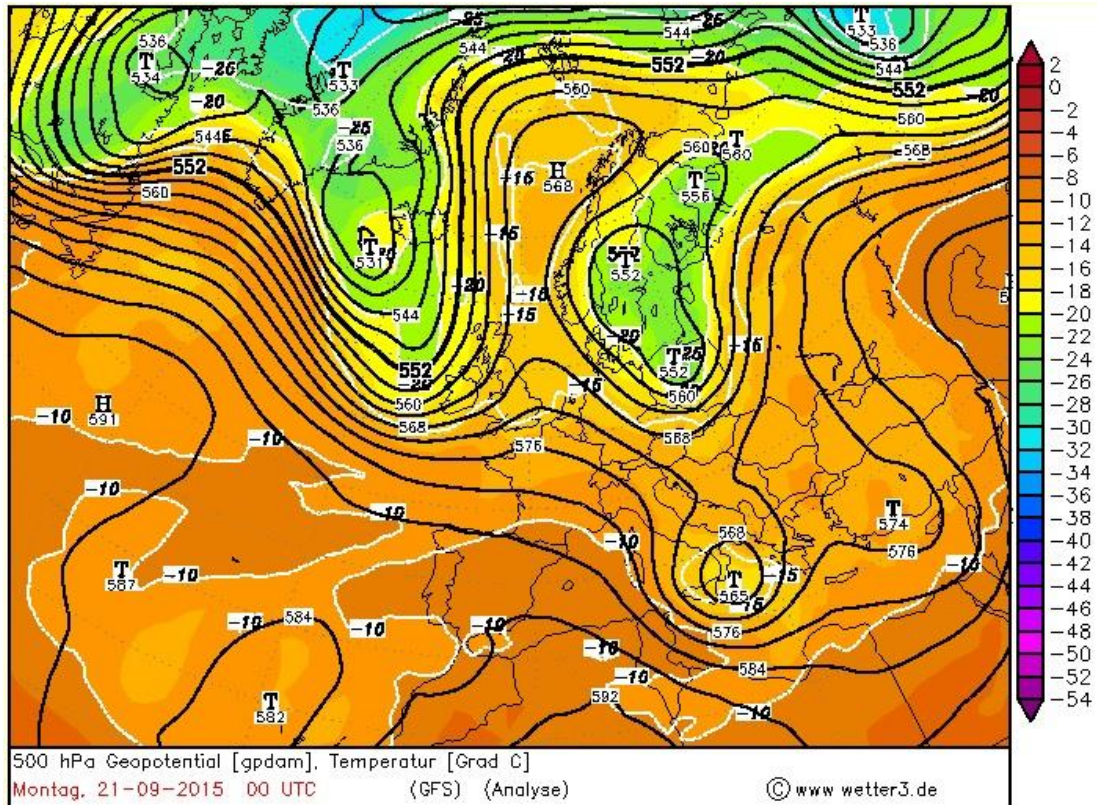


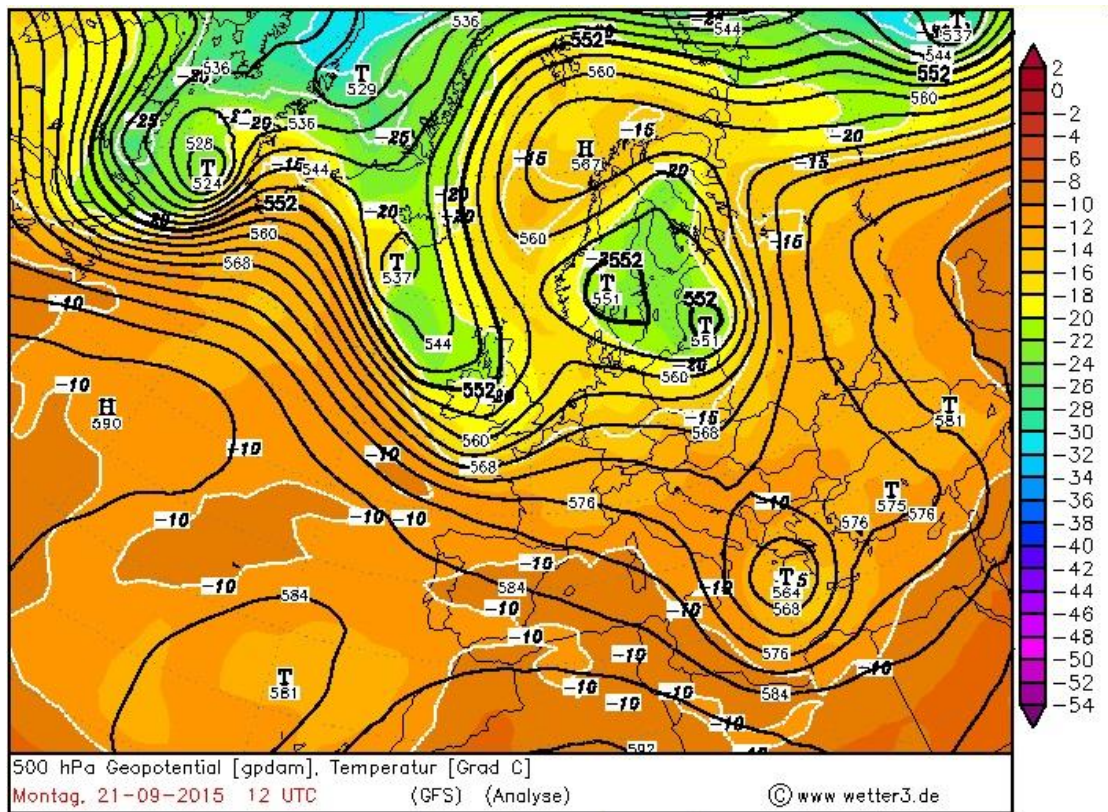
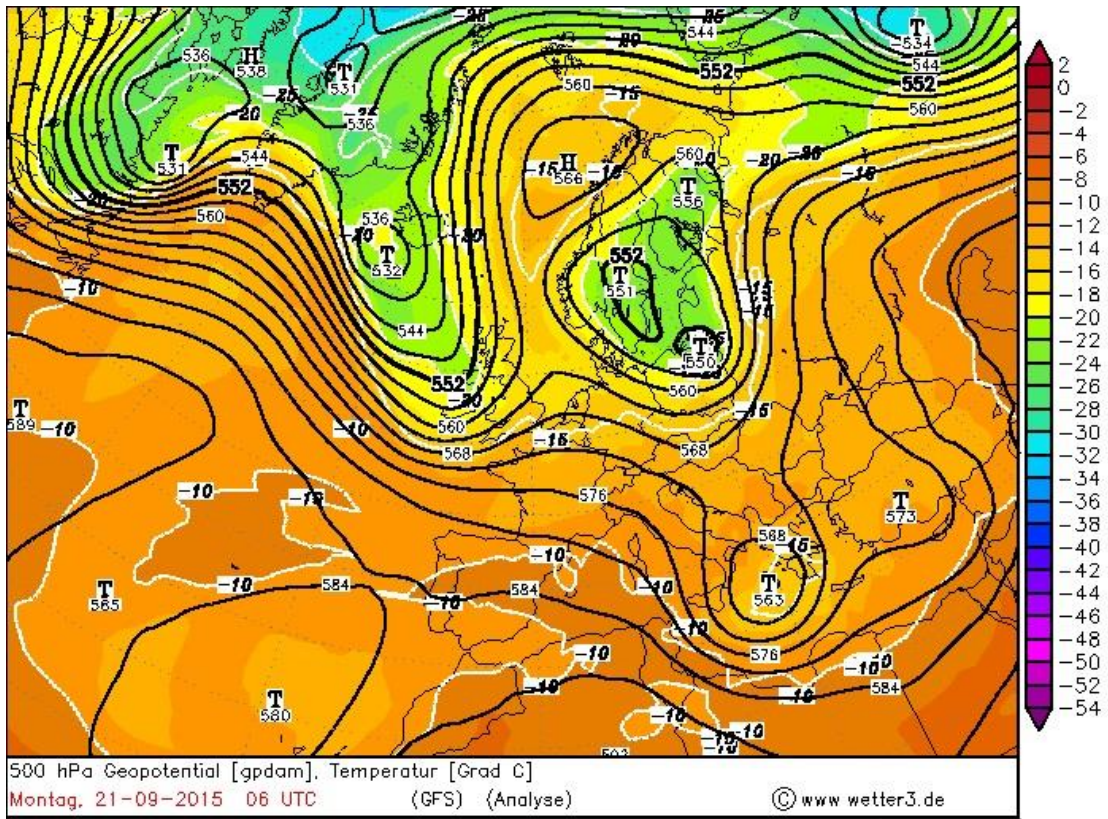


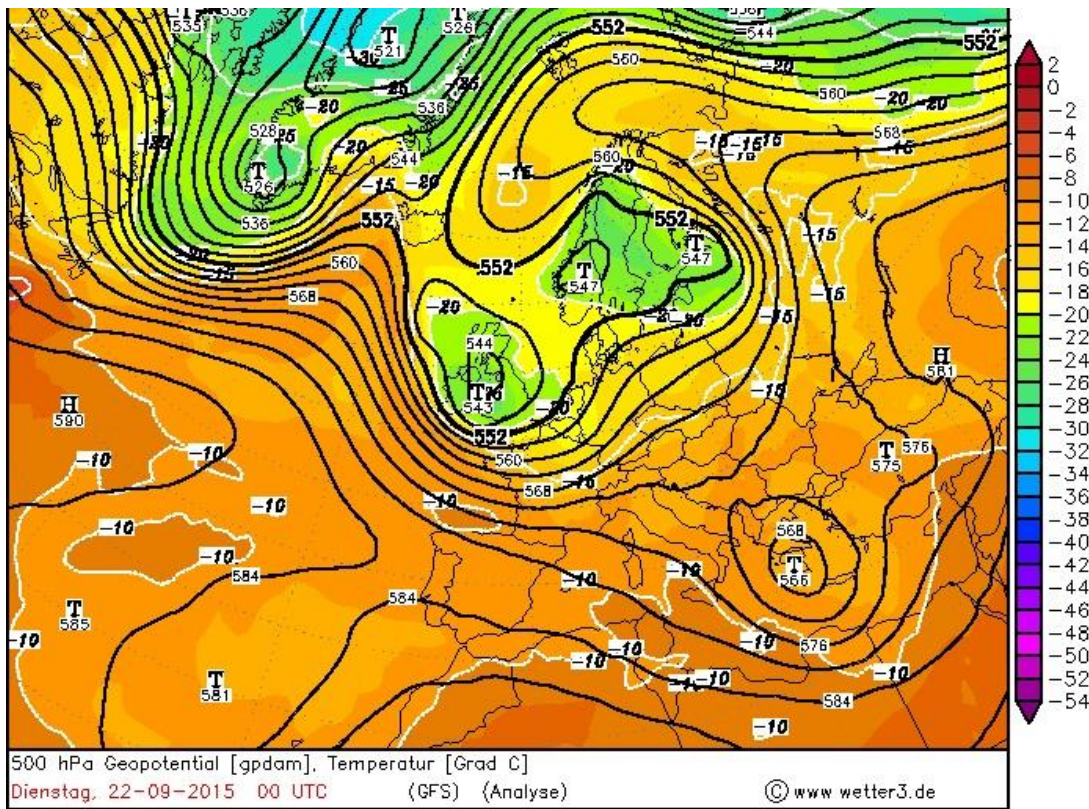
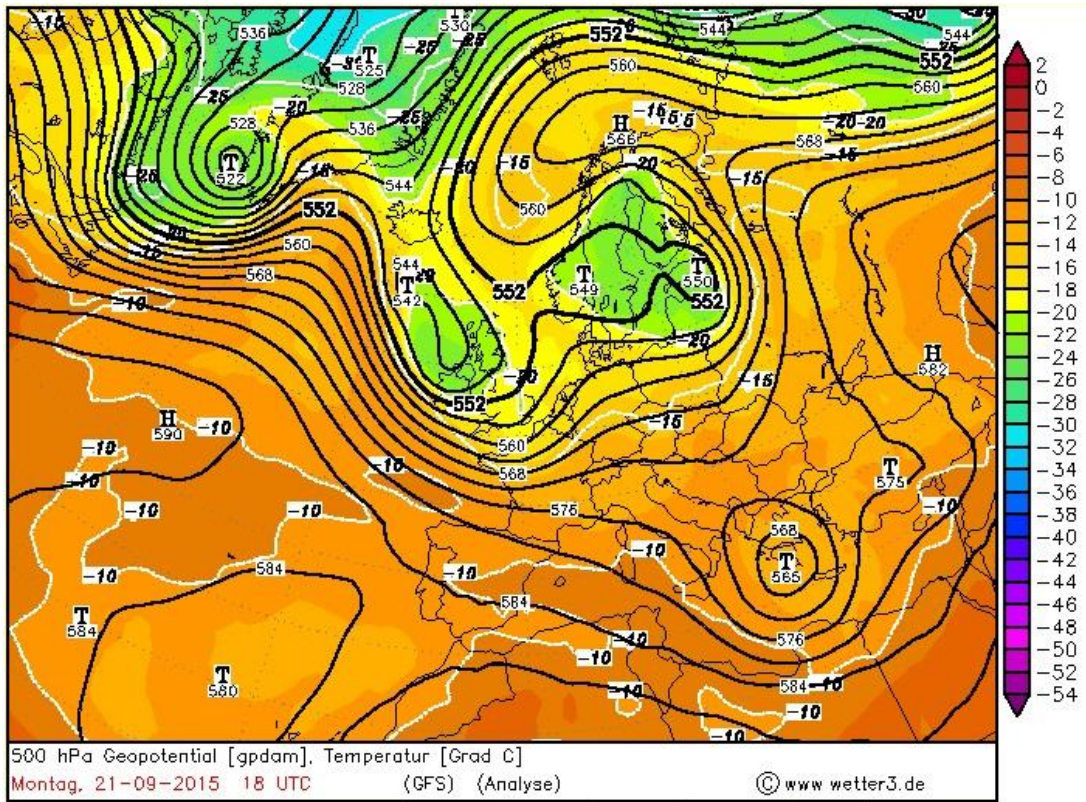


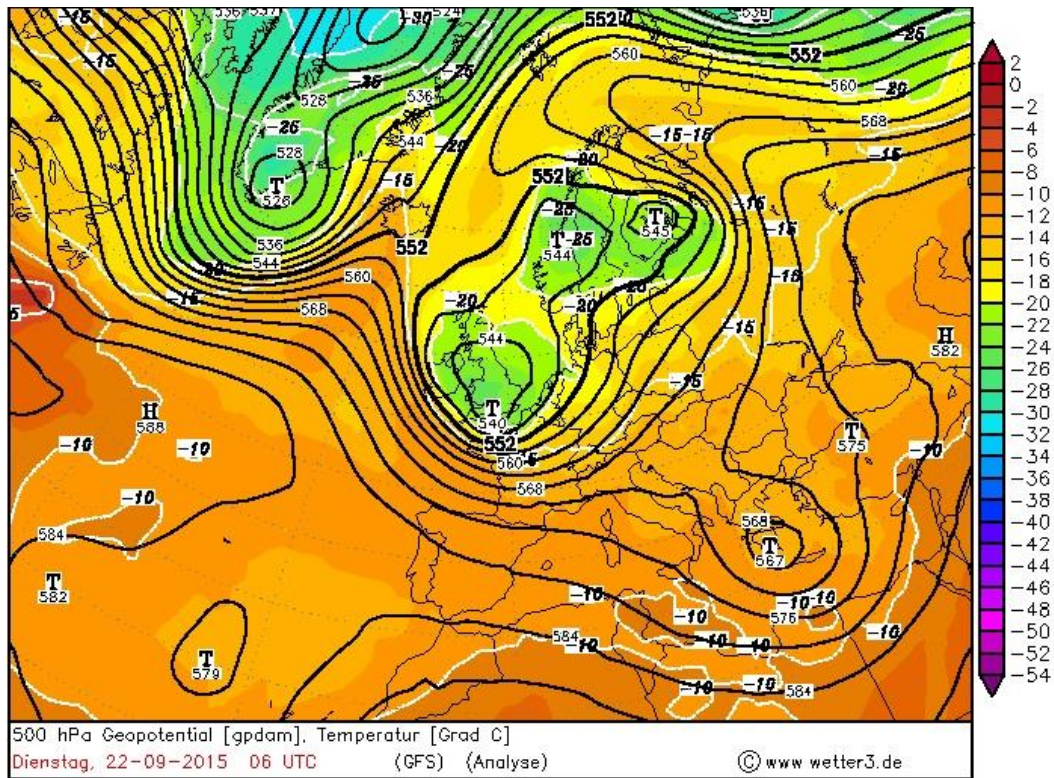
Εικόνα 5.1.10 α,β,γ,δ,ε,στ Εξέλιξη της ύφεσης ανά 6ωρο στα 850hPa. Πηγή Wetter3.de

Κατόπιν θα αναλύσουμε την κατάσταση της ατμόσφαιράς στα 500 hPa. Στα 500 hPa βρισκόμαστε σε υψόμετρο 5.600 μέτρων από την επιφάνεια και θερμοκρασία -10 βαθμών Κελσίου.







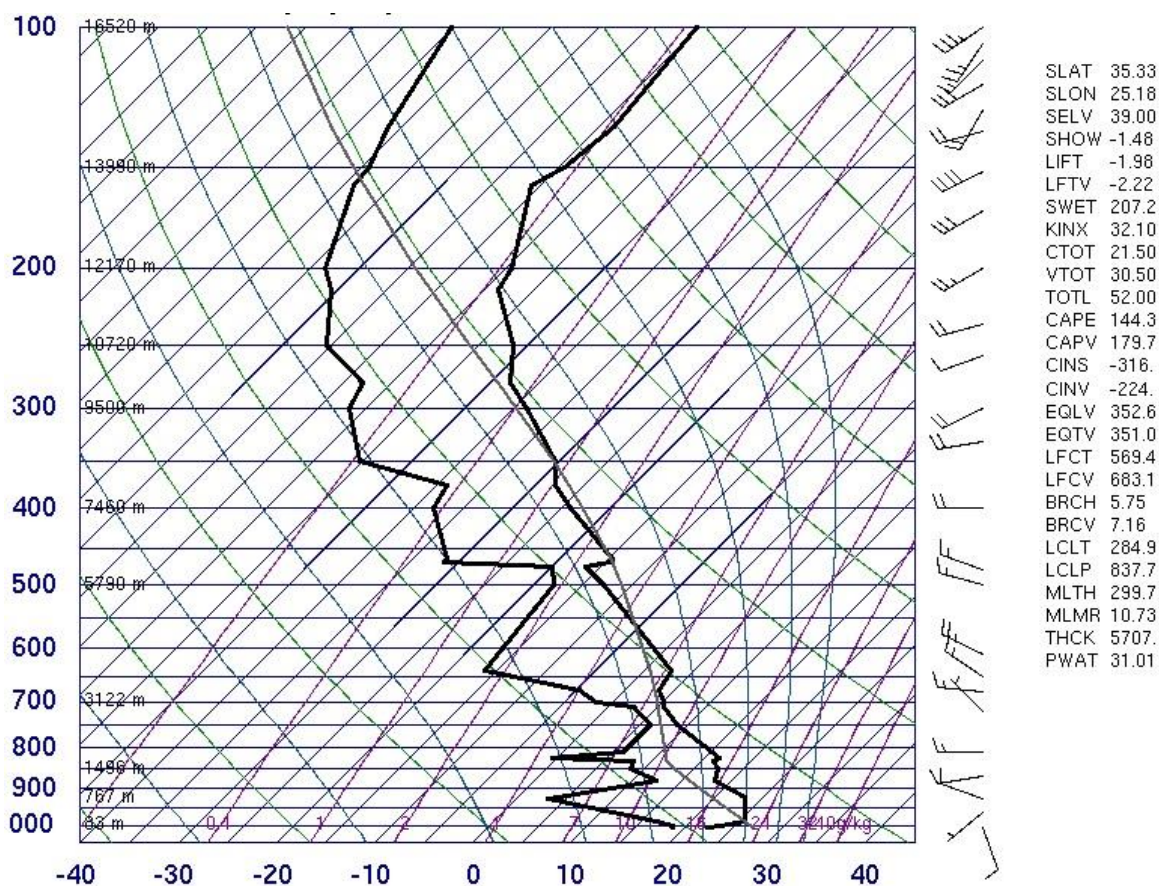


Εικόνα 5.1.11 α β γ δ ε Η πορεία της ύφεσης στα 500 hPa. Πηγή Wetter3.de

Τέλος θα ολοκληρώσουμε την μελέτη της περίπτωσης με την ανάλυση διαγραμμάτων Skew-T. Τα διαγράμματα αυτά χρησιμοποιούνται στην ανάλυση καιρού και την πρόβλεψή του.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το προφίλ της ραδιοβολίδας στο Ηράκλειο την 21 Σεπτεμβρίου στις 00 UTC. Ο κάθετος άξονας απεικονίζει την πίεση ενώ ο οριζόντιος την θερμοκρασία. Οι ελαφρώς κυρτωμένες, με ανοιχτό πράσινο γραμμές ανά 10 βαθμός Κελσίου απεικονίζουν τον ρυθμό μεταβολής μιας αέριας μάζας ξηρού αέρα. Οι οριζόντιες μαύρες γραμμές είναι ισοβαρείς, δηλαδή γραμμές ίδια πίεσης ανά 100 mb ενώ δίπλα σε κάθε μία αναγράφεται και το υψόμετρο. Οι ελαφρώς κυρτωμένες μπλε γραμμές που ξεκινάν από κάτω δεξιά και καταλήγουν πάνω αριστερά είναι οι κορεσμένες αδιαβατικές και μας δείχνουν το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας σε μια κορεσμένη αέρια μάζα καθώς αυτή ανυψώνεται

ψευδο-αδιαβατικά. Η αριστερή μαύρη καμπύλη μας δείχνει το σημείο δρόσου και η δεξιά την θερμοκρασία⁹².



Εικόνα 5.1.12 Διάγραμμα Skew-T από την ραδιοβολίδα του Ηράκλειου στις 21 09 2015 00 UTC

Για την εμφάνιση και παρουσία καταιγίδων και σιφώνων δύο δείκτες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, οι CAPE και LIFT. Η εξήγηση του καθενός δίνεται παρακάτω.

Ο δείκτης CAPE δείχνει το πόσο της ενέργειας που θα είχε μια αέρια μάζα αν ανυψωνόταν κάθετα στην ατμόσφαιρα για μια συγκεκριμένη απόσταση. Είναι ένας δείκτης της ατμοσφαιρικής αστάθειας, γεγονός που τον καθιστά πολύτιμο στην πρόβλεψη αντίξοες καιρικές συνθήκες. Είναι μια μορφή αστάθειας ρευστού που βρίσκεται σε θερμικά

⁹² http://www.atmos.millersville.edu/~lead/SkewT_HowTo.html, How to read a Skew-T, Αναζήτηση στις 17/06/2016

στρωματοποιημένη ατμόσφαιρα στις οποίες ένα ψυχρότερο υγρό (ο αέρας) υπέρκειται από ένα θερμότερο. Όταν μια μάζα αέρα είναι ασταθής, το στοιχείο της μάζας αέρα που μετατοπίζεται προς τα πάνω επιταχύνεται από το διαφορικό πίεσης μεταξύ του αέρα εκτοπίζεται και του ατμοσφαιρικού αέρα στο (υψηλότερο) υψόμετρο στο οποίο είχε μετατοπιστεί. Αυτό συνήθως δημιουργεί νέφη κάθετης ανάπτυξης λόγω της αυξανόμενης κίνησης, η οποία μπορεί τελικά να οδηγήσει σε καταιγίδες, χαλαζοπτώσεις αλλά και σιφώνες. Μετριέται σε Τζάουλ ανά κιλό (J/kg). παρόλο που έχουν παρατηρηθεί μεγάλες τιμές του δείκτη σε περιπτώσεις καταιγίδων δεν υπάρχει κάποιο κατώφλι στο οποίο να θεωρείται ακραίο ένα φυσικό φαινόμενο⁹³.

Ο δείκτης **LIFT** είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μιας μάζας αέρα που ανυψώνεται αδιαβατικά και του περιβάλλοντος σε ένα δεδομένο ύψος πίεσης στην τροπόσφαιρα, συνήθως 500 hPa. Όταν η τιμή είναι θετική, η ατμόσφαιρα (κατά την αντίστοιχη ύψος) είναι σταθερή και όταν η τιμή είναι αρνητική, η ατμόσφαιρα είναι ασταθής.

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω διάγραμμα οι δείκτες CAPE και LIFT στην περιοχή του Ηρακλείου έχουν τιμή 145 j/kg και -2 αντίστοιχα, τιμές που δείχνουν σχετικά μεγάλη αστάθεια στην ατμόσφαιρα, και πιθανή εκδήλωση ισχυρών καταιγίδων και σιφώνων.

⁹³ CAPE Index, <http://www.weatheronline.co.uk/reports/wxfacts/CAPE---Convective-Available-Potential-Energy.htm>, Αναζήτηση στις 18/06/2016

5.2 Κεφαλονιά- Κέρκυρα: Καταιγίδες-Flash Flood 25-09-2015

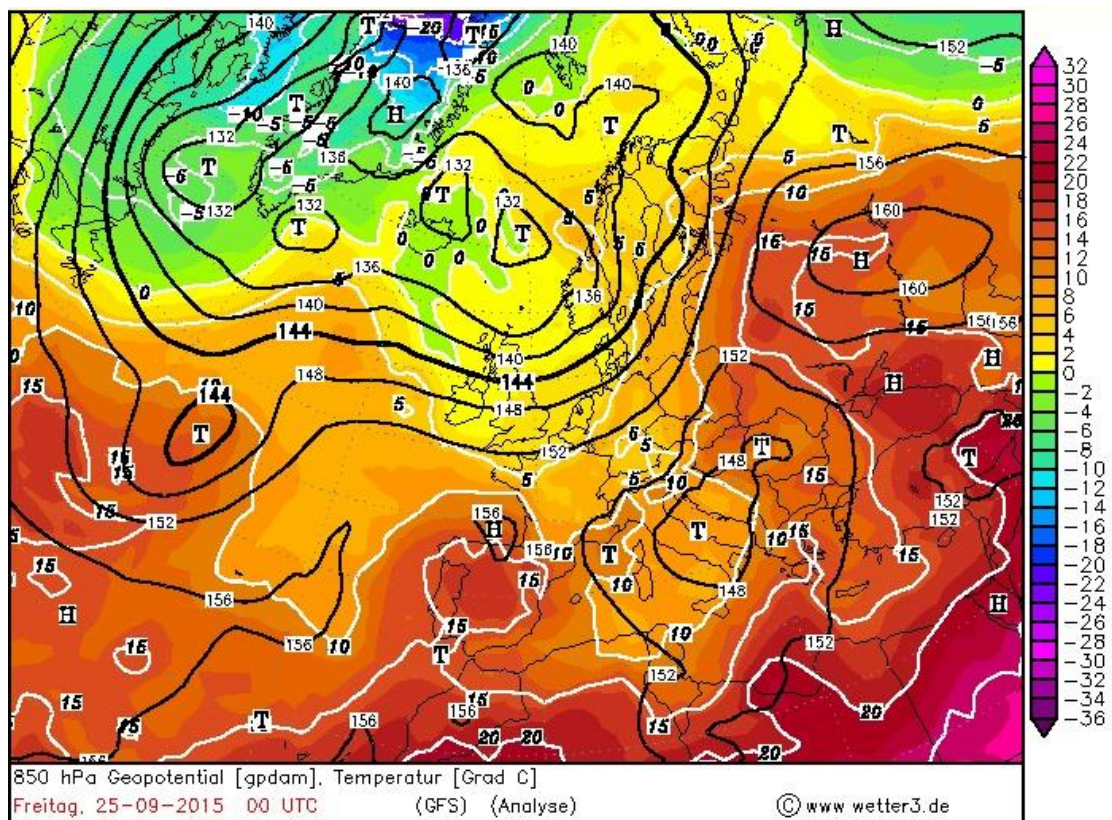
Η δεύτερη περίπτωση μελέτης είναι η ραγδαία βροχόπτωση στην Κέρκυρα και την Κεφαλονιά στις 25 Σεπτεμβρίου 2015. Η τριώρη έντονη βροχόπτωση οδήγησε σε flash flood με που προκάλεσε αρκετές ζημιές. Σύμφωνα με την πυροσβεστική, στην Κεφαλονιά 90 άτομα χρειάστηκαν την επέμβαση της να απεγκλωβιστούν, ενώ η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος διακόπηκε για κάποιες ώρες-όπως και στην γειτονική Ιθάκη.



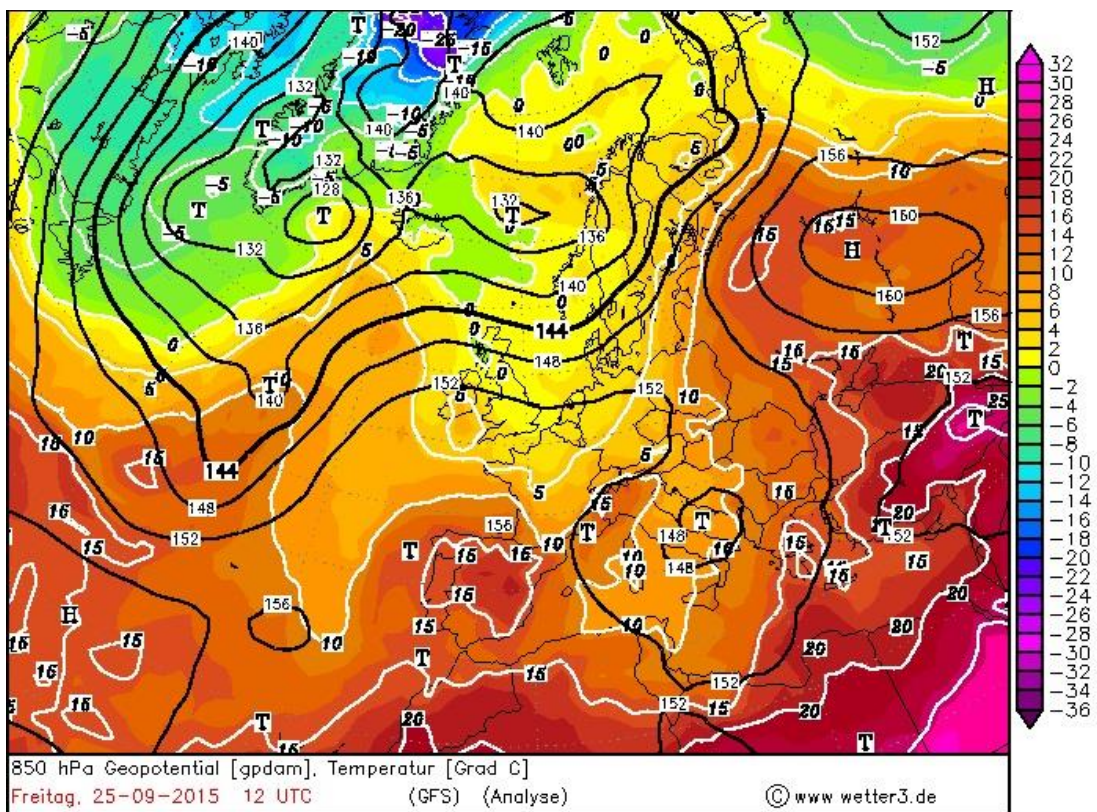
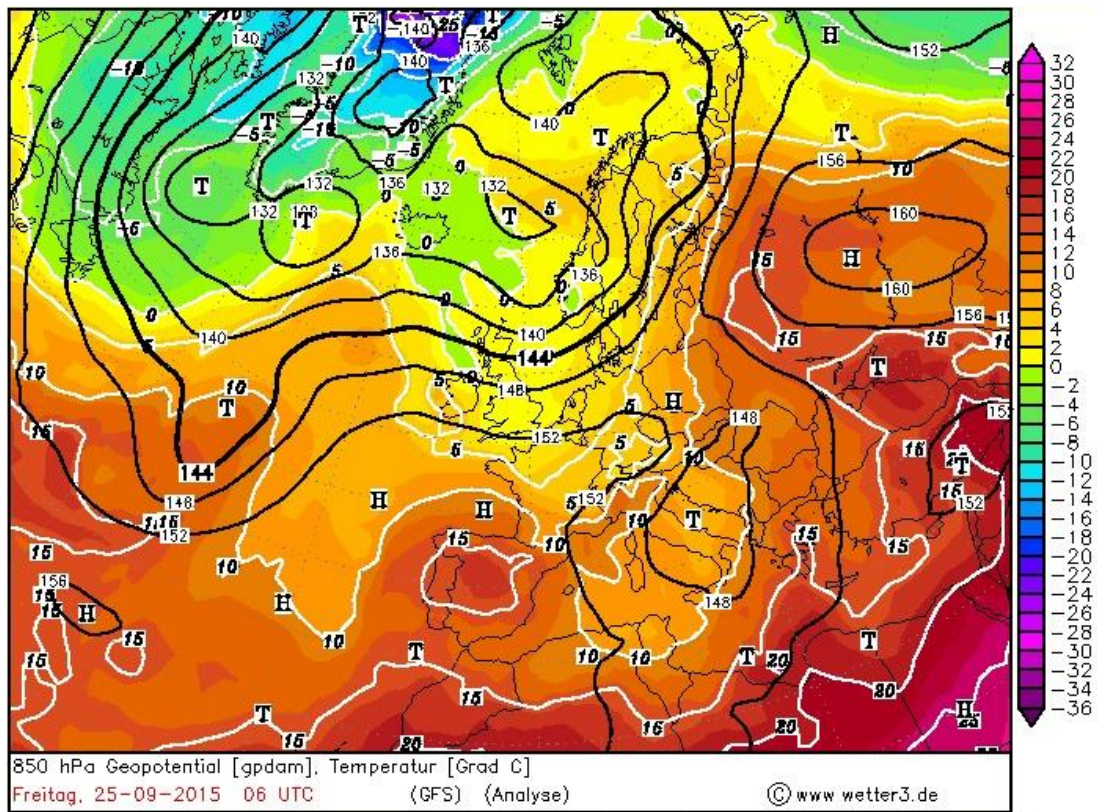
Εικόνα 5.2.1 α,β Flash flood στην Κεφαλονιά. Πηγή <http://www.foresalefkada.gr/wp-content/uploads/2015/09/13f55289732a3fa0c14d609d13afd69a.jpg>. Αναζήτηση στις 17/06/2016

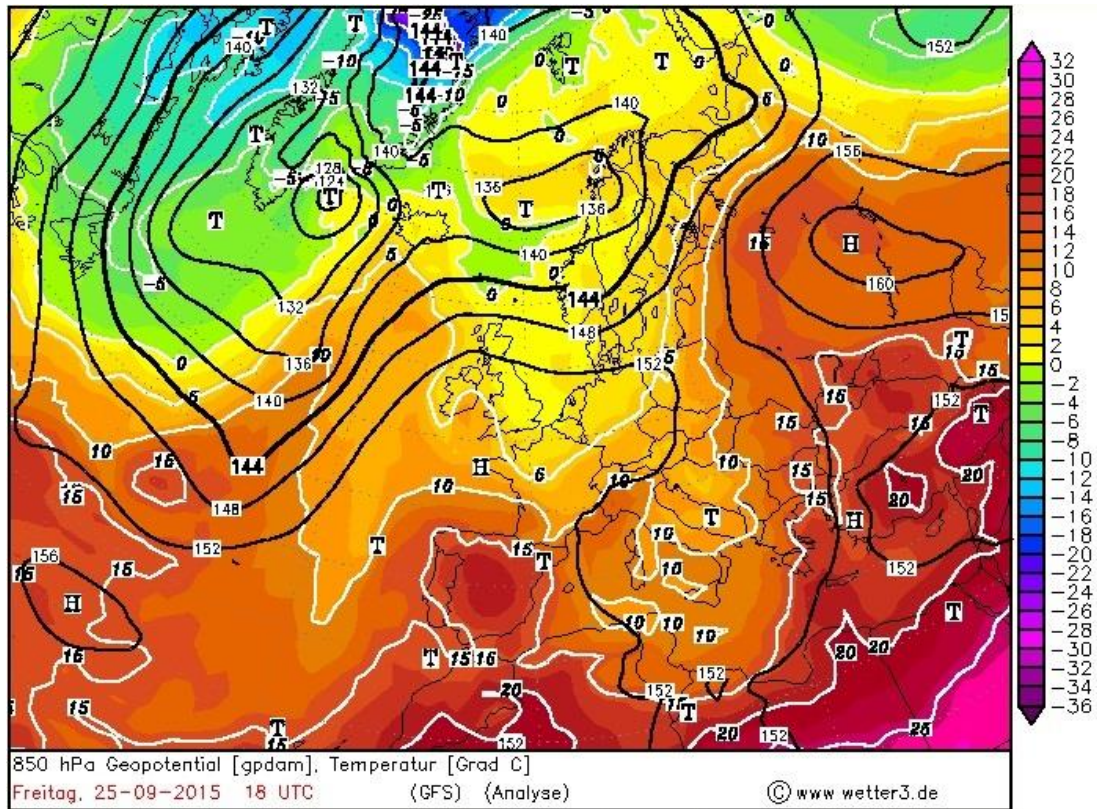
Στην Κέρκυρα τμήμα του οδοστρώματος σε περιφερειακό δρόμο κοντά στον Άγιο Δημήτριο υποχώρησε, ενώ στο νεκροταφείο τάφοι άνοιξαν⁹⁴.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η εξέλιξη του φαινομένου στα 850 hPa (1480 μ., 16 βαθμοί Κελσίου, περίπου 25 βαθμοί πάνω από την επιφάνεια). Όπως βλέπουμε η αστάθεια δημιουργείται στην Ιταλία και κινείται προς τα ανατολικά-δηλαδή την Δυτική Ελλάδα.



⁹⁴ In.gr, <http://news.in.gr/greece/article/?aid=1500028389>, Αναζήτηση στις 17/06/2016

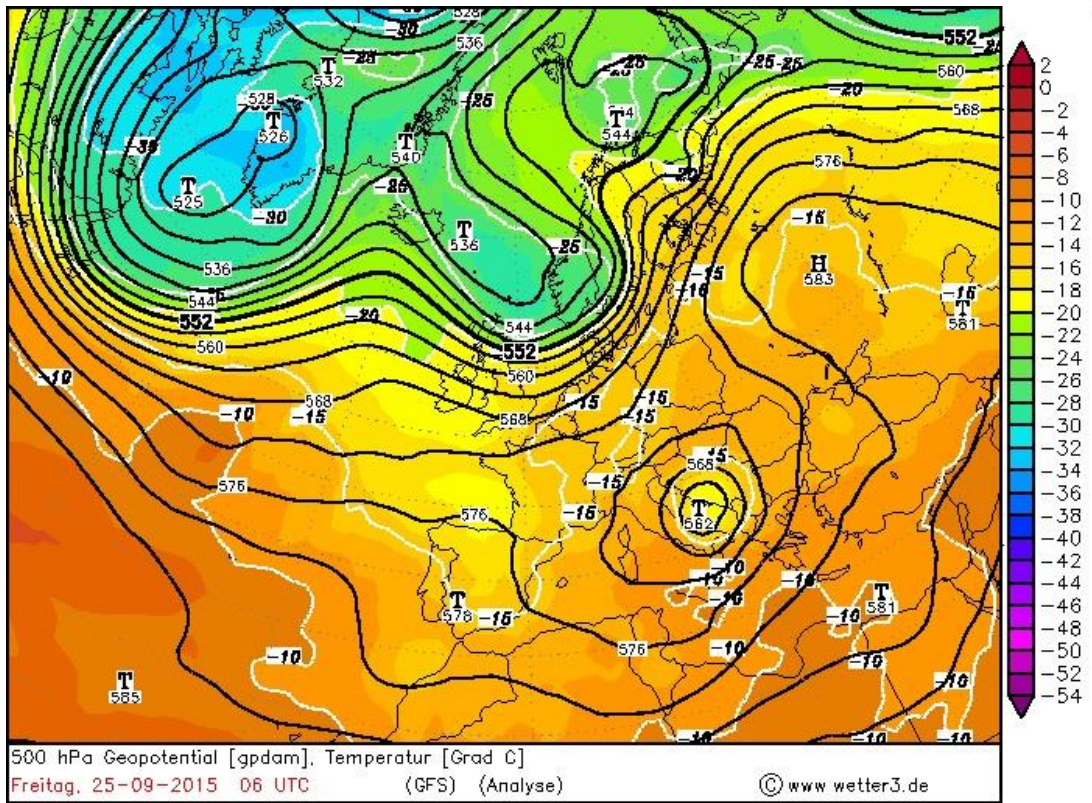
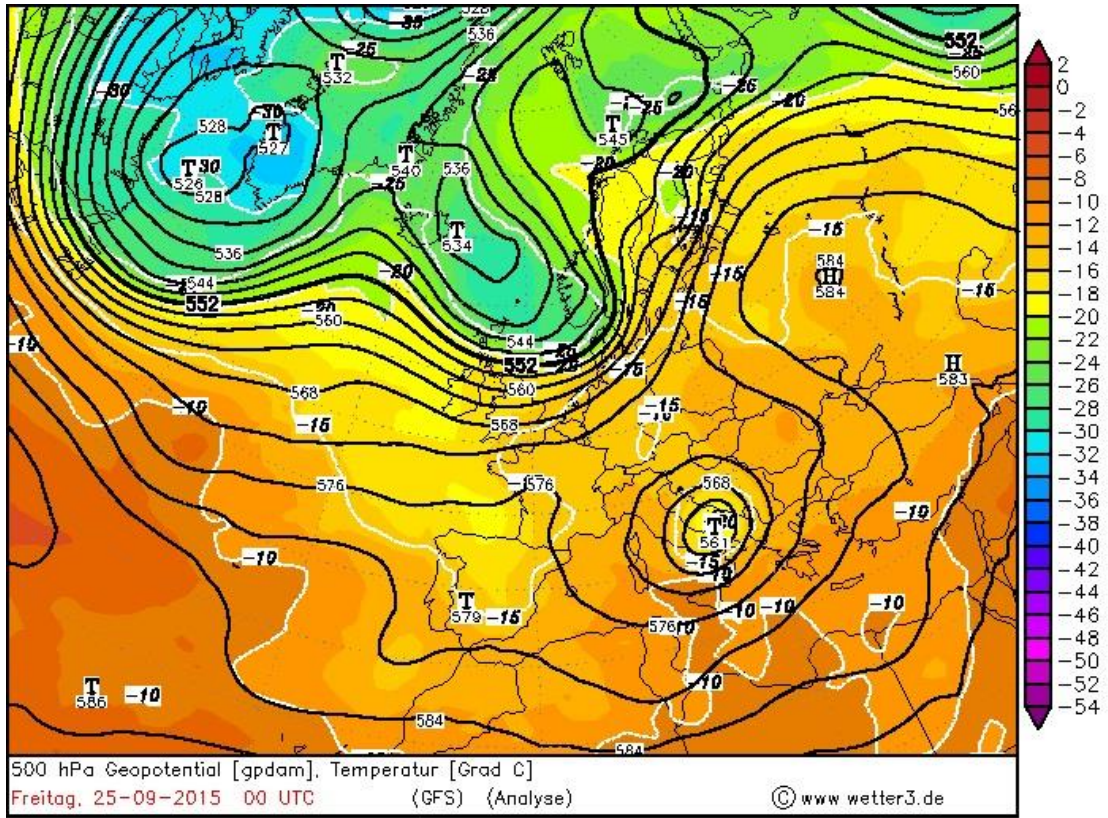


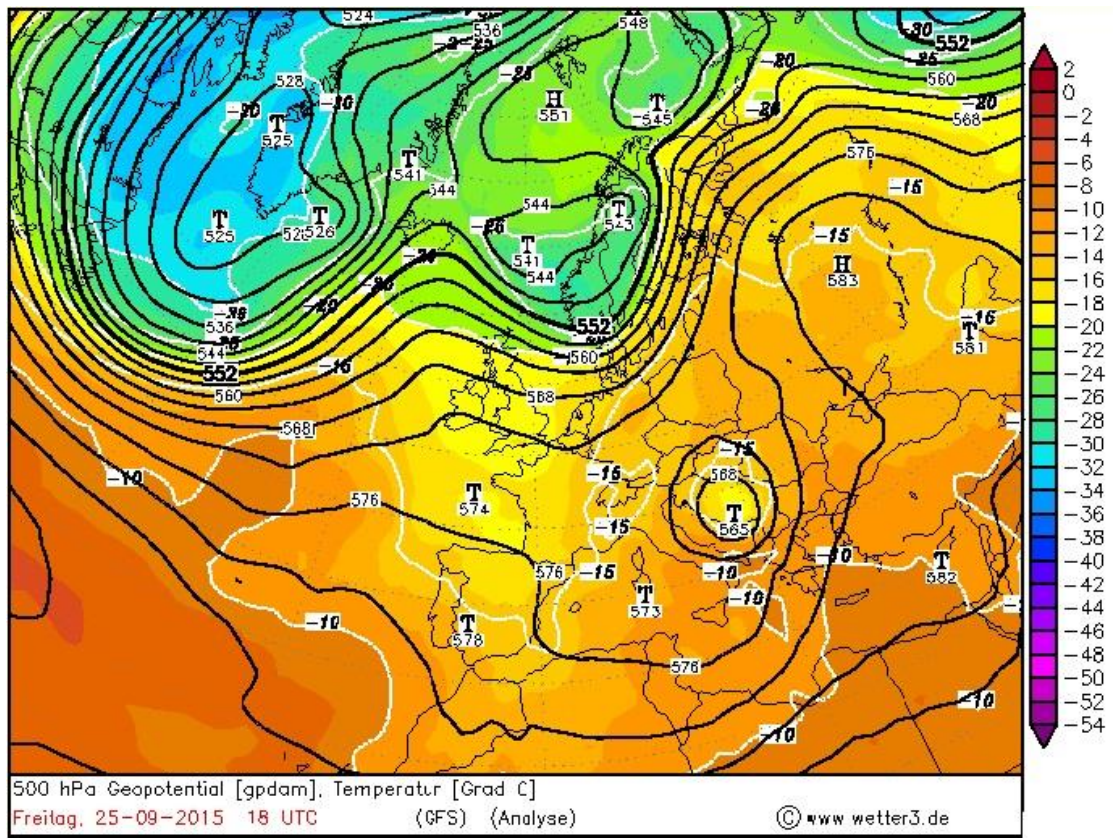


Εικόνα 5.2.2 α β γ δ Η πορεία του φαινομένου στα 850 hPa Πηγή Wetter3.de

Στις 12 UTC (εικόνα γ) η αστάθεια έχει φτάσει στον Ελλαδικό χώρο ενώ λίγες ώρες μετά ξεκινούν οι έντονες βροχοπτώσεις και καταιγίδες στη δυτική Ελλάδα. Στις 18 UTC η αστάθεια μετακινείται ανατολικότερα.

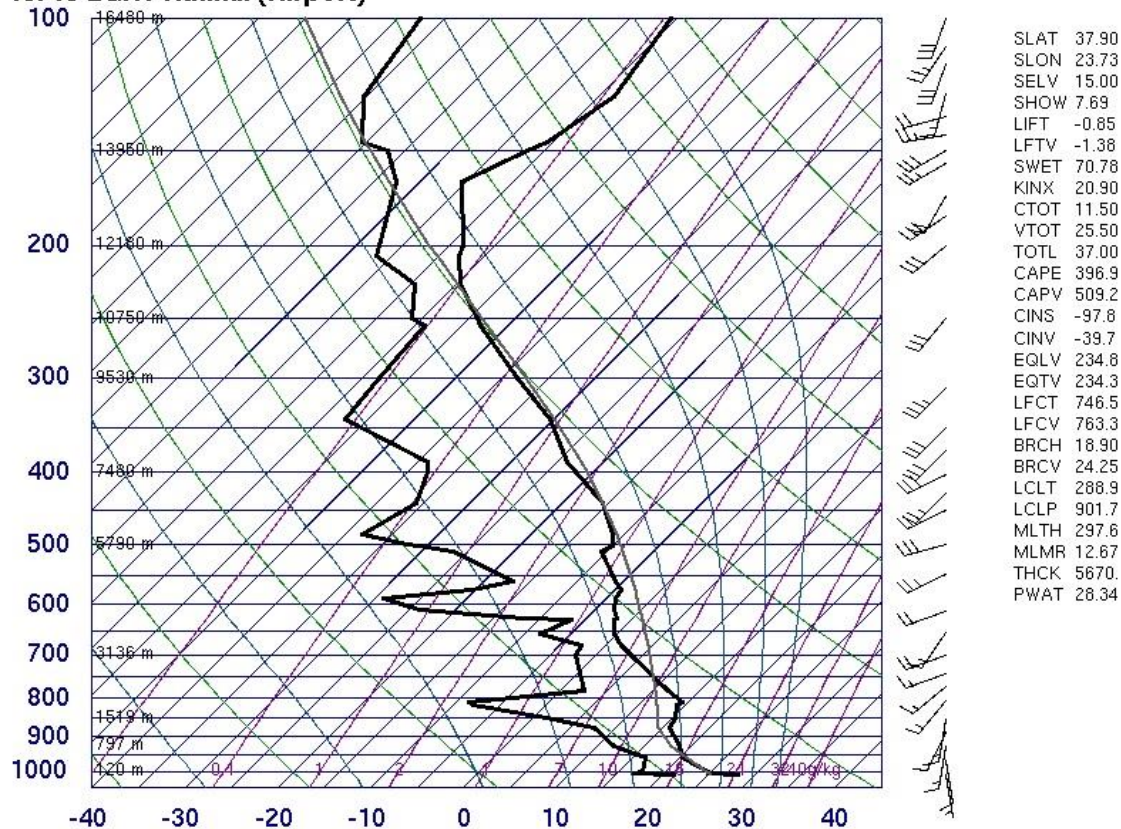
Παρακάτω φαίνεται η εξέλιξη του φαινομένου στα 500hPa (-12 Βαθμούς Κελσίου, 5.600 μ.)





Εικόνα 5.2.3 α, β γ δ Η εξέλιξη του φαινομένου στα 500 hPa ανά 6ωρο 25092015. Πηγή Wetter3.de

16716 LGAT Athinai (Airport)



Εικόνα 5.2.4 Διάγραμμα Skew-T Αθήνα-Ελληνικό, 25 09 2015 Πηγή <http://weather.uwyo.edu/>

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω διάγραμμα ο δείκτης LIFT έχει αρνητική τιμή (-0,85) και άρα η ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από ελαφριά αστάθεια, ενώ ο δείκτης CAPE έχει τιμή 397 j/kg, τιμή που δηλώνει μεγάλη ενέργεια στις αέριες μάζες που ανυψώνονται και άρα μεγάλη ατμοσφαιρική αστάθεια, που εκδηλώθηκε με μεγάλες βροχοπτώσεις.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε δημιουργία μιας βάσεως δεδομένων ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων που συνέβησαν στον ελλαδικό χώρο την περίοδο 2012-2016. Παράλληλα έγινε προσπάθεια ερμηνείας των καιρικών φαινομένων και αναζήτησης της χωρικής και χρονικής τους κατανομής στον ελλαδικό χώρο με βάση πάντα την επιστημονική βιβλιογραφία και τις καταγραφές. Τέλος έγινε μετεωρολογική ανάλυση δύο χαρακτηριστικών περιπτώσεων.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ο τελικός απολογισμός των αποτελεσμάτων της βάσης δεδομένων όσον αφορά τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Όσον αφορά τους σίφωνες και τα χοανοειδή νέφη παρατηρούμε πως εμφανίζονται την ψυχρή εποχή του έτους και κυρίως το φθινόπωρο. Αν και πρόκειται ίσως για τα πιο εντυπωσιακά φαινόμενα που παρατηρούνται στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι αρκετά επικίνδυνα για την ανθρώπινη ζωή και προκαλούν σημαντικές καταστροφές. Στον ελλαδικό χώρο παρατηρούνται κυρίως στις περιφέρειες της δυτικής Ελλάδας (Δυτική Ελλάδα, Ιόνιοι Νήσοι, Ήπειρος) αλλά και στην Κρήτη και την Αττική. Οι κερανοί αποτελούν ένα εξίσου εντυπωσιακό φαινόμενο με τους σιφώνες και εξίσου επικίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή και περιουσία. Γεωγραφικά εντοπίζονται κυρίως στη Δυτική Ελλάδα και ομοιόμορφα στον υπόλοιπο ελλαδικό χώρο, ενώ μέσα στο χρόνο εμφανίζονται τις εποχές του θέρους και του φθινοπώρου. Καθώς η συγκέντρωση αυτών των φαινομένων και άρα και των επιπτώσεών τους σε συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο της Ελλάδας φαίνεται δεδομένη καθώς επιβεβαιώνεται και από την βιβλιογραφία, ίσως θα έπρεπε να υπάρξει μέριμνα στις περιοχές αυτές, σε επίπεδο περιφέρειας, αλλά και σε επίπεδο ΟΤΑ (Οργανισμοί Τοπικής

Αυτοδιοίκησης), αντιμετώπισης των φαινομένων αυτών καθώς και των επιπτώσεών τους.. όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να προκαλέσει μεταβολή στην εμφάνιση και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Όσον αφορά τις χαλαζοπτώσεις, η κατανομή τους στο χρόνο και στο χώρο είναι σχετικά ομοιόμορφη. Εμφανίζονται σε συνδυασμό με άλλα φαινόμενα που προκαλούνται από καταιγιδοφόρα σύννεφα και προκαλούν σημαντικές ζημιές σε καλλιέργειες αλλά ακόμα και σε κτίρια ή οχήματα αν το μέγεθος των κόκκων είναι αρκετά μεγάλο και η ένταση της χαλαζόπτωσης ισχυρή.

Οι πλημμύρες και τα Flash floods κατανέμονται ομοιόμορφα στον ελλαδικό χώρο και παρατηρούνται κυρίως τη εποχή του φθινοπώρου. Προκαλούν μεγάλο αριθμό προβλημάτων και ζημιών ενώ έχουν κοστίσει και ζωές ανθρώπων. Η δημιουργία μοντέλων επικινδυνότητας πλημμυρών στις ελληνικές πόλεις όπου παρατηρούνται τα μεγαλύτερα προβλήματα, και η ανάλογη διαμόρφωσή τους ώστε να αποφεύγεται η αιφνίδια συγκέντρωση μεγάλης μάζας νερού σε λίγο χώρο είναι σημαντικό πρόβλημα και αναζητά λύση.

Τα wind Gust παρουσιάζουν μεγαλύτερη εμφάνιση τον χειμώνα και ομοιομορφία στην εμφάνισή τους τις υπόλοιπες εποχές του έτους ενώ γεωγραφικά εντοπίζονται, σε όλη την Ελλάδα. Τα wind gust προκαλούν μικρές ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις, μπορούν να εκριζώσουν δέντρα παρεμποδίζοντας την κίνηση στο οδικό δίκτυο, και λειτουργούν αρνητικά στη διάδοση πυρκαγιάς.

Τέλος ένα στάδιο που λείπει από την παρούσα εργασία είναι η έρευνα των απωλειών οικονομικής φύσεως εξαιτίας των ακραίων ατμοσφαιρικών

φαινομένων. Σκοπός είναι να αποτελέσει μέρος έρευνας σε μελλοντική εργασία.

7. Βιβλιογραφία

- CIA World Factbook, Greece, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/gr.html>, Αναζήτηση στις 11/03/2016
- Ελληνική Στατιστική Αρχή, Απογραφή 2011, http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/General_INWS_CENCUS310712_GR.pdf, Αναζήτηση στις 11/03/2016
- Παυλόπουλος Κ., (1992), Γεωμορφολογική Εξέλιξη της Νότιας Αττικής, Γαία Νο 2, Τμ. Γεωλογίας, ΕΚΠΑ
- NOAA, Extreme events, <http://www.ncdc.noaa.gov/climate-information/extreme-events>, Αναζήτηση στις 12/03/2016
- IPCC: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, (2012), Cambridge University Press
- Katsafados P., Kalogirou S., Papadopoulos A., Korres G., (2012), Mapping Long Term Atmospheric Variables over Greece, Journal of Maps
- European Severe Weather Database Definitions http://www.eswd.eu/?action=showdefinitions&lang=en_0, Αναζήτηση στις 14/3/2016

- Glossary of Meteorology, <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Tornado>, Αναζήτηση στις 14/3/2016
- NOAA, http://www.spc.ncep.noaa.gov/faq/tornado/#satellite_tornado1, Αναζήτηση στις 14/03/2016
- NOAA Storm Prediction Center, <http://www.spc.noaa.gov/efscale/>, Αναζήτηση στις 14/03/2016
- Fujita Scale Enhancement Project http://web.archive.org/web/20070306232403/http://www.wind.ttu.edu/F_Scale/, Αναζήτηση στις 14/03/2016
- Dotzek N., (2003) An updated estimate of tornado occurrence in Europe, Atmospheric Research, Volumes 67–68
- Dotzek N., Tornadoes in Germany, (2001), Atmospheric Research Volume 56, Issues 1–4
- Dario B. Giaiottia, Giovannonib M., Pucilloa A., Stel F., (2007) The climatology of tornadoes and waterspouts in Italy, Atmospheric Research Volume 83, Issues 2–4
- Matsangouras I., Nastos P., Kouroutzoglou J., Flokas H., Hatzaki M., (2015), Track analysis of cyclones related to tornadoes over western Greece, Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes
- Matsangouras I.T., Nastos P.T, Pytharoulis I., Miglietta M.M., (2012) Atmospheric conditions analysis of waterspout events based on thermodynamic environment and sea surface temperature distribution over south Aegean Sea, Greece
- Glossary of Meteorology, <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Storm>, Αναζήτηση στις 22/03/2016

- Hand W., Cappelluti G., Global hail climatology using the UK Met Office convection diagnosis procedure (CDP) and model analyses, *Meteorological Applications*, Volume 18, Issue 4
- H. Punge, M. Kunz, (2009) Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography, *Atmospheric Research*, Volumes 176–177
- Kunz, J. Sandera, Ch. Kottmeiera, (2009) Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany, *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*
- Catsoulis B., Carapiperis L., (2012) Frequency of Hail Occurrence in Greece, *Weather*, Volume 39
- Holt M., Hardaker P. McLelland G., (2001) A lightning climatology for Europe and the UK, 1990-99, *Weather*, Volume 56,
- Matsangouras I., Nastos P., Kapsomenakis J., (2015) Cloud-to-ground lightning activity over Greece: Spatio-temporal analysis and impacts, Elsevier
- Holt M., Hardaker P. McLelland G., (2001), A lightning climatology for Europe and the UK, 1990-99, *Weather*, Volume 56
- Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem, V International Conference on Forest Fire Research, D. X. Viegas (Ed.), 2006
- Mazarakis N., Kotroni V., Lagouvardos K., Storms and Lightning Activity in Greece during the Warm Periods of 2003–06, <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/2008JAMC1798.1> ,
Ανάκτηση στις 20/03/2016
- NOAA ,<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Snowslide>, Αναζήτηση στις 22/03/2016

- Encyclopedia Britannica,<http://www.britannica.com/science/firn>, Αναζήτηση στις 22/03/2016
- National Snow and Ice Data Center, <https://web.archive.org/web/20090428171243/http://nsidc.org:80/snow/shovel.html> , Αναζήτηση στις 23/03/2016
- Bednorz E., (2012), Synoptic conditions of heavy snowfalls in Europe, Geografiska Annaler
- Hjorth E.,Hansen, I. Holand S., Loset S., Norem H. (ed), (2000), A.A.BALKEMA Recent Advances and Developments, , Snow Engineering
- Prexerakos G., Angouridakis E.,(1984),SYNOPTIC CONSIDERATION OF SNOWFALL IN ATHENS, JOURNAL OF CLIMATOLOGY, VOL. 4
- NOAA, <http://graphical.weather.gov/definitions/defineWindGust.html> , Αναζήτηση στις 22/03/2016
- European Severe Weather Database, <http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi>, Αναζήτηση στις 24/03/2016
- Cambridge Dictionaries,<http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/wildfire>, Αναζήτηση στις 24/03/2016
- BBC forest fires,http://www.bbc.co.uk/science/earth/natural_disasters/forest_fire, Αναζήτηση στις 24/03/2016
- Glossary of Meteorology ,<http://glossary.ametsoc.org/wiki/Pyrocumulonimbus>, Αναζήτηση στις 24/03/2016

- Caamano-Isorna F., Figueiras A., Sastre I., Montes-Martínez A., Taracido M., Piñeiro-Lamas M., Respiratory and mental health effects of wildfires:an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain), Environmental Health
- Scott A., (2000), The Pre-Quaternary history of fire, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 164, Issues 1–4
- Krawchuk M. , Moritz M. , Parisien M. , Dorn J. , Hayhoe K., (2009) Global Pyrogeography: the Current and Future Distribution of Wildfire,
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0005102> Αναζήτηση στις 24/03/2016
- Westerling A.L., Hidalgo A. G., Cayan D. R, Swetnam T. W., (2006), Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity, Science
- Gatebe C. K., Ichoku C. M., Poudyal R, Román M. O., Wilcox E., (2014), Surface albedo darkening from wildfires in northern sub-Saharan Africa, Environmental Research Letters, Volume 9, Number 6
- Letnic M., Tamayo B., Dickman C. (2005), THE RESPONSES OF MAMMALS TO LA NINA (EL NINOSOUTHERN OSCILLATION)–ASSOCIATED RAINFALL,PREDATION, AND WILDFIRE IN CENTRAL AUSTRALIA, Journal of Mammalogy,
- O’Donnel A. J., Boer M. M., McCaw W. L., Grierson P. F., (2011)Climatic anomalies drive wildfire occurrence and extent in semi-arid shrublands and woodlands of southwest Australia, ECOSPHERE, Volume 2

- Sifakis N. , Iossifidis C., Kontoes C.Keramitsoglou I., (2011), Wildfire Detection and Tracking over Greece Using MSG-SEVIRI Satellite Data, Remote Sensing
- Papadopoulos A., Paschalidou A., Kassomenos A., McGregor G, (2012), Investigating the relationship of meteorological/climatological conditions and wildfires in Greece
- NOAA, Drought, <http://www.nws.noaa.gov/om/brochures/climate/Drought.pdf> , Αναζήτηση στις 23/03/2016
- NOAA, <http://www.nws.noaa.gov/os/brochures/climate/DroughtPublic2.pdf> , Αναζήτηση στις 23/03/2016
- G. Forzieri, L. Feyen , R. Rojas, M. Flörke, F. Wimmer, A., (2013), Bianchi Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe, Hydrology and Earth System Sciences
- Dimitrakopoulos A., Vlahou M., Anagnostopoulou G., Mitsopoulos D. (2013), Impact of drought on wildland fires in Greece: implications of climatic change? , Climatic Change
- Livada I., Assimakopoulos V.,(2006), Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI),Theoretical and Applied Climatology,
- Robinson P.,On the Definition of a Heat Wave, American Meteorological Society, <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/15200450%282001%29040%3C0762%3AOTDOAH%3E2.0.CO%3B2>, Open Access, Αναζήτηση στις 25/03/2016
- Kovats S., Kristie E., Heatwaves and public health in Europe, European Journal of Public Health, Vol. 16

- Della-Marta Luterbacher M., von Weissenfluh H., E. Xoplaki M. Brunet, H. Wanne, (2007), Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability, Springer-Verlag
- A. Fouillet, G. Rey, F. Laurent, G. Pavillon, S. Bellec, C. Guihenneuc-Jouyaux, J. Clavel, E. Jouglu, Denis Hémon ,(2006), Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France, International Archives of Occupational and Environmental Health, Volume 80, Issue 1
- Leticia Grizea L, Hussa A., Thommena O., Schindlera C., - Fahrländer C. , (2005), Heat wave 2003 and mortality in Switzerland,
- Giles B., Balafoutis C., Maheras P., (1990), Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988, Biometeorology
- Founda D., Giannakopoulos C., (2009), The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece — A typical summer in the future climate?, Global and Planetary Change, Volume 67, Issues 3–4
- Mantzarakis A., Nastos P. , (2011), Human-bio meteorological assessment of heat waves in Athens, Springer, Volume 105, Issue 1
- <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0060> , Αναζήτηση στις 28/03/2016
- METEOROLOGY GLOSSARY, American Meteorological Society, http://glossary.ametsoc.org/wiki/Flash_flood , Αναζήτηση στις 28/03/2016
- NOAA, definitions of flood and flash flood, <http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php> , Αναζήτηση στις 28/03/2016

- Queensland Government, Office of the Queensland Chief Scientist, <http://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/flood-consequences#table1> , Αναζήτηση στις 2016
- Petrow T., Merz B., (2009), Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951–2002, Journal of Hydrology, Volume 371, Issues 1–4, 5
- Lastoria B., Simonetti M. R., Casaioli M., Mariani S., and Monacelli G., (2006), Socio-economic impacts of major floods in Italy from 1951 to 2003, Advances in Geosciences
- Llasat M. C., L'opez L., Barnolas M., Llasat-Botija, (2008), Flash-floods in Catalonia: the social perception in a context of changing vulnerability, Advances in Geosciences
- Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., (2012), Floods in Greece, a statistical and spatial approach, Springer Science + Business Media B.V.
- NOAA, SURGE STORM
http://www.nws.noaa.gov/om/hurricane/resources/surge_intro.pdf , Αναζήτηση στις 29/03/2016
- Krestenitis Y., Androulidakis Y., Kontos Y., Georgakopoulos G., (2011), Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events, J Coast Conserv
- NOAA, storm surge and coastal inundation, <http://www.stormsurge.noaa.gov/>, αναζήτηση στις 30/03/2016
- Bartholdy J., Aagaard T., (2000), Storm Surge effects on a back-barrier tidal flat of the Danish Wadden Sea, Springer-Verlag

- Hans V. et al, (1995), A comparison of 2D storm surge models applied to three shallow European seas, Environmental Software, Volume 10, Issue 1
- I.T. Matsangouras, P.T. Nastos, M.V.Sioutas, (2011), 300 YEARS HISTORICAL RECORDS OF TORNADOES, WATERSPOUTS AND FUNNEL CLOUDS OVER GREECE, 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011)
- [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(GI\)/guides/mtr/af/frnts/cfrnt/def.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(GI)/guides/mtr/af/frnts/cfrnt/def.rxml), University of Illinois. Cold Front. Αναζήτηση στις 17/06/2016
- http://www.atmos.millersville.edu/~lead/SkewT_HowTo.html, How to read a Skew-T, Αναζήτηση στις 17/06/2016
- CAPE Index,
<http://www.weatheronline.co.uk/reports/wxfacts/CAPE---Convective-Available-Potential-Energy.htm>, Αναζήτηση στις 18/06/2016

