

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
Ειδίκευση στην Φυσική Περιβάλλοντος- Μετεωρολογία

ΤΙΤΛΟΣ

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΙΣΧΥΡΟΥ CONVECTIVE ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΣΕ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Κουράτος, Φυσικός (Α.Μ. 2018406)

Επιβλέπουσα: Φλόκα Έλενα, καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ 2020

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια του τμήματος φυσικής ΕΚΠΑ κα. Έλενα Φλόκα για την πολύτιμη καθοδήγησή της, την ουσιαστική βοήθειά της, τις χρήσιμες συμβουλές της και την φιλική της στάση κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, να ευχαριστήσω την καθηγήτρια του τμήματος φυσικής ΕΚΠΑ κα. Τόμπρου-Τζέλλα Μαρία και την επίκουρη καθηγήτρια της Σχολής Ικάρων κα. Λουκά Πετρούλα που δέχθηκαν να είναι μέλη της τριμέλους επιτροπής εξέτασης. Τέλος, ένα ειλικρινές και μεγάλο ευχαριστώ σε όλα τα μέλη ΔΕΠ και ΕΔΙΠ του τμήματος φυσικής του τομέα της φυσικής περιβάλλοντος – μετεωρολογίας ΕΚΠΑ για την όμορφη συνεργασία και τις γνώσεις που μου μεταλαμπαδεύσαν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω για την προθυμία τους και την ευγένεια τους την γραμματειακή υποστήριξη του τμήματος φυσικής ΕΚΠΑ και ιδιαίτερα την γραμματέα του τομέα φυσικής περιβάλλοντος – μετεωρολογίας ΕΚΠΑ κα. Μουτζίκη Ελευθερία.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου Δημήτρη και Μαρία για την ηθική τους συμπαράσταση όπως επίσης και για την αμέριστη οικονομική τους βοήθεια και την υποστήριξή τους σε κάθε μου βήμα. Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την αδερφή μου Κωνσταντίνα και την σύντροφό μου Μαρία για την κατανόηση που έδειξαν καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας και την συνεχή τους συμπαράσταση.

Περίληψη

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δυναμική μελέτη σε συνοπτική και μέση κλίμακα ενός ισχυρού convective συστήματος που επηρέασε τον ελλαδικό χώρο την 10^η Ιουλίου 2019, με δομή και χαρακτηριστικά supercell καταιγίδας, προξενώντας αρκετές υλικές καταστροφές, ενώ από τα ακραία καιρικά φαινόμενα σκοτώθηκαν 7 άνθρωποι. Για τη μελέτη του καταιγιδοφόρου συστήματος χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τον δορυφόρο MSG, συνοπτικοί χάρτες πίεσης, θερμοκρασίας και ανέμων σε διάφορες ισοβαρικές επιφάνειες, όπως επίσης και δυναμικοί παράμετροι. Στα ανώτερα στρώματα, η διαταραχή που κινήθηκε νοτιοανατολικά, από την βόρεια Ιταλία προς την βόρεια Ελλάδα, προκάλεσε την αστάθεια της ατμόσφαιρας, αφού οι θερμές αέριες μάζες που ήταν σε αδράνεια τις προηγούμενες ημέρες εξαναγκάστηκαν σε ανοδικές κινήσεις. Επίσης, σημαντικό ρόλο διατέλεσε η ψυχρή μεταφορά στα κατώτερα επίπεδα, όπως επίσης και η λανθάνουσα θερμότητα που έδωσε ενέργεια για την ανάπτυξη του νέφους. Τέλος, η έντονη θερμοβαθμίδα στα κατώτερα στρώματα οδήγησε την ατμόσφαιρα σε ισχυρή βαροκλιτικότητα.

Λέξεις κλειδιά: Ανωμεταφορά, υπερκυτταρική καταιγίδα, αστάθεια, δορυφορική ανάλυση

Abstract

This thesis aims at the synoptic and mesoscale dynamic study of a powerful convective system that affected the Greek area on July 10, 2019, with structure and characteristics supercell storm, causing several material disasters, while the extreme weather phenomena killed 7 people. For the study of the storm system, satellite images from the MSG satellite were used, weather charts of pressure, temperature and winds at various isobaric levels, as well as dynamic parameters. At the upper layers, the disturbance that moved southeast, from northern Italy to northern Greece, caused the instability of the atmosphere, since the warm air masses that had been idle in the previous days forced upward movements. Also, an important role was played by the cold transfer to the lower levels, as well as the latent heat that gave energy for the development of the cloud. Finally, the intense heat gradient in the lower layers led the atmosphere to a strong baroclinicity.

Keywords: Convection, supercell storm, instability, satellite analysis

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	8
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	11
2.1 Συνοπτικά Συστήματα.....	11
2.2 Convection.....	11
2.3 Κανάλια δορυφόρου Meteosat.....	12
2.3.1 Κανάλι 5 υδρατμών (WV) στα 6.2 μm.....	13
2.3.2 Κανάλι 9 θερμικού υπερύθρου (IR) στα 10.8 μm.....	13
2.3.3 Κανάλι 12 ορατού φάσματος – High Resolution Visible (HRV).....	14
2.4 Δείκτες Αστάθειας.....	15
2.4.1 Εισαγωγή.....	15
2.4.2 K Index	16
2.4.3 Showalter Index (SI).....	17
2.4.4 Lifted Index (LI).....	18
2.4.5 CAPE (Convective Available Potential Energy).....	18
2.4.6 Convective Inhibition.....	19
2.4.7 Helicity και Storm-Relative Helicity.....	19
2.4.8 Energy – Helicity Index.....	20
2.5 Μέσης Κλίμακας Καταιγιδοφόρα Συστήματα.....	21
3. Δεδομένα και Μεθοδολογία	25
3.1 Η εξεταζόμενη περιοχή.....	25
3.2 Μεθοδολογία.....	29
4. Δυναμική Μελέτη Συνοπτικής Κλίμακας.....	30

4.1	Ανάλυση γεωδυναμικού στις ισοβαρικές επιφάνειες 100, 150, 300hPa.....	30
4.2	Ανάλυση γεωδυναμικού στην ισοβαρική επιφάνεια 500 hPa.....	32
4.3	Ανάλυση του γεωδυναμικού ύψους και της θερμοκρασίας στα 850 hPa.....	34
4.4	Ανάλυση της επιφανειακής πίεσης στην ΜΣΘ και της επιφανειακής θερμοκρασίας....	36
4.5	Μετωπική Ανάλυση.....	38
4.6	Ανάλυση της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa και 850 hPa.....	42
4.7	Μελέτη του αεροχειμάρρου.....	44
4.8	Δυναμικός στροβιλισμός στην ισημερινική επιφάνεια $\theta = 320\text{K}$	45
4.9	Σχετικός στροβιλισμός	49
4.10	Μεταφορά θερμοκρασίας.....	52
4.11	Ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία στα 850 hPa.....	53
4.12	Μεταφορά πάχους στρώματος (1000 hPa-500 hPa)	57
5.	Δυναμική Μελέτη Μέσης Κλίμακας.....	61
5.1	Ανάλυση δεικτών αστάθειας LI-MLCAPE.....	61
5.2	Τεφιγράμματα.....	62
5.2.1	Αεροδρόμιο Ηρακλείου.....	62
5.2.2	Αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	63
5.2.3	Αεροδρόμιο Αθήνας.....	65
5.3	Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης CAPE.....	66
5.4	Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης KI.....	67
5.5	Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης LI.....	68
5.6	Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης SI.....	69
5.7	Ηλεκτρική δραστηριότητα.....	70

6. Δορυφορική Ανάλυση.....	73
6.1 Κανάλι 9 – IR 10.8 μm.....	73
6.2 Κανάλι υδρατμών (WV)-6.2μm.....	81
6.3 HRV-κανάλι 12.....	87
6.4 RGB-Convection.....	92
6.5 RGB-24hMicrophysics.....	95
6.6 RGB-Airmass.....	101
7. Συμπεράσματα.....	106
Βιβλιογραφία.....	109
Παράρτημα.....	112

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μέσης κλίμακας συστήματα κατακόρυφης ανάπτυξης (Mesoscale Convective Systems, MCS) αποτελούν σημαντικό πεδίο έρευνας στον κλάδο της μετεωρολογίας αφού η έγκαιρη και έγκυρη πρόγνωσή τους έχει κυρίαρχο ρόλο στην επίπτωση της οικονομίας και την πρόληψη του κοινωνικού συνόλου και της αγροτικής παραγωγής αφού πρόκειται για ισχυρά, καλά οργανωμένα συστήματα που συνδέονται με ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως βίαιους και ριπαίους ανέμους στην επιφάνεια και ισχυρές βροχοπτώσεις, ακόμα και χαλαζοπτώσεις, όπου το χαλάζι μπορεί να φτάσει ακόμα και σε μέγεθος μπαλάκι του τένις. Επίσης, συνοδεύονται από εκτεταμένη κεραυνική δραστηριότητα, ενώ ορισμένες φορές δημιουργούν και έντονους σιφώνες. Τα convective συστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη κατακόρυφη έκταση, αφού σχεδόν τις περισσότερες φορές το ύψος τους φτάνει έως και την τροπόπαυση, ενώ η βάση τους βρίσκεται εντός του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Τα συστήματα αυτά μπορούν να δημιουργηθούν εξαιτίας της τοπογραφίας, δηλαδή ορογραφικά εμπόδια να αναγκάσουν αέριες μάζες να υπερπηδήσουν αυτά, εξαιτίας συνοπτικών συστημάτων, όπως ψυχρά μέτωπα, ή εξαιτίας ριπαίων μετώπων από άλλες καταιγίδες. Για να επιβιώσουν, τα MCS χρειάζονται μεγάλη αστάθεια και μεγάλη κατακόρυφη διάτμηση ανέμου σε μεγάλο ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τους Fritsch et al. (1986) βρέθηκε ότι τα MCS είναι υπεύθυνα για το 30-70% των βροχοπτώσεων κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου πάνω από την κεντρική Αμερική.

Τα MCS είναι μια ευρύτερη κατηγορία καταιγιδοφόρων συστημάτων και πολύπλοκη, καθώς μπορούμε να τα συναντήσουμε είτε ως γραμμή λαίλαπας (squall lines) είτε ως συμπλέγματα κυττάρων καταιγίδων τοξοειδούς σχήματος (bow echoes) είτε ως συμπλέγματα μέσης κλίμακας κατακόρυφης ανάπτυξης (Mesoscale Convective Complexes, MCC). Τα συμπλέγματα αυτά (MCC) είναι αρκετά μεγάλα σε έκταση, ενώ μπορεί να αποκτήσουν έως και 1000 φορές μεγαλύτερη έκταση από μία απλή κυτταρική καταιγίδα. Στην πραγματικότητα πρόκειται για αρκετά μεγάλα συστήματα που είναι ικανά να καλύψουν μια περιοχή 100.000 τετραγωνικών χιλιομέτρων.

Εκτός του ελλαδικού χώρου, αρκετές περιπτώσεις convective συστημάτων σε άλλες περιοχές έχουν συνδεθεί με σοβαρές υλικές ζημιές και θανάτους, εξαιτίας των ακραίων καιρικών φαινομένων που προξένησαν. Σύμφωνα με τους Romero et al. (2000) καταστροφικές πλημμύρες, εξαιτίας convective συστημάτων, συμβαίνουν κάθε χρόνο στην ανατολική Ισπανία, νότια Γαλλία, Ιταλία και βόρεια Αφρική, τα οποία είναι υπεύθυνα για καταστροφή των υποδομών, απώλειες ακινήτων και αύξηση του ποσοστού θανάτων. Τα περισσότερα από τα γεγονότα καταστροφικών πλημμύρων συνδέονται με ημιστάσιμα MCS, όπως έδειξε ο Riosalido (1990). Τέτοια συστήματα, που συνδυάστηκαν με ακραίες βροχοπτώσεις έπληξαν την περιοχή Alforja στην νότια Καταλονία στις 10 Οκτωβρίου 1994 καταγράφοντας σε 24 ώρες 450 mm βροχής, την περιοχή του Πιεμόντε στην βορειοδυτική Ιταλία με σχεδόν 300 mm σε 24 ώρες στις 5 Νοεμβρίου 1995, στην γειτονική περιοχή Vaison-La-Romaine της νότιας Γαλλίας στις

22 Σεπτεμβρίου 1992 μετρήθηκαν 220 mm σε διάστημα 3 ωρών, και το γνωστό γεγονός Biescas στη βορειοανατολική Ισπανία στις 7 Αυγούστου 1996, στο οποίο κατεγράφησαν 225 mm σε 3 ώρες έπεσαν στα βουνά αυτής της περιοχής, με αποτέλεσμα 86 θανάτους.

Όσον αφορά τον ελλαδικό χώρο, η παρουσία convective συστημάτων δεν αποτελεί σπάνιο φαινόμενο. Συγκεκριμένα, στις 15 Ιουλίου 2014 η Θεσσαλονίκη και η Χαλκιδική, στην βόρεια Ελλάδα επλήγησαν από έντονες βροχοπτώσεις που προκάλεσαν πλημμυρικά φαινόμενα και προξένησαν σοβαρές ζημιές στις υποδομές (Pytharoulis et al. 2016). Ο μετεωρολογικός σταθμός του τμήματος μετεωρολογίας και κλιματολογίας του ΑΠΘ, κατέγραψε 98.5 mm βροχής από τις 21 UTC 14/07/2014 έως και τις 12 UTC 15/07/2014. Στο τμήμα της ΕΜΥ στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης κατεγράφησαν 61 mm βροχής μεταξύ 00UTC και 12 UTC 15/07/2014. Δηλαδή, η μέση ημερήσια τιμή των 60,2 mm, όπως την έδωσε ο Kornaros (1999), υπερέβη σε διάστημα 12 ωρών δείχνοντας την ραγδαιότητα του συστήματος.

Όπως αναλύσαμε και παραπάνω, το χαλάζι συνδέεται άμεσα με τα καταιγιδόφορα συστήματα κατακόρυφης ανάπτυξης. Σύμφωνα με τους Sioutas et al. (2009) το χαλάζι αποτελεί συχνό φαινόμενο στην βόρεια Ελλάδα κατά τους θερινούς μήνες του έτους (Απρίλιος – Σεπτέμβρης) το οποίο μπορεί να γίνει επικίνδυνο και να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στις σοδειές και τις καλλιέργειες. Η μέση ετήσια οικονομική απώλεια καλλιεργειών εξαιτίας του χαλαζιού, στην κεντρική Μακεδονία που αποτελεί μία από τις πιο καλλιεργήσιμες εκτάσεις στην Ελλάδα, εκτιμάται περίπου στα 20 εκατομμύρια ευρώ με βάση τα ασφαλιστικά στοιχεία της τελευταίας δεκαετίας (Sioutas et al. 2009).

Συμπερασματικά, τα convective συστήματα δίνουν ακραία καιρικά φαινόμενα, τα οποία είναι επικίνδυνα για το κοινωνικό σύνολο και την οικονομία μιας χώρας. Μια περίπτωση ισχυρού convective συστήματος ήταν και το καταιγιδόφορο νέφος που έπληξε την βόρεια Ελλάδα, στις 10 Ιουλίου 2019 και συγκεκριμένα την περιοχή της Χαλκιδικής δίνοντας ισχυρούς ριπαίους ανέμους στην επιφάνεια, ραγδαία βροχόπτωση σε συνδυασμό με χαλάζι και μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών εκκενώσεων. Σύμφωνα, μάλιστα με τον Ζιακόπουλο (www.ziakopoulos.blogspot.gr), οι ισχυροί άνεμοι στην επιφάνεια είναι αποτέλεσμα των βίαιων καθοδικών ρευμάτων που προσκρούουν με ορμή στο έδαφος. Η βύθιση του υγρού ψυχρού αέρα προκαλεί απορρόφηση περισσότερου ξηρού αέρα από την καταιγίδα με αποτέλεσμα εντονότερα καθοδικά ρεύματα ή έντονες συστοιχίες ρευμάτων.

Σκοπός, λοιπόν, της εργασίας είναι να μελετηθούν οι μηχανισμοί δημιουργίας του supercell convective συστήματος που έπληξε την βόρεια Ελλάδα και ειδικότερα την Χαλκιδική στις 10 Ιουλίου 2019 και είχε ως αποτέλεσμα 7 θανάτους και πολλές καταστροφές στο δίκτυο υποδομών και υλικές ζημιές σε περιουσίες και καλλιέργειες. Για την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες σε διάφορα κανάλια από τον δορυφόρο Meteosat MSG για να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά και η δομή του συστήματος, ενώ έγινε δυναμική ανάλυση μέσης κλίμακας και δυναμική ανάλυση

συνοπτικής κλίμακας, ώστε να προσδιοριστούν οι μηχανισμοί που συνέβαλαν στην δημιουργία και εξέλιξη του MCS.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Συνοπτικά συστήματα

Βαρομετρικό χαμηλό ή **κυκλώνα** ονομάζουμε ένα σύστημα από κλειστές ισοβαρείς καμπύλες, ελλειπτικού ή κυκλικού σχήματος, με ίδιο κέντρο και με την ατμοσφαιρική πίεση να ελαττώνεται από την εξωτερική ισοβαρή καμπύλη προς την εσωτερική ισοβαρή καμπύλη, δηλαδή εμφανίζεται βαροβαθμίδα που συγκλίνει προς το κέντρο.

Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις, όπου ένα βαρομετρικό χαμηλό εμφανίζει μια σκάφη χαμηλών πιέσεων, ή αλλιώς μια **trough**, δηλαδή το σύστημα των ισοβαρών καμπυλών παρουσιάζει μια οξεία προεξοχή, με διεύθυνση κάθετη προς τις επιφάνειες αυτές. Η διεύθυνση κατά την οποία έχουμε μέγιστη καμπύλωση των ισοβαρών ονομάζεται **άξονας της trough**.

Βαρομετρικό υψηλό ή **αντικυκλώνα** ονομάζουμε ένα σύστημα από κλειστές ισοβαρείς καμπύλες, ελλειπτικού ή κυκλικού σχήματος, με ίδιο κέντρο και με την ατμοσφαιρική πίεση να ελαττώνεται από την εσωτερική ισοβαρή καμπύλη προς την εξωτερική ισοβαρή καμπύλη, δηλαδή εμφανίζεται βαροβαθμίδα που αποκλίνει από το κέντρο.

Ένα βαρομετρικό υψηλό ενδέχεται να εμφανίζει μια σφήνα υψηλών πιέσεων, ή αλλιώς μια **ridge**, δηλαδή το σύστημα των ισοβαρών καμπυλών παρουσιάζει μια οξεία προεξοχή, με διεύθυνση κάθετη προς τις επιφάνειες αυτές. Η διεύθυνση κατά την οποία έχουμε μέγιστη καμπύλωση των ισοβαρών ονομάζεται **άξονας της ridge**.

2.2 Convection

Convection καλείται η κίνηση μέσα σε ένα υγρό ή αέριο που συμβαίνει εξαιτίας θερμοκρασιακών διαφορών.

Οι διαφορές στην θερμοκρασία προκύπτουν από μεγάλες θερμάνσεις ή ψύξεις περιοχών υγρού ή αερίου σε σχέση με τις γειτονικές περιοχές αυτών. Αυτές οι διαφορές θερμοκρασίας προκαλούν με την σειρά τους την κίνηση των περιοχών αυτών καθώς οι θερμότερες και λιγότερο πυκνές περιοχές ακολουθούν ανοδικές κινήσεις και οι πιο ψυχρές και πιο πυκνές περιοχές βυθίζονται, με συνέπεια να δημιουργείται μια κυκλική ροή. Γενικά, το φαινόμενο αυτό αποτελεί έχει σημαντικό ρόλο στο πλανητικό ισοζύγιο της ενέργειας αφού βοηθά στην ανακατανομή της. Είναι ένα φαινόμενο ζωτικής σημασίας για την ζωή στην Γη μεταφέροντας θερμότητα, από θερμότερες σε πιο δροσερές περιοχές του πλανήτη, βοηθώντας μ'αυτόν τον τρόπο την κυκλοφορία της ενέργειας και μειώνοντας δραστικά τις απότομες διαφορές θερμοκρασίας.

Ωστόσο το convection παρατηρείται συχνά μέσα στην ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα στον καιρό μας αφού είναι η αιτία που δημιουργεί τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης. Για παράδειγμα, καθώς ο ήλιος θερμαίνει την επιφάνεια της Γης, ο αέρας πάνω από αυτή θερμαίνεται και ανεβαίνει. Εξαιτίας της θερμής επιφάνειας και της μεγάλης διαφοράς αυτής με την υπερκείμενη ατμόσφαιρα πραγματοποιείται ανοδική μεταφορά υγρού ατμοσφαιρικού αέρα μαζί με την κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας. Αν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές θα αναπτυχθεί συνεχής ροή πάνω από την επιφάνεια αυτή, αφού κατά την ανοδική κίνηση ο θερμός αέρας αντικαθίσταται από ψυχρότερο και πυκνότερο αέρα που με την σειρά του θερμαίνεται και ανεβαίνει. Όταν οι αέριες μάζες ανεβαίνουν και καθώς η πίεση μειώνεται, εκτονώνονται και ψύχονται και φτάνοντας σε κατάλληλο ύψος ξεκινάει η συμπύκνωση των υδρατμών τους. Αν οι αέριες μάζες περιέχουν αρκετά ποσά υγρασίας τότε τα φαινόμενα μπορούν να γίνουν πολύ έντονα με ισχυρές βροχοπτώσεις.

2.3 Κανάλια δορυφόρου Meteosat

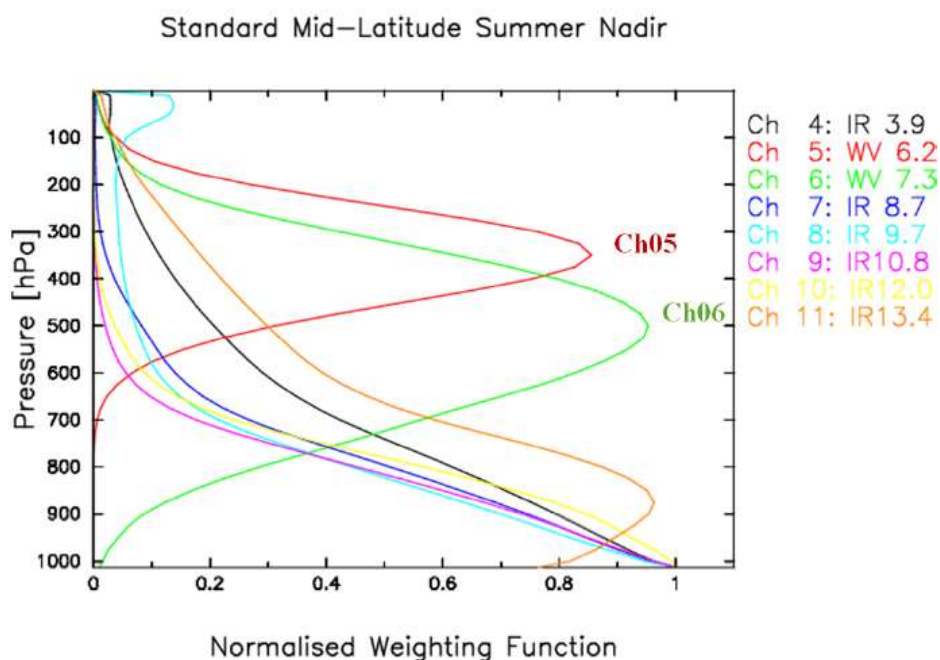
Ο δορυφόρος Meteosat MSG βρίσκεται σε ύψος 35.860 km περίπου και αποτελεί είδος γεωστάσιμου δορυφόρου, ενώ για την καταγραφή της ακτινοβολίας, στα διάφορα μήκη κύματος χρησιμοποιεί το πολυφασματικό ραδιόμετρο SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager), το οποίο σαρώνει την επιφάνεια της Γης από ανατολή προς δύση και από βορρά προς νότο μέσα σε χρονικό διάστημα 12,5 λεπτών και λαμβάνει πληθώρα διαφορετικών εικονοστοιχείων. Για το κάθε ένα εικονοστοιχείο από αυτά το ραδιόμετρο SEVIRI καταγράφει την ενέργεια της εκπεμπόμενης ή ανακλώμενης ακτινοβολίας.

Channel no.		Characteristics of spectral band (μm)			Main gaseous absorber or window
		λ_{min}	λ_{max}	λ_{cen}	
1	VIS0.6	0.635	0.56	0.71	Window
2	VIS0.8	0.81	0.74	0.88	Window
3	NIR1.6	1.64	1.50	1.78	Window
4	IR3.9	3.90	3.48	4.36	Window
5	WV6.2	6.25	5.35	7.15	Water vapor
6	WV7.3	7.35	6.85	7.85	Water vapor
7	IR8.7	8.70	8.30	9.10	Window
8	IR9.7	9.66	9.38	9.94	Ozone
9	IR10.8	10.80	9.80	11.80	Window
10	IR12.0	12.00	11.00	13.00	Window
11	IR13.4	13.40	12.40	14.40	Carbon dioxide
12	HRV	Broadband (about 0.4 – 1.1)			Window/water vapor

Σχήμα 2.1 – Φασματικά χαρακτηριστικά του ραδιομέτρου SEVIRI. Το σχήμα δίνει πληροφορίες για το εύρος του μήκους κύματος κάθε καναλιού καθώς επίσης και την κεντρική τιμή του. (Πηγή: EUMETSAT)

2.3.1 Κανάλι 5 υδρατμών (WV) στα 6.2 μm

Το κανάλι αυτό καταγράφει την ακτινοβολία κοντά στα 6.2 μm , στο υπέρυθρο μήκος κύματος του φάσματος. Σ' αυτή όμως την φασματική περιοχή οι υδρατμοί απορροφούν έντονα την ακτινοβολία και την εκπέμπουν, επομένως οι πληροφορίες που λαμβάνουμε είναι άμεσα συνδεδεμένες με τα ποσά υγρασίας. Σύμφωνα με την κανονικοποιημένη συνάρτηση βάρους, το μεγαλύτερο ποσό της ακτινοβολίας προέρχεται από την στάθμη των 350 hPa περίπου. Άρα, οι πληροφορίες αφορούν την κατανομή των ποσών της υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας. Συνεπώς, οι ανοιχτοί τόνοι του γκρίζου, σε μια δορυφορική εικόνα, αντιστοιχούν σε υψηλά ποσά υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, ενώ οι σκούρες αποχρώσεις του γκρίζου αντιστοιχούν σε χαμηλά ποσά υγρασίας, περιοχές δηλαδή με ξηρό αέρα. Τέλος, μπορεί να γίνει ανάλυση των δυναμικών χαρακτηριστικών της ανώτερης τροπόσφαιρας και να προσδιοριστεί η θέση των αεροχειμάρρων καθώς επίσης και περιπτώσεις αναδιπλώσεων της τροπόπαυσης που συνδέονται με περιπτώσεις εκρηκτικής κυκλογένεσης στην επιφάνεια. Επομένως, οι σκούρες αποχρώσεις υποδηλώνουν την ύπαρξη ξηρών αερίων μαζών σ' αυτά τα ύψη, άρα με ύπαρξη δυναμικής ανωμαλίας και μικρά ύψη της δυναμικής τροπόπαυσης.



Σχήμα 2.2 – Κανονικοποιημένη συνάρτηση βάρους συναρτήσει της πίεσης. Η κόκκινη καμπύλη αποτυπώνει τις τιμές της συνάρτησης βάρους για το κανάλι 5 των υδρατμών στα 6.2 μm , η οποία παρουσιάζει μέγιστη τιμή στα 350 hPa περίπου. (Πηγή: EUMETSAT)

2.3.2 Κανάλι 9 θερμικού υπέρυθρου (IR) στα 10.8 μm

Το κανάλι 9 καταγράφει την θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία στα 10.8 μm που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, την ατμόσφαιρα και τα νέφη. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιεί το ατμοσφαιρικό παράθυρο των 8 μm – 12.5 μm και μας δίνει

πληροφορίες για την θερμοκρασία της πηγής που εκπέμπει την ακτινοβολία, σύμφωνα με το νόμο των Stefan – Boltzmann, ο οποίος δίνεται στην συνέχεια:

$$F_{ολ} = \epsilon_{ολ} \sigma T^4$$

όπου, $F_{ολ}$: ολική ροή ακτινοβολίας εκπεμπόμενου σώματος

$\epsilon_{ολ}$: συντελεστής εκπομπής σώματος, όπου για μελανά σώματα ισούται με 1 και για νέφη έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης

σ : σταθερά Stefan-Boltzmann $\sim 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T: απόλυτη θερμοκρασία σώματος

Επομένως, οι ανοιχτές αποχρώσεις στην δορυφορική εικόνα του θερμικού υπερύθρου αντιστοιχούν σε σώματα με χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ οι σκούρες αποχρώσεις σε σώματα με υψηλές θερμοκρασίες και σε θερμές επιφάνειες. Άρα οι έντονα λευκές αποχρώσεις υποδηλώνουν νέφη ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης, ενώ οι πιο σκούροι τόνοι του γκριζου αντιστοιχούν σε νέφη που βρίσκονται σε μεσαίο ή χαμηλό ύψος.

2.3.3 Κανάλι 12 ορατού φάσματος – High Resolution Visible (HRV)

Το κανάλι του ορατού φάσματος καταγράφει την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από διάφορα σώματα μεταξύ μηκών κύματος 0.4 μm και 1.1 μm , όπως το έδαφος, η θάλασσα και τα νέφη που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Άρα το κανάλι HRV χρησιμοποιείται αποκλειστικά κατά την διάρκεια της ημέρας. Αποτελεί σημαντικό κανάλι για την αναγνώριση των νεφών και της σύστασής τους. Η ερμηνεία του καναλιού αυτού δεν διαφέρει με τα υπόλοιπα κανάλια του ορατού φάσματος στα 0.6 μm και στα 0.8 μm . Η μοναδική τους διαφορά έγκειται στο γεγονός της χωρικής διακριτικής ικανότητας, η οποία είναι αρκετά υψηλή και βρίσκεται στο 1 km, σε σχέση με τα υπόλοιπα κανάλια που έχουν χωρική ανάλυση περίπου στα 3 km, δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας απεικονίζει την ακτινοβολία από μία επιφάνεια 1km x 1km. Αυτή η ουσιαστική και σημαντική διαφορά μάς δίνει την δυνατότητα για να αναγνωρίσουμε τα λεπτομερή χαρακτηριστικά των νεφών και την μορφολογία τους.

Όσον αφορά την ερμηνεία των εικόνων στο ορατό φάσμα, η λευκαύγεια εκφράζεται από την λαμπρότητα. Η λαμπρότητα εξαρτάται από την γωνιακή θέση που παρουσιάζει ο δορυφόρος σε σχέση με την Γη και τον Ήλιο και από την ανακλαστικότητα που παρουσιάζουν τα νέφη, η οποία εξαρτάται από το πάχος του νέφους, την περιεκτικότητά του σε νερό, την σύνθεσή του σε υδροσταγόνες ή παγοκρυστάλλους και το μέγεθος των υδροσταγονιδίων που πιθανώς περιέχει. Συνεπώς, τα πολύ πυκνά οπτικά νέφη απεικονίζονται με λευκές και φωτεινές αποχρώσεις. Τα μεγάλης έκτασης και πυκνά Cumulonimbus έχουν λευκαύγεια σε ποσοστό 92%. Επίσης, η ανακλαστικότητα των νεφών είναι υψηλή όταν αυτό

αποτελείται από μικρό μέσο μέγεθος υδροσταγόνων ή μικρούς παγοκρυστάλλους και έχουν μεγάλο περιεχόμενο σε νερό ή πάγο αντίστοιχα.

2.4 Δείκτες αστάθειας

2.4.1 Εισαγωγή

Η επιτάχυνση του αέρα και οι ανοδικές του κινήσεις οφείλονται στην ύπαρξη της αστάθειας στην ατμόσφαιρα. Η ταχύτερη άνοδος του αέρα είναι ο λόγος που σχηματίζονται καταιγίδες. Η ανάπτυξη των καταιγίδων οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αστάθεια, η οποία παρουσιάζει δύο διαφορετικούς τύπους, την λανθάνουσα αστάθεια που οφείλεται στην έκλυση λανθάνουσας θερμότητας και στην δυναμική αστάθεια.

Η λανθάνουσα θερμότητα είναι η ενέργεια που απορροφάται ή απελευθερώνεται από μια ουσία κατά την διάρκεια αλλαγής φάσης. Στην ατμόσφαιρα αυτή η ουσία που έχει κυρίαρχο ρόλο είναι το νερό, με την μορφή υδρατμών. Όταν αυτά τα μόρια αερίου συμπυκνώνονται σε υγρές σταγόνες, απελευθερώνεται λανθάνουσα θερμότητα στην ατμόσφαιρα που θερμαίνει τον αέρα που περιβάλλει το μόριο. Αυτό βοηθά στην προσθήκη αστάθειας στην ατμόσφαιρα αφού ο θερμός αέρας που περιβάλλει το μόριο θα θέλει να αυξηθεί.

Η λανθάνουσα θερμότητα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις καταιγίδες και τους τυφώνες. Τα σύννεφα σχηματίζονται όταν ο θερμός αέρας ανεβαίνει και ο υδρατμός που περιέχει συμπυκνώνεται σε σωματίδια που ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης νέφους. Σε εκείνο το σημείο ο αέρας γίνεται κορεσμένος. Όταν αυτός ο αέρας αρχίζει πρώτα να αυξάνεται, ο υδρατμός βρίσκεται στην αέρια φάση. Όταν ο υδρατμός συμπυκνώνεται για να σχηματίσει σύννεφα, απελευθερώνει λανθάνουσα θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τους Min and Gao et al. (2020), οι διαταραχές της θερμοκρασίας που σχετίζονται με τα νέφη βροχοπτώσεων διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της υπάρχουσας ανωμεταφοράς, επειδή η λανθάνουσα θέρμανση είναι κυρίαρχο συστατικό στη συνολική διαβατική θέρμανση. Η λανθάνουσα θερμότητα στη συνέχεια θερμαίνει τον περιβάλλοντα αέρα γύρω από το νέο σταγονίδιο νέφους προκαλώντας αστάθεια. Αυτό αυξάνει το ύψος του νέφους και ανάλογα με το πόσο ασταθής είναι η ατμόσφαιρα, μπορούν να σχηματιστούν καταιγιδόφορα συστήματα που εκτείνονται μέχρι την τροπόπαυση. Οι καταιγίδες που απελευθερώνουν τεράστιες ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας προσθέτουν αστάθεια στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να δίνουν ισχυρά καιρικά φαινόμενα και να γίνονται σοβαρές.

Η δυναμική αστάθεια συμβαίνει όταν διοχετεύεται ξηρός αέρας στα μέσα στρώματα πάνω από ζεστό και υγρό αέρα στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Η δυναμική αστάθεια απελευθερώνεται όταν υπάρχει δυναμική ανύψωση από την επιφάνεια στα μεσαία στρώματα η οποία συντελείται με την υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα στα κατώτερα στρώματα και με την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα στα μεσαία στρώματα. Η δυναμική αστάθεια φαίνεται χαρακτηριστικά σε ένα τεφίγραμμα από τις καμπύλες του σημείου δρόσου και της ραδιοβόλισης που δίνει το κατακόρυφο προφίλ της

θερμοκρασίας με το ύψος. Στα κατώτερα επίπεδα του τριγωνοειδούς θα παρατηρηθεί μικρή θερμοϋγρομετρική διαφορά, μεταξύ των προφίλ του σημείου δρόσου και του προφίλ που καταγράφει η ραδιοβόλιση, ενώ στα μεσαία στρώματα η διαφορά των δύο προφίλ θα αυξηθεί. Επίσης, στις δορυφορικές εικόνες των υδρατμών, στα ανώτερα και μεσαία στρώματα, που καταγράφουν την ακτινοβολία από τα συγκεκριμένα επίπεδα και ειδικότερα στα κανάλια 5 και 6, η δυναμική αστάθεια τοποθετείται στις περιοχές εκείνες που απεικονίζονται με με σκούρες αποχρώσεις του γκριζου, σε συνδυασμό με αυξημένα ποσά υγρασίας στα κατώτερα στρώματα, κάτω από αυτές τις περιοχές. Ως εκ τούτου η δυναμική αστάθεια εξελίσσεται σε στρώματα που έχουν περισσότερη υγρασία στην βάση σε σχέση με την κορυφή τους, δηλαδή η βάση τείνει να συμπυκνωθεί νωρίτερα από την κορυφή.

Η εμφάνιση καταιγίδας σε μια περιοχή συσχετίζεται, σύμφωνα με τον Prezerakos (1989), άμεσα με τα παρακάτω :

- α) επικράτηση συνθηκών αστάθειας
- β) ποσότητα διαθέσιμης υγρασίας
- γ) η παρουσία ενός αιτίου που θα πυροδοτήσει την απελευθέρωση της αστάθειας

Συνήθως, μια καταιγίδα συμβαίνει όταν, σε μια υπό συνθήκη ασταθή ατμόσφαιρα, μηχανισμοί πυροδοτούν τον ατμοσφαιρικό αέρα από το οριακό στρώμα στο επίπεδο ελεύθερης μεταφοράς. Φυσικά, υπάρχει πιθανότητα να αναπτυχθεί καταιγίδα, σε μια σχετικά ευσταθή ατμόσφαιρα εξαιτίας ανόδων των αερίων μαζών σε μεγάλη κλίμακα, όπως η παρουσία ισχυρής σύγκλισης ή η μεταφορά θετικού στροβιλισμού στα 500 hPa. Αυτή ακριβώς είναι και η διαφορά μεταξύ των θερμικών και δυναμικών καταιγίδων.

2.4.2 K Index (KI)

Ο δείκτης K αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη αστάθειας που μας προειδοποιεί για εκδήλωση καταιγίδων. Συνδυάζει 3 διαφορετικούς όρους. Ο 1^{ος} όρος αναφέρεται στην καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας, ο 2^{ος} όρος την περιεκτικότητα υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα και ο 3^{ος} όρος την καθ' ύψος επέκταση του υγρού στρώματος.

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700})$$

Οι κρίσιμες τιμές που λαμβάνει ο δείκτης K είναι:

$K \leq 15$	0% πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας
$15 < K \leq 20$	10-20% πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας

$20 < K \leq 25$	20-40% πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας
$25 < K \leq 30$	40-60% πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας
$30 < K \leq 35$	60-80% πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας
$35 < K \leq 40$	80-90% πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας

Σχήμα 2.3 – Κρίσιμες τιμές του δείκτη K, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου-προγνώστη.

2.4.3 Showalter Index (SI)

Ο δείκτης Showalter Index (SI) ορίζεται ως η αλγεβρική διαφορά της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην στάθμη των 500 hPa και της θερμοκρασίας δείγματος αέρα που ανυψώνεται από την στάθμη των 850 hPa μέχρι την στάθμη των 500 hPa.

$$SI = T_{500}^{env} - T_{850 \rightarrow 500 hPa}^{parcel}$$

Το δείγμα αέρα ανυψώνεται από την στάθμη των 850 hPa στην στάθμη των 500 hPa ακολουθώντας την υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα σε περίπτωση που το δείγμα αέρα έχει την βάση του νέφους του κάτω από την στάθμη των 850 hPa, αλλιώς, σε διαφορετική περίπτωση θα ακολουθήσει την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα μέχρι την βάση του νέφους του και στην συνέχεια θα ανυψωθεί με την υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα.

Οι κρίσιμες τιμές που λαμβάνει ο δείκτης Showalter Index (SI) είναι:

Ευστάθεια	$SI \geq +3$
Πιθανοί όμβροι	$0 \leq SI < +3$
Πιθανές καταιγίδες	$-3 \leq SI < 0$
Πιθανές ισχυρές καταιγίδες	$-6 \leq SI < -3$
Πιθανότητα σιφώνα	$SI < -6$

Σχήμα 2.4 – Κρίσιμες τιμές του δείκτη Showalter, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου-προγνώστη.

2.4.4 Lifted Index (LI)

Ο δείκτης Lifted αποτελεί έναν ακόμη δείκτη αστάθειας που συνδέεται με την δημιουργία καταιγίδων. Υπολογίζεται όπως ο δείκτης Showalter, με την διαφορά ότι το δείγμα αέρα που ανυψώνεται, από την επιφάνεια μέχρι την στάθμη των 500 hPa, έχοντας τα χαρακτηριστικά θερμοκρασίας και υγρασίας της επιφάνειας.

$$LI = T_{500}^{env} - T_{sfc \rightarrow 500hPa}^{parcel}$$

Ο δείκτης LI τροποποιείται, σε μερικές περιπτώσεις, στους δείκτες mixed LI και modified LI. Στην πρώτη περίπτωση, το ανυψούμενο δείγμα αέρα έχει τα μέσα χαρακτηριστικά θερμοκρασίας και υγρασίας των κατώτερων 100 hPa της ατμόσφαιρας, ενώ στην δεύτερη περίπτωση τα χαρακτηριστικά του δείγματος αέρα που ανυψώνεται είναι εκείνα που αναμένονται τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας.

Οι κρίσιμες τιμές του δείκτη LI είναι:

$LI \geq +2$	Ευστάθεια
$0 \leq LI < +2$	Πιθανοί όμβροι
$-2 \leq LI < 0$	Πιθανές καταιγίδες
$-4 \leq LI < -2$	Πιθανές ισχυρές καταιγίδες
$LI < -4$	Πιθανότητα σιφώνα

Σχήμα 2.5 – Κρίσιμες τιμές του δείκτη Lifted, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου-προγνώστη.

2.4.5 CAPE (Convective Available Potential Energy)

Ο δείκτης CAPE αποτελεί μια θερμοδυναμική παράμετρο και περιγράφει την μέγιστη δυνατή κινητική ενέργεια που μπορεί να αποκτήσει ένα ασταθές δείγμα αέρα το οποίο κινείται κατακόρυφα από το LFC (επίπεδο ελεύθερης μεταφοράς) έως το EL (επίπεδο ισορροπίας). Η CAPE εκφράζεται από το εμβαδόν, σε ένα τετράγωνο, που βρίσκεται ανάμεσα στο LFC έως και το EL και έχει μονάδα μέτρησης το $J \cdot kg^{-1}$. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο και είναι πάντα θετικός:

$$CAPE = \int_{LFC}^{EL} (T_v^{parcel} - T_v^{env}) R_d \ln P$$

Όπου, T_v^{parcel} : εικονική θερμοκρασία δείγματος αέρα

T_v^{env} : εικονική θερμοκρασία περιβάλλοντος

P : πίεση

R_d : ειδική σταθερά ξηρού αέρα.

Η CAPE αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη αστάθειας αφού αναφέρεται σε όλη την ατμόσφαιρα και όχι σε συγκεκριμένες στάθμες.

Οι κρίσιμες τιμές που λαμβάνει ο δείκτης CAPE είναι:

Ευσταθής	$CAPE = 0$
Οριακά ασταθής	$0 < CAPE \leq 1000$
Μέτρια ασταθής	$1000 < CAPE \leq 2500$
Πολύ ασταθής	$2500 < CAPE \leq 3500$
Εξαιρετικά ασταθής	$3500 < CAPE$

Σχήμα 2.6 – Κρίσιμες τιμές του δείκτη CAPE, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου-προγνώστη.

2.4.6 Convective Inhibition (CIN)

Ο δείκτης CIN αποτελεί το ποσό της ενέργειας που πρέπει να υπερνικηθεί από το δείγμα αέρα, ώστε αυτό να ανυψωθεί, από την επιφάνεια, στο επίπεδο ελεύθερης μεταφοράς (LFC). Στο τεφίγραμμα εκφράζεται ως το εμβαδόν που βρίσκεται ανάμεσα στην επιφάνεια έως το LFC και έχει μονάδα μέτρησης το $J \cdot kg^{-1}$. Η CIN υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$CIN = \int_{SFC}^{LFC} (T_v^{parcel} - T_v^{env}) R_d \ln P$$

2.4.7 Helicity και Storm-Relative Helicity (SRH)

Ο όρος helicity αναφέρεται στην ανάπτυξη ελικοειδούς ροής από ρευστό το οποίο βρίσκεται σε κίνηση. Ειδικότερα στην ατμόσφαιρα, ο όρος αυτός αναφέρει την σημασία της περιστροφής και του κατακόρυφου wind shear των ανοδικών ρευμάτων μιας καταιγίδας. Αυτοί οι παράμετροι είναι ικανοί να επιτρέψουν, σε μια καταιγίδα, να αναπτυχθεί και εν συνεχεία να οργανωθεί σε υπερκυτταρική. Η διατήρηση της οργανωμένης δομής αυτών των ισχυρών καταιγίδων απαιτεί αυτή την ιδιότητα, διότι ο υετός που πέφτει εξασθενεί τα κατακόρυφα ανοδικά ρεύματα, συνεπώς εξασθενείται και η καταιγίδα. Η ανάπτυξη των καταιγίδων, με περιστρεφόμενα ανοδικά ρεύματα, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατακόρυφη διάτμηση του ανέμου στα πρώτα 3 km της ατμόσφαιρας σε σχέση με την κίνηση της καταιγίδας, αφού η κατακόρυφη διάτμηση είναι αυτή που δίνει τις ευνοϊκές συνθήκες για την δημιουργία καταιγίδων με περιστρεφόμενα ρεύματα, όπως είναι τα supercells και οι σιφώνες.

Επομένως, θα πρέπει να ορίσουμε μία επιπλέον παράμετρο και συγκεκριμένα την Storm-Relative Helicity (SRH), όπου εκτιμάει, για δεδομένη κατακόρυφη διάτμηση ανέμου, την δυνατότητα μιας καταιγίδας να αποκτήσει περιστρεφόμενα ανοδικά ρεύματα, με προϋπόθεση ότι ευνοείται η ανάπτυξη καταιγίδων. Η εκτίμηση της SRH δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$SRH = \mathbf{w} \times (\mathbf{v} - \mathbf{c}) \cdot d\mathbf{z}$$

Όπου, $\mathbf{w} = \mathbf{k} \times d\mathbf{v}/dz$: το διάνυσμα του οριζόντιου στροβιλισμού που δημιουργείται εξαιτίας της κατακόρυφης διάτμησης του ανέμου.

\mathbf{v} : το διάνυσμα του ανέμου

\mathbf{c} : το διάνυσμα κίνησης της καταιγίδας

Οι τυπικές τιμές της SRH, σύμφωνα με τον Ζιακόπουλο (Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου προγνώστη) είναι:

$SRH = 150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$	Κατώφλι για ανάπτυξη supercells
SRH μεταξύ $150 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ και $299 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$	Πιθανότητα για ασθενείς σιφώνες (F0 και F1 της κλίμακας Fujita)
SRH μεταξύ $300 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ και $449 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$	Πιθανότητα για ισχυρούς σιφώνες (F2 και F3 της κλίμακας Fujita)
$SRH > 450 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$	Πιθανότητα για βίαιους σιφώνες (F4 και F5 της κλίμακας Fujita)

2.4.8 Energy - Helicity Index (EHI)

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, ο δείκτης CAPE αντιπροσωπεύει το ποσό της διαθέσιμης ενέργειας που χρειάζεται μια καταιγίδα για να αναπτυχθεί, ενώ ο δείκτης SRH σχετίζεται με το είδος και την εξέλιξη αυτής. Η μελέτη των δύο αυτών παραγόντων είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού παίζουν κυρίαρχο ρόλο στον σχηματισμό ισχυρών περιστρεφόμενων ρευμάτων μέσα σε μία καταιγίδα. Η παράμετρος που μπορεί να εκτιμήσει την δυνατότητα για ανάπτυξη υπερκυτταρικών καταιγίδων είναι η EHI, η οποία συνδυάζει την CAPE και την SRH και δίνεται από τον τύπο:

$$EHI = [CAPE \cdot SRH] / 160.000$$

Η EHI είναι αδιάστατο μέγεθος. Οι τυπικές της τιμές, σύμφωνα με τον Ζιακόπουλο (Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου προγνώστη) είναι:

EHI < 1,0	Δεν είναι πιθανές οι υπερκυτταρικές καταιγίδες και οι σιφώνες.
EHI μεταξύ 1,0 και 2,0	Πιθανές υπερκυτταρικές καταιγίδες και σιφώνες, χωρίς όμως να είναι ισχυροί.
EHI μεταξύ 2,0 και 2,4	Πιθανότερες οι υπερκυτταρικές καταιγίδες
EHI μεταξύ 2,5 και 2,9	Πιθανότεροι οι σιφώνες
EHI μεταξύ 3,0 και 3,9	Πιθανοί ισχυροί σιφώνες
EHI > 4,0	Πιθανοί βίαιοι σιφώνες

2.5 Μέσης Κλίμακας Καταιγιδοφόρα Συστήματα (MCS)

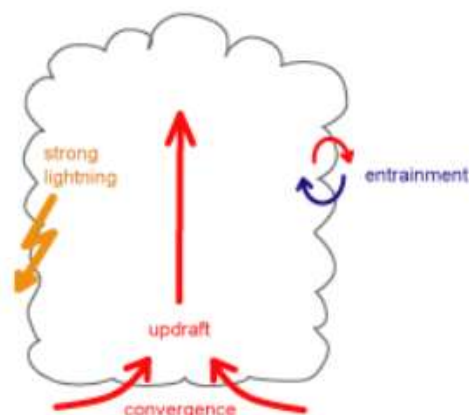
Τα μεγάλα και οργανωμένα καταιγιδοφόρα νεφικά συστήματα ορίζονται ως Μέσης Κλίμακας Καταιγιδοφόρα Συστήματα (MCS). Εάν, η έκταση και η χρονική διάρκεια αυτών των νεφικών συστημάτων είναι αρκετά μεγάλη τότε αυτά είναι γνωστά ως Μέσης Κλίμακας Καταιγιδοφόρα Συμπλέγματα (MCC).

Η σημαντική θερμοδυναμική αστάθεια, καθώς και διάφοροι δυναμικοί παράγοντες σε συνοπτική κλίμακα συμβάλλουν στον σχηματισμό και την εξέλιξη των MCS. Η αστάθεια σε ένα MCS εκδηλώνεται, ως σημαντικός παράγοντας, με την θερμή μεταφορά αέρα στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και σε συνδυασμό με την ύπαρξη αεροχειμάρου ή μιας διαταραχής σε μια trough στα ανώτερα στρώματα. Επίσης, η ύπαρξη ενός MCS συνοδεύεται πολύ συχνά από την ροή θερμού και υγρού αέρα κάτω από ξηρότερο αέρα, συνθήκες ευνοϊκές για ανάπτυξη δυναμικής αστάθειας στην περιοχή.

Ένα MCS μπορεί να αποτυπώνεται σε μια δορυφορική εικόνα ως ένα κυκλικό σχήμα ή ελλειπτικό, καθώς επίσης και με την μορφή γραμμών και ζωνών καταιγιδοφόρων συστημάτων. Τα συστήματα που έχουν κυκλικό σχήμα μπορούν να παρουσιάζουν διαμέτρους από 100 έως και 400 km, ενώ αυτά που παρουσιάζουν ελλειπτικό σχήμα μπορούν να έχουν διαμέτρους που ξεπερνούν τα 1000 km.

Η εξέλιξη ενός τέτοιου τυπικού συστήματος αποτελείται από τρεις διαδοχικές φάσεις:

- 1η φάση: **Στάδιο ανάπτυξης.** Το στάδιο αυτό ξεκινά όταν, σε μια περιοχή έντονης αστάθειας, μια αέρια μάζα εξαναγκάζεται σε κατακόρυφη κίνηση εξαιτίας μιας αιτίας. Συνήθως, δημιουργείται αρχικά, από ισχυρό ανοδικό ρεύμα, ένα κύτταρο θερμού αέρα, ως ένα νέφος cumulus. Όσο αυξάνεται το ύψος του νεφικού συστήματος, αυξάνεται και η ταχύτητα του ανοδικού ρεύματος, η οποία πολλές φορές φτάνει την τιμή των 30 m/s στις κορυφές των νεφικών συστημάτων. Εξαιτίας αυτής της επιταχυνόμενης κίνησης δημιουργείται έντονη ψύξη, ενώ ταυτόχρονα προκαλείται το φαινόμενο της διείσδυσης ατμοσφαιρικού αέρα στον χώρο του νεφικού σχηματισμού. Ο συνδυασμός των διαδικασιών αυτών αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα αύξησης της μάζας του νεφικού συστήματος, του οποίου η κορυφή μπορεί να ξεπεράσει το ύψος των 10 km. Το στάδιο αυτό διαρκεί 15-20 min από την στιγμή της έναρξής του.



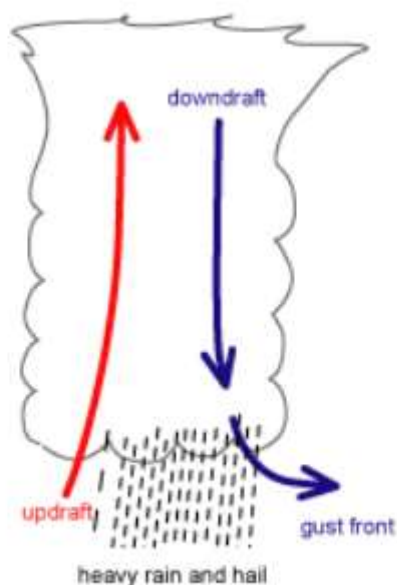
Σχήμα 2.7 – Απεικόνιση νέφους σε φάση ανάπτυξης. Η σύγκλιση στην επιφάνεια οδηγεί σε ανοδικά ρεύματα. (Πηγή: www.eumetrain.org)

- 2^η φάση: **Στάδιο ωριμότητας**. Το στάδιο αυτό διαδέχεται το στάδιο της ανάπτυξης. Αφού έχει αναπτυχθεί πλήρως το νεφικό σύστημα, οι βροχοσταγόνες είναι αρκετά μεγάλες σε βαθμό που το ανοδικό ρεύμα δεν μπορεί να τις συγκρατήσει και να αποτρέψει την πτώση τους στο έδαφος. Έτσι λοιπόν, αυτό το στάδιο συνοδεύεται από έντονη βροχή, με την μορφή όμβρου. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του σταδίου αυτού αποτελεί το γεγονός της εμφάνισης του καθοδικού ρεύματος. Υπολογίζεται ότι η τιμή της ταχύτητάς του είναι η μισή σε σχέση με αυτή του ανοδικού ρεύματος, που σ' αυτό το στάδιο ξεπερνά τα 30 m/s. Ταυτόχρονα με τις υδροσταγόνες, το καθοδικό ρεύμα παρασύρει παγοκρυστάλλους χιονιού από τις ψυχρότερες περιοχές του νέφους, με πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Συνήθως, οι παγοκρύσταλλοι αυτοί δεν καταφέρνουν να φτάσουν στο έδαφος αφού η θερμοκρασία στο έδαφος και κοντά σ' αυτό είναι αρκετά υψηλή με συνέπεια να λιώνουν αμέσως και να πέφτουν με μορφή υδροσταγόνων. Αυτή η διαδικασία έχει σαν αποτέλεσμα το καθοδικό ρεύμα να φτάνει στο έδαφος με μεγάλη ισχύ σχηματίζοντας βίαιες ριπές ανέμων, διασκορπίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις βροχοσταγόνες με μεγάλη σφοδρότητα. Η αέρια αυτή μάζα που φτάνει στο έδαφος είναι αρκετά ψυχρή και υγρή εξαιτίας των αιτίων που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Κάποιες φορές οι βροχοσταγόνες φτάνουν στο έδαφος με την συνοδεία χαλαζιού σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας παγοποίησης των υδροσταγόνων πολλές φορές, αφού ο συνδυασμός του καθοδικού και του ανοδικού ρεύματος βοήθησε τις υδροσταγόνες να παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα σ' αυτό.

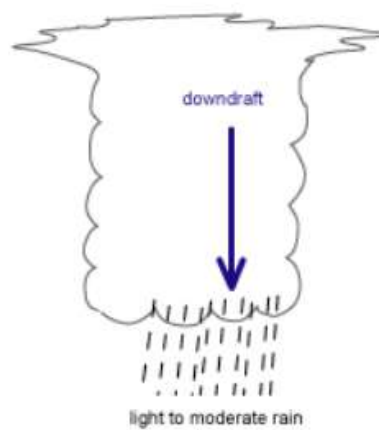
Τέλος, κατά την διάρκεια αυτού του σταδίου, στον χώρο εξέλιξης της καταιγίδας, παρατηρείται έντονη πτώση της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Συνήθως, παρατηρείται και μεγάλος αριθμός

ηλεκτρικών εκκενώσεων, ενώ το στάδιο αυτό μπορεί να διαρκέσει πάνω από 30 min.



Σχήμα 2.8 – Απεικόνιση νέφους σε φάση ωριμότητας. Διακρίνονται τα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα αέρα, όπως επίσης και το ψευδομέτωπο (gust front). (Πηγή: www.eumetrain.org)

- 3^η φάση: **Στάδιο διάλυσης**. Το τελικό στάδιο ενός καταιγιδοφόρου συστήματος. Στο στάδιο αυτό κυριαρχεί το καθοδικό ρεύμα, ενώ το ανοδικό ρεύμα, το οποίο είναι «συντηρεί» και ανατροφοδοτεί το νεφικό σχηματισμό, έχει πάψει να υπάρχει ή έχει εξασθενήσει σημαντικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο νεφικός σχηματισμός να παρασύρεται από την γενική κυκλοφορία της μέσης και ανώτερης Τροπόσφαιρας. Η κορυφή του αρχίζει να διαλύεται, ενώ η βροχή που συνεχίζει να πέφτει είναι ασθενής, η οποία και διακόπτεται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η ατμοσφαιρική πίεση ακολουθεί ανοδική συμπεριφορά, ενώ την θέση των βίαιων και ριπαίων ανέμων διαδέχεται η άπνοια. Τελικά, το νέφος θα διαλυθεί μετά από λίγο πλήρως ή θα διασπαστεί σε μικρότερα επιμέρους νέφη.



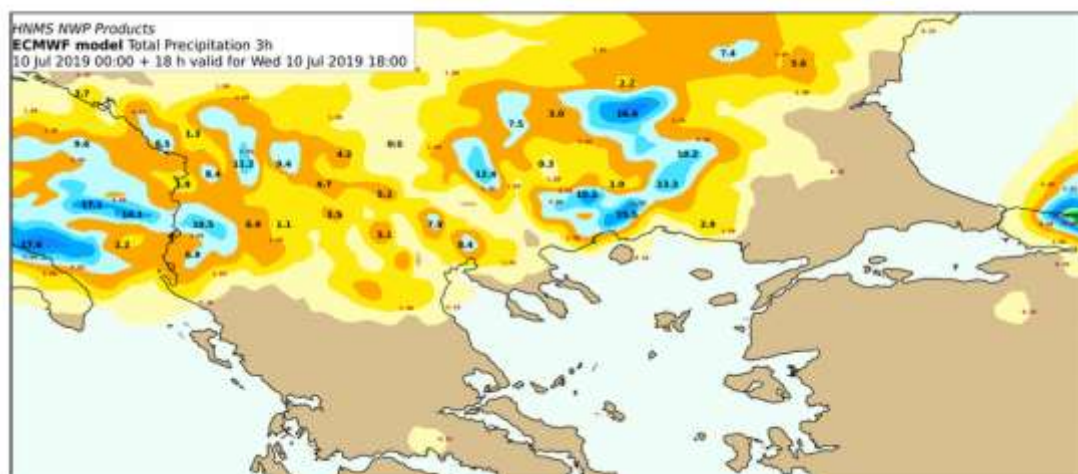
Σχήμα 2.9 – Απεικόνιση νέφους σε φάση διάλυσης. Τα ανοδικά ρεύματα δεν υφίστανται πια. (Πηγή: www.eumetrain.org)

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

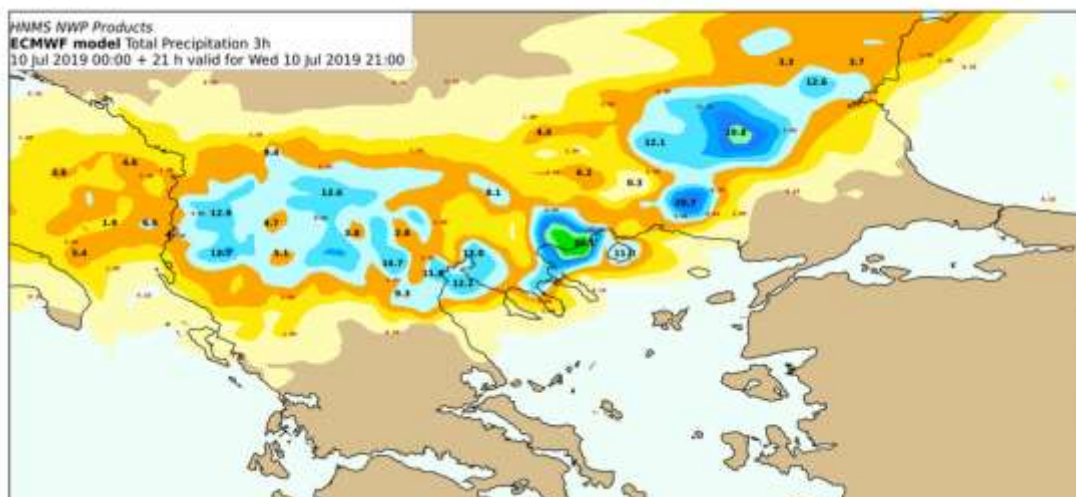
3.1 Η εξεταζόμενη περιοχή

Η εξεταζόμενη περίπτωση αφορά την περιοχή της βορείου Ελλάδας, με έμφαση στην περιοχή της Χαλκιδικής όπου τα φαινόμενα ήταν πολύ έντονα. Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία είχε προειδοποιήσει ήδη από την Τρίτη 9 Ιουλίου 2019 για την ραγδαιότητα των φαινομένων, ενώ την αμέσως επόμενη ημέρα επικαιροποίησε το έκτακτο δελτίο που εξέδωσε την Τρίτη. Χαρακτηριστικά ανέφερε ότι τα σποραδικά φαινόμενα που ήδη είχαν ξεκινήσει να εκδηλώνονται τις πρωινές ώρες της Τετάρτης, από τις βραδινές ώρες της ίδιας ημέρας θα ενταθούν, ενώ οι βροχές και οι καταιγίδες που θα σημειωθούν τοπικά θα είναι πολύ ισχυρές και θα συνοδεύονται από έντονες ριπές θυελλωδών ανέμων και χαλαζοπτώσεις.

Στους παρακάτω χάρτες παρουσιάζεται η πρόγνωση του ύψους βροχής στις 18πμ και στις 21πμ για την Τετάρτη 10 Ιουλίου 2019.

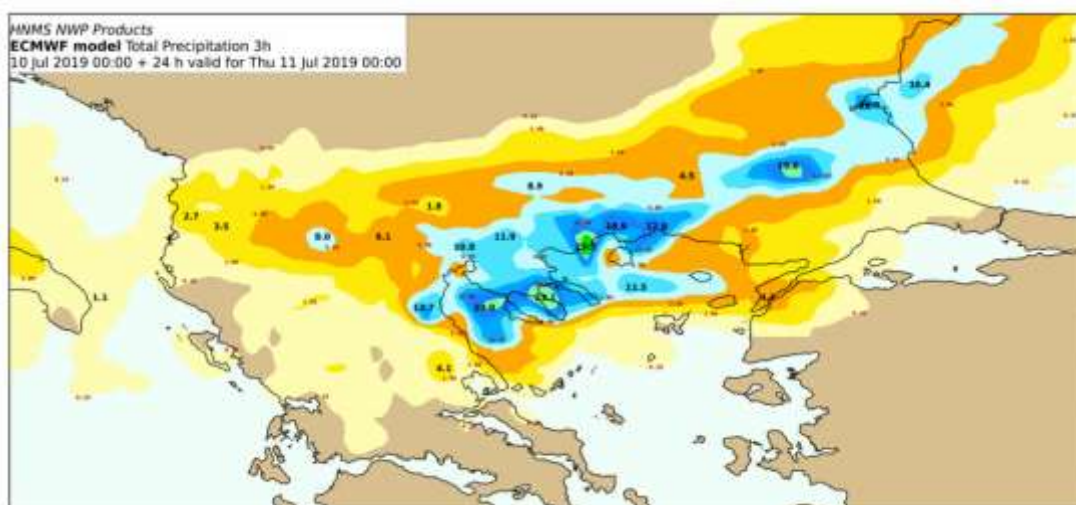


Σχήμα 3.1 – Χιλιοστά βροχής για τις 18πμ της 10^{ης} Ιουλίου 2019, σύμφωνα με το μοντέλο πρόγνωσης του Ευρωπαϊκού κέντρου. (Πηγή: www.hnms.gr)



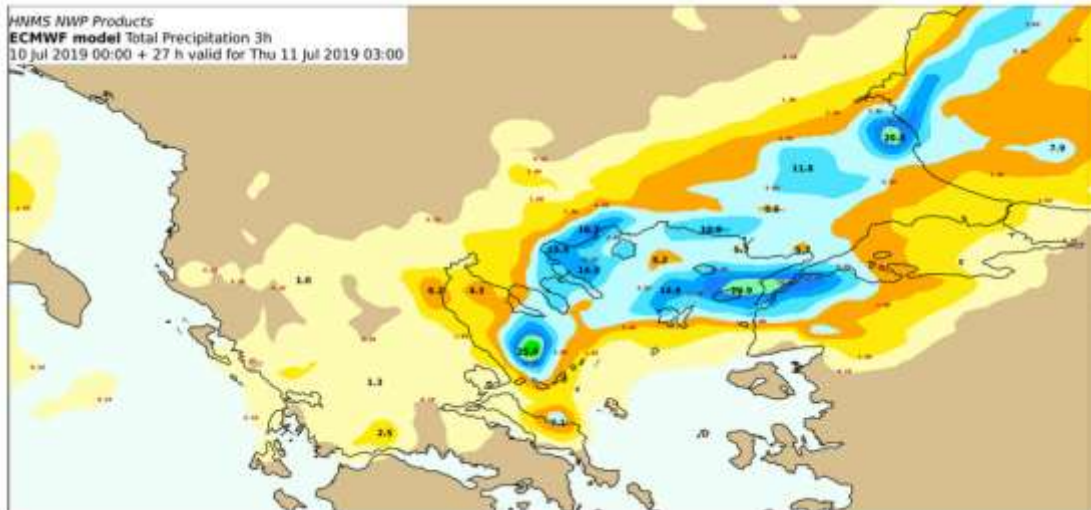
Σχήμα 3.2 – Χιλιοστά βροχής για τις 21μμ της 10^{ης} Ιουλίου 2019, σύμφωνα με το μοντέλο πρόγνωσης του Ευρωπαϊκού κέντρου. (Πηγή: www.hnms.gr)

Σύμφωνα με τα προγνωστικά εργαλεία της ΕΜΥ η ραγδαιότητα των φαινομένων θα είναι εντονότερη από τα μεσάνυχτα της Τετάρτης έως και την Πέμπτη στις 3 το πρωί, ενώ θα επηρεαστούν περισσότερο οι νομοί της Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής, Σερρών, Κιλκίς, Καβάλας, Δράμας, Ξάνθης και Ροδόπης. Επίσης, από τις 3 έως τις 6 το πρωί της Πέμπτης το μέτωπο των ισχυρών καταιγίδων θα κινηθεί νοτιότερα και θα επηρεάσει τις περιοχές της Ημαθίας, Πιερίας, Βορείων Σποράδων, τα ανατολικά τμήματα της Θεσσαλίας, την Βόρεια και Κεντρική Εύβοια καθώς και τα νησιά του Βορείου Αιγαίου. Τέλος, σύμφωνα με την πρόγνωση της ΕΜΥ από τις 9 το πρωί και ύστερα τα φαινόμενα θα αρχίσουν σταδιακά να εξασθενούν στο βόρειο Αιγαίο και στα κεντρικά και βόρεια ηπειρωτικά τμήματα της Ελλάδας. Η πορεία της πρόγνωσης φαίνεται χαρακτηριστικά στα σχήματα 3.3 , 3.4 και 3.5.

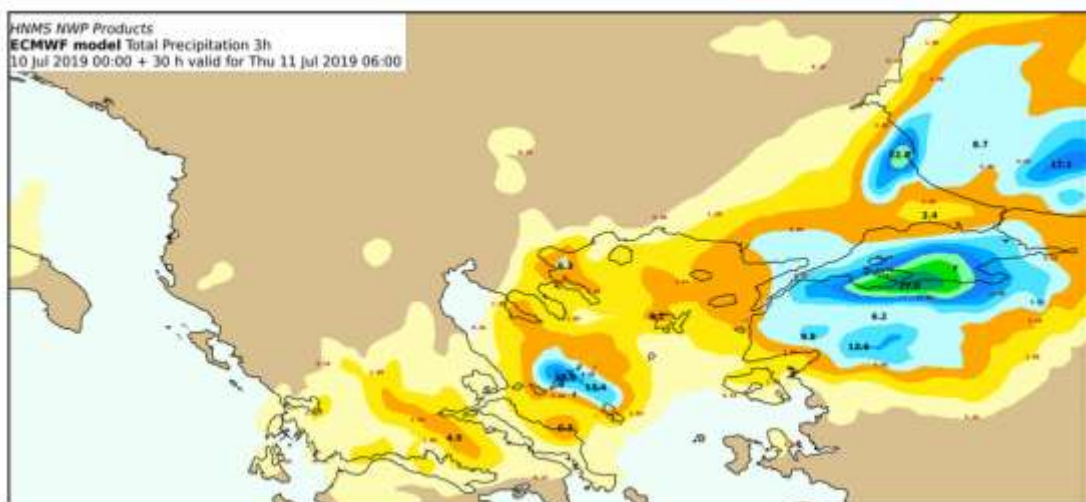


Σχήμα 3.3 – Χιλιοστά βροχής για τις 00μμ της 11^{ης} Ιουλίου 2019, σύμφωνα με το μοντέλο πρόγνωσης του Ευρωπαϊκού κέντρου. (Πηγή: www.hnms.gr)

Σύμφωνα με τους χάρτες πρόγνωσης των χιλιοστών βροχής, η ισχυρή ραγδαιότητα των φαινομένων δίνεται για τα μεσάνυχτα της Τετάρτης 10 Ιουλίου 2019 για την περιοχή της Χαλκιδικής, η οποία αποτελεί και περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 3.4 – Χιλιοστά βροχής για τις 3πμ της 11^{ης} Ιουλίου 2019, σύμφωνα με το μοντέλο πρόγνωσης του Ευρωπαϊκού κέντρου. (Πηγή: www.hnms.gr)



Σχήμα 3.5 – Χιλιοστά βροχής για τις 6πμ της 11^{ης} Ιουλίου 2019, σύμφωνα με το μοντέλο πρόγνωσης του Ευρωπαϊκού κέντρου. (Πηγή: www.hnms.gr)

Εκτός από την πρόγνωση που δόθηκε από την ΕΜΥ, την ίδια ημέρα είχε προειδοποιηθεί για την εκδήλωση έντονων φαινομένων, σε περιοχές της βόρειας Ελλάδας και το πανευρωπαϊκό σύστημα προειδοποιήσεων Meteolarm, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.6 – α. Χάρτης επικινδυνότητας περιοχών σύμφωνα με το πανευρωπαϊκό δίκτυο Meteolarm. Με κόκκινο χρώμα διακρίνονται, το κεντρικό τμήμα της Μακεδονίας και η περιοχή της Χαλιδικής. β. Επεξήγηση των χρωματικών δεικτών προειδοποιήσεων καιρού. (Πηγή: www.hnms.gr)

	ΠΡΑΣΙΝΟ	ΚΙΤΡΙΝΟ	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	ΚΟΚΚΙΝΟ
ΑΝΕΜΟΣ	70 < W < 90 10 < S < 60	60 < W < 80 10 < S < 110	80 < W < 100 10 < S < 120	90 < W < 120 10 < S < 150
ΡΙΠΕΣ ΑΝΕΜΟΥ	H < 20mm	20 < H < 40mm	40 < H < 75mm	H > 75mm
ΥΨΟΣ ΕΠΙΘΥΣΗΣ (Όμιος)	Β. Ελλάδα-Ανατ. Στερεο-Θεσσαλία-Πελοπόννησος-Κυαλαδίες-Κρήνη	Δ. Ελλάδα-Ανατ. Στερεο-Θεσσαλία-Πελοπόννησος-Κυαλαδίες-Κρήνη	Β. Ελλάδα-Ανατ. Στερεο-Θεσσαλία-Πελοπόννησος-Κυαλαδίες-Κρήνη	Β. Ελλάδα-Ανατ. Στερεο-Θεσσαλία-Πελοπόννησος-Κυαλαδίες-Κρήνη
ΥΨΟΣ ΕΠΙΘΥΣΗΣ (Όμιος)	H < 15mm	15 < H < 30mm	30 < H < 40mm	H > 40mm
ΥΨΟΣ ΕΠΙΘΥΣΗΣ (Όμιος)	H < 10mm	10 < H < 20mm	20 < H < 40mm	H > 40mm
ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΕΙΣ	Βόρεια Ελλάδα Ηπειρος Κεντρική και νότια ηπειρωτική Ελλάδα Νήσος	T _{max} > 36 °C 36 °C < T _{max} < 38 °C	38 °C < T _{max} < 41 °C 41 °C < T _{max} < 44 °C	44 °C < T _{max} < 47 °C 47 °C < T _{max} < 49 °C
ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΕΙΣ	Βόρεια Ελλάδα Ηπειρος Κεντρική και νότια ηπειρωτική Ελλάδα Νήσος	T _{min} < -6 °C T _{min} < -4 °C	-6 °C < T _{min} < -4 °C -4 °C < T _{min} < -2 °C	-4 °C < T _{min} < -2 °C -2 °C < T _{min} < -1 °C
ΧΙΟΝΙ	Δεν προβλέπεται	Αγροτικές περιοχές Υψος χιονόστ. 20cm Αστικές περιοχές Υψος χιονόστ. 5cm	Αγροτικές περιοχές Υψος χιονόστ. 20cm Αστικές περιοχές Υψος χιονόστ. 10cm	Αγροτικές περιοχές Υψος χιονόστ. 30cm Αστικές περιοχές Υψος χιονόστ. 15cm
ΚΑΤΑΪΓΔΑ	Δεν προβλέπεται	Μεγιστά κλίμακα χιονόστ. 40cm Χαλάει (με έδαφος > 1cm)	Όχι προβλέπεται 40cm < Ρητις χιονόστ. < 60cm Επιπλέον χιονόστ. 20cm Πλέον χιονόστ. 10cm	Όχι προβλέπεται 60cm < Ρητις χιονόστ. < 80cm Επιπλέον χιονόστ. 30cm Πλέον χιονόστ. 15cm
ΟΜΙΧΛΗ	Ορατότητα > 500m	100m < Ορατότητα < 500m Σε απομάκρυνση περιοχή	Ορατότητα < 100m Σε απομάκρυνση περιοχή	Ορατότητα < 50m Σε απομάκρυνση περιοχή

Σχήμα 3.7 – Πίνακας περιοχικής κατηγοριοποίησης των χρωματικών δεικτών προειδοποιήσεων καιρού στον ελληνικό χώρο. (Πηγή: www.kolydas.gr)

3.2 Δεδομένα – Μεθοδολογία

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν χάρτες συνοπτικής ανάλυσης, δυναμικές παραμέτροι, ραδιοβολίσεις, συντελεστές αστάθειας και δορυφορικές εικόνες ώστε να γίνουν πλήρως κατανοητές οι συνθήκες που επικρατούσαν στην ατμόσφαιρα πριν την γέννηση του καταιγιδοφόρου συστήματος, κατά την εξέλιξη και διάρκειά του καθώς επίσης και με το πέρασμα του πάνω από τον ελλαδικό χώρο.

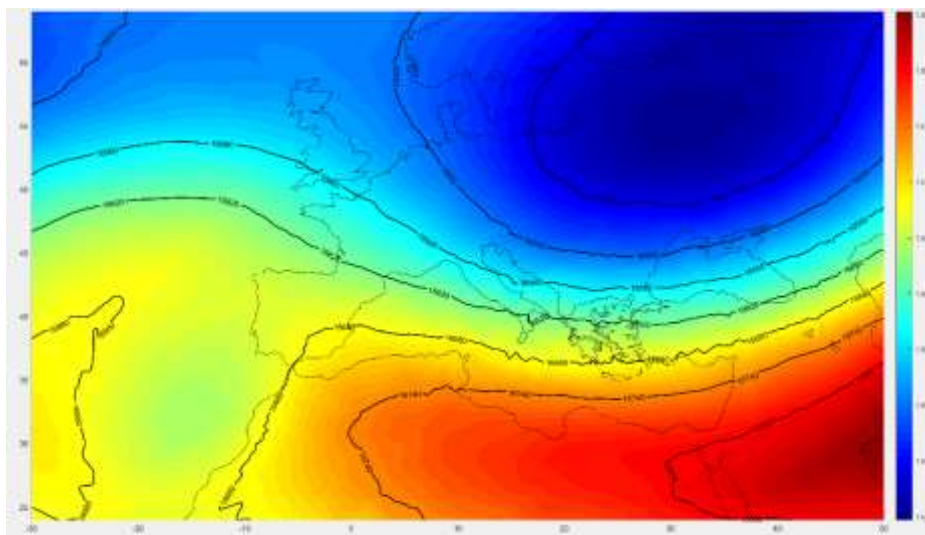
Όσον αφορά τις δορυφορικές εικόνες, αυτές λήφθηκαν από την βάση δεδομένων EUMeTrain ePort με τρίωρο χρονικό βήμα. Χρησιμοποιήθηκαν κανάλια RGB όπως επίσης και το κανάλι του ορατού φάσματος HRV, το κανάλι του υπερύθρου και το κανάλι των υδρατμών. Χρησιμοποιήθηκε ο ιστότοπος του University of Wyoming για να παρουσιαστούν τεφιγράμματα των αεροδρομιών της Θεσσαλονίκης, της Αθήνας και του Ηρακλείου από τις 09/07/2019 έως και τις 11/07/2019, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και οι τιμές των δεικτών αστάθειας από τα δεδομένα των ραδιοβολίσεων για να παρουσιαστεί η χρονική τους εξέλιξη για τις τρεις αυτές ημέρες. Από το γερμανικό αρχείο www.wetter3.de χρησιμοποιήθηκαν χάρτες δυναμικών παραμέτρων όπως η μεταφορά θερμοκρασίας, η μεταφορά ισοπαχούς στρώματος, ο σχετικός στροβιλισμός και η μεταφορά του απόλυτου στροβιλισμού, η ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία και ο ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός στα 320 K με δωρο χρονικό βήμα. Η ανάλυσή τους προέκυψε από τα δεδομένα του αμερικάνικου μοντέλου GFS. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες με χάραξη μετώπων, ανά 6 ώρες, από την εθνική μετεωρολογική υπηρεσία της Μεγάλης Βρετανίας. Τέλος, για την συνοπτική ανάλυση χρειάστηκαν χάρτες του γεωδυναμικού ύψους 100 hPa, 150 hPa, 300 hPa, 500 hPa, 850 hPa, της επιφανειακής πίεσης, της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa και 850 hPa, της θερμοκρασίας στα 500 hPa, 850 hPa και της επιφανειακής θερμοκρασίας και το ανεμολογικό πεδίο στα 200 hPa και στα 300 hPa, με χρονικό βήμα 6 ωρών, οι οποίοι οπτικοποιήθηκαν, χρησιμοποιώντας δεδομένα της EMY, από τον μετεωρολόγο της EMY και υποψήφιο διδάκτορα του ΕΚΠΑ Ιωάννη Σάμο, ενώ τα δεδομένα για τον αριθμό των ηλεκτρικών εκκενώσεων προήλθαν από το επίγειο σύστημα εντοπισμού ZEUS του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και αφορούν αποκλειστικά την ημέρα της 10^{ης} Ιουλίου 2019.

4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

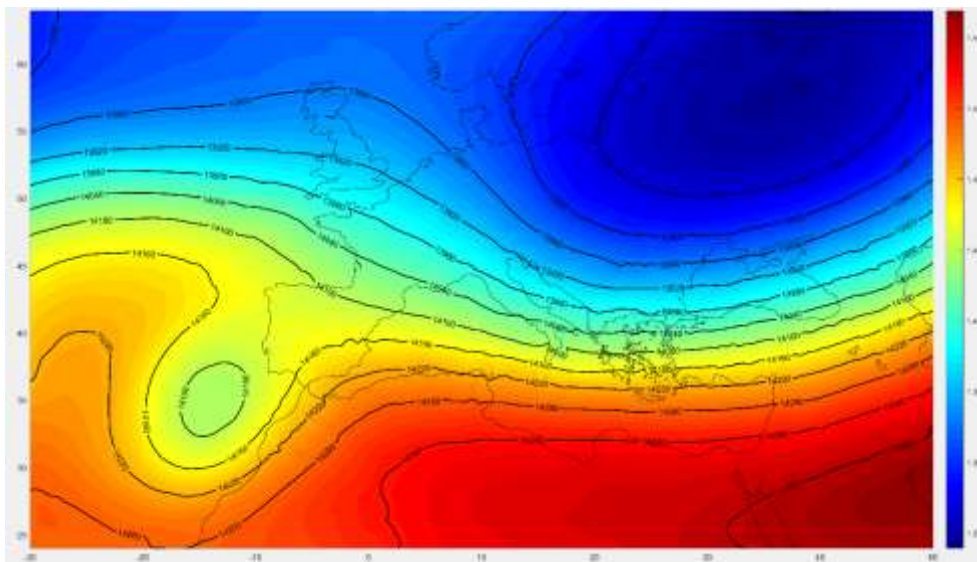
Θα γίνει ανάλυση των χαρτών του γεωδυναμικού ύψους για ορισμένες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης, της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και του ανεμολογικού πεδίου σε διάφορα επίπεδα, καθώς επίσης και της επιφανειακής ατμοσφαιρικής πίεσης.

4.1 Ανάλυση γεωδυναμικού στις ισοβαρικές επιφάνειες 100, 150,300 hPa

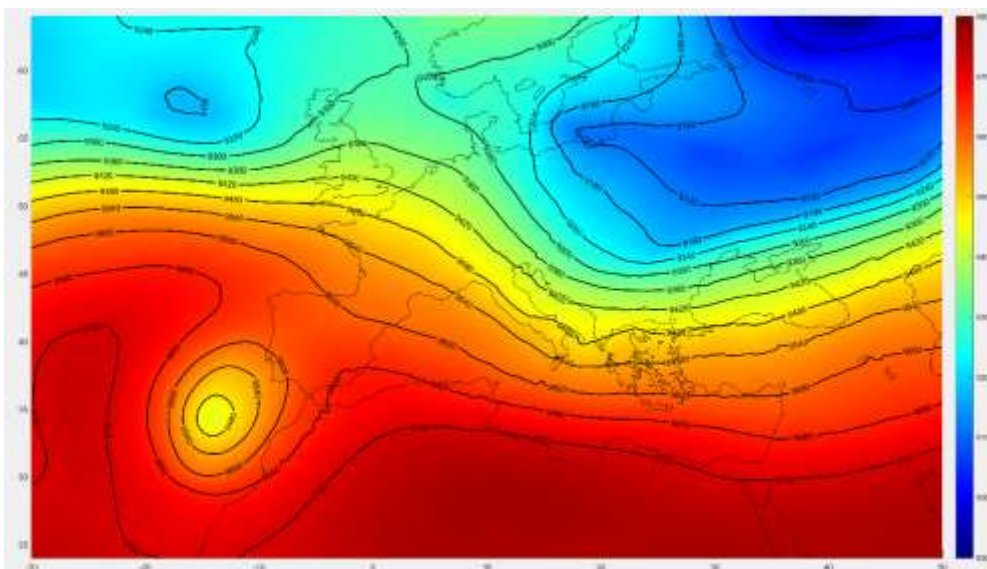
Στους ανώτερους ατμοσφαιρικούς συνοπτικούς χάρτες των γεωδυναμικών υψών 100 hPa, 150 hPa, 300 hPa (Σχήματα 4.1, 4.2, 4.3) παρατηρείται καθ' ύψος ένα ισχυρό σύστημα χαμηλών πιέσεων, με κέντρο τις χώρες της Βαλτικής, ενώ ανατολικά της Μεσογείου παρατηρείται ένα κέντρο υψηλών πιέσεων με ισχυρή προέκταση κατά μήκος της Βόρειας Αφρικής. Οι θέσεις του κυκλώνα και του αντικυκλώνα, αντίστοιχα, είναι τέτοιες που δημιουργούν ένα πεδίο έντονης πύκνωσης των ισοϋψών καμπυλών, πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων. Συνεπώς, γνωρίζοντας ότι σ' αυτά τα ύψη κυριαρχεί η παρουσία του αεροχειμμάρου, η πύκνωση αυτή δείχνει την θέση του αεροχειμμάρου. Εκτός από τα παραπάνω, στους γεωδυναμικούς αυτούς χάρτες και συγκεκριμένα στις 10-07-2019, 18:00:00 UTC (Σχήμα 4.3), παρατηρείται μία καμπύλωση των ισοϋψών, μία ανώτερη trough, η οποία καθορίζει την περιοχή που εξελίσσεται ένα χαμηλό βαρομετρικό στην επιφάνεια. Αυτή η περιοχή γίνεται ξεκάθαρη στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.1 - Γεωδυναμικό ύψος στα 100hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019



Σχήμα 4.2 - Γεωδυναμικό ύψος στα 150hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019



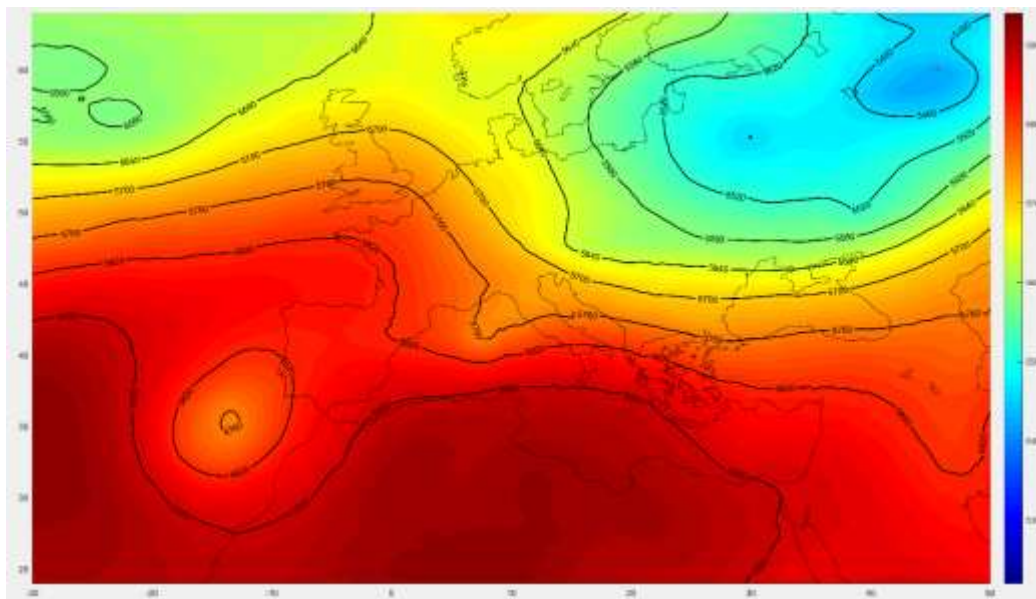
Σχήμα 4.3 - Γεωδυναμικό ύψος στα 300hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019

Στους χάρτες που απεικονίζουν τους ανέμους στα 200 hPa, θα παρατηρήσουμε ότι το χαμηλό που κυριαρχεί πάνω από τις χώρες της Βαλτικής, στροβιλίζεται έντονα και στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων οι ταχύτητες είναι εξαιρετικά μεγάλες, φτάνοντας έως και τους 80 κόμβους δημιουργώντας έτσι ένα πεδίο υποπίεσεων πάνω από την κεντρική Ευρώπη το οποίο από τον στροβιλισμό του κυκλώνα ενισχύει με ψυχρές αέριες μάζες την περιοχή των Βαλκανίων (00:00:00 UTC , 10-07-2019). Δυτικά της Ιταλίας το ισχυρό ρεύμα αέρα που δημιουργείται θα ακολουθήσει στην συνέχεια την καμπύλωση των ισοϋψών σ' αυτό το επίπεδο, με αποτέλεσμα να στις 10-07-2019, 00:00:00 UTC να διέρχεται πάνω από την κεντρική Ελλάδα. Συνεπώς, οι ψυχρές αέριες μάζες που τροφοδοτούν την περιοχή των Βαλκανίων να οριοθετούνται στην βόρεια Ελλάδα.

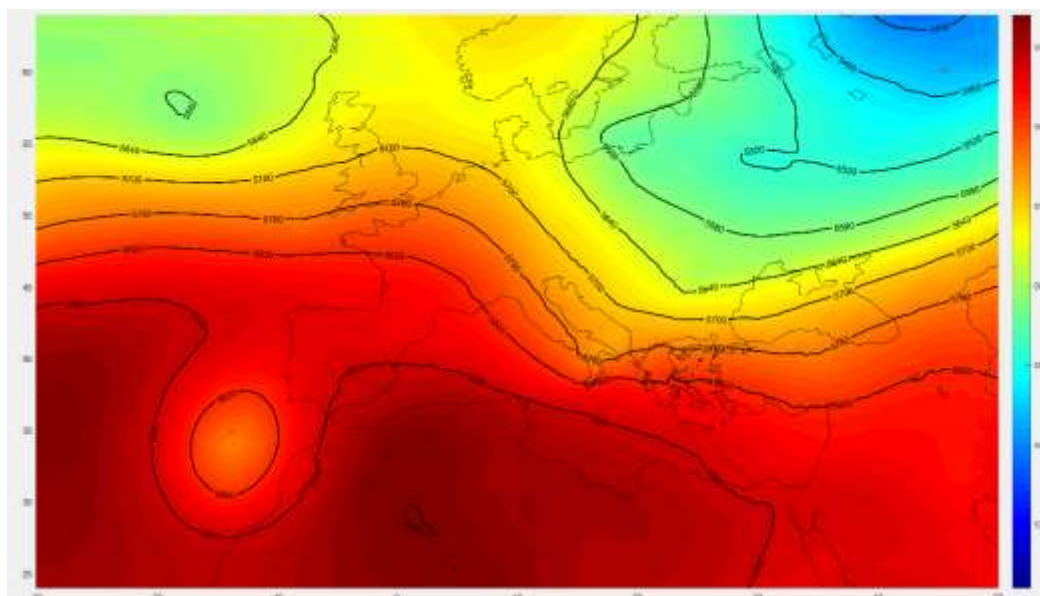
Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στο ανεμολογικό πεδίο στους χάρτες των 300 hPa. Στις 09-07-2019, το χαμηλό στροβιλίζεται έντονα και βόρεια των Βαλκανίων, οι ταχύτητες του ανέμου φτάνουν τους 100 κόμβους. Ωστόσο, στις 10-07-2019, οι υψηλές αυτές ταχύτητες του ανέμου βρίσκονται μπροστά από το κέντρο του χαμηλού βαρομετρικού που στροβιλίζεται και δημιουργούν πίσω απ' αυτό ένα πεδίο υποπιέσεων με αποτέλεσμα να τροφοδοτείται η περιοχή -πίσω από το χαμηλό- με ψυχρές αέριες μάζες εξαιτίας του στροβιλισμού. Επίσης, λόγω της καμπύλωσης των ισοϋψών οι ψυχρές αυτές αέριες μάζες επηρεάζουν την βόρεια Ελλάδα.

4.2 Ανάλυση γεωδυναμικού στην ισοβαρική επιφάνεια 500 hPa

Στην συνέχεια της ανάλυσης μας θα επικεντρωθούμε στους χάρτες των γεωδυναμικών υψών στα 500 hPa. Καθ' όλη την διάρκεια της 09-07-2019, το χαμηλό βαρομετρικό, με το κέντρο του να βρίσκεται στις χώρες της Βαλτικής, στροβιλίζεται ενώ ένα εκτεταμένο υψηλό βαρομετρικό καλύπτει την βόρειο Αφρική και την Μεσόγειο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία πύκνωση ισοϋψών καμπυλών στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων. Επίσης, αξίζει να σημειώσουμε στις 09-07-2019, 00:00:00 UTC την παρουσία μίας ψυχρής λίμνης, πάνω από την Ιβηρική Χερσόνησο, αφού η ισοϋψής καμπύλη που την περικλείει έχει τιμή 5760 m. Τις επόμενες ώρες βλέπουμε ότι αυτή κινείται βορειοανατολικά και στις 09-07-2019, 18:00:00 UTC χάνει το βάθος που είχε, μέχρι τις 10-07-2019, 06:00:00 UTC όπου ξαναβαθαίνει και ενισχύει την trough που σχηματίζεται πάνω από την κεντρική Ευρώπη, αφού περικλείεται από την ισοϋψή καμπύλη των 5760 m. Στις 10-07-2019, 00:00:00 UTC, ο κυκλώνας που επικρατεί πάνω από τις χώρες της Βαλτικής «σπάει» σε δύο κέντρα, που στην συνέχεια, αυτό που βρίσκεται ανατολικά στροβιλίζεται και κινείται προς το βορρά, ενώ αυτό που βρίσκεται δυτικά στροβιλίζεται και κινείται νότια. Στις 10-07-2019, 12:00:00 UTC, το κέντρο του χαμηλού βαρομετρικού που έχει κινηθεί βόρεια, ενισχύεται και βαθαίνει με αποτέλεσμα να δημιουργεί μία έντονη trough πάνω από την ανατολικοκεντρική Ευρώπη. Λόγω του ανεμολογικού πεδίου σ' εκείνα τα ύψη και καθώς το χαμηλό βαρομετρικό στροβιλίζεται η trough αυτή θα περάσει πάνω από τα Βαλκάνια και την βόρεια και κεντρική Ελλάδα. Κατά το πέρασμα της trough ο εκτεταμένος αντικυκλώνας, πάνω από την Ελλάδα, θα υποχωρήσει.



Σχήμα 4.4 - Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa στις 06:00:00 UTC , 10-07-2019



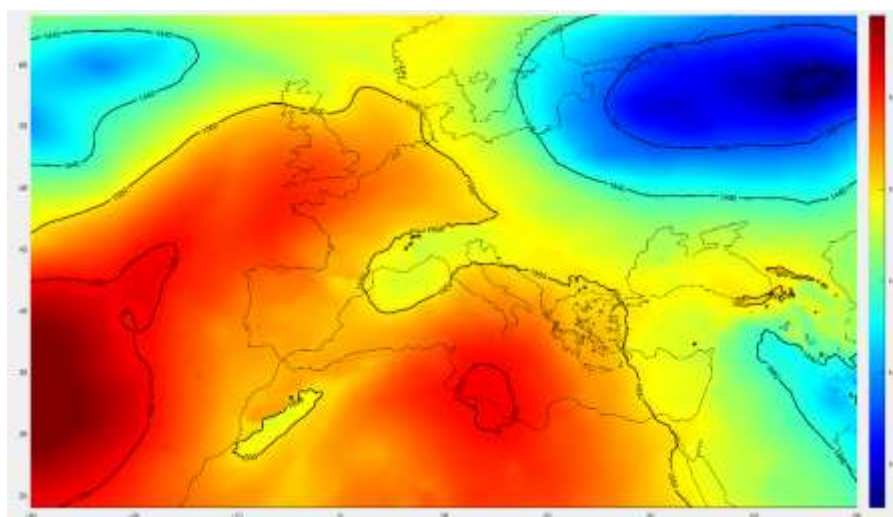
Σχήμα 4.5 - Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019

Από το πεδίο των θερμοκρασιών στα 500 hPa θα παρατηρήσουμε πως η αέρια μάζα που στροβιλίζεται, πάνω από την περιοχή της Βαλτικής, καθ'όλη την διάρκεια του τριημέρου που μελετάμε είναι αρκετά ψυχρή, ενώ θερμές αέριες μάζες περιορίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και στην βόρεια Αφρική. Επίσης, η ψυχρή αέρια μάζα που παρατηρήθηκε πάνω από την Ιβηρική Χερσόνησο στον χάρτη του γεωδυναμικού ύψους, θα παρατηρηθεί και στον χάρτη της θερμοκρασίας, αφού το κέντρο της αρχικά καταγράφει θερμοκρασία -18°C . Κατά τον στροβιλισμό της η ψυχρή αέρια μάζα της Βαλτικής θα κινηθεί προς τα Βαλκάνια, ακολουθώντας το πεδίο των

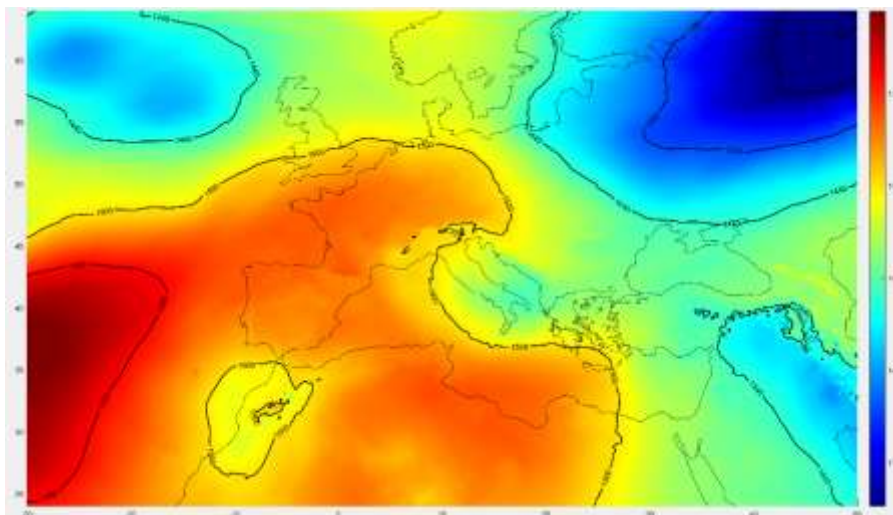
ανέμων σ' αυτά τα ύψη και αφού έχει ενισχυθεί με την ψυχρή αέρια μάζα από την περιοχή της Ιβηρικής, ενώ η εκτεταμένη θερμή μάζα του αντικυκλώνα της Μεσογείου θα υποχωρήσει. Ωστόσο, κατά την διάρκεια του περάσματος της κακοκαιρίας στην βόρεια Ελλάδα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία σ' αυτό το ύψος είναι περίπου στους -12 °C, αρκετά πιο θερμή σε σχέση μ' αυτή που βρίσκεται βόρεια της περιοχής ενδιαφέροντός μας. Αφού περάσει η κακοκαιρία στην βόρεια Ελλάδα, είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι στην περιοχή αυτή επικράτησαν ψυχρές αέρια μάζες, με τις θερμές να περιορίζονται στα νότια της χώρας μας.

4.3 Ανάλυση του γεωδυναμικού ύψους και της θερμοκρασίας στα 850 hPa

Στους χάρτες των γεωδυναμικών υψών αρχικά παρατηρείται ένα κέντρο ισχυρού αντικυκλώνα πάνω από την περιοχή των ακτών της Λιβύης, ενώ πάνω από την περιοχή των χωρών της Βαλτικής κυριαρχεί μία έντονη κυκλωνική ροή, με σημαντικό βάθος. Επίσης, πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων και της Ελλάδας παρατηρούνται θερμές αέρια μάζες. Αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη μια ψυχρότερης αέριας μάζας σε σχέση με το περιβάλλον της πάνω από την περιοχή της βόρειας Ιταλίας, η οποία στις 09-07-2019, 18:00:00 UTC η ισοϋψής καμπύλη των 1500 m θα την περικλείσει και εξαιτίας των ανέμων σ' αυτά τα ύψη τις επόμενες ώρες θα ακολουθήσει νοτιοανατολική τροχιά, όπου κατά την διάρκεια αυτής της κίνησης θα ψύχεται όλο και περισσότερο, με αποτέλεσμα στις 11-07-2019, 00:00:00 UTC να παρουσιάζεται μια ψυχρή μεταφορά στην περιοχή της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας. Αφού περνάει η ψυχρή αυτή αέρια μάζα την περιοχή που μελετάμε οι θερμές αέρια μάζες δείχνουν να ενισχύονται ξανά.

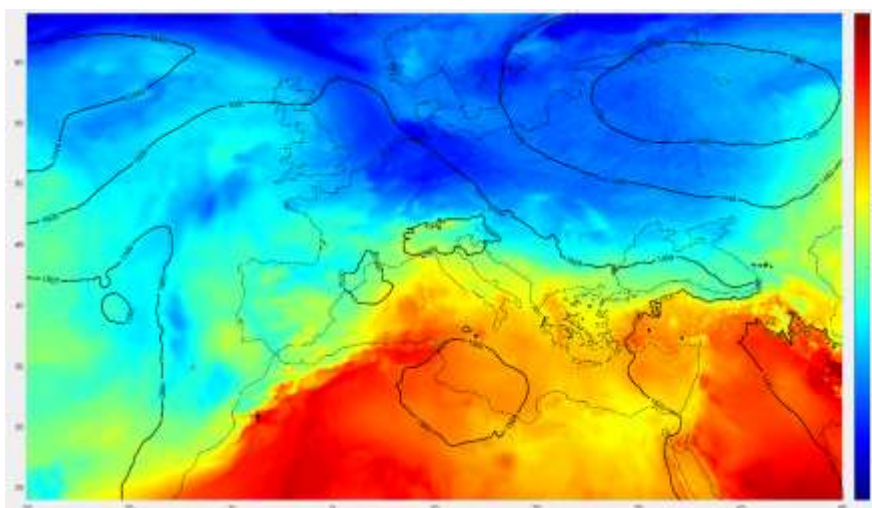


Σχήμα 4.6 - Γεωδυναμικό ύψος στα 850hPa στις 18:00:00 UTC , 09-07-2019

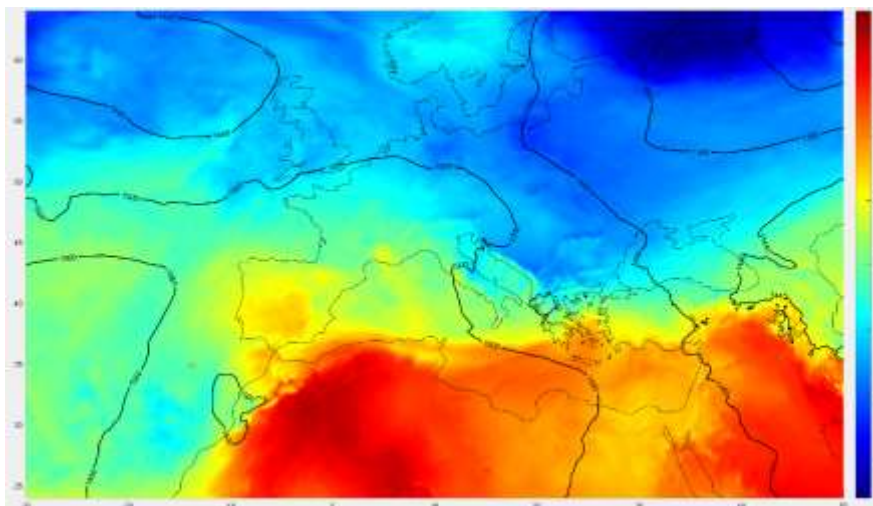


Σχήμα 4.7 - Γεωδυναμικό ύψος στα 850hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019

Η ψυχρή μεταφορά αερίων μαζών φαίνεται καθαρά στους χάρτες της θερμοκρασίας των 850 hPa. Αρχικά, οι θερμές αέριες μάζες οριοθετούνται στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία καταλαμβάνεται από αυτές, καθώς και σε όλη την ελληνική επικράτεια. Ωστόσο, κατά τις ώρες που πλησιάζει το χαμηλό βαρομετρικό, το οποίο έπληξε την περιοχή της βόρειας Ελλάδας, υπάρχει υποχώρηση των θερμών αερίων μαζών προς τον νότο, αφού οι ψυχρές αέριες μάζες που βρίσκονται ΒΑ της Ελλάδας «κατεβαίνουν» προς την χώρα μας.



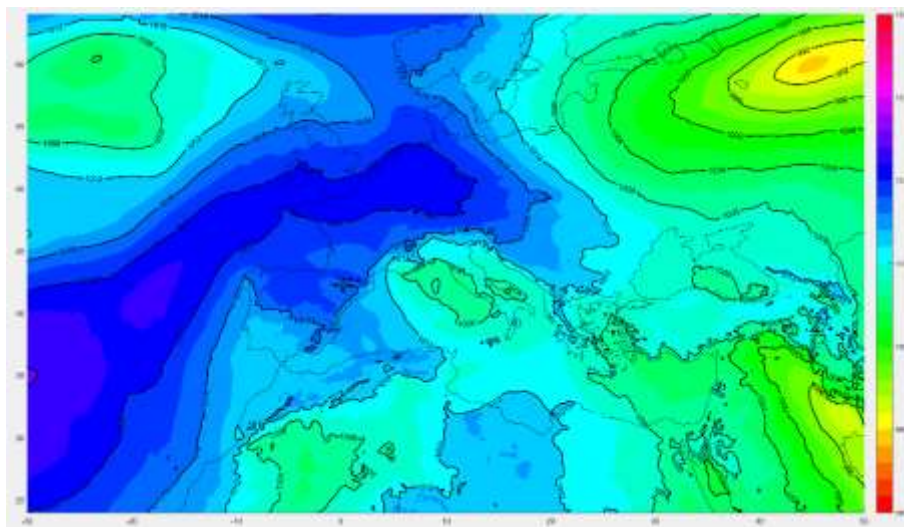
Σχήμα 4.8 - Θερμοκρασία στα 850hPa στις 12:00:00 UTC , 09-07-2019



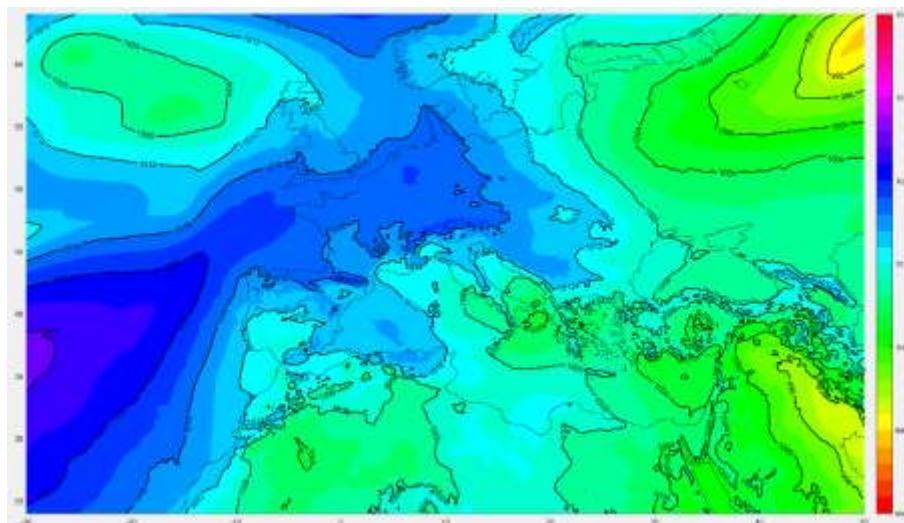
Σχήμα 4.9 - Θερμοκρασία στα 850hPa στις 00:00:00 UTC , 11-07-2019

4.4 Ανάλυση της επιφανειακής πίεσης στην ΜΣΘ και της επιφανειακής θερμοκρασίας

Αρχικά, στον χάρτη της επιφανειακής πίεσης και συγκεκριμένα στις 09-07-2019, 00:00:00 UTC παρατηρούμε τον αντικυκλώνα των Αζορών, δυτικά της Μεσογείου, και ένα εκτεταμένο και έντονο ridge αυτού κατά μήκος των δυτικών ακτών της Ευρώπης φτάνοντας μέχρι το νησί της Μεγάλης Βρετανίας και την θάλασσα της Μάγχης. Στην περιοχή της Ρωσίας κυριαρχεί ένα επιφανειακό χαμηλό βαρομετρικό που εκτείνεται από την θάλασσα της Βαλτικής έως και την Μαύρη Θάλασσα. Στις 09-07-2019, 18:00:00 UTC η ridge κινείται ανατολικά προς την κεντρική Ευρώπη, ενώ το χαμηλό βαρομετρικό της Ρωσίας βαθαίνει με την μικρότερη ισοβαρική επιφάνεια να κλείνει στα 996 hPa. Αξίζει να αναφερθεί και να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στην κλειστή ισοβαρική επιφάνεια των 1008 hPa που σημειώνεται νότια της βόρειας Ιταλίας. Όπως θα παρατηρήσουμε στις 10-07-2019, 06:00:00 UTC, οι υψηλές επιφανειακές πιέσεις που κυριαρχούν στην κεντρική Ευρώπη, σε συνδυασμό με τις χαμηλές επιφανειακές πιέσεις που βρίσκονται στον ελλάδικό χώρο θα πυροδοτήσουν την εκκίνηση του επιφανειακού χαμηλού των 1008 hPa, που βρίσκεται στην περιοχή της Ιταλίας, προς την χώρα μας, δηλαδή προς τις χαμηλές πιέσεις. Έτσι ενισχύεται το ήδη υπάρχον χαμηλό στην χώρα μας στις 10-07-2019, 18:00:00 UTC και βαθαίνει περισσότερο με το κέντρο της ισοβαρικής επιφάνειας να έχει τιμή 1004 hPa στο βόρειο Ιόνιο Πέλαγος.



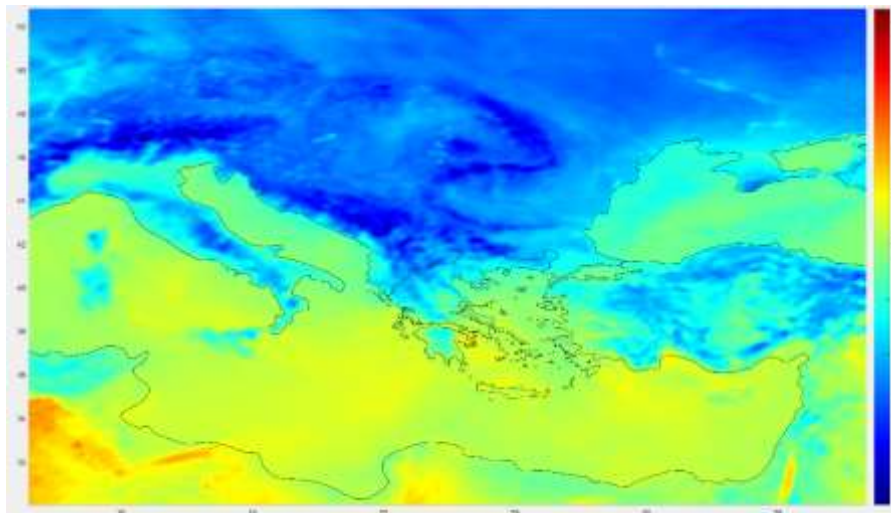
Σχήμα 4.10 - Πίεση στην ΜΣΘ στις 06:00:00 UTC , 10-07-2019



Σχήμα 4.11 - Πίεση στην ΜΣΘ στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019

Μελετώντας τους χάρτες της επιφανειακής θερμοκρασίας, στις 09-07-2019 θα παρατηρήσουμε αρχικά μια ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας. Τις νυκτερινές ώρες παρατηρούνται θερμοκρασίες, σε όλη την ελληνική επικράτεια περί τους 20°C με εξαίρεση την πεδιάδα της Θεσσαλίας και της κεντρικής Μακεδονίας που οι θερμοκρασίες φτάνουν έως και τους 25°C. Για τις ώρες 12:00:00 UTC και 18:00:00 UTC οι επιφανειακές θερμοκρασίες, εξαιτίας της παρουσίας του Ηλίου ξεπερνούν τους 33°C στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας. Επίσης, οι επιφανειακές θερμοκρασίες βόρεια των Βαλκανίων είναι αρκετά χαμηλές, ενώ στα παράλια της βόρειας Αφρικής φτάνουν τους 40°C. Στις 10-07-2019, 12:00:00 UTC παρατηρούμε πτώση της θερμοκρασίας επιφανείας στην βόρεια Ελλάδα σε σχέση με τις θερμοκρασίες που κυριαρχούσαν την προηγούμενη ημέρα, την ίδια ακριβώς ώρα. Στην συνέχεια, και συγκεκριμένα στις 10-07-2019, 18:00:00 UTC και στις 11-07-2019, 00:00:00 UTC, δηλαδή κατά τις ώρες τις οποίες λαμβάνει χώρα το φαινόμενο που μελετούμε υπάρχει έντονη πτώση της επιφανειακής θερμοκρασίας στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής,

αφού οι θερμοκρασίες είναι μικρότερες των 17°C. Μετά το πέρασμα του χαμηλού βαρομετρικού, στις 11-07-2019, 12:00:00 UTC θα παρατηρήσουμε ότι το φαινόμενο αυτό επηρέασε την περιοχή ενδιαφέροντός μας με πτώση της επιφανειακής θερμοκρασίας με τιμές αρκετά μικρότερες σε σχέση με τις δύο προηγούμενες μέρες τις ίδιες ώρες, δηλαδή στις 12:00:00 UTC

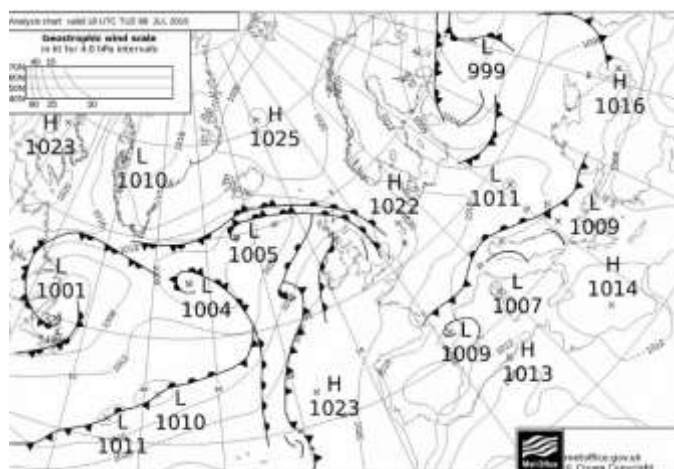


Σχήμα 4.12 - Επιφανειακή θερμοκρασία στις 00:00:00 UTC , 11-07-2019

4.5 Μετωπική ανάλυση

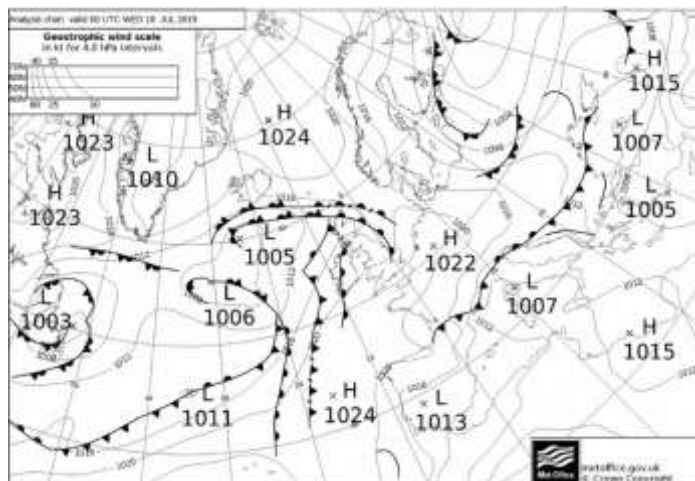
Στα Σχήματα 4.13 με 4.19 θα εξετάσουμε την επιφανειακή κατάσταση που επικρατούσε πριν την γέννηση του MCS, κατά την διάρκεια που έδωσε τα ακραία φαινόμενα και αφού αυτό διαλύθηκε.

Στις 18 UTC της 9^{ης} Ιουλίου, στην περιοχή της Μεσογείου παρατηρούνται υψηλά κέντρα πιέσεων στην νότια ζώνη της και αβαθή πεδία χαμηλών πιέσεων στην βόρεια ζώνη της, με το ένα εξ'αυτών να βρίσκεται βόρεια της Ελλάδας. Παρατηρούνται επίσης, στο ΒΑ άκρο της Ιβηρικής χερσονήσου, στην βόρεια Αδριατική θάλασσα και στην Αλβανία διαταραχές ανωτέρων στρωμάτων.



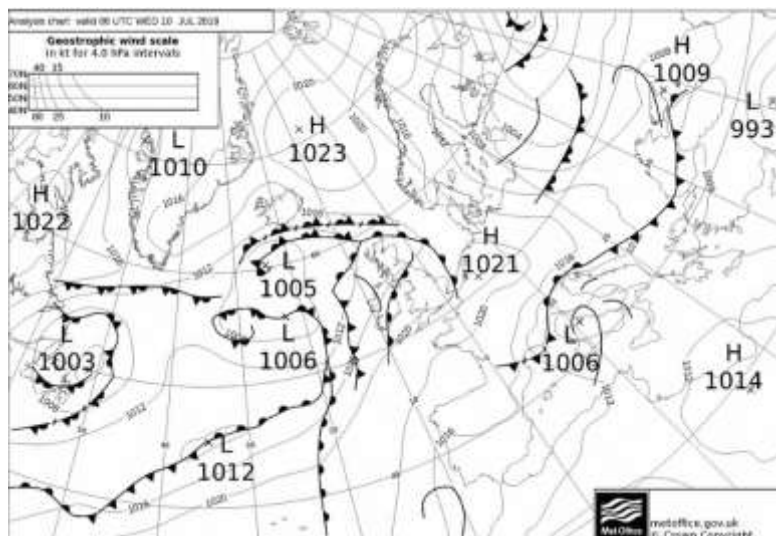
Σχήμα 4.13 – Χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 18 UTC 09/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

Στις 00 UTC της 10^{ης} Ιουλίου, παρατηρούμε δύο αβαθή πεδία χαμηλών πιέσεων ανατολικά της Ελλάδας και ένα στην Ιταλία με κέντρο τις παράκτιες δυτικές περιοχές της. Από το βόρειο άκρο της Ιβηρικής χερσονήσου έως το βόρειο τμήμα της Μαύρης θάλασσας εκτείνεται μετωπική επιφάνεια, η οποία διαχωρίζει τις ψυχρές από τις θερμές αέριες μάζες. Μέρη των ανώτερων ατμοσφαιρικών διαταραχών που παρατηρούνται στο δυτικό και ανατολικό βόρειο τμήμα της Ελλάδας δεν θα επηρεάσουν την εξέλιξη του MCS που μελετάμε.



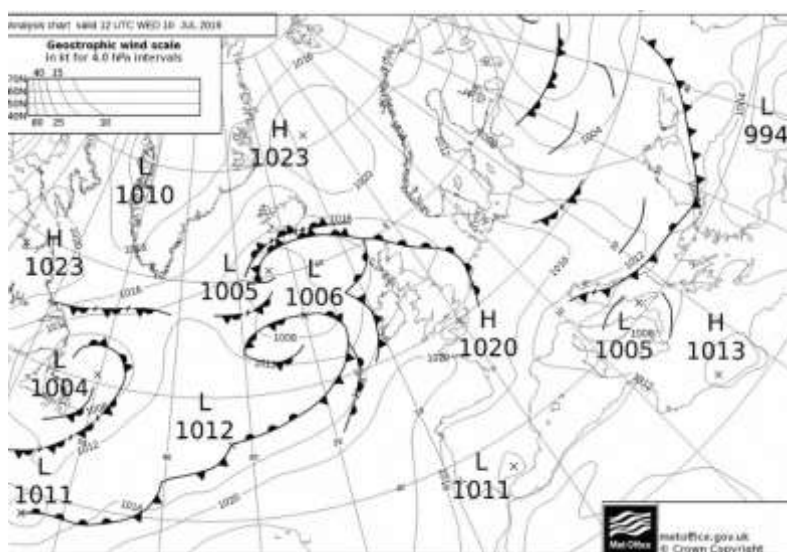
Σχήμα 4.14 – Χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 00 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

Ιδιαίτερα ενδιαφέροντα είναι η ανάλυση του χάρτη επιφάνειας στις 06 UTC της 10^{ης} Ιουλίου. Το θερμό μέτωπο που βρίσκεται στην βόρεια Αδριατική θάλασσα «σπρώχνει» τις ψυχρές αέριες μάζες σε μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος, ενώ το ψυχρό μέτωπο στα δυτικά του θερμού «κατεβαίνει» προς την νήσο Κορσική, με αποτέλεσμα οι ψυχρές αέριες μάζες να κινούνται προς τις θερμές. Το ψυχρό μέτωπο ΒΑ της Ισπανίας και νότια της Γαλλίας υφίσταται διάλυση. Αξιοσημείωτη είναι η θέση της διαταραχής των ανωτέρων στρώματων που βρίσκεται πάνω από το κέντρο του χαμηλού βαρομετρικού της Ιταλίας, το οποίο βάρυνε σε σχέση με την ανάλυση μας στις 00 UTC, της ίδιας ημέρας, κατά 1 hPa. Παρατηρούνται επίσης και δύο ακόμα διαταραχές στην κεντρική Ιταλία και την βόρεια αδριατική θάλασσα.



Σχήμα 4.15 – Χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 06 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

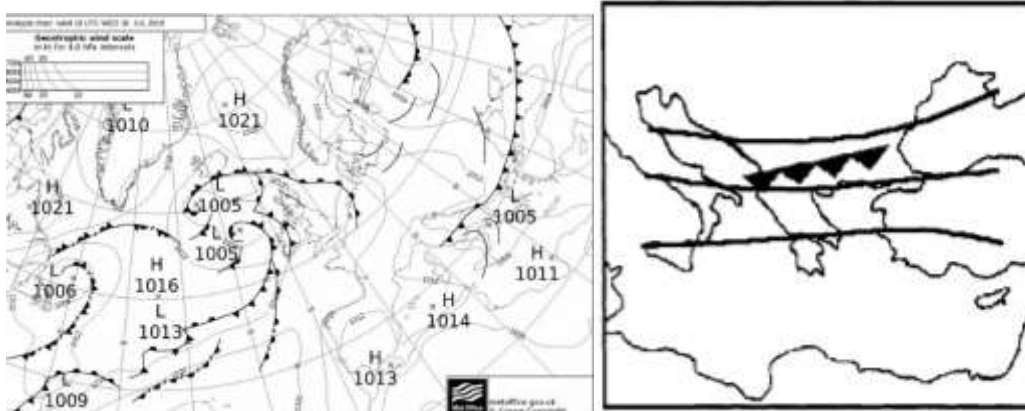
Στις 12 UTC της 10^{ης} Ιουλίου, η εκτετεμένη μετωπική επιφάνεια έχει κινηθεί ανατολικότερα, όπως επίσης και το χαμηλό του οποίου το κέντρο του βρίσκεται πια στην ΝΑ Ιταλία, ενώ σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση 6 ώρες πριν παρατηρείται ακόμα πιο βαθύ κατά 1 hPa. Οι ψυχρές αέριες μάζες έχουν κατέλθει νοτιότερα, ενώ μετωποδιάλυση υπάρχει στο ψυχρό μέτωπο στην βόρεια Αδριατική θάλασσα.



Σχήμα 4.16 – Χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 12 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

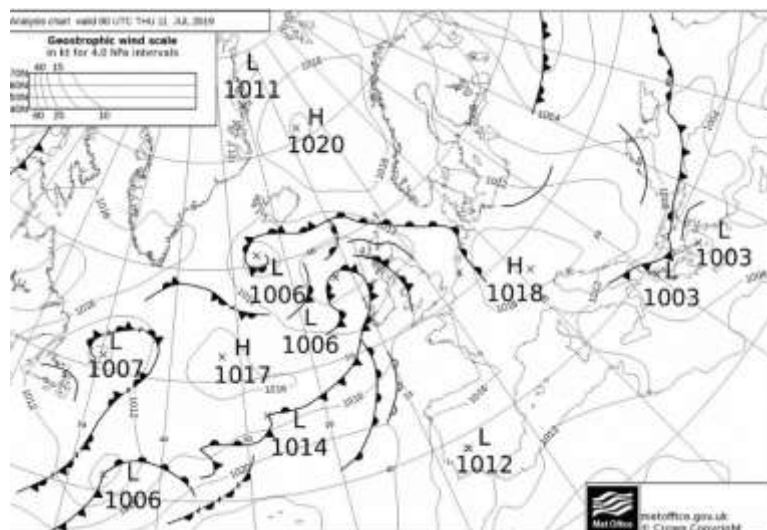
Από την ανάλυση του επιφανειακού χάρτη στις 18 UTC της 10^{ης} Ιουλίου, παρατηρούμε το πέρασμα του ψυχρού μετώπου από την περιοχή της βόρειας Ελλάδας. Το επιφανειακό χαμηλό έχει κινηθεί κι αυτό ΝΑ, όπως το ψυχρό μέτωπο και καλύπτει όλον τον ελλαδικό χώρο. Σύμφωνα με τους M.V.Sioutas και H.A.Flocas (2003) στο σχήμα 4.17β απεικονίζεται μια σχεδόν ζωνική ροή, εξαιτίας κυκλωνικής ροής στα βόρεια και αντικυκλωνικής ροής στα νότια, που σχετίζεται με την δραστηριότητα χαλαζοθύελλας στην βόρεια Ελλάδα. Αυτός ο ζωνικός τύπος χαρακτηρίζεται από

νοτιοδυτικούς έως και βορειοδυτικούς ανέμους και ταχέως κινούμενα ενσωματωμένα βραχέα κύματα. Οι σχετικές μετωπικές ζώνες ευθυγραμμίζονται από τα δυτικά προς τα ανατολικά κάτω από τα ανώτερα επίπεδα της ζώνης (σχήμα 4.17) Σημεία ανώτερων διαταραχών παρατηρούνται στην νότια – νοτιοανατολική Ιταλία.



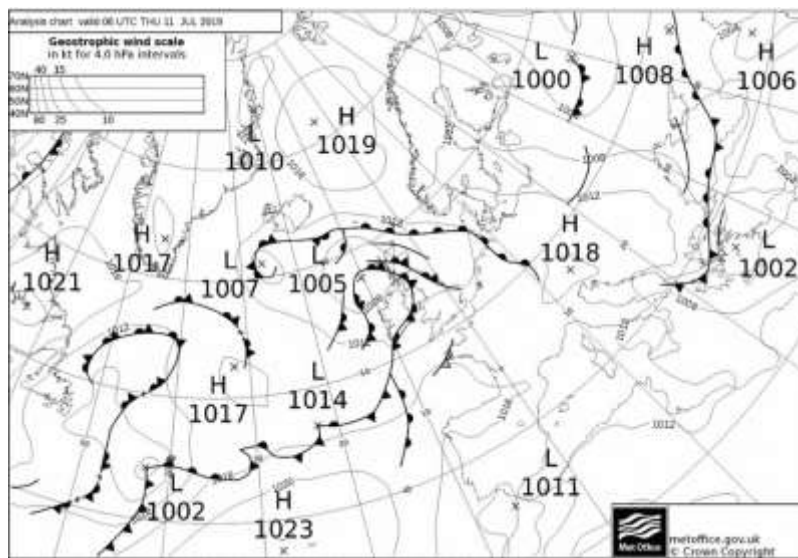
Σχήμα 4.17 – Αριστερά, χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 18 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de). Δεξιά, συνοπτική ροή που συνδέεται με καταιγιδοφόρα δραστηριότητα πάνω από την βόρεια Ελλάδα (Πηγή: Sioutas and Flocas 2003).

Στην συνέχεια της ανάλυσής μας θα επικεντρωθούμε στον χάρτη επιφάνειας της 11^{ης} Ιουλίου και ώρα 00 UTC. Η ύφεση έχει κινηθεί ΝΑ και το κέντρο της παρατηρείται στην κεντρική ζώνη του Αιγαίου με τιμή 1003 hPa, ενώ δυτικά αυτής έχει δημιουργηθεί μια δευτερεύουσα ύφεση, η οποία δεν θα απασχολήσει την εξέλιξη του MCS που μελετάμε. Ωστόσο, αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη ψυχρών αερίων μαζών που έχουν κινηθεί νότια φτάνοντας έως και την κεντρική Ελλάδα, κατάσταση που υποδηλώνεται από την θέση του ψυχρού μετώπου. Το ψυχρό μέτωπο που έδωσε τα ακραία φαινόμενα στην περιοχή της βορείου Ελλάδος έχει κινηθεί ανατολικά, όπως επίσης παρόμοια κίνηση ακολούθησε και η διαταραχή ανωτέρων στρωμάτων που μέρος της βρίσκεται στο ΒΑ Αιγαίο.



Σχήμα 4.18 – Χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 00 UTC 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

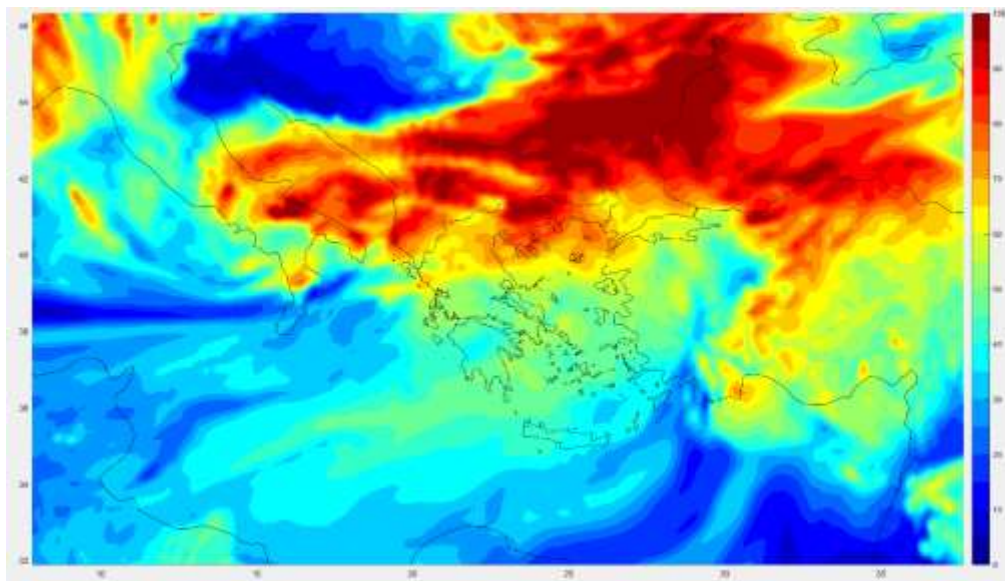
Στις 06 UTC της 11^{ης} Ιουλίου το κέντρο του χαμηλού βαθαίνει επιπλέον κατά 1 hPa, ενώ το ψυχρό μέτωπο ακολουθεί ΝΑ κίνηση, χωρίς ωστόσο αξιόλογα φαινόμενα αφού οι θερμές αέριες είχαν εκτοπιστεί και ταυτόχρονα δεν παρατηρείται κάποια ανώτερη διαταραχή. Λόγω της γενικότερης κυκλοφορίας των αερίων μαζών στις 12 UTC της ίδιας ημέρας το ψυχρό μέτωπο θα ακολουθήσει ανατολική πορεία έως ότου στις 18 UTC αφήσει πίσω του τον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 4.19 – Χάρτης απεικόνισης μετωπικών επιφανειών στις 06 UTC 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

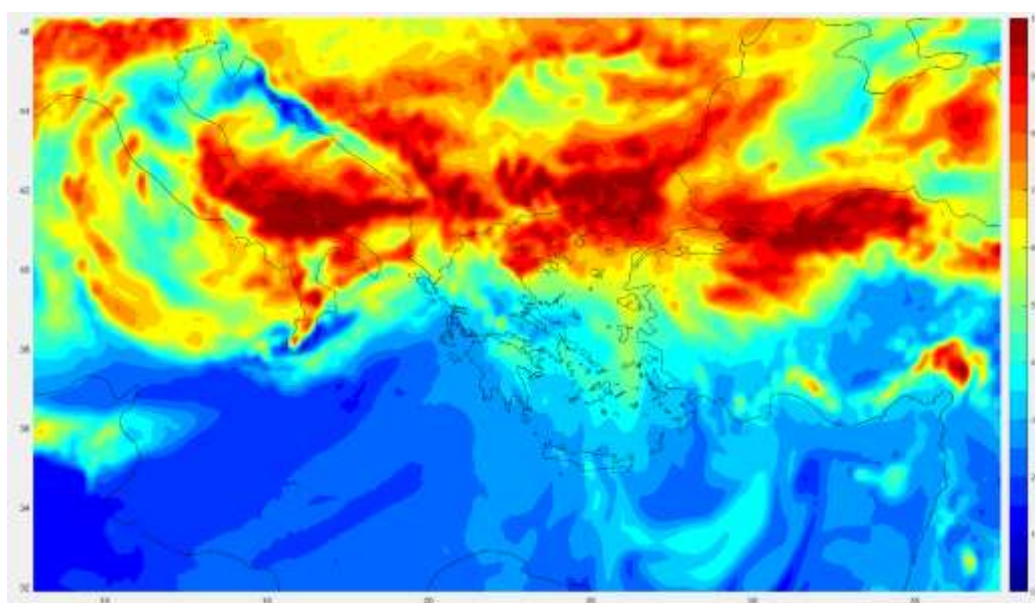
4.6 Ανάλυση της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa και 850 hPa

Στους χάρτες των 700 hPa παρατηρούμε, καθ'όλη την διάρκεια της 09-07-2019, πάνω από την Ελλάδα την εναλλαγή υγρών και ξηρών αερίων μαζών. Ωστόσο, στις 10-07-2019, 06:00:00 UTC φαίνεται ξεκάθαρα μια αρκετά υγρή, αφού η τιμή της σχετικής της υγρασίας σε μεγάλο μέρος της είναι 100%, εκτεταμένη αέρια μάζα βόρεια της Ελλάδας που καταλαμβάνει την περιοχή των Βαλκανίων, από την Μαύρη Θάλασσα έως και την βόρεια Ιταλία. Αυτή στην συνέχεια θα κινηθεί νοτιοανατολικά και θα περάσει σημαντικό μέρος της, με υψηλές τιμές υγρασίας, πάνω από την βόρεια Ελλάδα και την Χαλκιδική. Τέλος, αφού περάσει από την περιοχή μελέτης μας θα αφήσει την θέση της σε αρκετά ξηρές αέριες μάζες.



Σχήμα 4.20 - Σχετική υγρασία στα 700 hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019

Στους χάρτες των 850 hPa παρατηρούμε αρχικά ότι οι ξηρές αέριες μάζες καταλαμβάνουν σχεδόν το σύνολο της Ελλάδας και βρίσκονται σε μεγάλη έκταση νότια αλλά και δυτικά αυτής. Οι υγρές αέριες μάζες περιορίζονται βόρεια και βορειοδυτικά της χώρας μας. Ωστόσο, στις 10-07-2019, 06:00:00 UTC φαίνεται ξεκάθαρα μια αρκετά υγρή, αφού η τιμή της σχετικής της υγρασίας κατά τόπους σε αυτή είναι 100%, εκτεταμένη και οργανωμένη αέρια μάζα βόρεια της Ελλάδας που καταλαμβάνει την περιοχή των Βαλκανίων, από την Μαύρη Θάλασσα έως και την κεντρική Ιταλία. Αυτή στην συνέχεια θα κινηθεί νοτιοανατολικά και θα περάσει σημαντικό μέρος της, με υψηλές τιμές υγρασίας, πάνω από την βόρεια Ελλάδα και την Χαλκιδική.

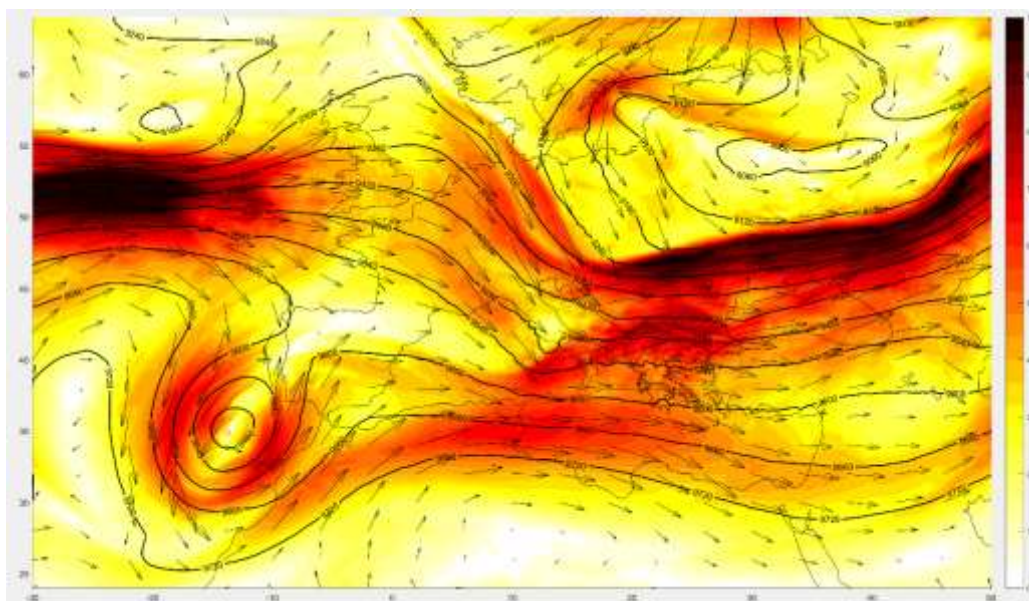


Σχήμα 4.21 - Σχετική υγρασία στα 850 hPa στις 18:00:00 UTC , 10-07-2019

4.7 Μελέτη του αεροχειμάρρου

Στις 00:00:00 UTC την 9^η Ιουλίου, στα 300 hPa ο πολικός αεροχειμάρρος εντοπίζεται σε φυσιολογικά για την εποχή γεωγραφικά πλάτη, όπως επίσης και ο υποτροπικός αεροχειμάρρος. Στην συνέχεια της εξέλιξής του, την ίδια ημέρα η κυκλωνική ροή που βρίσκεται πάνω από την περιοχή της Ρωσίας, αναγκάζει τον πολικό αεροχειμάρρο να κατέλθει σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη και να αυξήσει την έντασή του. Την ίδια χρονική στιγμή και ο υποτροπικός αεροχειμάρρος αυξάνει την ταχύτητά του με μέγιστο έντασης τους 90-95 κόμβους.

Την επόμενη ημέρα, στις 10 Ιουλίου, το jet stream εξακολουθεί να βρίσκεται βόρεια του ελλαδικού χώρου και να ακολουθεί ανατολική, σχεδόν ζωνική, κίνηση, παρουσιάζει όμως μία μικρή εξασθένηση στην ένταση του, με το μέγιστο της ταχύτητάς του να φτάνει τους 75 περίπου κόμβους. Με την κίνηση αυτή, η περιοχή επιφανειακής σύγκλισης και συνεπώς ανοδικών κινήσεων, βρίσκεται στην είσοδο του αεροχειμάρρου, στην περιοχή επιταχύνσεως, εξαιτίας απόκλισης των αερίων μαζών από εκείνα τα σημεία. Η περιοχή αυτή τοποθετείται πάνω από την κεντρική Ιταλία και την Αδριατική θάλασσα, αφού η απόκλιση των αερίων μαζών από εκείνο το σημείο δημιουργεί ισχυρή ζώνη υποπίεσεων. Εκεί είναι το σημείο δημιουργίας του MCS που εξετάζουμε. Η διαδικασία αυτή φαίνεται ξεκάθαρα στις 12 UTC, την 10^η Ιουλίου.

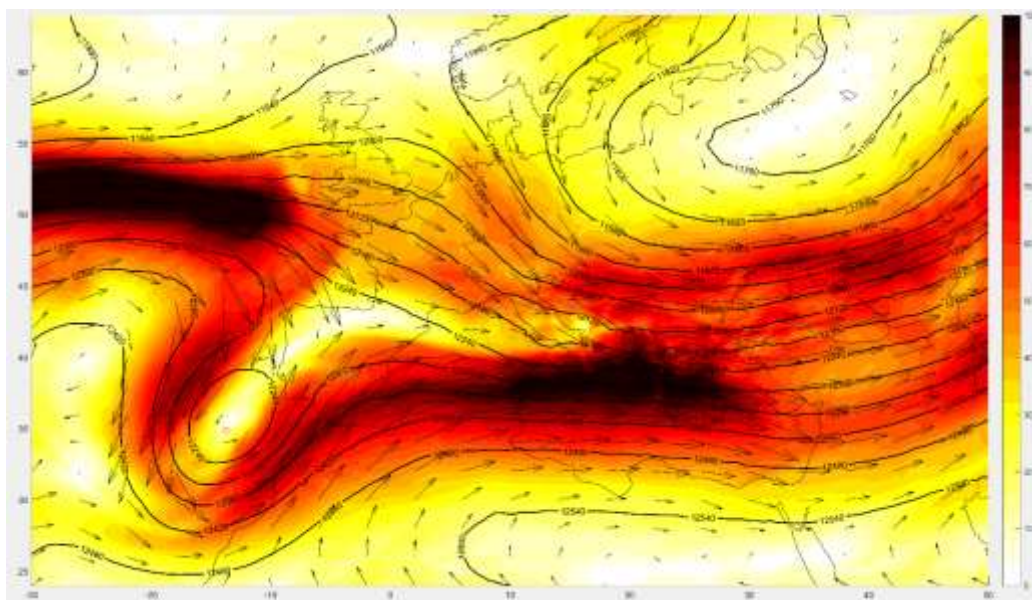


Σχήμα 4.22 - Αεροχειμάρρος στα 300 hPa στις 12:00:00 UTC , 10-07-2019

Στην συνέχεια ο υποτροπικός αεροχειμάρρος εξασθενεί ραγδαία, χάνει την δυναμική του με αποτέλεσμα να χάνεται και η περιοχή ανοδικών ρευμάτων. Στο τέλος ο υποτροπικός αεροχειμάρρος τοποθετείται νότια της Ελλάδας.

Παρόμοια κατάσταση αποτυπώνεται και στους χάρτες των ανέμων στα 200 hPa. Στις 9 Ιουλίου παρατηρείται μια εκτεταμένη κυκλωνική ροή πάνω από την Βαλτική θάλασσα, αναγκάζοντας τα ισχυρά ρεύματα αέρα να κατέλθουν σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη, δημιουργώντας μια περιοχή υποπίεσεων πάνω από την Γαλλία. Η μέγιστη ταχύτητα του jet stream την συγκεκριμένη μέρα, στην περιοχή ενδιαφέροντός μας, παρατηρείται στις 12 UTC, φτάνοντας του 95-100 κόμβους πάνω από την Σερβία.

Την επόμενη ημέρα, το jet stream συνεχίζει να κινείται ανατολικά και η περιοχή υποπίεσεων εξακολουθεί να βρίσκεται στην είσοδο του αεροχειμάρρου, δηλαδή στην περιοχή επιταχύνσεώς του. Αν και η ένταση των ανέμων εξασθενεί, σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα, στην περιοχή και ώρα ενδιαφέροντός μας, ωστόσο η διάταξη είναι τέτοια που ευνοεί την επιφανειακή σύγκλιση των αερίων μαζών και κατ'επέκταση τις ανοδικές κινήσεις. Η συνοπτική κατάσταση στις 10 Ιουλίου στις 12 UTC μας το δείχνει ξεκάθαρα.



Σχήμα 4.23 - Αεροχειμάρρος στα 200 hPa στις 12:00:00 UTC , 10-07-2019

Το MCS που εξετάζουμε θα ακολουθήσει την γενική κυκλοφορία στα 500 hPa. Το jet stream στα 200 hPa, την επόμενη ημέρα θα χάσει τελείως την δυναμική του, στην περιοχή που μελετάμε, ενώ η κίνησή του τις επόμενες ώρες θα μεταφερθεί σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη.

4.8 Δυναμικός στροβιλισμός στην ισηντροπική επιφάνεια $\theta=320$ K

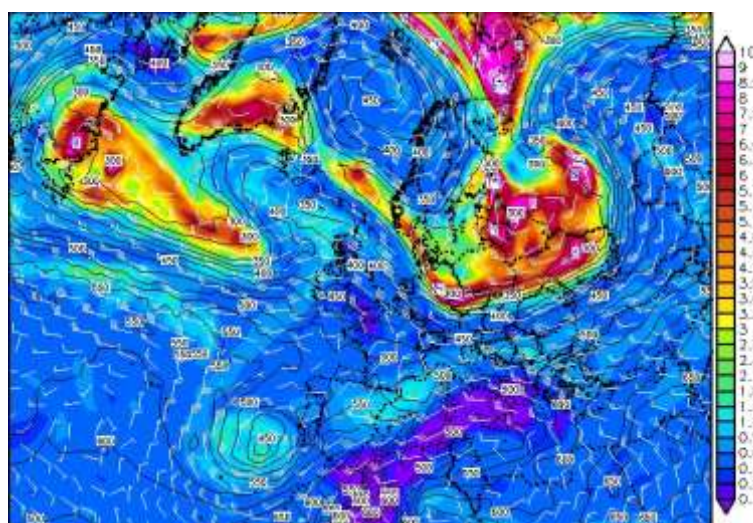
Ως ισηντροπική επιφάνεια χαρακτηρίζεται η επιφάνεια σταθερής δυναμικής θερμοκρασίας θ . Σε αντίθεση με τις ισοβαρικές επιφάνειες, οι ισηντροπικές επιφάνειες κλίνουν προς τον θερμό αέρα, δηλαδή οι περιοχές με θερμές αέριες μάζες θα αντιστοιχούν σε μικρότερο κατακόρυφο ύψος σε σχέση με τις περιοχές που καταλαμβάνονται από ψυχρές αέριες μάζες. Για παράδειγμα, η ισηντροπική επιφάνεια

για δυναμική θερμοκρασία $\theta=300$ K, στον ισημερινό θα αντιστοιχεί στα 1000 hPa ενώ στον πόλο στα 300 hPa. Το ύψος των ισεντροπικών επιφανειών μεταβάλλεται με την εποχή, δηλαδή το καλοκαίρι οι ισοβαρικές επιφάνειες αντιστοιχίζονται σε μεγαλύτερες ισεντροπικές επιφάνειες, σε αντίθεση με τον χειμώνα. Για το καλοκαίρι και την περιοχή της Μεσογείου ισχύει η παρακάτω αντιστοίχιση.

Ισεντροπική επιφάνεια	Ισοβαρική επιφάνεια
330 K	300 hPa (τροπόπαυση)
315 K	500 hPa
300 K	850 hPa

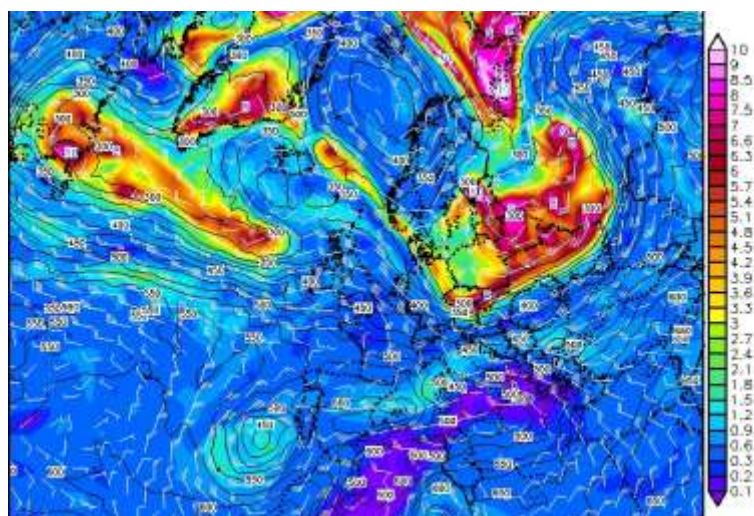
Οι χάρτες που πρόκειται να αναλυθούν αφορούν την ισεντροπική επιφάνεια $\theta=320$ K και σ'αυτούς αποτυπώνονται, το ύψος πίεσης, η τιμή του ισεντροπικού δυναμικού στροβιλισμού και το ανεμολογικό πεδίο σ'αυτό το ύψος που αντιστοιχεί η ισεντροπική επιφάνεια.

Στις 00 UTC 10/07 μικρές τιμές PVU χαρακτηρίζουν την περιοχή πάνω από την ιταλική χερσόνησο και την Αδριατική θάλασσα, ενώ νότια των παράκτιων περιοχών της Γαλλίας και του ΒΑ άκρου της Ιβηρικής χερσονήσου απεικονίζονται μεγαλύτερες τιμές, σε σχέση με τις γειτονικές, που φτάνουν μέχρι και το 1.5 PVU. Εξαιτίας των ανέμων σ'αυτά τα ύψη, στις 06 UTC 10/07, οι τιμές του PV > 1 αποτυπώνονται νοτιοανατολικότερα σχετικά με το προηγούμενο χρονικό βήμα. Επίσης, η τιμή του δυναμικού στροβιλισμού έχει αυξηθεί έως τα 2.4 PVU, με το κέντρο να βρίσκεται δυτικά της νήσου της Κορσικής.



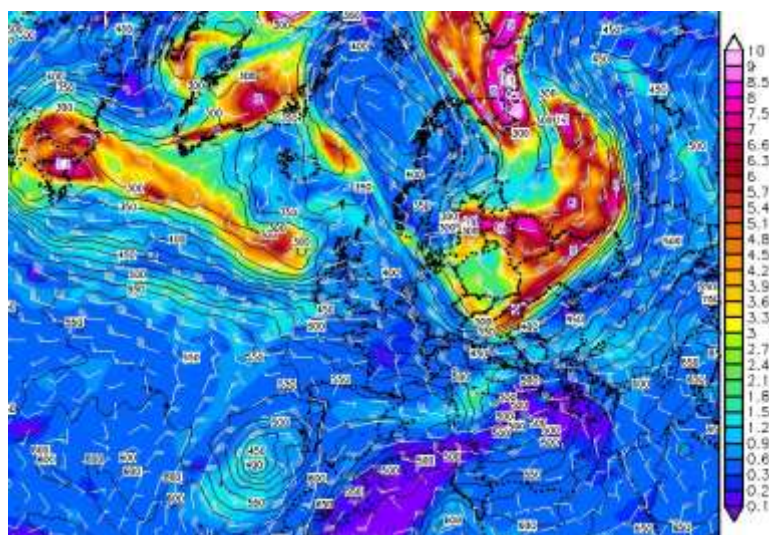
Σχήμα 4.24 – Ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός για $\theta=320$ K, στις 00UTC 10/07/2019 (Πηγή:

www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

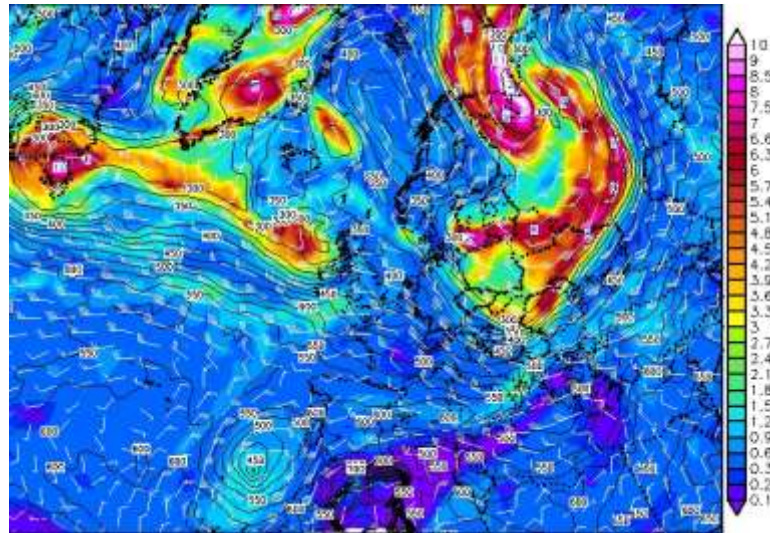


Σχήμα 4.25 - Ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός για $\theta=320\text{K}$, στις 06UTC 10/07/2019 (Πηγή:
www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Στις 12 UTC 10/07 παρατηρούνται πάνω από την ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Ιταλίας τιμές του PV μεγαλύτερες από 1, δείγμα ότι στην ανώτερη τροπόσφαιρα σ'εκείνο το σημείο, υποδηλώνεται η ύπαρξη ατμοσφαιρικής διαταραχής (trough). Νότια αυτής της περιοχής αποτυπώνονται μικρές θετικές τιμές του PV (<1), συνεπώς έχουμε την ύπαρξη ridge. Λόγω της γενικότερης ροής σ'αυτά τα ύψη, στις 18 UTC 10/07 η trough κινείται νοτιοανατολικά και αυτό απεικονίζεται στον χάρτη του ισεντροπικού δυναμικού στροβιλισμού με τις θετικές τιμές μεγαλύτερες της μονάδας και συγκεκριμένα η τιμή του PV φτάνει έως και τα 3.3 PVU.

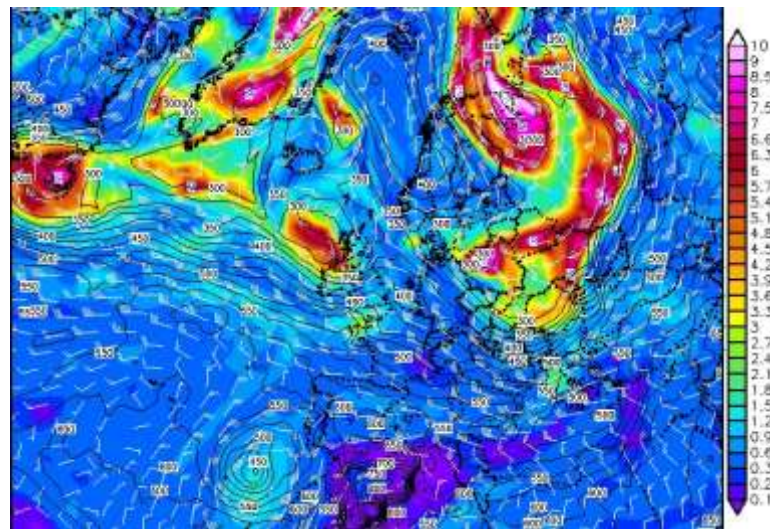


Σχήμα 4.26 - Ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός για $\theta=320\text{K}$, στις 12UTC 10/07/2019 (Πηγή:
www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

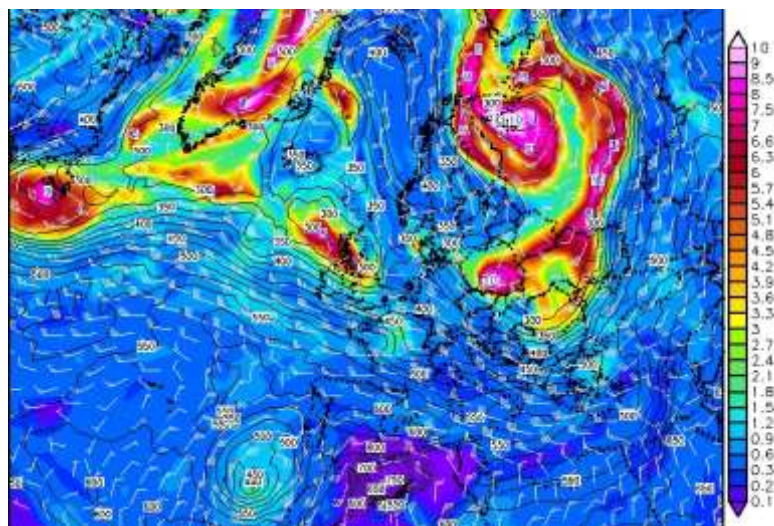


Σχήμα 4.27 - Ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός για $\theta=320\text{K}$, στις 18UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Στις 00 UTC 11/07 οι τιμές του PV που αντιστοιχούν στην trough παρατηρούνται πάνω από την κεντρική και βόρεια ηπειρωτική Ελλάδα. Σε σχέση με το προηγούμενο χρονικό βήμα, η μέγιστη τιμή του δυναμικού στροβιλισμού φτάνει μέχρι τα 2.4 PVU. Στην συνέχεια, κινείται νοτιοανατολικά και με την διάλυση του μετώπου οι τιμές του PV μειώνονται και οριακά ξεπερνούν την μονάδα, στις 06 UTC 11/07.



Σχήμα 4.28 - Ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός για $\theta=320\text{K}$, στις 00UTC 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

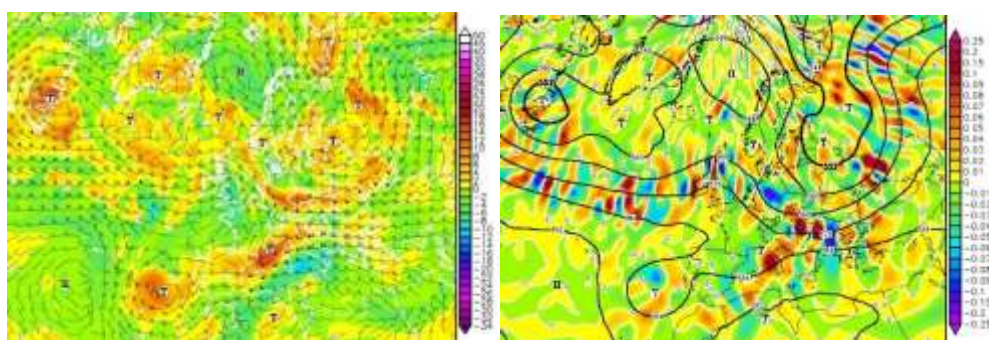


Σχήμα 4.29 - Ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός για $\theta=320\text{K}$, στις 06UTC 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

4.9. Σχετικός στροβιλισμός

Στους παρακάτω χάρτες θα εξεταστούν, η εξέλιξη του σχετικού στροβιλισμού και η μεταφορά του απόλυτου στροβιλισμού για την ημέρα ενδιαφέροντός μας (10/07) και για τις πρώτες ώρες της επόμενης ημέρας (11/07), δηλαδή με το πέρασμα του καταιγιδοφόρου συστήματος.

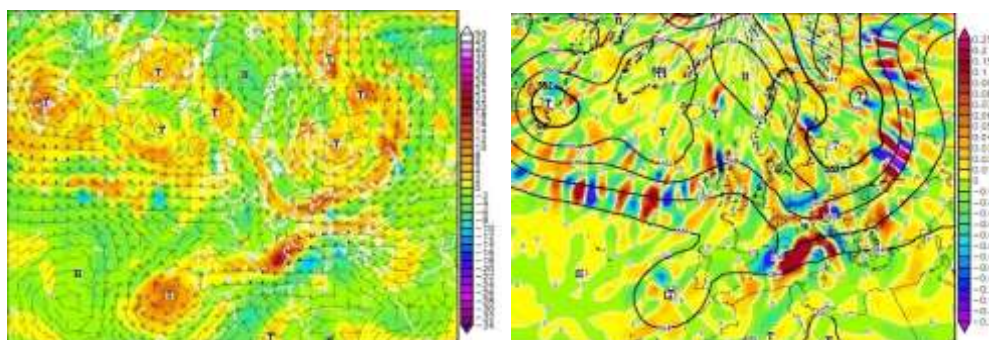
Στις 00 UTC 10/07 νότια της Γαλλίας και στην ευρύτερη περιοχή της Ιταλίας και της Αδριατικής θάλασσας παρατηρούνται υψηλές τιμές σχετικού στροβιλισμού, ο οποίος αποτελεί μέτρο της τοπικής περιστροφής της ατμόσφαιρας. Την ίδια στιγμή καταγράφεται θετική μεταφορά απόλυτου στροβιλισμού (PVA) στην περιοχή δυτικά της Ιταλίας και ΒΑ του βορείου τμήματος της Αδριατικής θάλασσας.



Σχήμα 4.30 – Χάρτης σχετικού στροβιλισμού (αριστερά) και χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού (δεξιά), στις 00 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

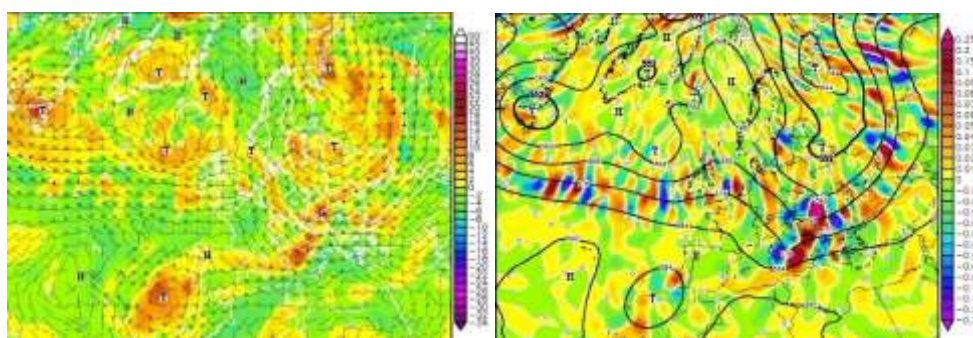
Στο επόμενο χρονικό βήμα και συγκεκριμένα στις 06 UTC 10/07 λόγω της γενικότερης κυκλοφορίας οι θετικές τιμές του σχετικού στροβιλισμού έχουν κινηθεί νοτιοανατολικότερα. Όπως απεικονίζεται και από την χρωματική διαβάθμιση, οι τιμές του σχετικού στροβιλισμού είναι αρκετά υψηλές, με μέγιστο την περιοχή δυτικά της

νήσου Κορσικής με τιμή $20 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$. Ωστόσο, άκρως ενδιαφέρουσα είναι η μεταφορά του απόλυτου στροβιλισμού στις 06 UTC 10/07. Η θετική μεταφορά του απόλυτου στροβιλισμού τοποθετείται μπροστά από την trough στα 500 hPa, η οποία εκτείνεται από την Ουγγαρία έως και την Σαρδηνία, ενώ μέρος της θετικής μεταφοράς παρατηρείται και στο νότιο τμήμα της Αδριατικής θάλασσας. Όπως υποδηλώνει η χρωματική διαβάθμιση η PVA λαμβάνει εξαιρετικά υψηλές τιμές. Επίσης, σύμφωνα με τους Huo et al. (1994) στην περιοχή που σημειώνεται θετική μεταφορά στροβιλισμού, μπροστά από μία ανώτερη trough, αντιστοιχεί η επιφανειακή ύφεση.



Σχήμα 4.31 – Χάρτης σχετικού στροβιλισμού (αριστερά) και χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού (δεξιά), στις 06 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

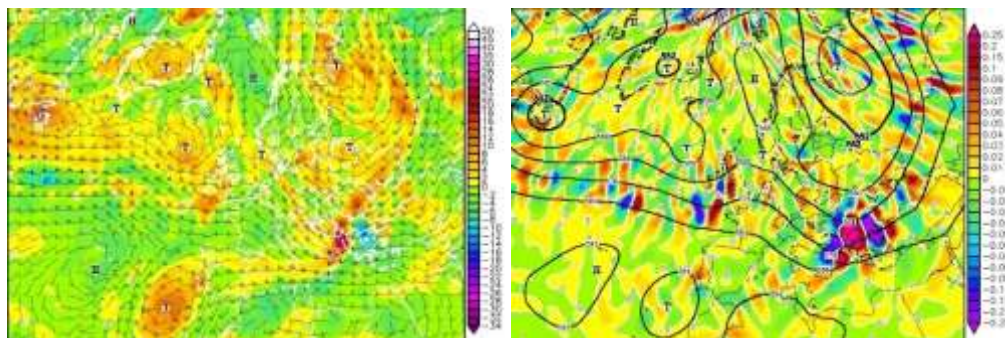
Στην συνέχεια και συγκεκριμένα στις 12 UTC 10/07 το ανεμολογικό πεδίο στα 500 hPa εξαναγκάζει τις θετικές τιμές του σχετικού στροβιλισμού σε μια επιπλέον νοτιοανατολικότερη κίνηση. Παρατηρούνται υψηλές τιμές πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας και δυτικά αυτής και πάνω από το κεντρικό τμήμα της Αδριατικής θάλασσας. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τις διευθύνσεις του ανέμου σ' αυτό το επίπεδο η trough τοποθετείται σ' αυτό το σημείο που ο σχετικός στροβιλισμός είναι έντονος. Στον χάρτη που απεικονίζεται η μεταφορά του απόλυτου στροβιλισμού θα παρατηρήσουμε ότι η PVA αποτυπώνεται ξανά ακριβώς μπροστά από την trough και από την χρωματική διαβάθμιση φαίνεται ότι λαμβάνει υψηλές τιμές.



Σχήμα 4.32 – Χάρτης σχετικού στροβιλισμού (αριστερά) και χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού (δεξιά), στις 12 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

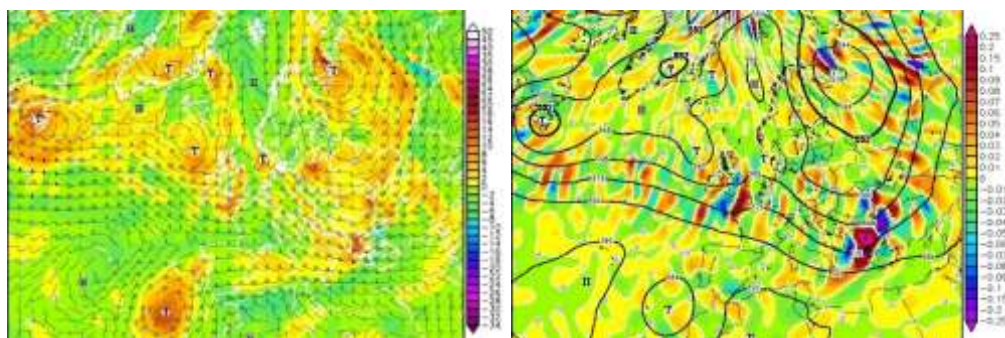
Στις 18 UTC 10/07 οι θετικές τιμές του σχετικού στροβιλισμού αποτυπώνονται στην ευρύτερη περιοχή της Αδριατικής θάλασσας. Αξιοσημείωτο είναι το μέγιστο που παρουσιάζει ο σχετικός στροβιλισμός πάνω από την Αλβανία, με τιμή που ξεπερνά τα $28 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$. Στον χάρτη, που απεικονίζει την μεταφορά του απόλυτου

στροβιλισμού, φαίνεται ξεκάθαρα η ζώνη θετικής μεταφοράς μπροστά από την ανώτερη trough με εξαιρετικά υψηλές τιμές, όπως μπορούμε να διακρίνουμε από την μωβ απόχρωση η οποία καταλαμβάνει την πλειοψηφία της μεταφοράς. Επίσης, πίσω από την trough παρατηρείται μία ζώνη αρνητικής μεταφοράς στροβιλισμού (NVA).



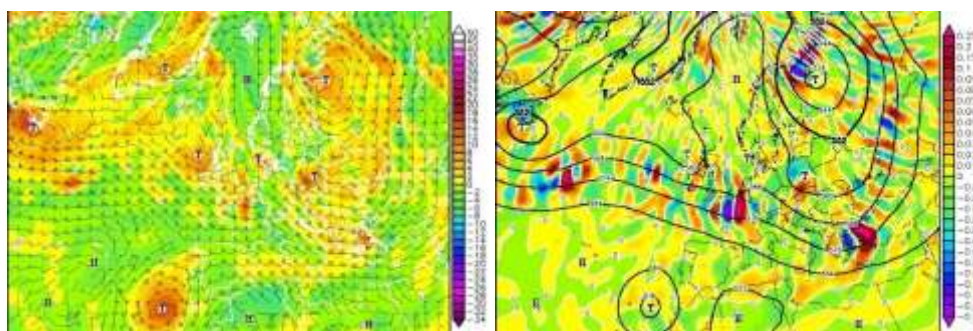
Σχήμα 4.33 – Χάρτης σχετικού στροβιλισμού (αριστερά) και χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού (δεξιά), στις 18 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Με το πέρασμα της trough πάνω από την Ελλάδα, στις 00 UTC 11/07 παρατηρούνται ασθενείς τιμές σχετικού στροβιλισμού στην ευρύτερη περιοχή, εκτός από μια μικρή περιοχή πάνω από την κεντρική και βόρεια ηπειρωτική Ελλάδα, με σημαντικές τιμές στροβιλισμού, οι οποίες όμως δεν παρουσιάζουν κάποιον ιδιαίτερο ρόλο αφού το καταιγιδόφορο σύστημα βρίσκεται σε φάση διάλυσης. Στον χάρτη της μεταφοράς του στροβιλισμού διακρίνουμε μια εξασθένιση της ζώνης που βρίσκεται μπροστά από την trough, η οποία χάνει έκταση ενώ και οι τιμές στο σύνολο τους είναι μικρότερες σχετικά με αυτές 6 ώρες πριν. Ισχυρές τιμές PVA φαίνεται να λαμβάνει η περιοχή πάνω από την Χαλκιδική και το βόρειο Αιγαίο.



Σχήμα 4.34 – Χάρτης σχετικού στροβιλισμού (αριστερά) και χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού (δεξιά), στις 00 UTC 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

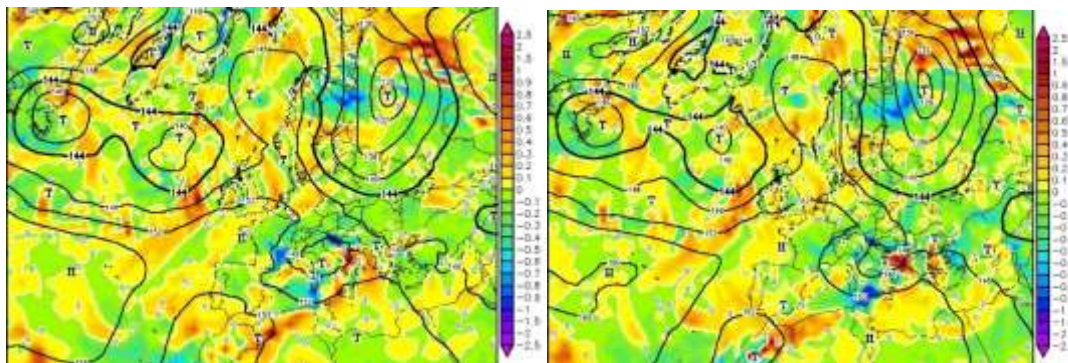
Τέλος, στο επόμενο χρονικό βήμα, 6 ώρες μετά και συγκεκριμένα στις 06 UTC 11/07 πάνω από τον ελλαδικό χώρο τοποθετούνται ασθενείς τιμές σχετικού στροβιλισμού, ενώ στον χάρτη της μεταφοράς η trough έχει εξασθενήσει, όπως επίσης και η θετική μεταφορά του στροβιλισμού μπροστά απ' αυτή. Ξεκάθαρη είναι η περιοχή πάνω από το κεντρικό τμήμα της Ελλάδας που λαμβάνει αρνητικές τιμές μεταφοράς στροβιλισμού.



Σχήμα 4.35 – Χάρτης σχετικού στροβιλισμού (αριστερά) και χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού (δεξιά), στις 06 UTC 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

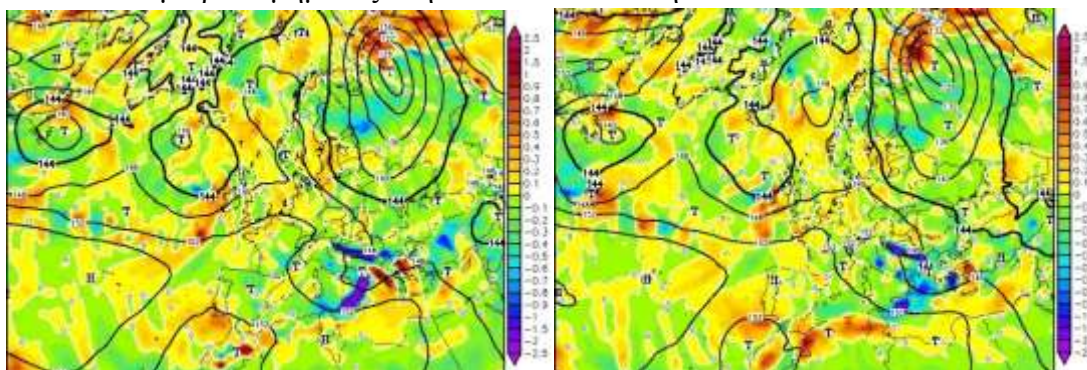
4.10 Μεταφορά θερμοκρασίας

Στους παρακάτω χάρτες απεικονίζεται η μεταφορά θερμοκρασίας κατά την 10^η Ιουλίου 2019 έως ότου το πέρασμα του μετώπου που ολοκληρώθηκε την 11^η Ιουλίου 2019. Συγκεκριμένα, στις 00 UTC 10/07, στην ιταλική χερσόνησο όπως επίσης και στην βόρεια Αδριατική θάλασσα, εκεί που γεννήθηκε το σύστημα, λαμβάνει χώρα θερμή μεταφορά, με τιμές από 0.1 έως και 1 K/h. Δυτικά αυτής της μεταφοράς κυριαρχεί ψυχρή μεταφορά με ρυθμό που φτάνει μέχρι και τα -0.5 K/h, ενώ πάνω από την νότια, κεντρική και βορειοδυτική ηπειρωτική Ελλάδα η ψυχρή μεταφορά που συντελείται είναι ιδιαίτερος χαμηλού ρυθμού. Η κατάσταση, όμως, αλλάζει στις 06 UTC 10/07 όπου ψυχρή μεταφορά λαμβάνει χώρα στην βόρεια Ιταλία με ρυθμό -0.1 έως και -0.3 K/h, ενώ ακόμα πιο σημαντική είναι η ψυχρή μεταφορά στην βόρεια Αδριατική θάλασσα και στις δαλματικές ακτές με ρυθμό που κυμαίνεται από -0.5 K/h μέχρι και -2 K/h σε ορισμένα σημεία. Την ίδια ημέρα (10/07) και ώρα 12 UTC, χρονική στιγμή που ο νεφικός σχηματισμός οργανώνεται και αναπτύσσεται, στο νότιο τμήμα της Αδριατικής θάλασσας κυριαρχεί η θερμή μεταφορά. Στο κεντρικό τμήμα της Ιταλίας και της Αδριατικής θάλασσας συντελείται ταυτόχρονα, σύμφωνα με την ανάλυση, ψυχρή μεταφορά, όχι όμως με ιδιαίτερα σημαντικό ρυθμό. Στις 18 UTC 10/07 στα βόρεια σύνορα της Ελλάδας κυριαρχεί η ψυχρή μεταφορά, εκεί όπου τοποθετείται το καταιγιδοφόρο νέφος, ενώ ψυχρή μεταφορά συντελείται και στην νότια Ιταλία και νότια Αδριατική θάλασσα. Διακρίνεται, επίσης, μία ζώνη θερμής μεταφοράς στις δυτικές παράκτιες περιοχές της Ελλάδας και της Αλβανίας.



Σχήμα 4.36 – Χάρτης μεταφοράς θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 06 UTC 10/07/2019(αριστερά) και στις 12 UTC 10/07/2019(δεξιά) (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Στις 00 UTC 11/07 στο κεντρικό και νότιο τμήμα του Αιγαίου λαμβάνει χώρα θερμή μεταφορά. Στην κεντρική Μακεδονία και Θεσσαλία που παρατηρήθηκαν φαινόμενα, εκείνο το χρονικό διάστημα, διακρίνεται ψυχρή μεταφορά, σχετικά χαμηλού ρυθμού. Με το πέρασμα της κακοκαιρίας στις 06 UTC 11/07 παρατηρείται συνολικά στον ελλαδικό χώρο ψυχρή μεταφορά, εκτός από περιοχές του ΝΑ Αιγαίου. Επίσης, παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στις 12 UTC 11/07, με την ψυχρή μεταφορά να κυριαρχεί πάνω από την Ελλάδα εκτός από τις περιοχές Χαλκιδικής – θερμαϊκού κόλπου και μικρού τμήματος στην νότια Πελοπόννησο.



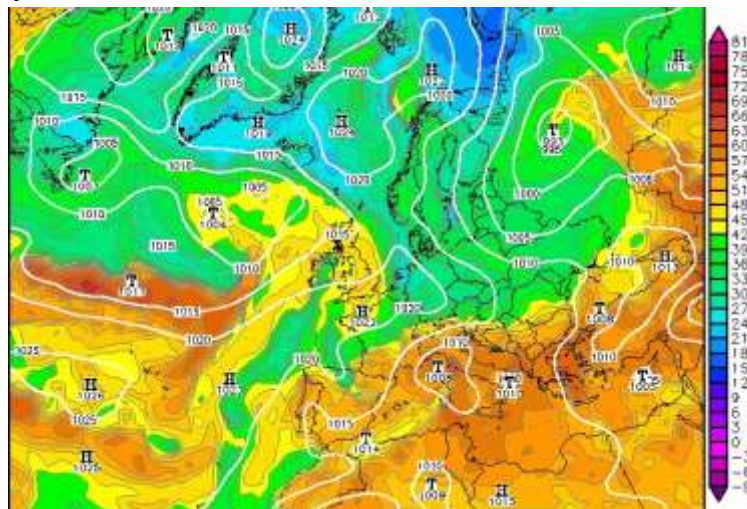
Σχήμα 4.37 – Χάρτης μεταφοράς θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 18 UTC 10/07/2019(αριστερά) και στις 00 UTC 11/07/2019(δεξιά) (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

4.11 Ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία στα 850 hPa

Στους παρακάτω χάρτες παρουσιάζονται, η ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία και η επιφανειακή πίεση, για την ημέρα του συμβάντος (10/07) καθώς επίσης και για τις πρώτες ώρες της επόμενης ημέρας (11/07), συνεπώς μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες, για την λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης, όπως επίσης και για τις βαροκλιτικές ζώνες, πολύ χρήσιμες για την δημιουργία και την εξέλιξη του καταιγιδόφρου συστήματος.

Στις 00 UTC 10/07 παρατηρούνται, στην ευρύτερη περιοχή της νότιας και βόρειας ηπειρωτικής Ιταλίας, έντονες κλίσεις της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας. Το κέντρο των χαμηλών πιέσεων παρατηρείται πάνω από την νήσο της Κορσικής με τιμή 1008 hPa, ενώ η ισοβαρική επιφάνεια που κλείνει ΒΔ της ιταλικής

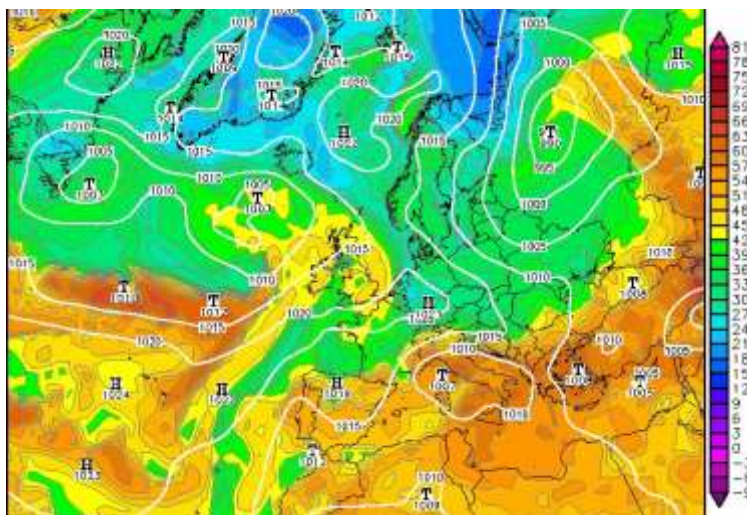
χερσονήσου, με τιμή 1010 hPa , τέμνει τις γραμμές της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στην βόρεια Αδριατική θάλασσα δημιουργώντας έτσι ένα πεδίο βαροκλιδικότητας.



Σχήμα 4.38 – Χάρτης ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 00 UTC 10/07/2019

(Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Στις 06 UTC 10/07 παρατηρείται αύξηση στην τιμή της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στο κεντρικό-βόρειο τμήμα της ιταλικής χερσονήσου και στο νότιο τμήμα αυτής. Το κέντρο των χαμηλών πιέσεων έχει βαθύνει κατά 1 hPa, ενώ η ισοβαρική επιφάνεια των 1010 hPa έχει κινηθεί ανατολικά και βρίσκεται κατά μήκος της Αδριατικής θάλασσας. Στο βόρειο τμήμα της Αδριατικής παρατηρείται έντονη βαθμίδα ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας, την οποία τέμνει η ισοβαρική επιφάνεια των 1010 hPa.

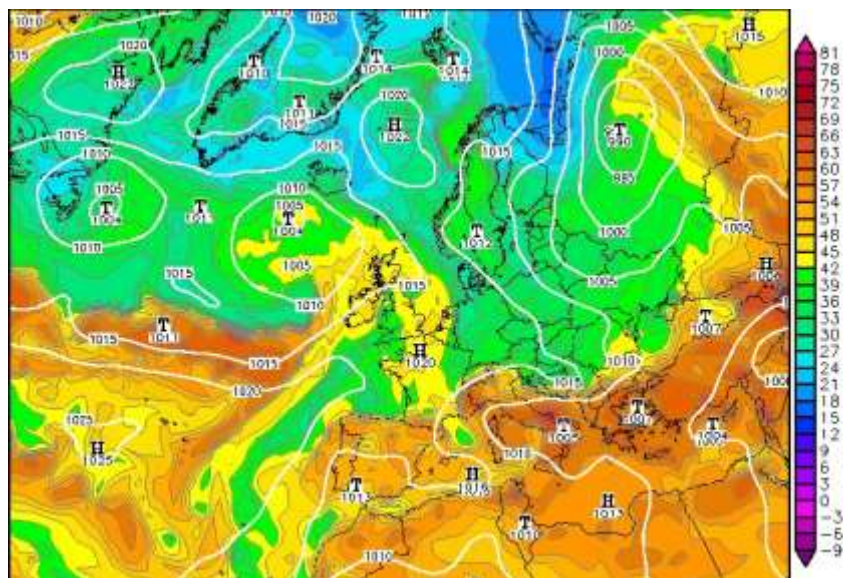


Σχήμα 4.39 – Χάρτης ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 06 UTC 10/07/2019

(Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

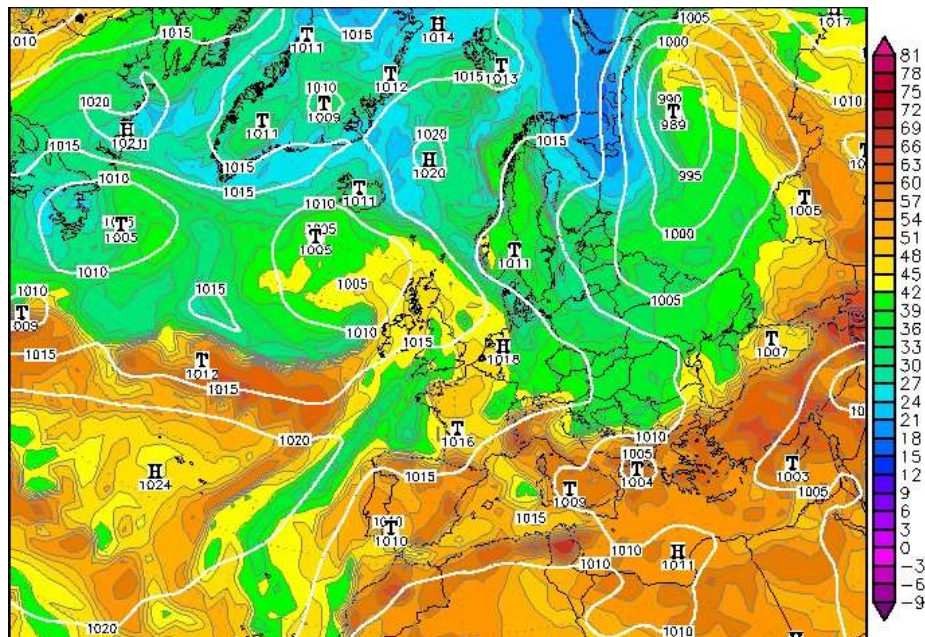
Στις 12 UTC 10/07 το κέντρο των χαμηλών πιέσεων κινείται νοτιοανατολικά και πλέον αποκτά τιμή 1005 hPa. Στο κέντρο της περιοχής αυτής η ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία έχει αποκτήσει τιμή μεγαλύτερη των 66°C δείγμα της έντονης λανθάνουσας θερμότητας που εκλύεται σ' αυτό το επίπεδο, ενώ περιμετρικά του

κέντρου αυτού οι τιμές της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας είναι υψηλές. Στην κεντρική περιοχή της Αδριατικής θάλασσας η ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία παρουσιάζει ξανά έντονη βαθμίδα και τέμνεται με την ισοβαρική επιφάνεια των 1010 hPa δημιουργώντας βαροκλιτική ζώνη.



Σχήμα 4.40 – Χάρτης ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 12 UTC 10/07/2019
(Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

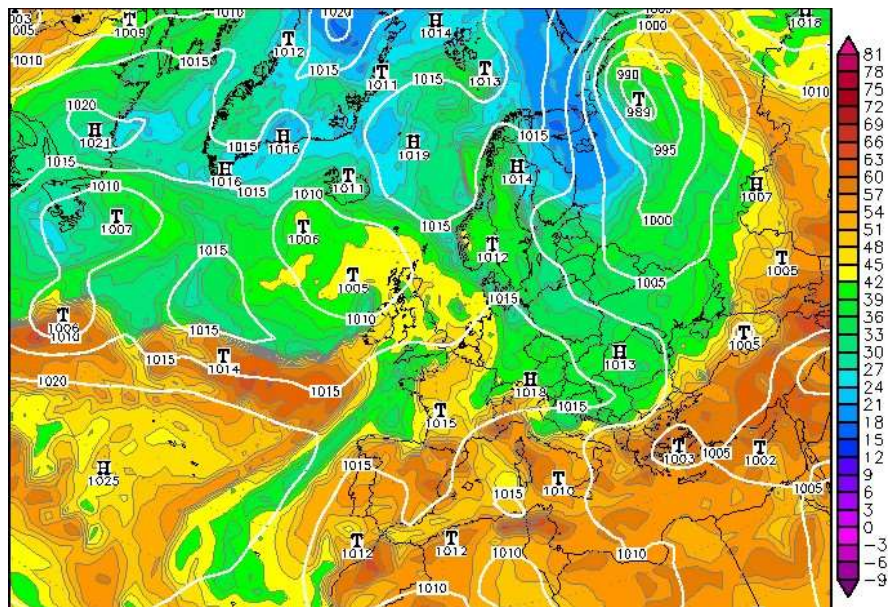
Ενδιαφέρουσα είναι η εικόνα στις 18 UTC 10/07 με το κέντρο του χαμηλού να έχει κινηθεί ανατολικότερα και να βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ Ελλάδας και Ιταλίας, με τιμή 1004 hPa. Η ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία παρουσιάζει έντονη βαθμίδα στα βόρεια σύνορα της Ελλάδας, η οποία συμπίπτει με την ισοβαρική επιφάνεια των 1010 hPa. Ουσιαστικά, η βαροκλιτική ζώνη κινήθηκε νοτιοανατολικότερα. Οι τιμές της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας εξακολουθούν να παραμένουν υψηλές στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας και δυτικά αυτής, στο κέντρο του χαμηλού βαρομετρικού.



Σχήμα 4.41 – Χάρτης ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 18 UTC 10/07/2019

(Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Το κέντρο χαμηλών πιέσεων κινούμενο νοτιοανατολικά, στις 00 UTC 11/07 ακολουθείται από την έντονη βαθμίδα ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας, όχι όμως από την ισοβαρική, η οποία σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση διατηρεί την θέση της και την τιμή της. Ως εκ τούτου φαίνεται να «χαλαίνει» η βαροκλικνικότητα σ' αυτή την χρονική στιγμή, ωστόσο οι τιμές της ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας παραμένουν υψηλές στην περιοχή του βορείου Αιγαίου.



Σχήμα 4.42 – Χάρτης ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στα 850 hPa, στις 00 UTC 11/07/2019

(Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

4.12 Μεταφορά πάχους στρώματος (1000 hPa – 500 hPa)

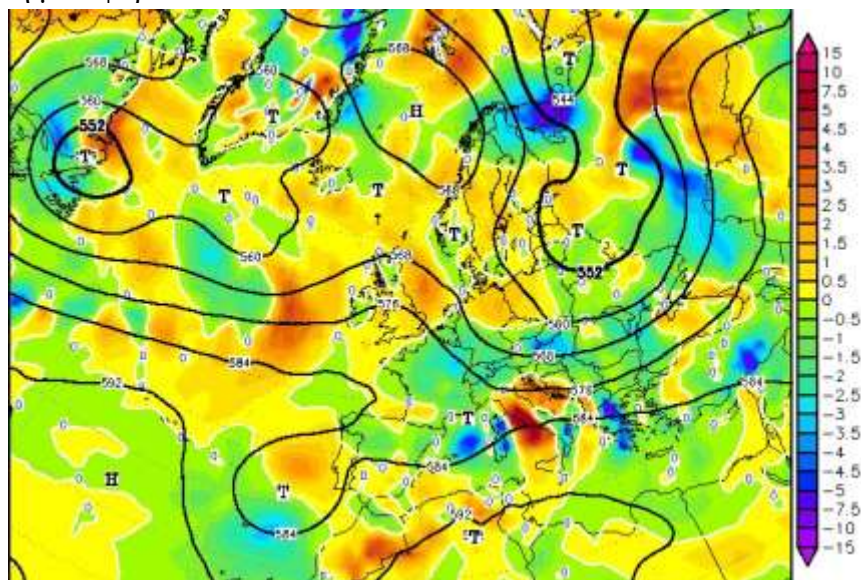
Πολύ σημαντικός χάρτης ανώτερης τροπόσφαιρας είναι αυτός που παρουσιάζει το πάχος του στρώματος. Συνήθως, χρησιμοποιείται μεταξύ των ισοβαρικών επιπέδων 1000 hPa – 500 hPa και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Z_2 - Z_1 = \frac{R T_0}{g} \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Ο παράγοντας αυτός είναι ανάλογος της μέσης θερμοκρασίας T_0 του στρώματος. Αυτό σημαίνει ότι μια ψυχρή αέρια μάζα θα παρουσιάζει μικρό πάχος στρώματος, ενώ αντίθετα μια θερμή θα παρουσιάζει μεγάλο πάχος στρώματος.

Στους παρακάτω χάρτες θα εξεταστεί η μεταφορά του πάχους στρώματος (1000hPa – 500 hPa). Θετικές τιμές μεταφοράς αντιστοιχούν σε μεταφορά θερμών αερίων μαζών, σε αντίθεση με αρνητικές τιμές μεταφοράς που υποδηλώνουν μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών.

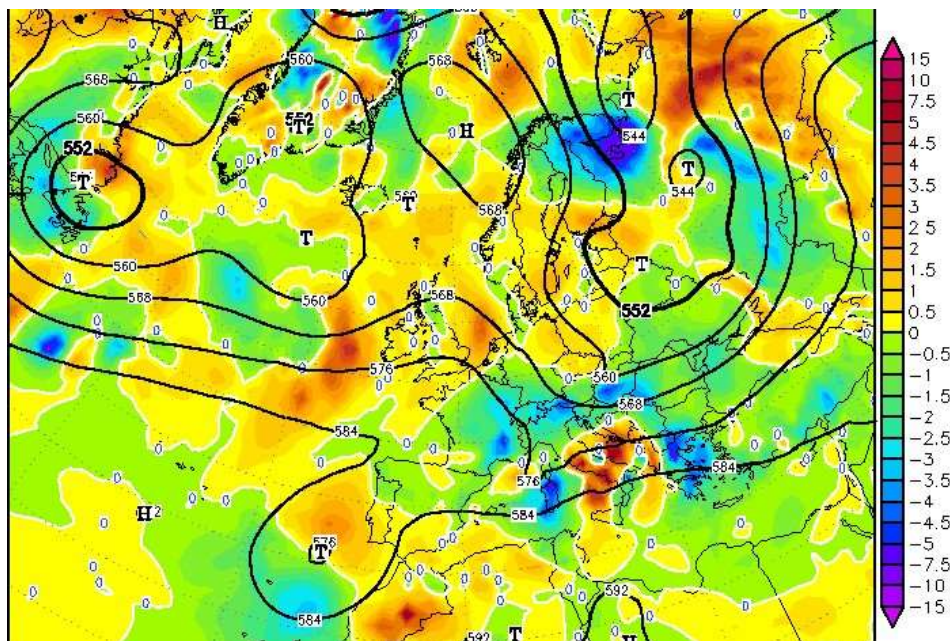
Στις 00 UTC 10/07 στο κεντρικό τμήμα της Ιταλίας και στην ευρύτερη βόρεια περιοχή της Αδριατικής συντελείται θερμή μεταφορά πάχους στρώματος, με την μέγιστη να είναι, πάνω από το δυτικό τμήμα της κεντρικής ηπειρωτικής Ιταλίας, περίπου 0.5 K/h. Πάνω από την περιοχή της κεντρικής και δυτικής Ευρώπης λαμβάνει χώρα αρνητική μεταφορά.



Σχήμα 4.43 – Χάρτης μεταφοράς ισοπαχούς στρώματος, στις 00 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

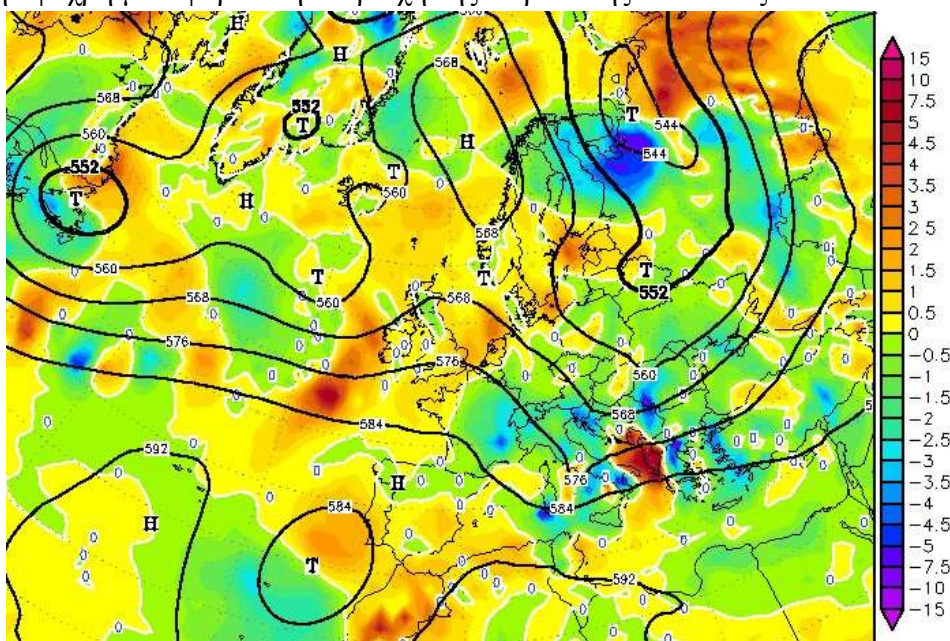
Στις 06 UTC 10/07 η trough που εκτείνεται από την Λευκορωσία έως και την νήσο της Κορσικής φαίνεται να ενισχύεται, αφού η ισοβαρική επιφάνεια των 576 hPa κινήθηκε νοτιότερα σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση μας, 6 ώρες πριν.

Λαμβάνει χώρα ψυχρή μεταφορά του ισοπαχούς στρώματος στην βόρεια Ιταλία, όπου οι μέγιστες τιμές μεταφοράς στο ΒΑ αυτής και στην περιοχή της νότιας Γαλλίας φτάνουν -0.45 K/h .



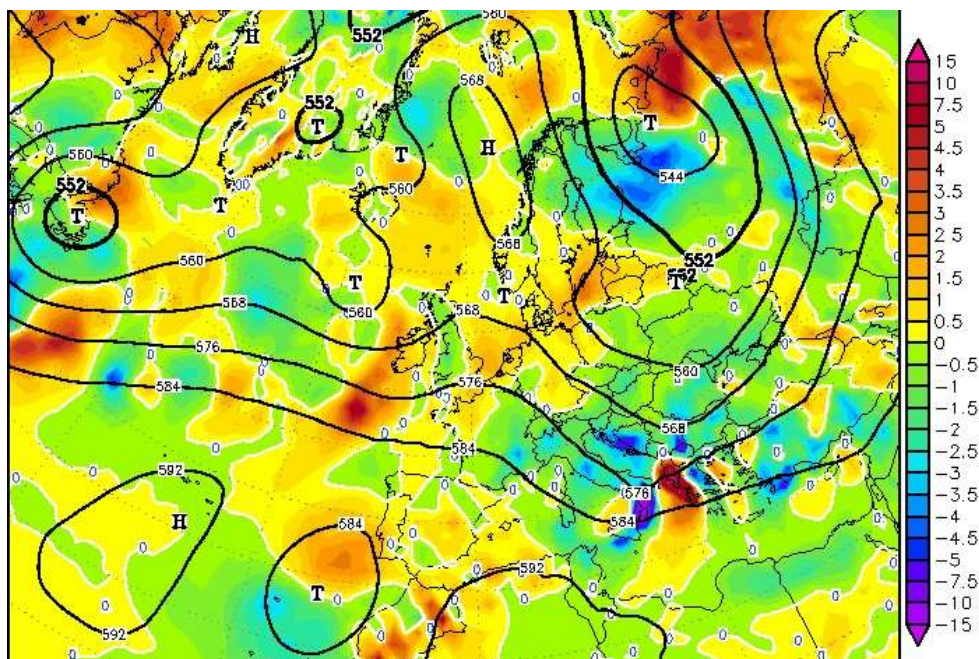
Σχήμα 4.44 – Χάρτης μεταφοράς ισοπαχούς στρώματος, στις 06 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Όπως θα παρατηρήσουμε και από τον χάρτη μεταφοράς στις 12 UTC 10/07, η μεταφορά του στρώματος αυτού εξακολουθεί να βρίσκεται πίσω από την trough ενισχύοντάς την χρονικά. Οι τιμές της μεταφοράς σ' αυτό το χρονικό σημείο είναι σχετικά ασθενείς εξακολουθούν όμως να λαμβάνουν αρνητικές τιμές γεγονός που δείχνει την ψυχρή μεταφορά στην περιοχή της Αδριατικής θάλασσας.



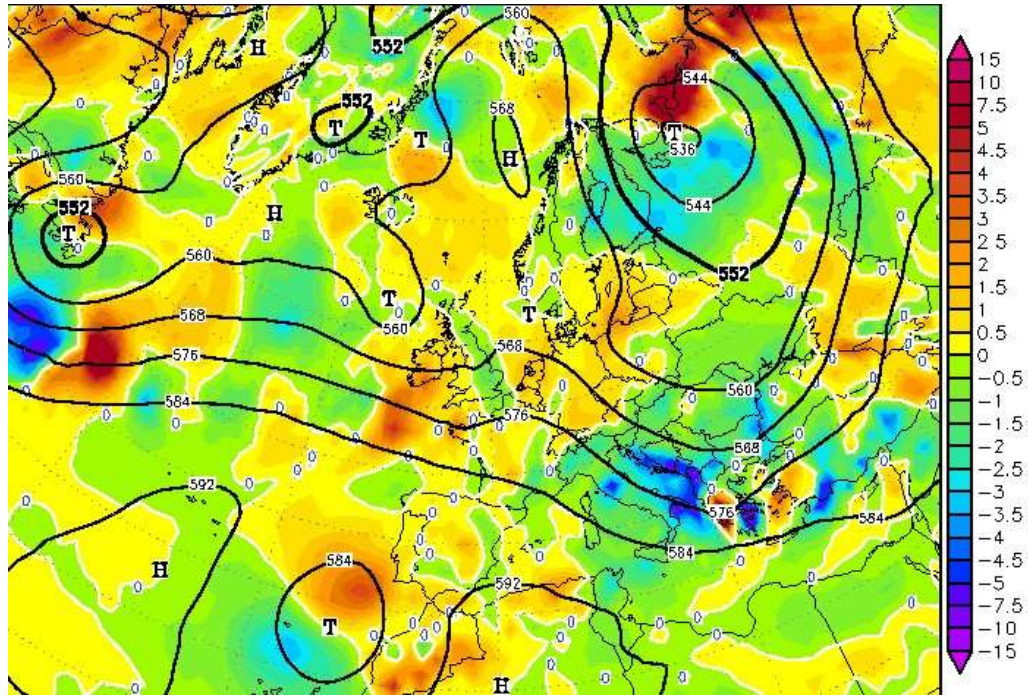
Σχήμα 4.45 – Χάρτης μεταφοράς ισοπαχούς στρώματος, στις 12 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Η trough συνεχίζει να ενισχύεται χρονικά και αυτό απεικονίζεται στις 18 UTC 10/07. Ψυχρή μεταφορά εξακολουθεί να συντελείται πριν την trough με πιο υψηλές τιμές μεταφοράς σε σχέση με τις 12 UTC της ίδιας ημέρας, όπως φαίνεται από την χρωματική διαβάθμιση. Μέγιστες τιμές μεταφοράς αποτυπώνονται στην περιοχή των Δαλματικών ακτών και του νοτίου τμήματος της Ιταλίας, στο οποίο η μεταφορά ξεπερνά το 1 K/h. Αξιοσημείωτη είναι μία ζώνη θερμής μεταφοράς ισοπαχούς που εκτείνεται από τις νότιες παράκτιες περιοχές της δυτικής Ελλάδας μέχρι και την Αλβανία.



Σχήμα 4.46 – Χάρτης μεταφοράς ισοπαχούς στρώματος, στις 18 UTC 10/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

Στις 00 UTC 11/07 παρατηρείται μια εξομάλυνση της trough που περνάει πάνω από τον ελλαδικό χώρο. Μηδενικές τιμές μεταφοράς ισοπαχούς στρώματος παρατηρούνται στην περιοχή του βορείου Αιγαίου και της κεντρικής και ανατολικής βόρειας Ελλάδας. Η ζώνη θερμής μεταφοράς στην δυτική Ελλάδα φαίνεται αποδυναμωμένη εξαιτίας της έντονης ψυχρής μεταφοράς του ισοπαχούς στρώματος που συντελείται ΒΑ της Ελλάδας. Στις 06 UTC 11/07, με το πέρασμα της trough η ψυχρή μεταφορά έχει κινηθεί ταχύτατα προς την περιοχή του Αιγαίου πελάγους.



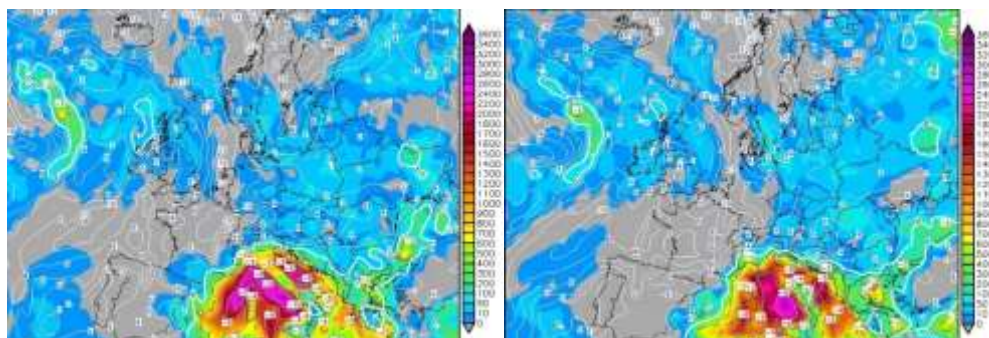
Σχήμα 4.47 – Χάρτης μεταφοράς ισοπαχούς στρώματος, στις 00 UTC 11/07/2019 (Πηγή:
www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

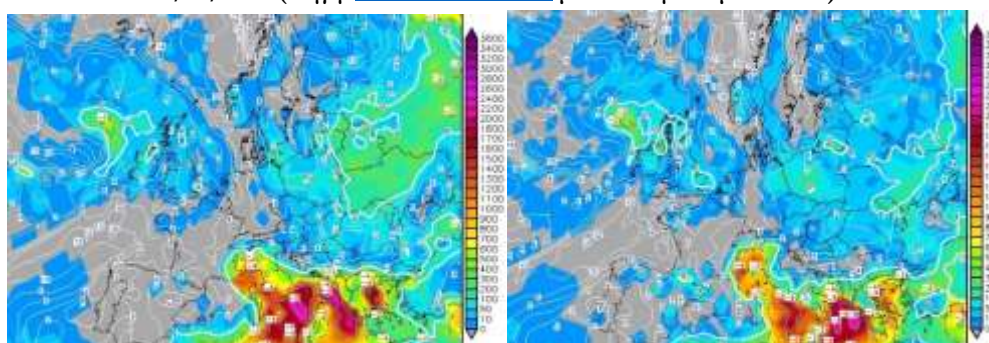
5.1 Ανάλυση δεικτών αστάθειας LI – ML CAPE

Στους παρακάτω χάρτες θα αναλυθούν οι δείκτες αστάθειας Lifted Index (LI) και Mixed Layer CAPE (ML CAPE) κατά την διάρκεια της ημέρας συμβάντος καθώς επίσης και τις πρώτες ώρες μετά το πέρασμα του καταιγιδοφόρου νεφικού σχηματισμού. Ο LI συνδέεται με την δημιουργία καταιγίδων και οι αρνητικές τιμές αυτού του δείκτη δείχνουν περιβάλλον ικανό να προκαλέσει καταιγιδοφόρα φαινόμενα. Ο δείκτης ML CAPE υπολογίζει την μέση διαθέσιμη δυναμική ενέργεια ενός δείγματος αέρα, που χρειάζεται για να φτάσει στο LFC (Level of Free Convection), ευρισκόμενο στα κατώτατα 100 hPa, λαμβάνοντας υπόψιν την μέση θερμοκρασία και την μέση τιμή του σημείου δρόσου (Craven et al. 2002). Οι κρίσιμες τιμές που λαμβάνει ο δείκτης ML CAPE είναι ίδιες με αυτές του δείκτη CAPE.

Στις 00 UTC 10/07 στην ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Μεσογείου παρατηρείται έντονη αστάθεια αφού ο δείκτης LI λαμβάνει αρνητικές τιμές, ενώ θετικές τιμές λαμβάνει ο δείκτης ML CAPE. Ιδιαίτερα, οι πιο ακραίες τιμές των δεικτών αυτών αποτυπώνονται δυτικά της ιταλικής χερσονήσου και στην βόρεια Αδριατική θάλασσα με τον δείκτη LI να καταγράφει τιμή -8 και το ML CAPE να ξεπερνά τα 2000 J/kg. Παρόμοια είναι η εικόνα από άποψη αστάθειας και στις 06 UTC 10/07. Αρκετά υψηλές τιμές και των δύο δεικτών παρατηρούνται στην νότια και κεντρική Αδριατική θάλασσα, την βόρεια ηπειρωτική Ιταλία και μια εκτεταμένη περιοχή δυτικά της ιταλικής χερσονήσου. Στα περισσότερα σημεία οι τιμές του LI ξεπερνούν την τιμή -4, ενώ ο δείκτης ML CAPE διατηρείται σ' αυτές τις περιοχές σε υψηλά επίπεδα. Στην συνέχεια, στις 12 UTC 10/07 στην ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Ιταλίας και δυτικά αυτής, καθώς επίσης και στην νότια Αδριατική θάλασσα οι τιμές των δύο αυτών δεικτών είναι αρκετά υψηλές. Ο δείκτης LI εξακολουθεί να διατηρείται σε τιμές μικρότερες του -4, ενώ και ο ML CAPE απεικονίζεται σε πολλές περιοχές με τιμή πάνω από 2000 J/kg.. Στις 18 UTC 10/07 οι υψηλές τιμές των δεικτών αστάθειας περιορίζονται στο βόρειο Ιόνιο πέλαγος και δυτικά αυτού, ενώ ακραίες τιμές του LI διακρίνονται πάνω από την κεντρική Μακεδονία ταυτόχρονα με υψηλές τιμές του δείκτη ML CAPE. Το δεύτερο MCS, που ακολουθεί τον κύριο νεφικό όγκο, μέρος του οποίου τοποθετείται πάνω από την κεντρική Μακεδονία, εκείνη την χρονική στιγμή βρίσκεται πάνω από την περιοχή του βόρειου Ιονίου πελάγους και συνεπώς οι δείκτες αστάθειας έχουν σημαντικό ρόλο στην ενίσχυσή τους. Ως εκ τούτου μέχρι εκείνη την χρονική στιγμή οι δείκτες LI και ML CAPE αποτελούν πεδίο ενδιαφέροντος. Με την είσοδο και του δεύτερου καταιγιδοφόρου συστήματος στον ελλαδικό χώρο οι δείκτες αστάθειας δεν συνεισφέρουν στην εξέλιξη του συστήματος πάνω από το βόρειο τμήμα της Ελλάδας καθώς περιορίζονται σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη, απόρροια της γενικότερης ΝΑ κίνησης του καταιγιδοφόρου συστήματος, όπως φαίνεται για τις ώρες 00 UTC 11/07 και 06 UTC 11/07.



Σχήμα 5.1 – Χάρτης απεικόνισης δεικτών αστάθειας LI και ML CAPE. Με χρωματική διαβάθμιση αποτυπώνεται ο δείκτης ML CAPE, ενώ οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης LI οριοθετούνται από λευκές συνεχείς γραμμές. Αριστερά η απεικόνιση των δεικτών στις 00 UTC 10/07/2019 και δεξιά η απεικόνιση των δεικτών στις 06 UTC 10/07/2019. (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)



Σχήμα 5.2 – Χάρτης απεικόνισης δεικτών αστάθειας LI και ML CAPE. Με χρωματική διαβάθμιση αποτυπώνεται ο δείκτης ML CAPE, ενώ οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης LI οριοθετούνται από λευκές συνεχείς γραμμές. Αριστερά η απεικόνιση των δεικτών στις 12 UTC 10/07/2019 και δεξιά η απεικόνιση των δεικτών στις 18 UTC 10/07/2019. (Πηγή: www.wetter3.de με ανάλυση δεδομένων GFS)

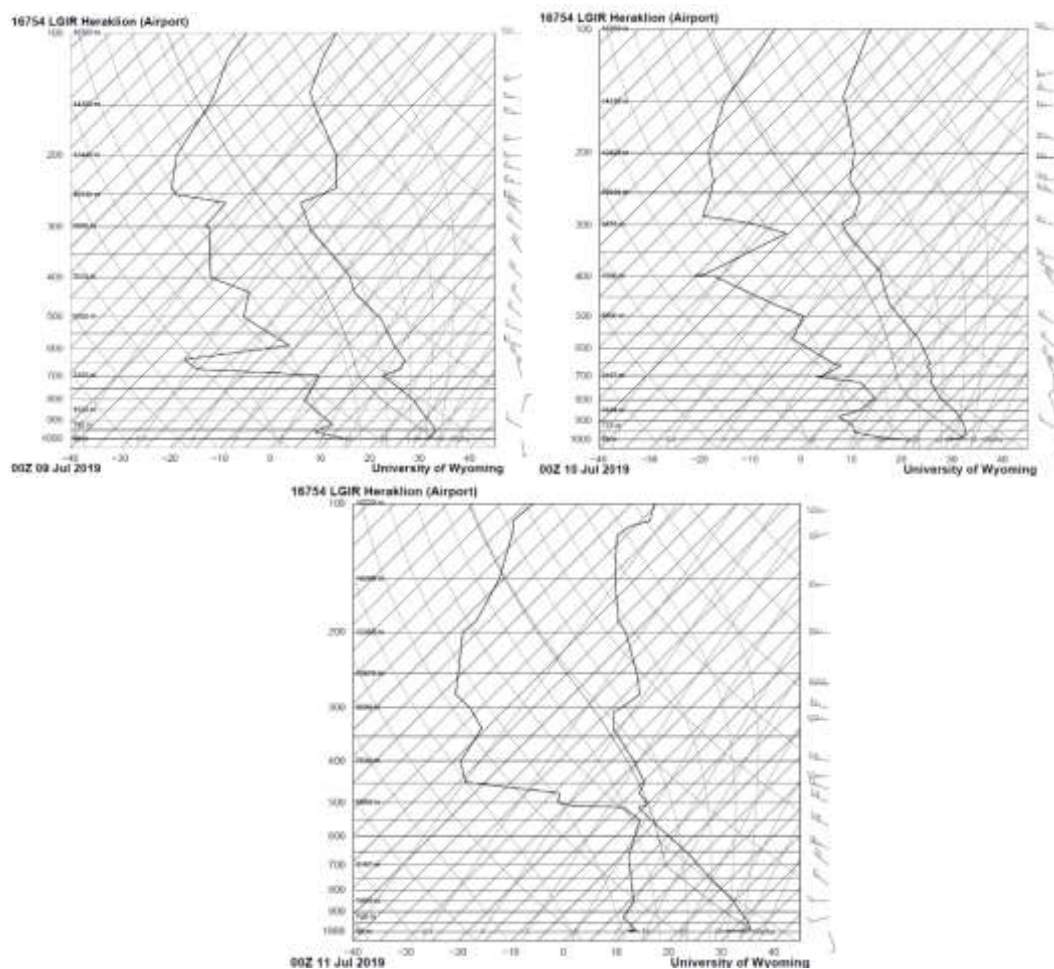
5.2 Τεφιγράμματα

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί η χρονική εξέλιξη δεικτών αστάθειας που είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για την δημιουργία και την εξέλιξη MCS, όπως αυτό της παρούσας εργασίας. Επίσης, θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τεφιγράμματα των αεροδρομίων του Ηρακλείου, της Θεσσαλονίκης και της Αθήνας.

5.2.1 Αεροδρόμιο Ηρακλείου

Στα τεφιγράμματα του αεροδρομίου του Ηρακλείου παρατηρείται, κατά την διάρκεια της 9^{ης} και της 10^{ης} Ιουλίου μια γενικότερη ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα, στις 9 Ιουλίου και ώρα 00Z παρατηρείται μια αναστροφή από τα 1000 μέχρι τα 950 hPa και ακόμα μία αναστροφή από τα 700 έως τα 650 hPa. Αυτή η παρουσία ξηρού ευσταθούς αέρα πάνω από τις περιοχές υποδηλώνει την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας. Ωστόσο, δεν υπάρχει καθόλου εμβαδόν του συντελεστή αστάθειας CAPE, ενώ και οι καμπύλες της θερμοκρασίας και του σημείου δρόσου απέχουν αρκετά, υποδηλώνοντας τα χαμηλά ποσά υγρασίας που υπάρχουν καθ' ύψος της ατμόσφαιρας. Στις 10 Ιουλίου και ώρα 00Z, οι καμπύλες πλησιάζουν μεταξύ τους,

στα στρώματα 1000-950 hPa και 800-650 hPa γεγονός που μαρτυρά την αύξηση των ποσών υγρασίας επιφανειακά. Δεν παρατηρούνται αναστροφές συνολικά καθ' ύψος, εκτός από του στρώματος 1000-950 hPa. Το εμβαδόν που συμβολίζει το CAPE συνεχίζει να είναι μηδενικό. Τέλος, στις 11 Ιουλίου και ώρα 00Z το τεφίγραμμα του Ηρακλείου δίνει μια ελαφρώς διαφορετική εικόνα σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες και αυτό εξαιτίας της γενικότερης κίνησης του MCS που μελετάμε το οποίο αφού επηρέασε σημαντικά την περιοχή της Χαλκιδικής, πριν διαλυθεί, κινήθηκε νοτιοανατολικά. Στο στρώμα 550 έως και 450 hPa, η θερμοϋγρομετρική διαφορά των καμπύλων έχει μειωθεί αρκετά, δηλώνοντας τα μεγάλα ποσά υγρασίας στο στρώμα αυτό, ενώ υπάρχουν κάποιες θετικές τιμές του εμβαδού που συμβολίζει το CAPE, ωστόσο δεν μπορούν να συνεισφέρουν, αφού το εμβαδόν που δίνει το CIN είναι εξαιρετικά μεγάλο και αποτυπώνεται από την επιφάνεια μέχρι τα 550 hPa.

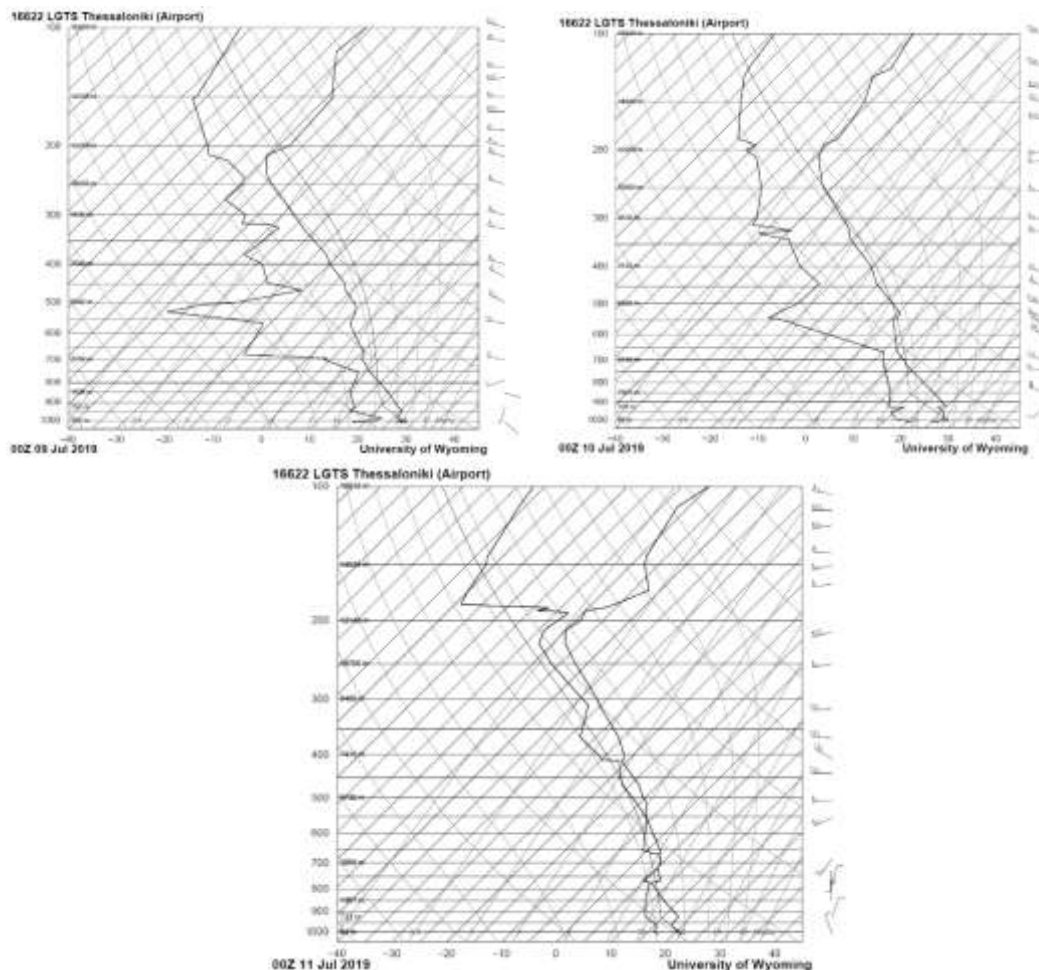


Σχήμα 5.3 – Τεφίγραμματα από την περιοχή του αεροδρομίου του Ηρακλείου για τις 09/07/2019 00 UTC, 10/07/2019 00UTC και 11/07/2019 00UTC. (Πηγή: www.weather.uwoyo.edu)

5.2.2 Αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης

Στο τεφίγραμμα του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης παρατηρείται αρχικά, την 9^η Ιουλίου και ώρα 00Z, η εμφάνιση δυναμικής αστάθειας. Στα κατώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας και συγκεκριμένα μέχρι τα 700 hPa, οι καμπύλες της θερμοκρασίας και

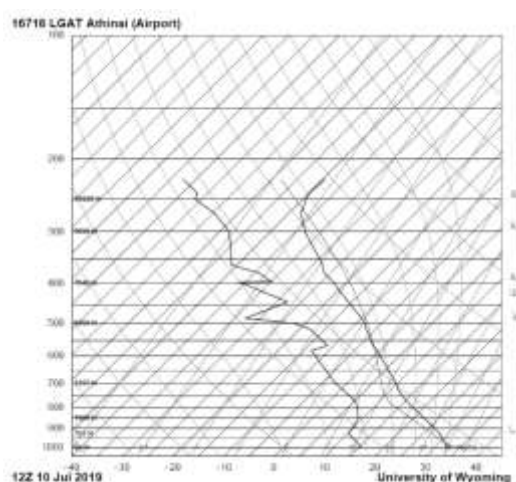
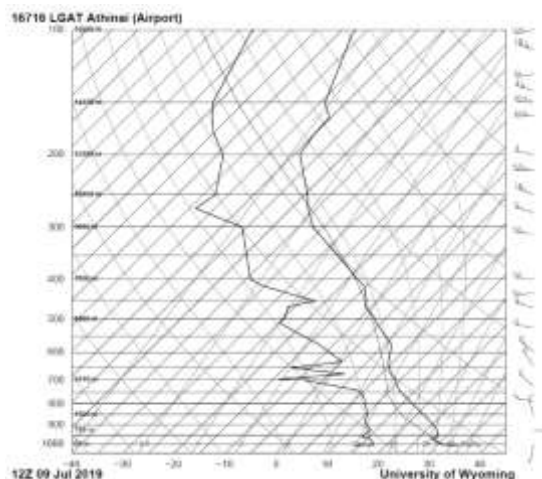
του σημείου δρόσου είναι σχετικά κοντά μεταξύ τους γεγονός που δηλώνει την ύπαρξη σημαντικών ποσών υγρασίας. Από τα 700 hPa μέχρι και τα 450 hPa ο υπερκείμενος αέρας γίνεται αρκετά ξηρότερος σε σχέση με τον αέρα κοντά στην επιφάνεια. Αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη ισχυρού εμβαδού CAPE, το οποίο φτάνει έως τα 200 hPa, ξεκινώντας από τα 800 hPa. Γίνεται αντιληπτό ότι ένα νέφος κατακόρυφης ανάπτυξης θα μπορούσε να ξεπεράσει τα 12 km. Την επόμενη ημέρα, στις 00Z, η υγρασία στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας διατηρείται, ενώ το στρώμα 700-450 hPa χάνει την ξηρότητά του και γίνεται πιο υγρό, αφού η καμπύλη του σημείου δρόσου πλησιάζει αυτή της θερμοκρασίας, ενώ η ελάχιστη θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους -10 °C. Η πτώση της τιμής του εμβαδού του συντελεστή αστάθειας CAPE είναι ισχυρή, σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα, ενώ το εμβαδόν του CIN γίνεται αξιοσημείωτο. Το ύψος της τροπόπαυσης διατηρείται σχεδόν σταθερό στα 200 hPa. Την 11^η Ιουλίου, στις 00Z, με το πέρασμα του MCS από την περιοχή της Θεσσαλονίκης, η ατμόσφαιρα πάνω απ'αυτή καθίσταται αρκετά υγρή και αποκτά ομοιογένεια καθ' ύψος μέχρι την τροπόπαυση. Η τιμή του CAPE σχεδόν μηδενίζεται.

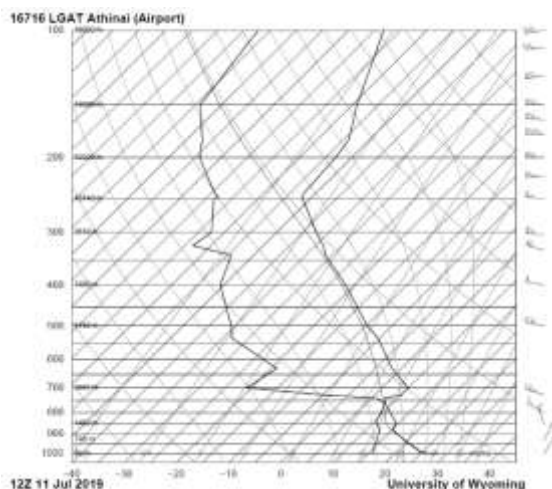


Σχήμα 5.4 – Τεφιγράμματα από την περιοχή του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης για τις 09/07/2019 00 UTC, 10/07/2019 00UTC και 11/07/2019 00UTC. (Πηγή: www.weather.uwoyo.edu)

5.2.3 Αεροδρόμιο Αθήνας

Στο τεφίγραμμα του αεροδρομίου της Αθήνας στις 9 Ιουλίου και ώρα 12Z, η ατμόσφαιρα κρίνεται ευσταθής. Ο δείκτης CAPE λαμβάνει μικρή τιμή, ενώ το εμβαδόν που εκφράζει το CIN είναι αρκετά μεγάλο. Η αναστροφή που παρουσιάζεται στα 950 hPa δείχνει την παρουσία ξηρού αέρα στα κατώτερα τμήματα, ενώ η θερμοϋγραμμετρική διαφορά των καμπύλων είναι σημαντική. Σχεδόν παρόμοια είναι και η κατάσταση της ατμόσφαιρας την επόμενη ημέρα, την ίδια ακριβώς ώρα (12Z). Διατηρείται το ξηρό στρώμα αέρα στην επιφάνεια, ενώ δεν υπάρχει μεταβολή θερμοϋγραμμετρικής διαφοράς των καμπύλων. Παρατηρείται μικρή αύξηση της τιμής του δείκτη αστάθειας CAPE, ενώ το εμβαδόν που εκφράζει το CIN ξεκινά από την επιφάνεια και φτάνει μέχρι τα 600 hPa. Τελείως διαφορετική εικόνα δίνει το τεφίγραμμα της 11^{ης} Ιουλίου στις 12Z. Οι καμπύλες θερμοκρασίας και σημείου δρόσου έχουν πλησιάσει αρκετά στο στρώμα 950-750 hPa, υποδηλώνοντας τα υψηλά ποσά υγρασίας, ενώ η αναστροφή που παρατηρείται στα 750 hPa περίπου δηλώνει την παρουσία ξηρού αέρα πάνω απ' αυτό το επίπεδο, γεγονός που φαίνεται από την απομάκρυνση των καμπύλων καθ' ύψος της θερμοκρασίας και του σημείου δρόσου. Επομένως, έχουμε την παρουσία δυναμικής αστάθειας στην περιοχή, η οποία δεν διαδραματίζει κάποιο ρόλο στο MCS μελέτης μας, αποτελεί όμως συνέπεια της νοτιοανατολικής κίνησής του, μετά το πέρασμά του από την περιοχή ενδιαφέροντός μας.

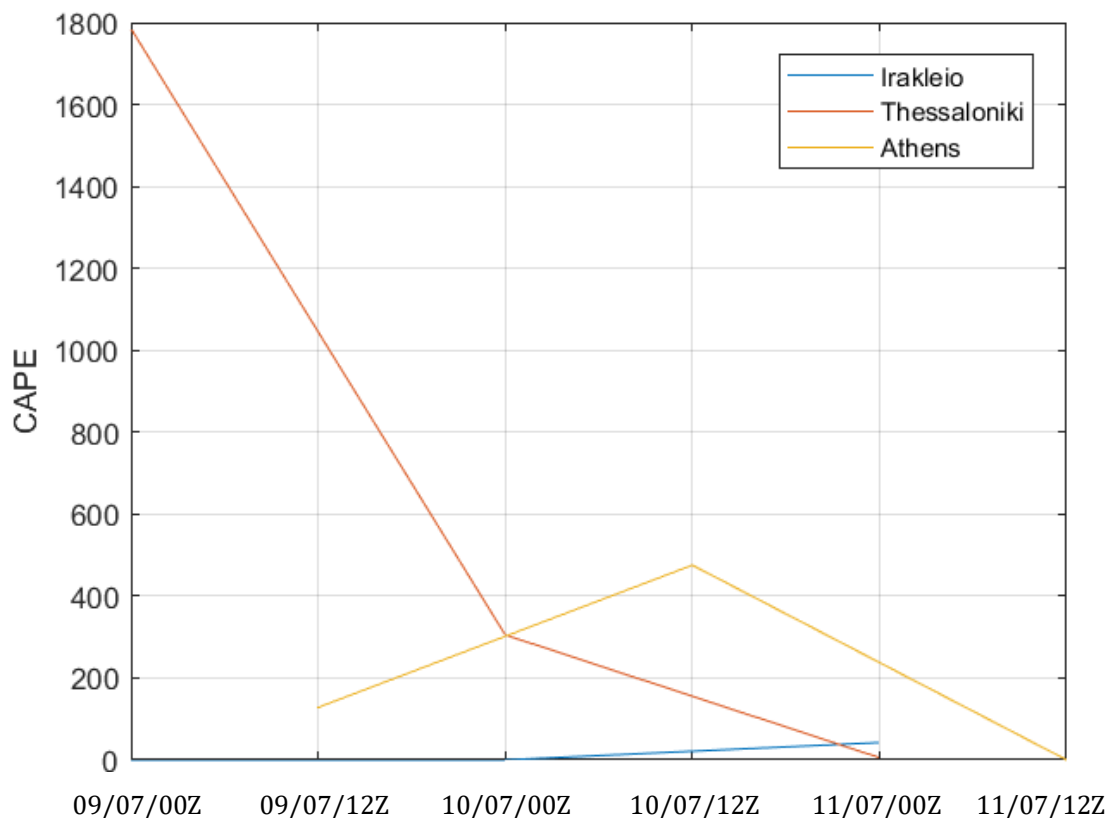




Σχήμα 5.5 – Τεφιγράμματα από την περιοχή του αεροδρομίου της Αθήνας για τις 09/07/2019 12 UTC, 10/07/2019 12UTC και 11/07/2019 12UTC. (Πηγή: www.weather.uwyo.edu)

5.3 Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης CAPE

Στο Σχήμα 5.6 γίνεται ξεκάθαρη η ισχυρή αστάθεια που λαμβάνει χώρα στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας για την 9^η Ιουλίου. Το ποσό της διαθέσιμης δυναμικής ενέργειας είναι υψηλό για τις πρώτες 12 ώρες της ημέρας αυτής με την κατάσταση να χαρακτηρίζεται μέτρια ασταθής. Ωστόσο, στην συνέχεια το δυναμικό αυτό φθίνει, μέχρι να μηδενιστεί με το πέρασμα της κακοκαιρίας που έπληξε την Χαλκιδική. Μ' αυτόν τον τρόπο δικαιολογείται στην συνέχεια η διάλυσή του, ενώ οι μικρές τιμές CAPE, την στιγμή που έλαβε χώρα το φαινόμενο στην περιοχή ενδιαφέροντός μας, δεν προξενούν ιδιαίτερη εντύπωση, αφού το χαμηλό βαρομετρικό που επηρέασε την περίπτωση μας ήταν ήδη οργανωμένο και κινούμενο προς το βόρειο ηπειρωτικό τμήμα της χώρας μας, έδωσε εντυπωσιακά φαινόμενα. Η ραδιοβόλιση στην Αθήνα μας δίνει μικρές τιμές CAPE, ενώ παρουσιάζει ένα μέγιστο στις 10 Ιουλίου και ώρα 12Z, λίγες ώρες πριν την κακοκαιρία. Με το πέρασμα αυτής από την περιοχή της Χαλκιδικής, η τιμή του CAPE φθίνει έως ότου μηδενιστεί εντελώς. Τέλος, στο Ηράκλειο δεν υπάρχει καθόλου διαθέσιμη δυναμική ενέργεια. Η μικρή αυξητική τάση που παρουσιάζει από τις 10/07 και ώρα 12Z, χαρακτηρίζει την ατμόσφαιρα στην γενικότερη περιοχή οριακά ασταθή, με μικρές τιμές CAPE, που δεν ξεπερνούν τα $100 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

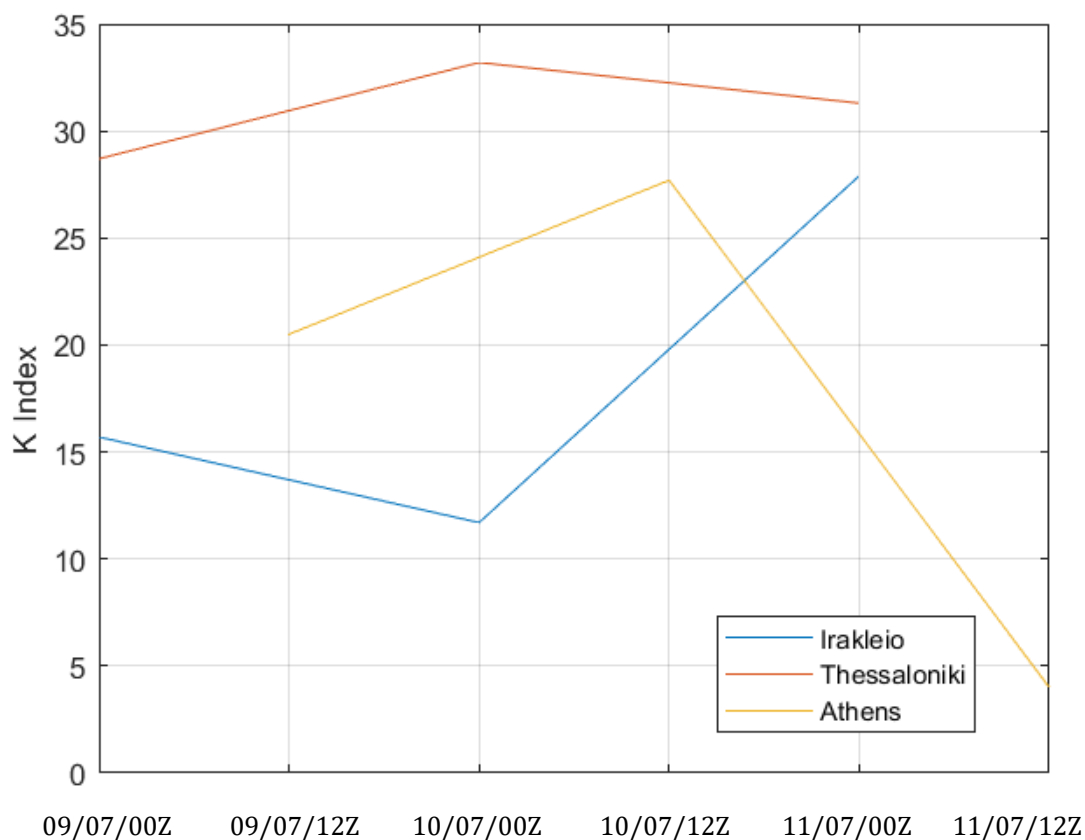


Σχήμα 5.6 – Χρονική εξέλιξη του δείκτη CAPE για το Ηράκλειο, την Θεσσαλονίκη και την Αθήνα για το χρονικό διάστημα 09/07/2019 00Z έως και 11/07/2019 12Z. Τα δεδομένα λήφθηκαν από την βάση δεδομένων ραδιοβολίσεων του University of Wyoming και παρουσιάστηκαν με την χρήση Matlab.

5.4 Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης KI

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η χρονική εξέλιξη του δείκτη K για το Ηράκλειο, την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη, από τις 00Z της 9^{ης} Ιουλίου έως και τις 12Z της 11^{ης} Ιουλίου. Στην περίπτωση του Ηρακλείου ο δείκτης K είναι μικρότερος από 20 μέχρι τις 10/07/00Z. Ωστόσο, μέσα στο επόμενο 24ωρο «σκαρφαλώνει» απότομα μέχρι και τις 11/07/00Z, όπου φτάνει σχεδόν την τιμή 28, ως συνέπεια της διαταραχής που επηρέασε την περιοχή μελέτης μας. Για την Αθήνα τα δεδομένα είναι παρόμοια με αυτά του Ηρακλείου. Ο δείκτης K παρουσιάζει μια διαρκώς ανοδική τάση έως και λίγες ώρες πριν το MCS επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής. Στην συνέχεια παρατηρείται καθοδική τάση, ωστόσο σε σχέση με τις ραδιοβολίσεις της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου, στην Αθήνα είχαμε αποτελέσματα για τις ημέρες ενδιαφέροντός μας στις 12Z. Οι υψηλές τιμές του δείκτη K μέχρι και τις 10/07/12Z δείχνουν το υψηλό δυναμικό αστάθειας όσο κινούμαστε πιο βόρεια στον ελλαδικό χώρο. Για την περίπτωση της Θεσσαλονίκης οι τιμές που λαμβάνουμε είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσες. Αν εξαιρέσουμε την ημέρα της 9^{ης} Ιουλίου στις 00Z, στην οποία η τιμή του δείκτη K είναι οριακά κοντά στο 30, τις επόμενες δύο ημέρες η τιμή αυτή έχει ξεπεράσει το 30, δείγμα ότι μπορούν να εκδηλωθούν καταιγίδες σε ποσοστό 60-80%. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με εργασία των M.V. Sioutas και H. A. Flocas (2003) ακόμα και τιμές του δείκτη K μεγαλύτερες του 20 μπορούν να παράξουν

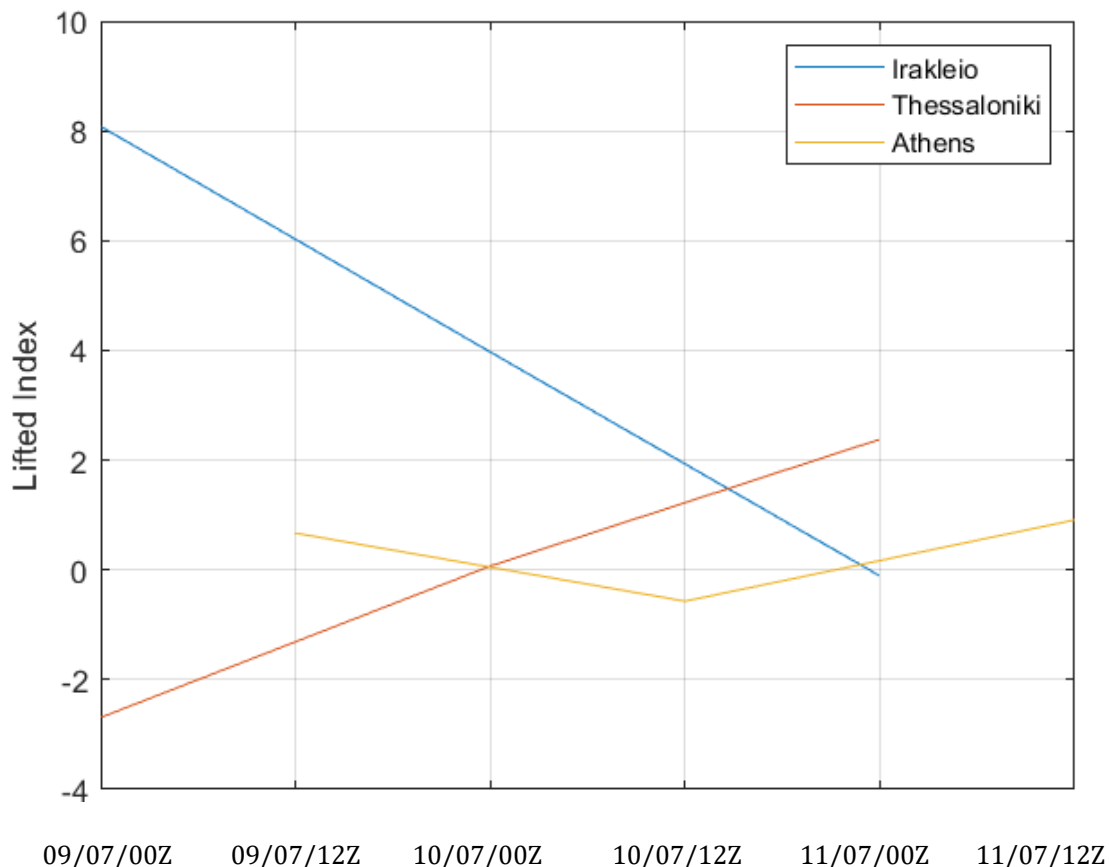
καταιγίδες σε ποσοστό 60-80% (διάσπαρτες καταιγίδες), ενώ τιμές μεγαλύτερες του 30 μπορούν να δώσουν πολυάριθμες καταιγίδες. Αναφέρεται επίσης, ότι όσο μεγαλύτερες οι τιμές αυτού του δείκτη τόσο μεγαλύτερο το δυναμικό για χαλάζι.



Σχήμα 5.7 – Χρονική εξέλιξη του δείκτη KI για το Ηράκλειο, την Θεσσαλονίκη και την Αθήνα για το χρονικό διάστημα 09/07/2019 00Z έως και 11/07/2019 12Z. Τα δεδομένα λήφθηκαν από την βάση δεδομένων ραδιοβολίσεων του University of Wyoming και παρουσιάστηκαν με την χρήση Matlab.

5.5 Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης LI

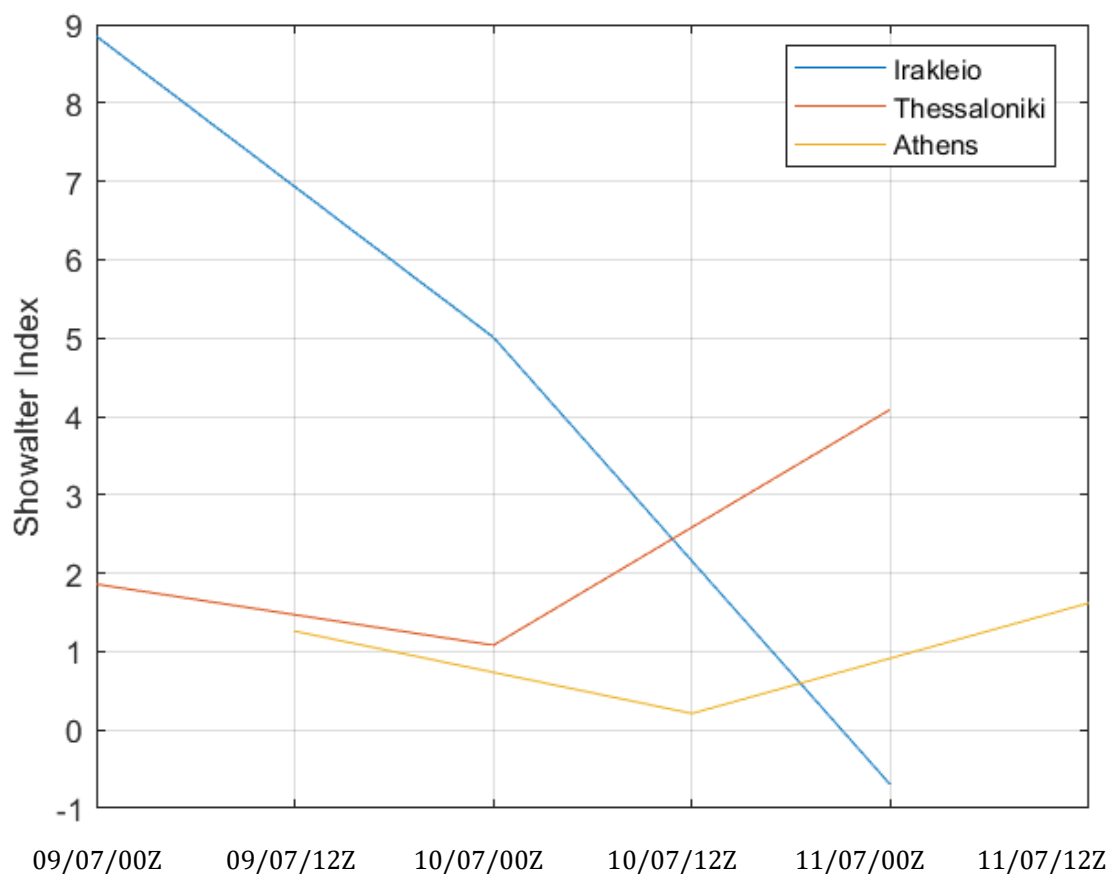
Στο διάγραμμα εξέλιξης του δείκτη Lifted Index παρατηρούμε ότι για τον σταθμό του Ηρακλείου, η υπερκείμενη ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται ως ευσταθής καθ'ολη την διάρκεια μελέτης του MCS. Ωστόσο εξαιτίας της διαταραχής στο βόρειο τμήμα της χώρας μας ο δείκτης αυτός ακολουθεί καθοδική πορεία από τις 09/07 στις 00Z έως τις 11/07 στις 00Z, όπου οριακά ο δείκτης λαμβάνει τιμή ύπο το μηδέν. Αντίθετα, η ραδιοβόλιση από το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης μάς δίνει μία ανοδική πορεία του δείκτη αυτού. Σύμφωνα με την τιμή LI για την Θεσσαλονίκη η κατάσταση στο βόρειο μέρος της Ελλάδας κρίνεται ασταθής κατά την διάρκεια της γέννησης του MCS στην ευρύτερη περιοχή της Ιταλίας. Από τις 10/07 στις 00Z η κατάσταση στην Θεσσαλονίκη κρίνεται ευσταθής βάσει αυτού του δείκτη. Η κίνηση του εξεταζόμενου MCS δεν θα τον επηρεάσει. Τέλος, η πορεία του δείκτη αυτού στην Αθήνα κρίνεται ως αδιάφορη, αφού μόνο για τις 10/07 στις 12Z η τιμή του LI χαρακτηρίζει την ατμόσφαιρα οριακά ασταθή.



Σχήμα 5.8 – Χρονική εξέλιξη του δείκτη LI για το Ηράκλειο, την Θεσσαλονίκη και την Αθήνα για το χρονικό διάστημα 09/07/2019 00Z έως και 11/07/2019 12Z. Τα δεδομένα λήφθηκαν από την βάση δεδομένων ραδιοβολίσεων του University of Wyoming και παρουσιάστηκαν με την χρήση Matlab.

5.6 Χρονικό διάγραμμα εξέλιξης SI

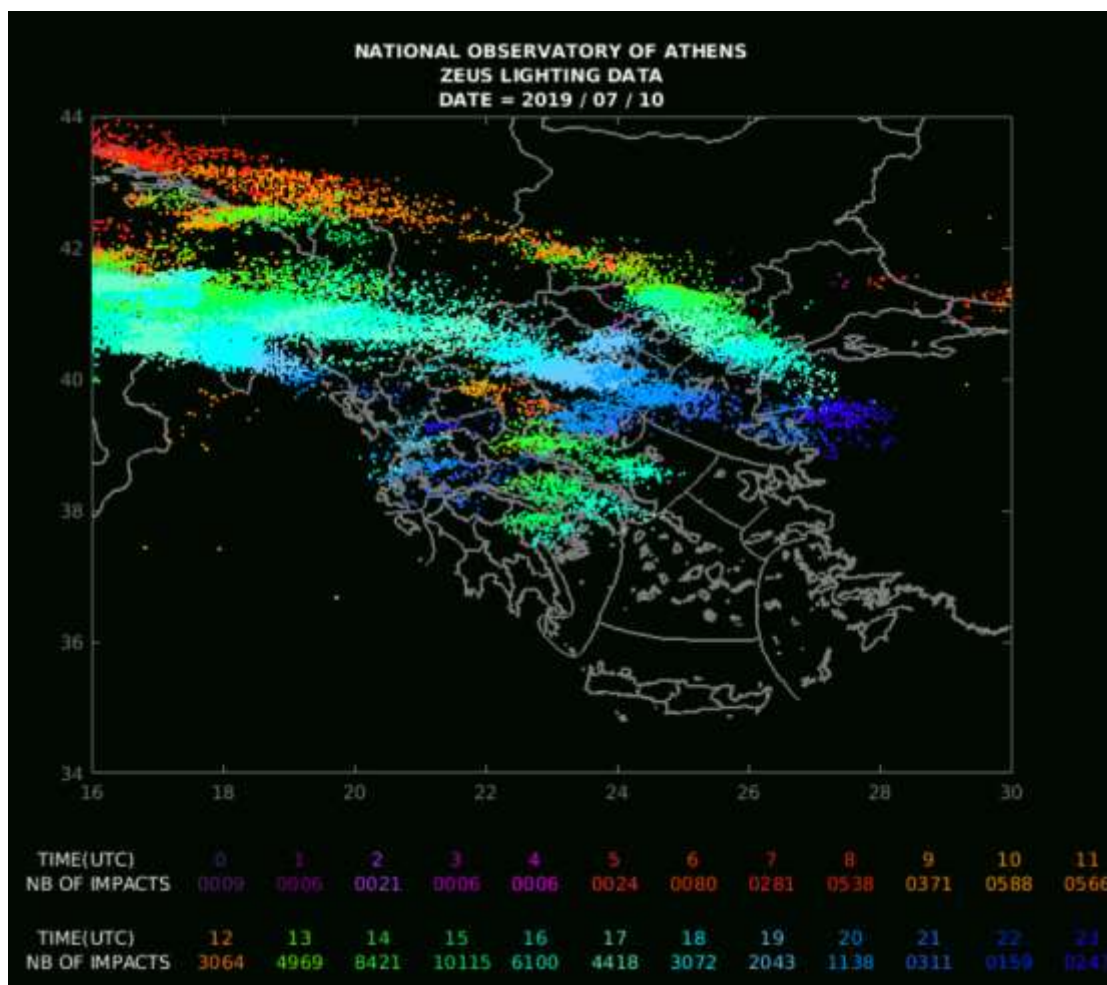
Στο παρακάτω διάγραμμα οι περιπτώσεις της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης ακολουθούν παρόμοια συμπεριφορά. Από τις αρχικές τιμές που λαμβάνει ο δείκτης αντιλαμβανόμαστε ότι υπάρχει η πιθανότητα εκδήλωσης όμβρων. Για την Θεσσαλονίκη παρουσιάζει ένα ελάχιστο στις 10/07 και ώρα 00Z, ενώ για την Αθήνα την ίδια ημέρα αλλά για ώρα 12Z. Ωστόσο και για τις δύο πόλεις οι ελάχιστες τιμές του δείκτη δεν πέφτουν κάτω του μηδενός. Στην συνέχεια ακολουθούν αυξητική πορεία και με το πέρασμα της διαταραχής από την βόρεια Ελλάδα, η κατάσταση της ατμόσφαιρας, βάσει του SI, πάνω από την Θεσσαλονίκη θεωρείται ευσταθής. Επίσης, σύμφωνα με εργασία των M.V. Sioutas και H.A. Flocas ισχυρές καταιγίδες με χαλαζοπτώσεις έχουν δοθεί στον ελλαδικό χώρο για τιμές του δείκτη Showalter από 0,1 έως 3, για την περίοδο 1991-2001. Για την περίπτωσή μας η εξέλιξη του δείκτη στο Ηράκλειο μας αφήνει αδιάφορους, αφού δεν για τις 09/07 και 10/07 στις 00Z, ο δείκτης υποδηλώνει ευσταθή ατμόσφαιρα, ενώ η γενικότερη ροή της διαταραχής, η οποία κινήθηκε νοτιοανατολικά, ίσως επηρέασε τον SI για το Ηράκλειο δίνοντας στις 11/07 και ώρα 00Z πιθανότητα για καταιγίδα, αφού ακολούθησε πτωτική πορεία και πήρε αρνητική τιμή.



Σχήμα 5.9 – Χρονική εξέλιξη του δείκτη CAPE για το Ηράκλειο, την Θεσσαλονίκη και την Αθήνα για το χρονικό διάστημα 09/07/2019 00Z έως και 11/07/2019 12Z. Τα δεδομένα λήφθηκαν από την βάση δεδομένων ραδιοβολίσεων του University of Wyoming και παρουσιάστηκαν με την χρήση Matlab.

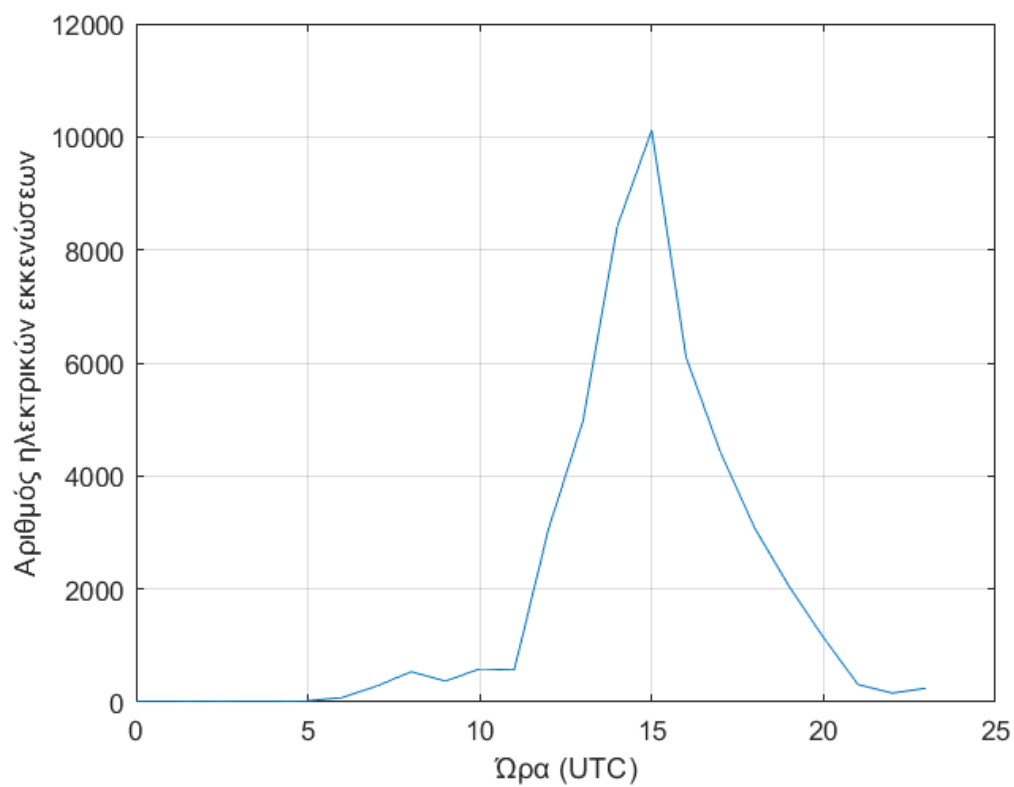
5.7 Ηλεκτρική δραστηριότητα

Η αρκετά έντονη και μεγάλης έκτασης ηλεκτρική δραστηριότητα που αναπτύχθηκε πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας, μαρτυρά την δυναμική της ατμοσφαιρικής διαταραχής που επηρέασε το βόρειο τμήμα της χώρας μας και ιδιαίτερα την περιοχή της Χαλκιδικής. Σύμφωνα με δεδομένα του ΕΑΑ, την 10^η Ιουλίου του 2019 σημειώθηκαν 46553 ηλεκτρικές εκκενώσεις, με τις περισσότερες εξ'αυτών να συνδέονται με το MCS που μελετάται στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 5.10 – Απεικόνιση κεραυνικής δραστηριότητας για τις 10/07/2019 από το σύστημα επίγειας καταγραφής ZEUS του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. (Πηγή: www.noa.gr)

Όσον αφορά την ηλεκτρική δραστηριότητα φαίνεται να αναπτύσσεται σημαντικά περίπου στις 10 UTC, πάνω από τον τόπο γέννησης του συστήματος μας. Κατά την διάρκεια κίνησης του MCS, προς την βόρεια Ελλάδα και με το πέρασμα των ωρών, η ηλεκτρική δραστηριότητα αυξάνεται γρήγορα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μέγιστο αριθμό ηλεκτρικών εκκενώσεων στις 15 UTC. Στην συνέχεια, καθώς το χαμηλό βαρομετρικό κινείται προς την περιοχή ενδιαφέροντος μας, οι ηλεκτρικές εκκενώσεις αρχίζουν να μειώνονται, ωστόσο θα παρατηρήσουμε από την εικόνα καταγραφής της κεραυνικής δραστηριότητας ότι κατά την έναρξη των φαινομένων στην Χαλκιδική, λίγο μετά τις 18 UTC, η περιοχή έχει κατακλυστεί από ηλεκτρικές εκκενώσεις, εκ των οποίων σχεδόν όσες καταγράφονται συνέβησαν στην περιοχή ενδιαφέροντός μας.



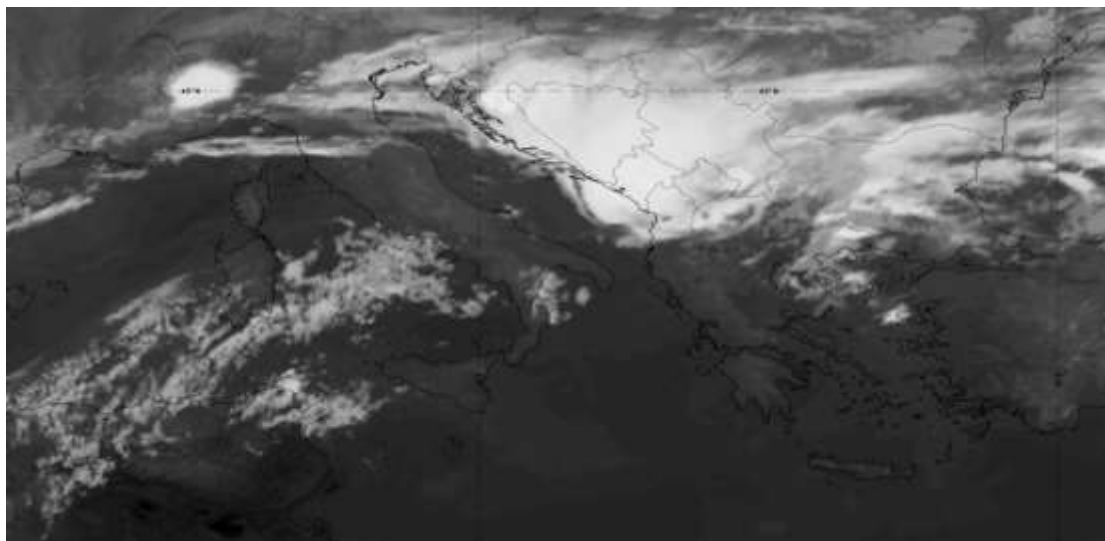
Σχήμα 5.11 – Διάγραμμα απεικόνισης του πλήθους των ηλεκτρικών εκκενώσεων ανά ώρα. Τα δεδομένα του σχήματος 5.10 οπτικοποιήθηκαν σε Matlab.

6. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

6.1 Κανάλι 9 – IR 10.8 μm

Στο κανάλι 9 του θερμικού υπερύθρου απεικονίζονται οι θερμοκρασίες των κορυφών των νεφικών συστημάτων. Με σκούρες αποχρώσεις του γκριζου εμφανίζονται τα χαμηλά νέφη τα οποία λαμβάνουν και χαμηλές τιμές θερμοκρασίας. Αντίθετα, τα υψηλά νέφη εμφανίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις του γκριζου (λευκό χρώμα). Σε περίπτωση που οι κορυφές των νεφών εμφανίσουν θερμοκρασία μικρότερη των -33°C αποκτούν στην εικόνα χρωματική διαβάθμιση.

Στις 21 UTC της 9^{ης} Ιουλίου παρατηρείται, στις δυτικές ακτές των Βαλκανίων, ένα σύμπλεγμα πολυκυτταρικών καταιγίδων που επηρεάζει έντονα τις χώρες του Μαυροβουνίου και της Κροατίας, με τις κορυφές των νεφών να εμφανίζουν θερμοκρασίες μικρότερες των -63°C . Τα μεσαία νέφη που αποτυπώνονται νοτιοδυτικά της Ιταλίας, ακολουθούν βορειοανατολική κίνηση εξαιτίας της ridge που καλύπτει την περιοχή της κεντρικής Μεσογείου και μέχρι τις 03 UTC της 10^{ης} Ιουλίου έχουν βρεθεί πάνω από την Ιταλία, περισσότερο ανεπτυγμένα αφού διάσπαρτες κορυφές έχουν θερμοκρασίες μικρότερες των -33°C , ενώ κάποιοι πυρήνες κατακόρυφης ανάπτυξης πάνω από την περιοχή της Ρώμης, παρουσιάζουν κορυφές με θερμοκρασίες μικρότερες των -43°C .

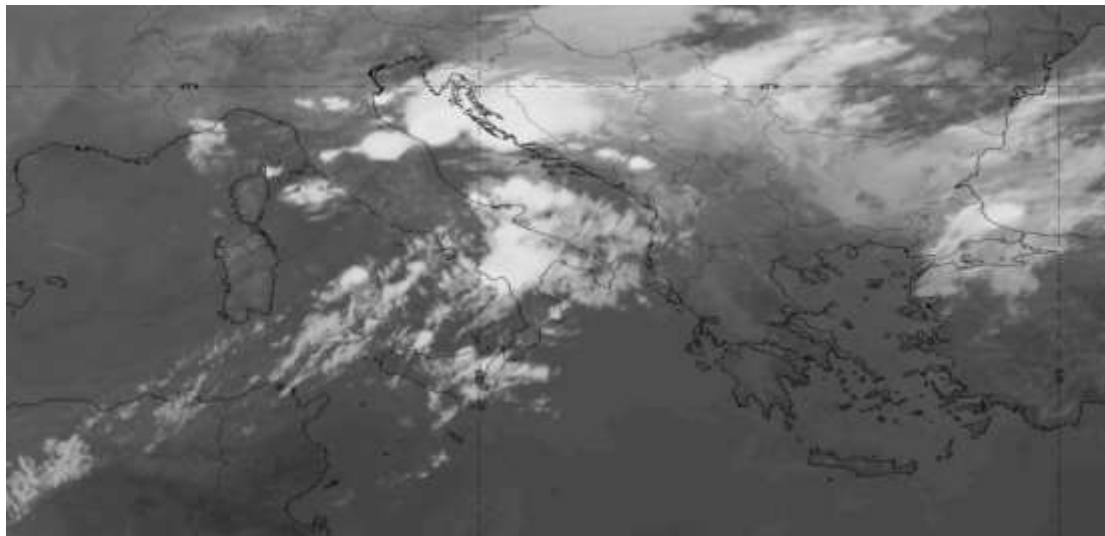


Σχήμα 6.1 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 21 UTC 09/07/2019



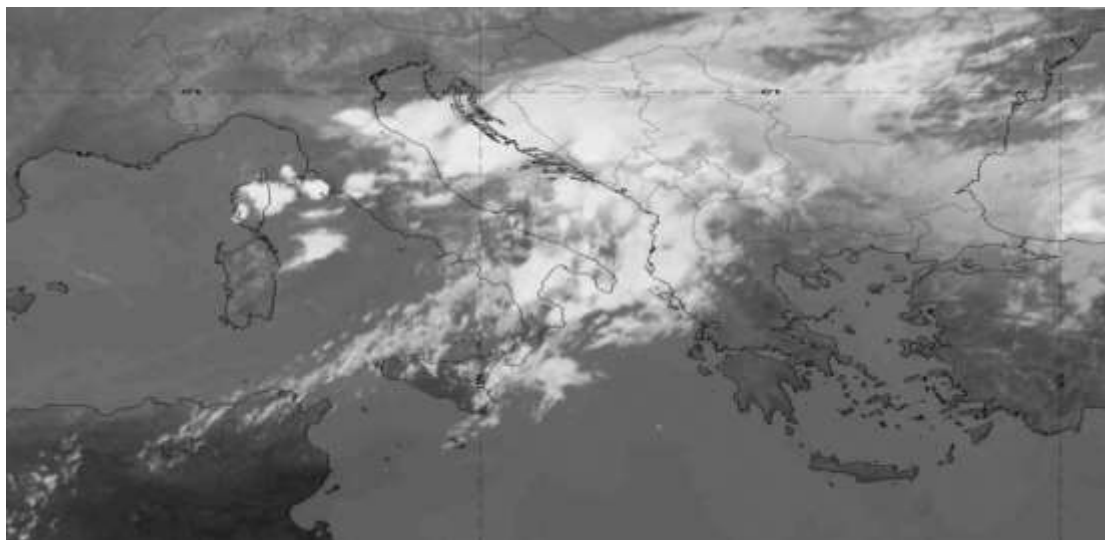
Σχήμα 6.2 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 03 UTC 10/07/2019

Στις 06 UTC της 10^{ης} Ιουλίου, τα νέφη που έχουν αναπτυχθεί πάνω από την νότια Ιταλία και της δαλματικές ακτές έχουν αποκτήσει ανοιχτούς τόνους του γκριζου, ενώ από την ενισχυμένη εικόνα στο κανάλι του θερμικού υπερύθρου παρατηρούμε ότι οι θερμοκρασίες των κορυφών είναι μικρότερες των -53°C .

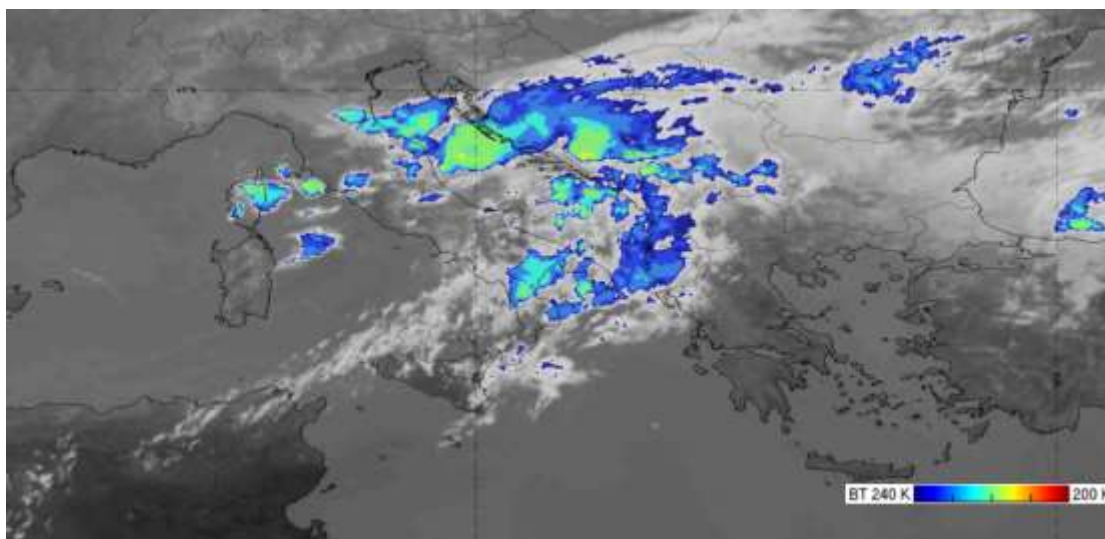


Σχήμα 6.3 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 06 UTC 10/07/2019

Εξαιτίας της ορογραφίας και της υψηλής θερμοκρασίας της αδριατικής θάλασσας, στις 09 UTC της 10^{ης} Ιουλίου τα νέφη έχουν αποκτήσει αρκετά σημαντικό ύψος, όπως φαίνεται από το έντονα λευκό χρώμα που απεικονίζεται στις εικόνες του καναλιού 9, δημιουργώντας στην ευρύτερη περιοχή της αδριατικής ένα σύμπλεγμα πολυκυτταρικών καταιγίδων. Σ' αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης πάνω από την Κορσική και ανατολικά αυτής, με ελάχιστες θερμοκρασίες στις κορυφές τους τους -53°C , τα οποία ταυτίζονται με την trough στα 500 hPa.

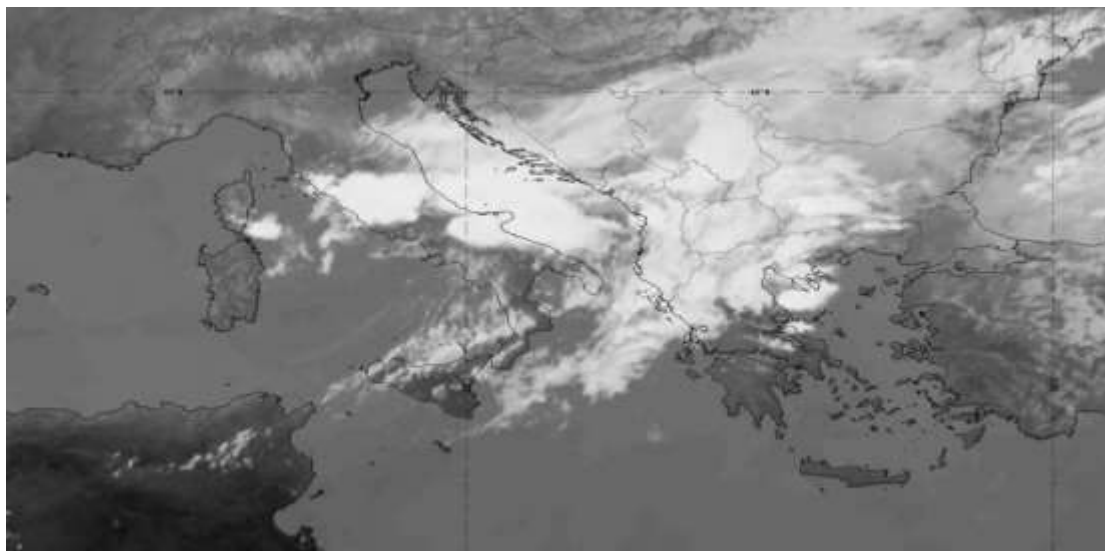


Σχήμα 6.4– Δορυφορική εικόνα στο IR στις 09 UTC 10/07/2019

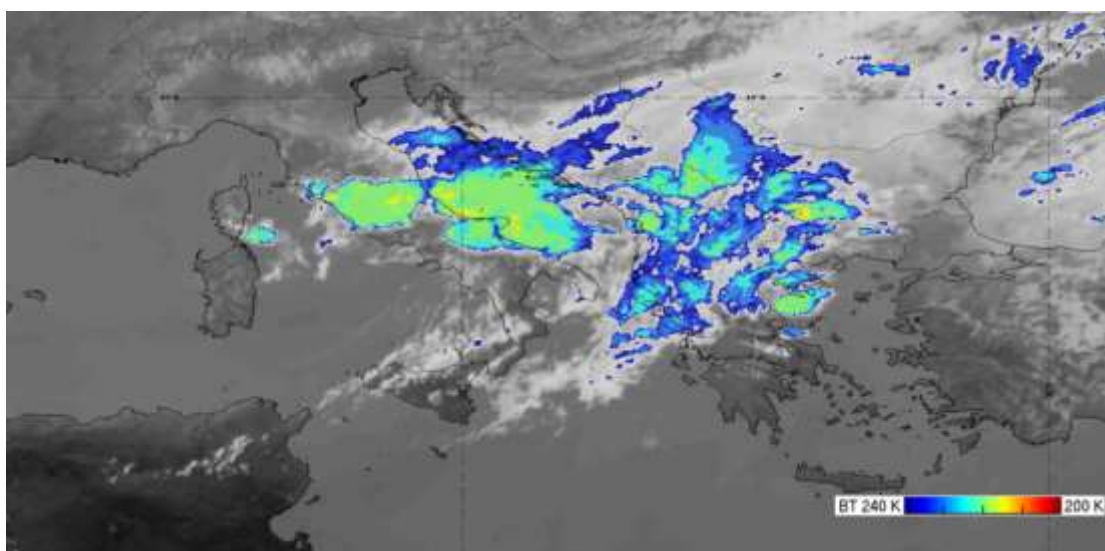


Σχήμα 6.5 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 09 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Ενδιαφέρουσα είναι η απεικόνιση της δορυφορικής λήψης στις 10 Ιουλίου και ώρα 12 UTC. Στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα και βόρεια της Ελλάδας απεικονίζονται διάφορα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης με ανοιχτούς τόνους του γκριζου. Ωστόσο, αυτό που αξίζει να παρατηρηθεί στην φωτογραφία αυτή είναι το MCS που έχει αναπτυχθεί και έχει οργανωθεί πάνω από την αδριατική θάλασσα, με αρκετά μεγάλη έκταση, το οποίο φαίνεται στο σύνολό του με φωτεινές αποχρώσεις, καθώς επίσης και το MCS που έχει οργανωθεί πάνω από την κεντρική Ιταλία, με μικρότερη έκταση σε σχέση με το πρώτο, το οποίο έχει και αυτό ανοιχτούς τόνους του γκριζου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι και τα δύο έχουν σχετικά ελλειψοειδές σχήμα και από την χρωματική απεικόνιση παρουσιάζουν κορυφές, σε διάφορα σημεία, με θερμοκρασίες μικρότερες των -55°C .

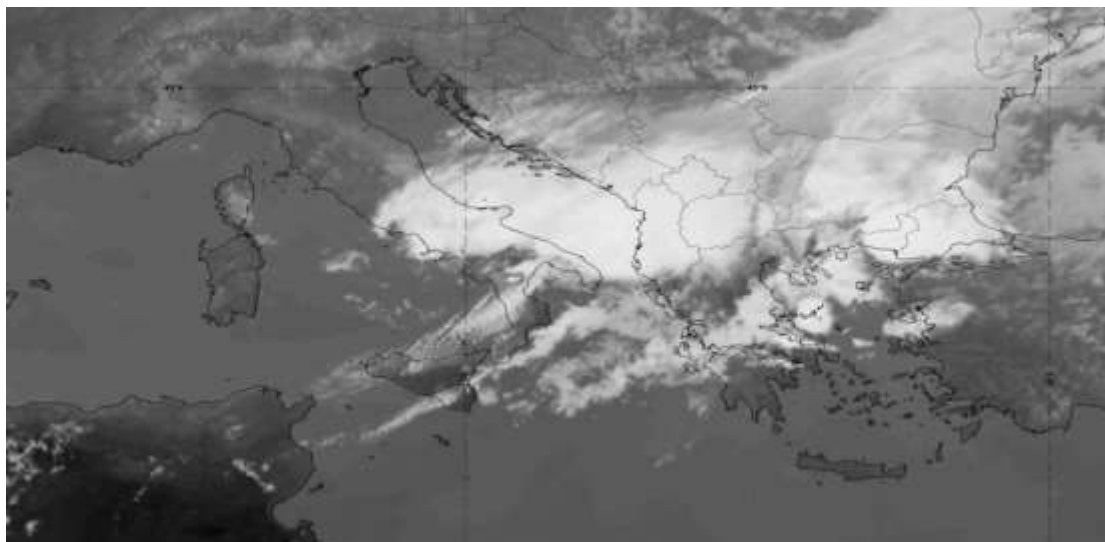


Σχήμα 6.6 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 12 UTC 10/07/2019

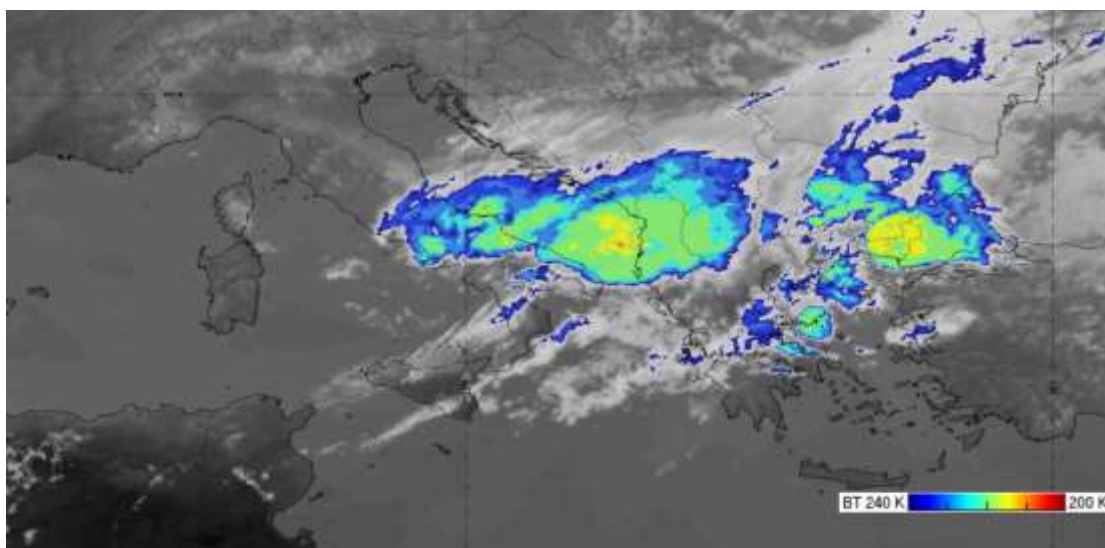


Σχήμα 6.7 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 12 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στις 15 UTC το MCS μελέτης μας κινείται νοτιοανατολικά και ευρισκόμενο βόρεια της Ελλάδας, πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Αλβανίας φαίνεται να οργανώνεται περισσότερο, να αποκτά πιο καθαρό ελλειψοειδές σχήμα και να παρουσιάζει πιο φωτεινές αποχρώσεις. Το κέντρο του που βρίσκεται πάνω από τις ακτές της Αλβανίας και δυτικά αυτών, βάσει της χρωματικής απεικόνισης λαμβάνουν κόκκινο χρώμα, το οποίο υποδηλώνει θερμοκρασίες μικρότερες των -63°C .

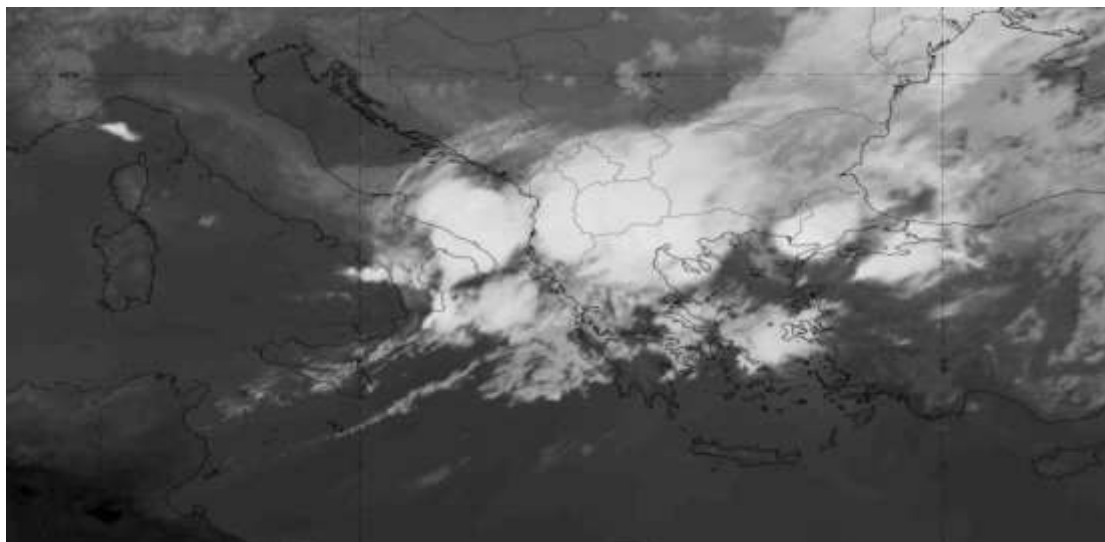


Σχήμα 6.8 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 15 UTC 10/07/2019

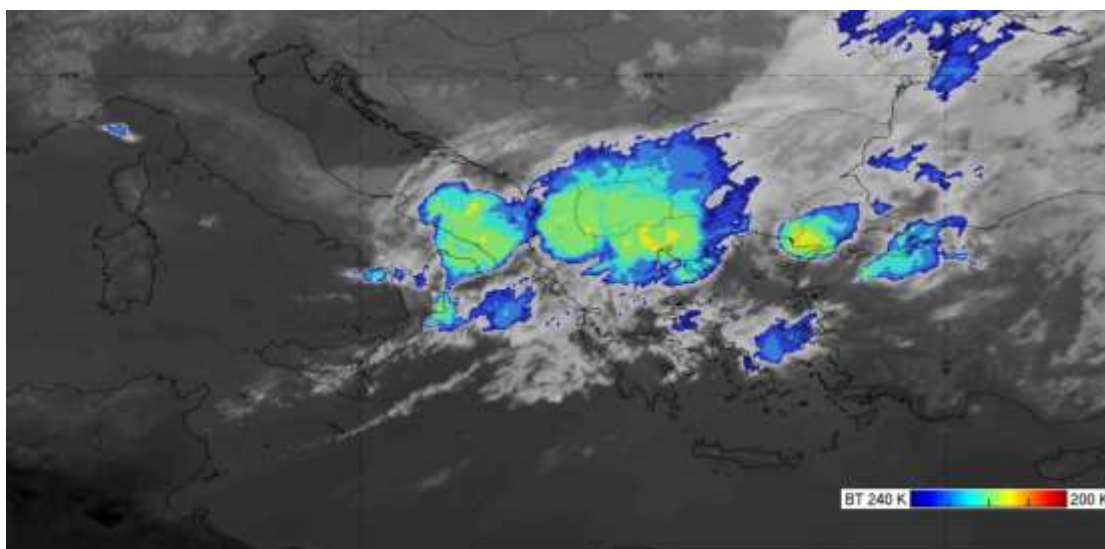


Σχήμα 6.9 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 15 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στην συνέχεια κινούμενο νοτιοανατολικά, θα συνεχίσει την πορεία του προς την περιοχή της Χαλκιδικής. Στις 18 UTC φαίνεται να διατηρεί το ελλειψοειδές σχήμα του, ενώ παρατηρούνται αρκετά ανοιχτοί τόνοι του γκριζου. Το κέντρο του MCS παρατηρείται πάνω από την περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας και η χρωματική διαβάθμιση δίνει ελάχιστη θερμοκρασία στην κορυφή του καταιγιδοφόρου συστήματος μικρότερη των -55°C , με εξαίρεση μια κορύφη που παρουσιάζει overshooting πάνω από την Θεσσαλονίκη με θερμοκρασία περί τους -63°C . Το δεύτερο MCS που ακολουθεί και βρίσκεται στην περιοχή της αδριατικής θάλασσας οργανώνεται και αποκτά ξανά δυναμική, σε σχέση με την εικόνα στις 15 UTC, γίνεται σχετικά κυκλικό όσον αφορά το σχήμα του και οι θερμοκρασίες στις κορυφές του νέφους αυτού μειώνονται και ξεπερνούν τους -55°C .

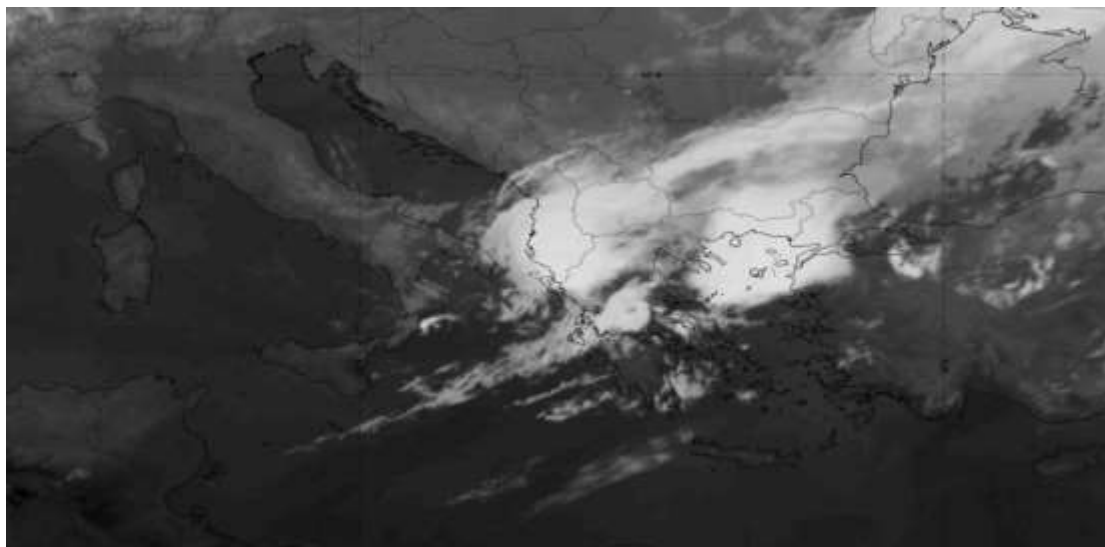


Σχήμα 6.10 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 18 UTC 10/07/2019

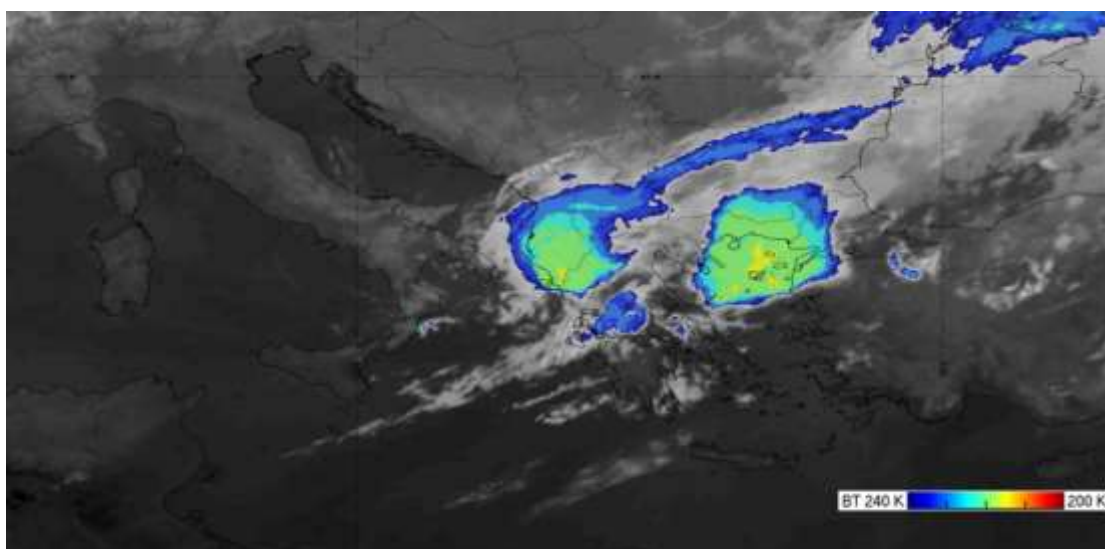


Σχήμα 6.11 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 18 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Μετά το πέρασμα του από την περιοχή της Χαλκιδικής, αφήνοντας μεγάλα ποσά νετού και συνεχίζοντας την κίνησή του θα επηρεάσει τα νησιά του ΒΑ Αιγαίου στις 21 UTC της 10^{ης} Ιουλίου. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται αρκετά ενεργοί πυρήνες πάνω από τα νησιά της Λήμνου και της Σαμοθράκης βάσει της χρωματικής απεικόνισης. Το δεύτερο MCS που βρίσκεται εκείνη την στιγμή πάνω από την νότια περιοχή της Αλβανίας θα επηρεάσει αργότερα την περιοχή ενδιαφέροντός μας, με αρκετά ασθενέστερα φαινόμενα.

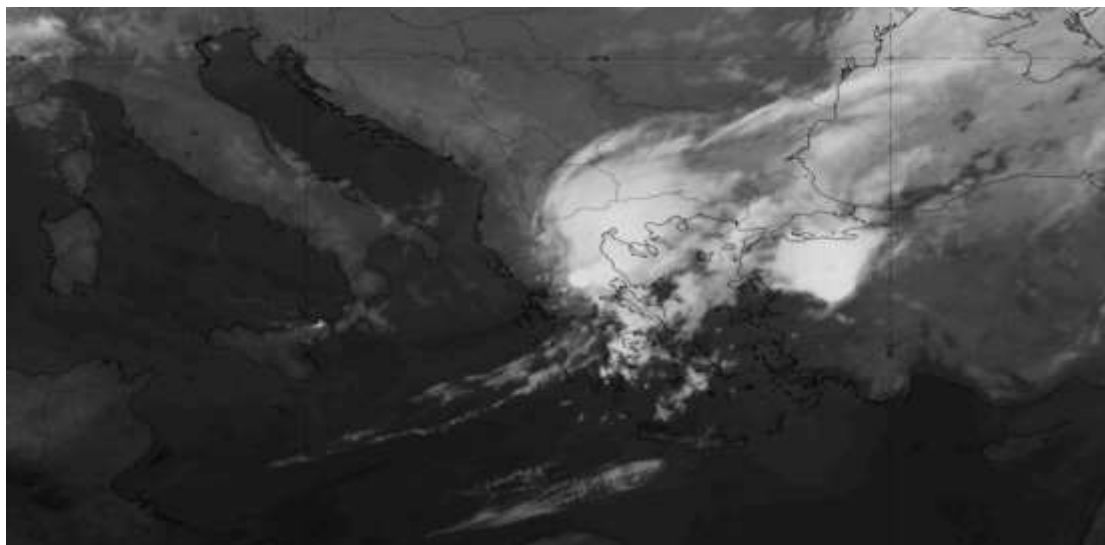


Σχήμα 6.12 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 21 UTC 10/07/2019

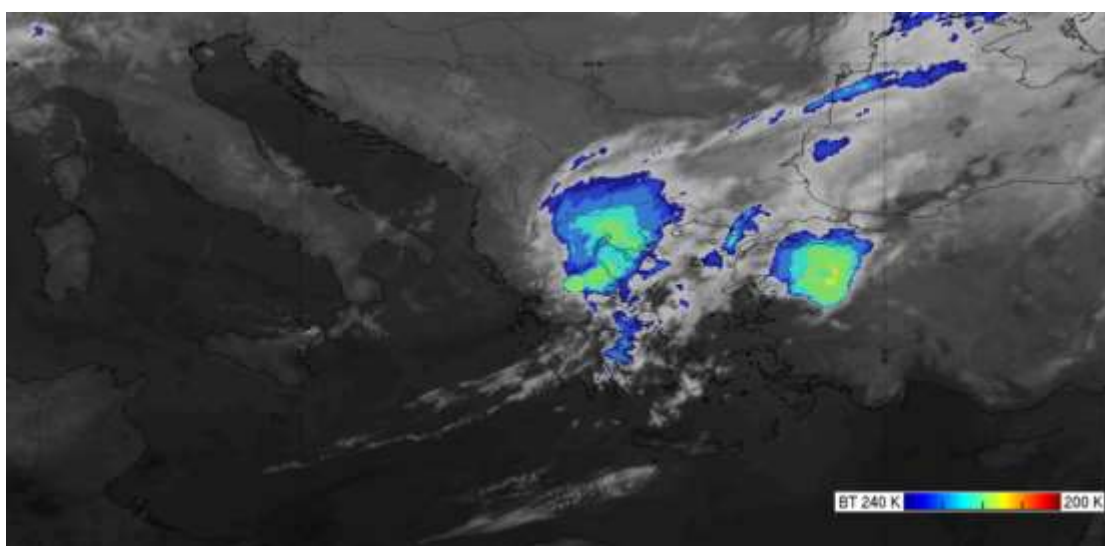


Σχήμα 6.13 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 21 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στις 00 UTC της 11^{ης} Ιουλίου, το MCS που μελετάμε βρίσκεται πάνω από την Τουρκία, εμφανώς σε διαδικασία διάλυσης αφού έχει χάσει μεγάλο μέρος της έκτασής του. Παρατηρούμε ότι οι κορυφές του νέφους έχουν χάσει σημαντικό ύψος, με βάση την χρωματική διαβάθμιση. Παρόμοια κατάσταση επικρατεί με το νεφικό σύστημα πάνω από την περιοχή της Χαλκιδικής εκείνη την χρονική στιγμή, καθώς βρίσκεται και αυτό σε φάση διάλυσης. Αυτή η διαδικασία υποδηλώνεται από την απώλεια του κυκλικού σχηματισμού του, ενώ μερικές κορυφές του ξεπερνούν οριακά τους -53°C .

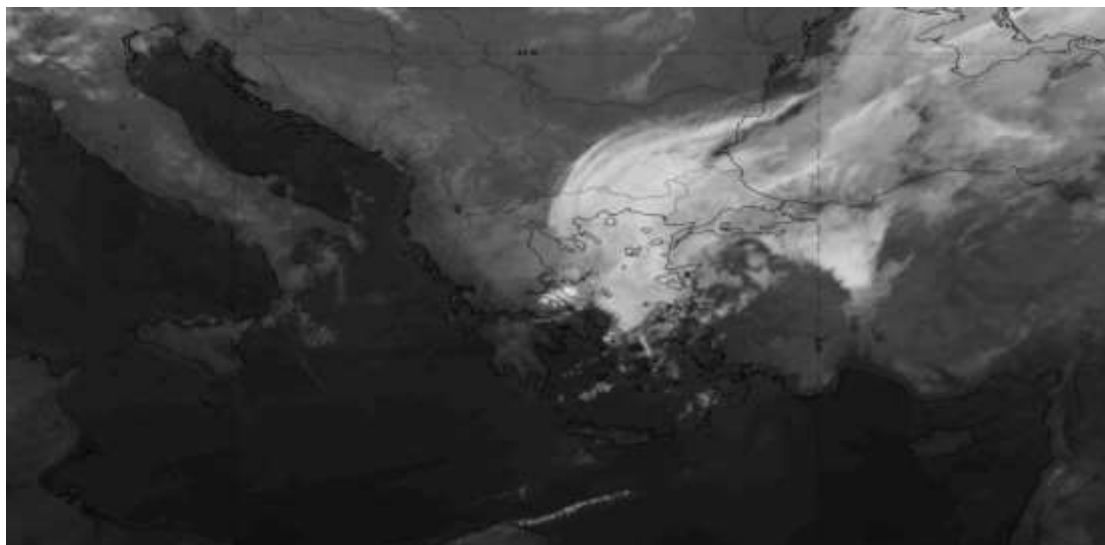


Σχήμα 6.14 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 00 UTC 11/07/2019



Σχήμα 6.15 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 00 UTC 11/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στις 03 UTC της 11^{ης} Ιουλίου φαίνεται ξεκάθαρα το πέρασμα και αυτού του νεφικού συστήματος το οποίο κινήθηκε στην συνέχεια βορειοανατολικά και διαλύθηκε πάνω από την Θράκη. Στην περιοχή της Χαλκιδικής δεν διαφαίνεται κάποια ανάπτυξη νεφικού σχηματισμού που θα μπορούσε να απασχολήσει για έντονα καιρικά φαινόμενα.

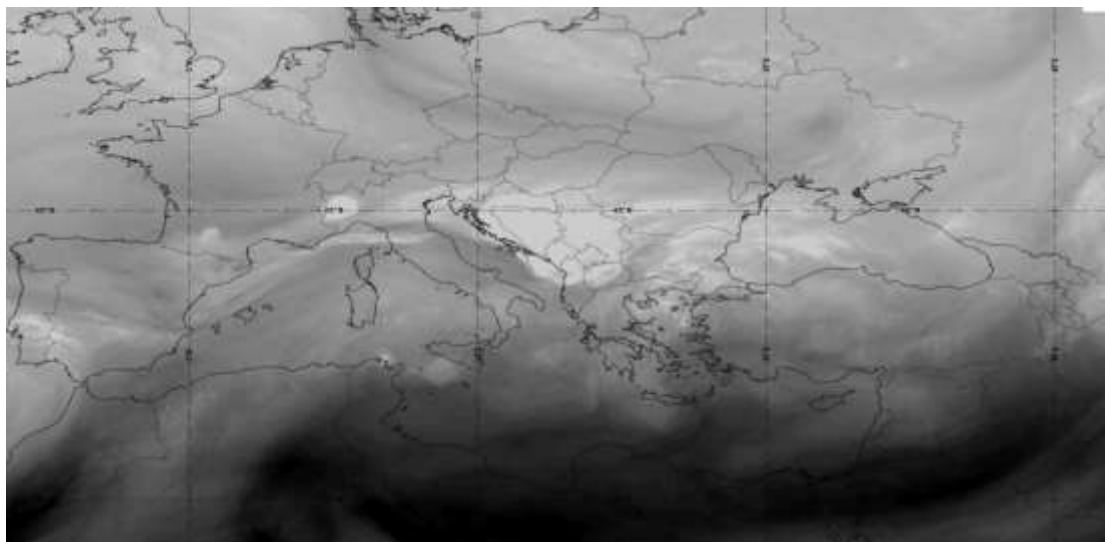


Σχήμα 6.16 – Δορυφορική εικόνα στο IR στις 03 UTC 11/07/2019

6.2 Κανάλι υδρατμών (WV) – 6.2 μ m

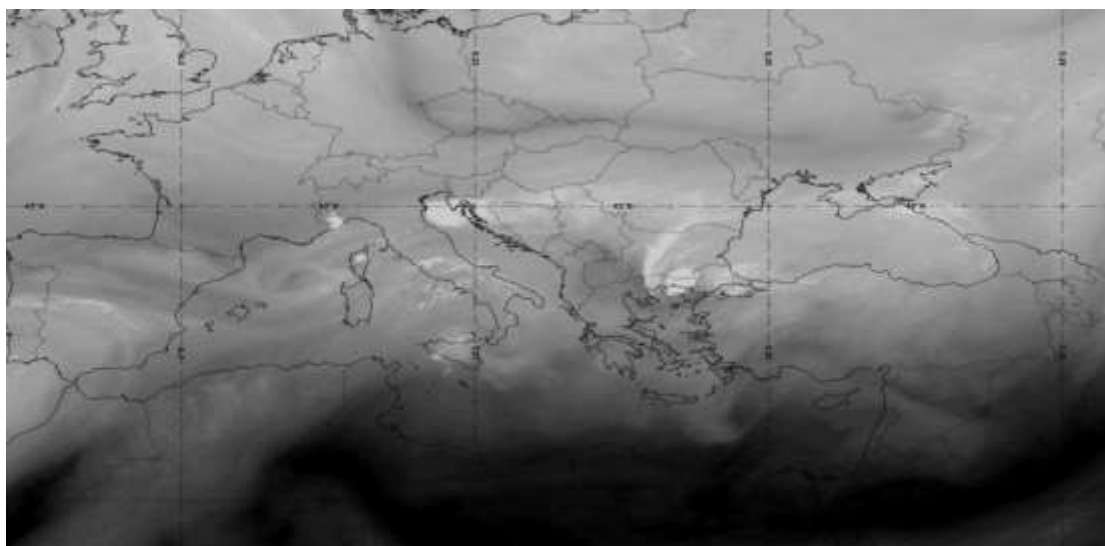
Στο κανάλι 5 των υδρατμών, στα 6.2 μ m, αποδίδονται τα ποσά της υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα. Όσον αφορά το συγκεκριμένο κανάλι οι ανοιχτοί τόνοι του γκρι υποδηλώνουν μεγάλα ποσά υγρασίας, ενώ αντίθετα οι περιοχές με χαμηλή υγρασία, σ'αυτά τα επίπεδα θα αποτυπώνονται με σκούρες αποχρώσεις. Επίσης, στο κανάλι αυτό μπορεί να προσδιορισθεί η ακριβής θέση του αεροχειμμάρου, καθώς επίσης και τα μέγιστα του στροβιλισμού.

Στην εικόνα των 21 UTC της 9^{ης} Ιουλίου διακρίνεται βόρεια της Ελλάδας μία ζώνη με υψηλά ποσά υγρασίας που εκτείνεται από την βόρεια Ιταλία έως και την Μαύρη Θάλασσα, ενώ νότια διακρίνεται μία ακαθόριστη μάζα με χαμηλή υγρασία στα ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας που καταλαμβάνει την ΒΑ Αφρική καθώς και ένα τμήμα της Μεσογείου. Ο πολικός αεροχειμμάρος διαγράφεται ως μια λεπτή καμπύλη ζώνη που ξεκινά από τις Κάτω Χώρες, διασχίζει την κεντρική Ευρώπη και συνεχίζει την πορεία του προς την Ρωσία. Παράλληλα, εντοπίζεται και ο υποτροπικός αεροχειμμάρος εκτεινόμενος από τις Βαlearίδες Νήσους και διασχίζοντας την κεντρική Ιταλία και την περιοχή βόρεια της Ελλάδας. Σύμφωνα με τους P.Santurette και C.G.Georgien το ρεύμα του αεροχειμμάρου αποτυπώνεται σε λεπτές γραμμές όπου οι σκοτεινές και φωτεινές αποχρώσεις παρουσιάζουν βαθμίδα, υπόκεινται δηλαδή σε απότομες μεταβάσεις.



Σχήμα 6.17 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 21 UTC 09/07/2019

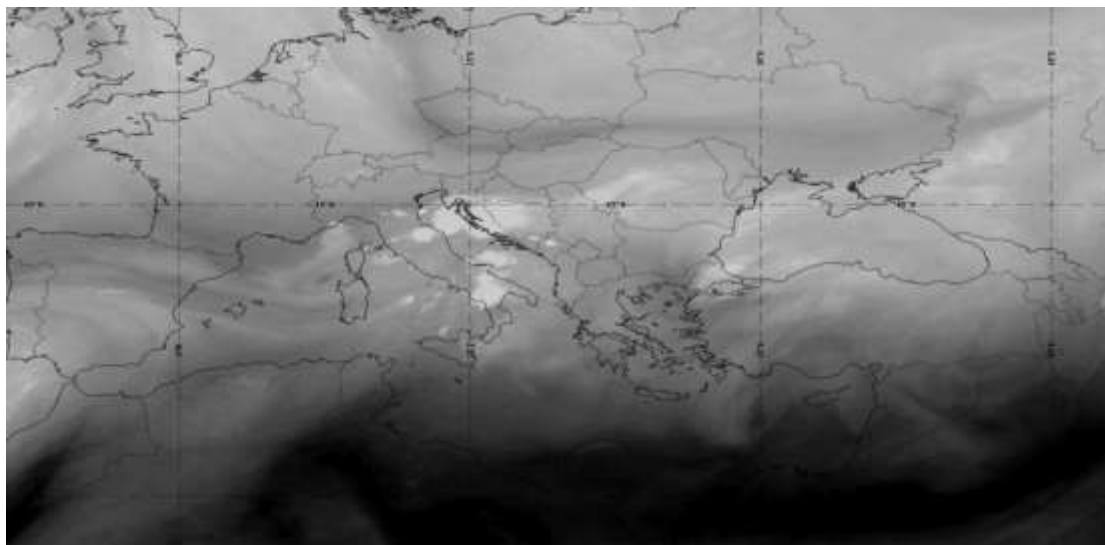
Στις 03 UTC της 10^{ης} Ιουλίου παρατηρούμε ότι ο αεροχέιμμαρος διατηρεί την πορεία του, ωστόσο η θέση του έχει μετατοπιστεί ελάχιστα προς τα ανατολικά. Η ακαθόριστη μάζα χαμηλής υγρασίας συνεχίζει να διατηρεί την θέση της, ενώ τα μεγάλα ποσά υγρασίας βόρεια της Ελλάδας έχουν σταματήσει να υφίστανται, σε σχέση με την εικόνα στις 21 UTC της 9^{ης} Ιουλίου. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί μία κυκλική αέρια μάζα στην βόρεια Αδριατική θάλασσα η οποία αποτυπώνεται με πολύ ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι.



Σχήμα 6.18 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 03 UTC 10/07/2019

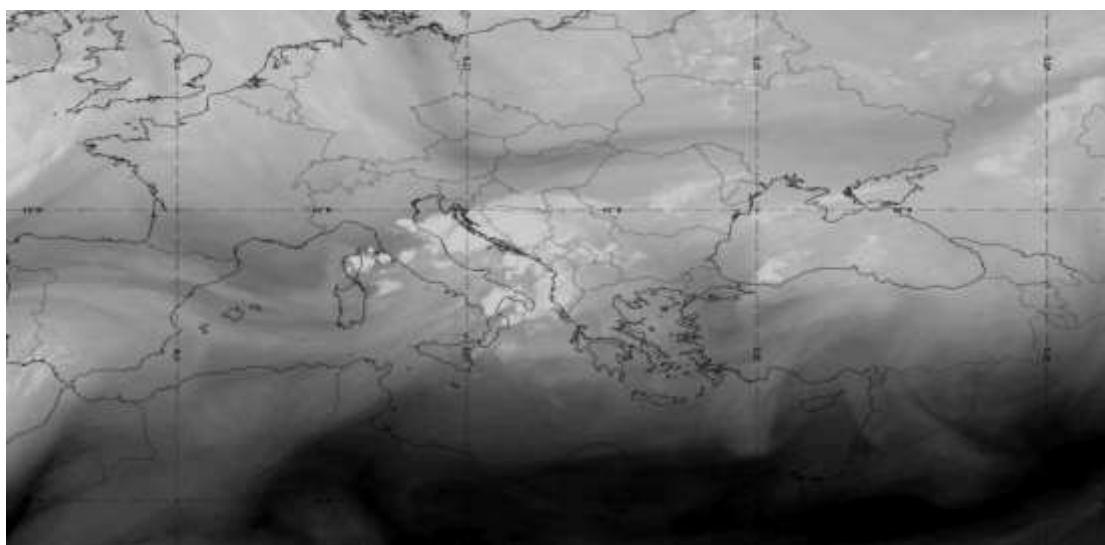
Στην επόμενη δορυφορική εικόνα στις 06 UTC της 10^{ης} Ιουλίου απεικονίζονται υψηλά ποσά υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα στην ευρύτερη περιοχή της Αδριατικής Θάλασσας. Στην ΒΑ Αφρική και σε ορισμένο κομμάτι της Ανατολικής Μεσογείου, η κατάσταση στην ανώτερη τροπόσφαιρα εξακολουθεί να είναι ξηρή. Ο

πολικός αεροχέιμμαρος έχει μετατοπιστεί ελαφρώς προς τα ανατολικά, διατηρώντας το γεωγραφικό του πλάτος, ενώ ο υποτροπικός αεροχέιμμαρος φαίνεται να εκτείνεται από την Σαρδηνία μέχρι την Βουλγαρία.



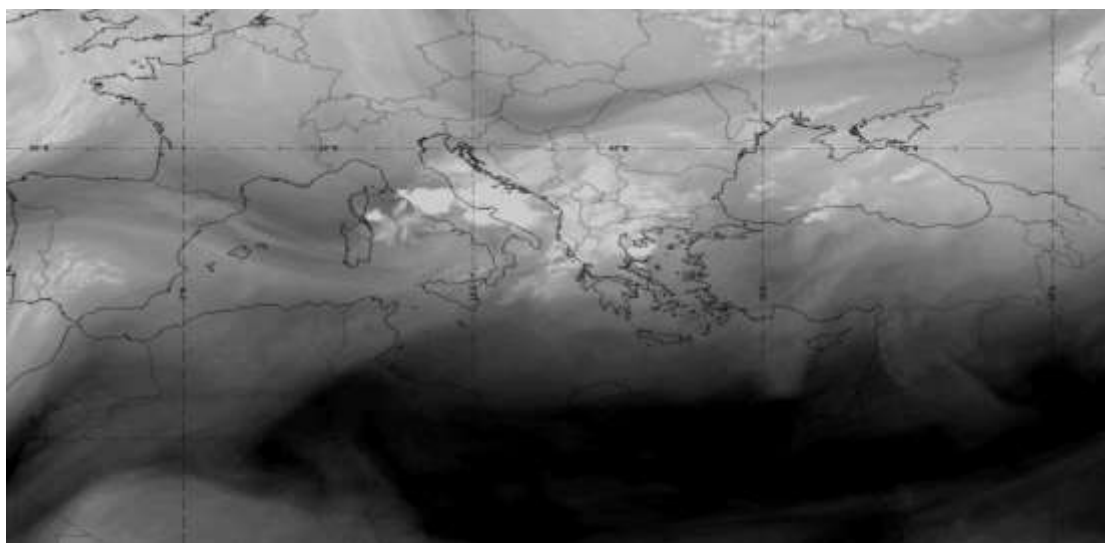
Σχήμα 6.19 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 06 UTC 10/07/2019

Στις 09 UTC της 10^{ης} Ιουλίου στην δορυφορική λήψη φαίνεται να δημιουργείται ένα σύμπλεγμα πολυκυτταρικών καταιγίδων αφού, στις παράκτιες περιοχές των δυτικών Βαλκανίων και στην Αδριατική Θάλασσα, αποτυπώνονται κυκλικές εστίες ή και μεγάλες αέριες μάζες με υψηλά ποσά υγρασίας με ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι, δείγμα της ύπαρξης νεφών ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης. Επίσης, αξίζει να σημειωθούν ορισμένες κυκλικές εστίες φωτεινών αποχρώσεων πάνω από την Κορσική και ανατολικά αυτής. Η είσοδος του πολικού αεροχέιμματος διακρίνεται πάνω από τις χώρες της Ουγγαρίας, Σλοβενίας και Βοσνίας-Ερζεγοβίνης.



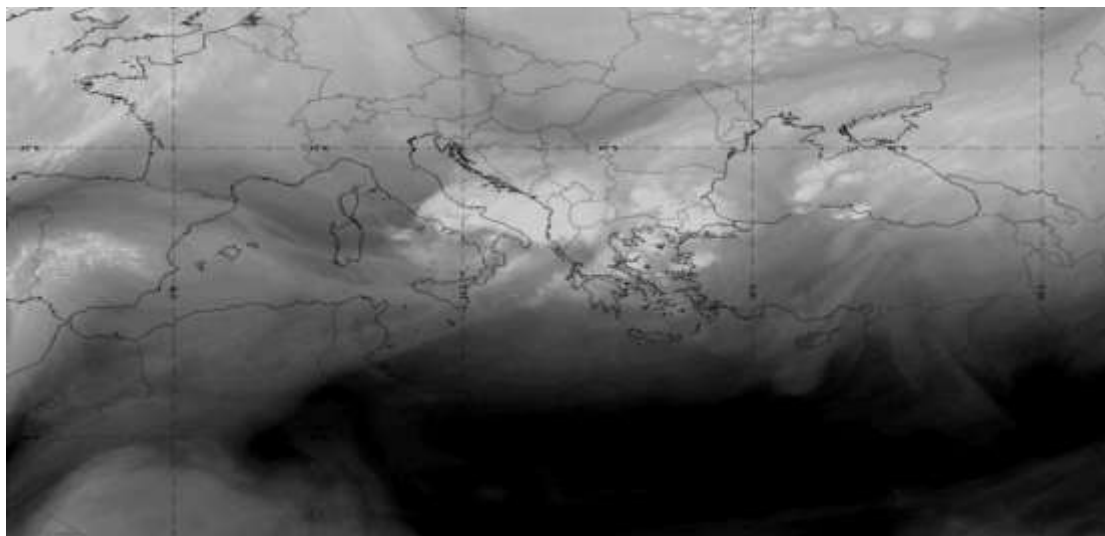
Σχήμα 6.20 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 09 UTC 10/07/2019

Στις 12 της 10^{ης} Ιουλίου παρατηρείται αύξηση της υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα. Ανοιχτοί τόνοι του γκρίζου έχουν κατακλύσει το βόρειο τμήμα της καθώς επίσης και την ευρύτερη περιοχή της βαλκανικής χερσονήσου. Ωστόσο οι πιο φωτεινές αποχρώσεις βρίσκονται στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας, όπως και στην Αδριατική Θάλασσα. Παρατηρούνται σημαντικά ποσά υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα, ένας αρκετά συμπαγής και ομοιόμορφος σχετικά κυκλικός σχηματισμός, δείγματα που υποδηλώνουν νέφη ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης. Αυτοί οι σχηματισμοί ευρίσκονται στην αριστερή πλευρά του πολικού αεροχειμμάρου του οποίου η είσοδος διατηρείται πάνω από τις Κροατία, Σλοβενία και Βοσνία-Ερζεγοβίνη. Εκτός από τα παραπάνω, οι καταιγιδοφόροι πυρήνες που δημιουργούνται συμπίπτουν με την trough στα 300 hPa. Τέλος, η έντονη ξηρότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σ' αυτά τα επίπεδα παραμένει πάνω από την ΒΑ Αφρική.



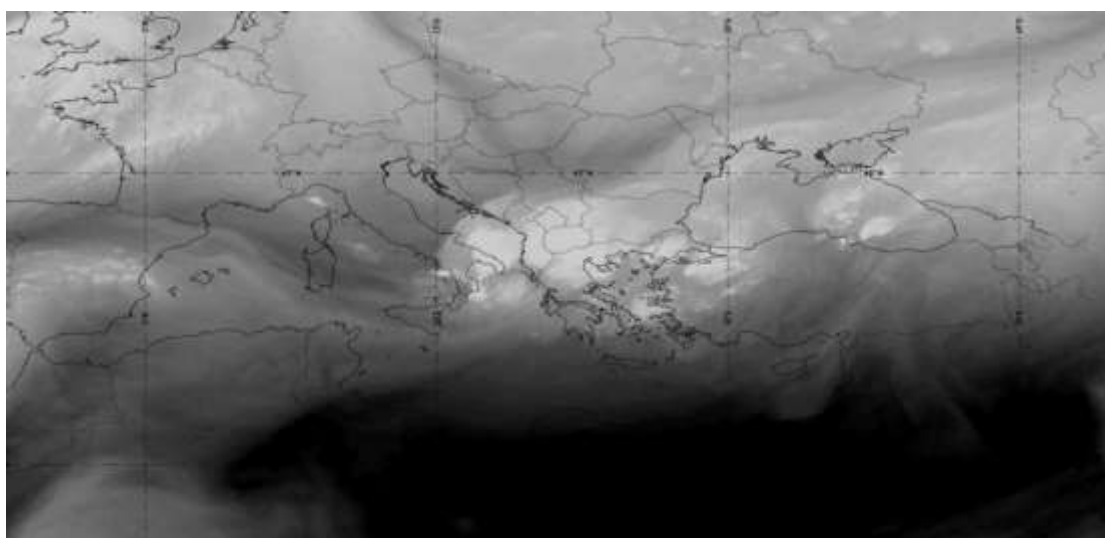
Σχήμα 6.21 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 12 UTC 10/07/2019

Στις 15 UTC, την 10^η Ιουλίου, το νεφικό σύστημα, εξαιτίας της γενικής κυκλοφορίας, κινείται νοτιοανατολικά. Συνεχίζει να διατηρεί τις πολύ ανοιχτές αποχρώσεις του γκρίζου. Το MCS που έχει δημιουργηθεί, βρίσκεται στην δεξιά πλευρά της trough στα 300 hPa, ένδειξη ισχυρής βαροκλικότητας. Η θέση του αεροχειμμάρου σ' αυτό το ύψος ευνοεί την απόκλιση των ανέμων που συνδέεται με ανοδικές κινήσεις στην επιφάνεια και επομένως με την διατήρηση του MCS.



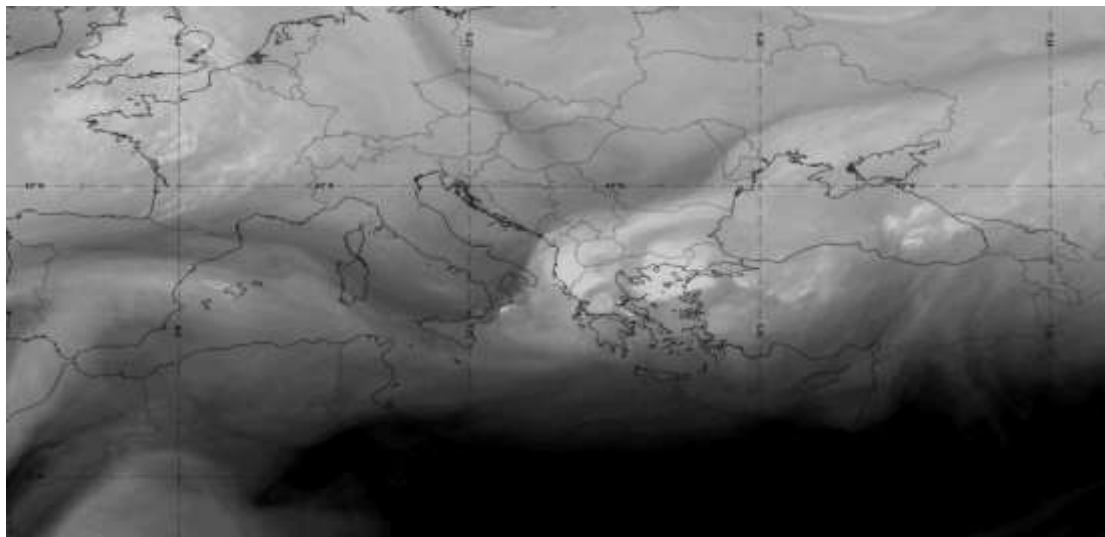
Σχήμα 6.22 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 15 UTC 10/07/2019

Κινούμενο εξαιρετικά γρήγορα το MCS διασχίζει το βόρειο μέρος της Ελλάδας και των γειτονικών της χωρών και στις 18 UTC βρίσκεται πλέον πάνω από την περιοχή της Χαλκιδικής με πολύ φωτεινές αποχρώσεις. Ωστόσο, ο συμπαγής νεφικός σχηματισμός διαφαίνεται να έχει «σπάσει» σε δύο καταιγιδοφόρους πυρήνες, με μεγαλύτερο αυτόν που βρίσκεται πάνω από την Μακεδονία, ο οποίος έχει μεγάλη έκταση, υψηλά ποσά υγρασίας και σχεδόν τέλειο κυκλικό σχήμα και έναν δεύτερο, δυτικά της Αλβανίας, αρκετά μικρότερο σε σχέση με τον πρώτο, αλλά με παρόμοιο σχήμα, ο οποίος παρουσιάζει πολύ ανοιχτές αποχρώσεις του γκριζου. Η κατάσταση και θέση του αεροχειμμάρου σ' αυτή την περίπτωση διατηρείται ΒΑ του νεφικού σχηματισμού.



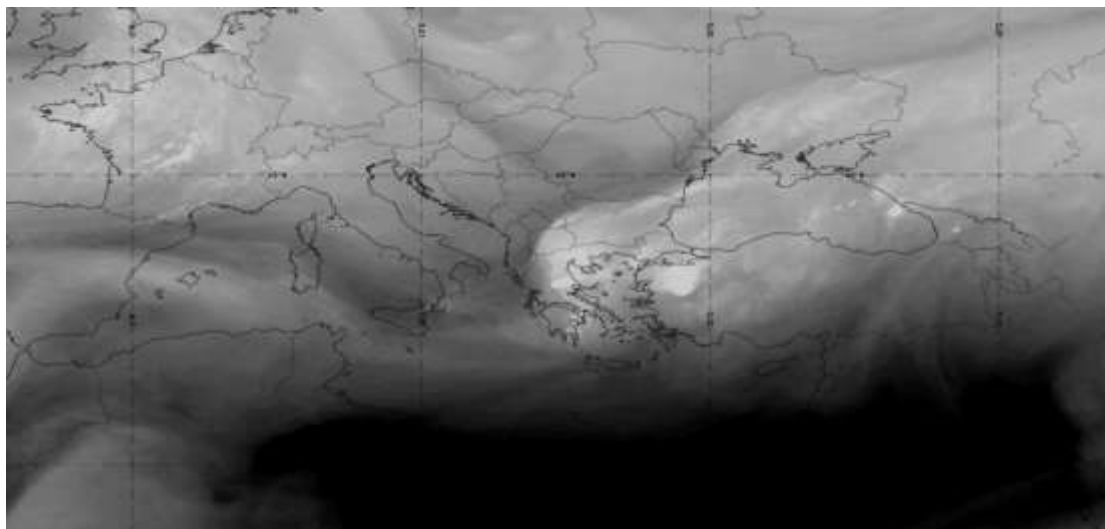
Σχήμα 6.23 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 18 UTC 10/07/2019

Στις 21 UTC της 10^{ης} Ιουλίου, έχει διασχίσει την περιοχή ενδιαφέροντός μας και βρίσκεται στο ΒΑ Αιγαίο, διατηρώντας τις φωτεινές αποχρώσεις του στο κανάλι των υδρατμών και το σχεδόν κυκλικό του σχήμα. Το δεύτερο MCS που ακολουθεί, καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της Αλβανίας και ένα μέρος της ΒΔ Ελλάδας. Όμως, ήδη διαφαίνεται να βρίσκεται σε αποδρομή αφού συναντά χερσαίες επιφάνειες και δείχνει να χάνει την δυναμική του αφού το έντονα κυκλικό του σχήμα αρχίζει να χάνεται και οι φωτεινές αποχρώσεις που είχε να περιορίζονται σε μικρότερη έκταση.

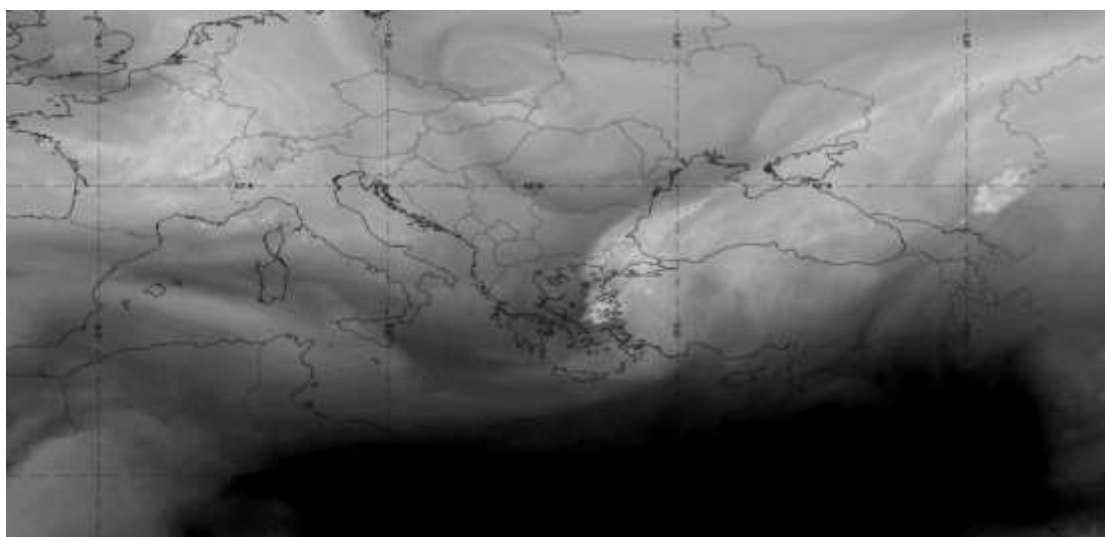


Σχήμα 6.24 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 21 UTC 10/07/2019

Στις 00 UTC της 11^{ης} Ιουλίου, το πρώτο MCS που επηρέασε την Χαλκιδική, κινούμενο νοτιοανατολικά εισχώρησε στην Τουρκία εμφανώς εξασθενημένο, ενώ το δεύτερο, ευρισκόμενο πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντός μας βρίσκεται και αυτό σε διαδικασία διάλυσης, έχοντας χάσει το σχήμα του, αφού ένα μέρος αυτού βρίσκεται πάνω από τον θεσσαλικό κάμπο, ενώ οι ανοιχτές αποχρώσεις του γκριζου έχασαν και αυτές την φωτεινότητά τους, με εξαίρεση έναν μικρό πυρήνα πάνω από τον νομό της Θεσσαλονίκης. Η θέση του πολικού αεροχειμμάρου εκείνη την χρονική στιγμή βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της βαλκανικής χερσονήσου αφού διασχίζει την κεντρική Ευρώπη, καμπυλώνει πάνω από την Ρουμανία και συνεχίζει την κίνησή του ΒΑ, προς την Ρωσία. Με το πέρασμα της κακοκαιρίας, τα μεγάλα ποσά υδρατμών αντικαθίστανται με σχετικά ξηρό αέρα στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας αφού στις 06 UTC της 11^{ης} Ιουλίου πάνω από την Ελλάδα παρατηρούνται σκούρες αποχρώσεις του γκριζου.



Σχήμα 6.25 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 00 UTC 11/07/2019

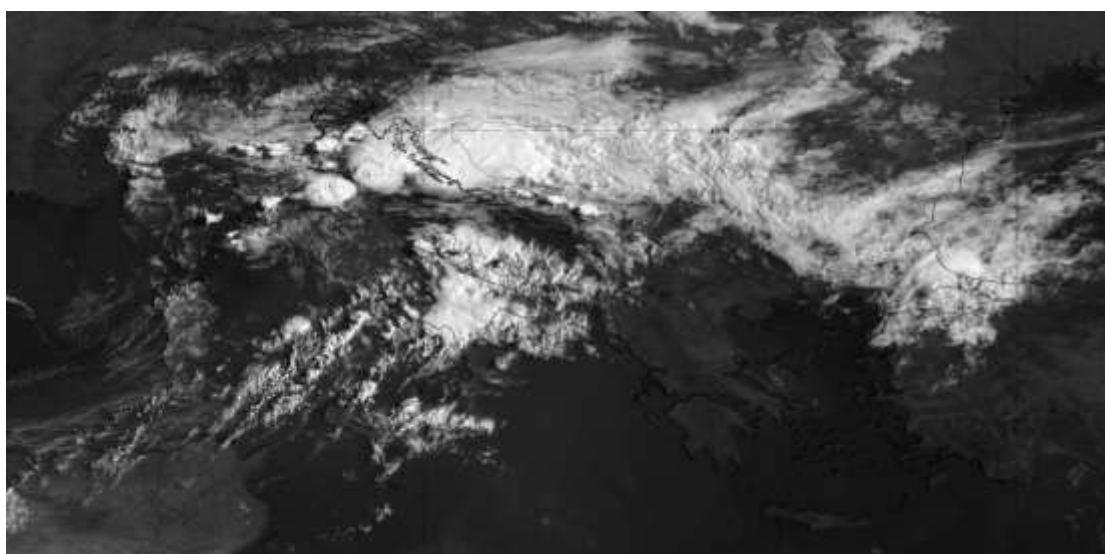


Σχήμα 6.26 – Δορυφορική εικόνα στο WV στις 06 UTC 11/07/2019

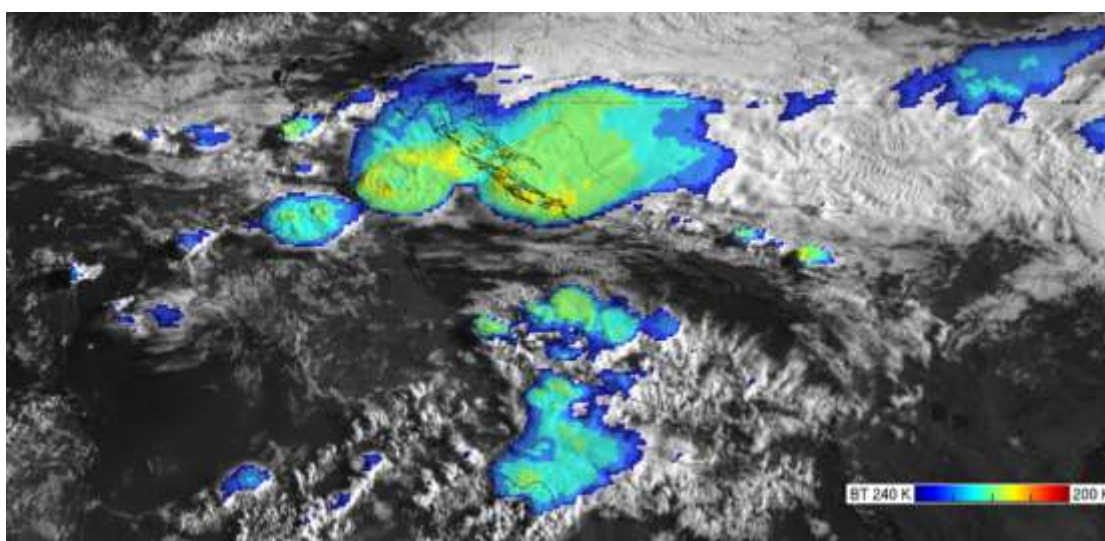
6.3 HRV – κανάλι 12

Το κανάλι HRV(High Resolution Visible) είναι ένα κανάλι υψηλής χωρικής ανάλυσης, το οποίο λειτουργεί στο ορατό φάσμα. Το κανάλι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο τις ώρες της ημέρας, παρουσία δηλαδή ηλιακού φωτός, γι'αυτό θα χρησιμοποιηθούν δορυφορικές εικόνες από τις 06 UTC έως και τις 15 UTC της 10^{ης} Ιουλίου. Εξαιτίας της υψηλής χωρικής ανάλυσης διακρίνονται εύκολα οι νεφικοί σχηματισμοί και οι κορυφές τους. Οι οπτικά πυκνοί σχηματισμοί αποδίδονται με ανοιχτές αποχρώσεις του γκριζου λόγω της μεγάλης λευκαύγειας που παρουσιάζουν τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης.

Η πρώτη δορυφορική εικόνα που έχουμε είναι στις 06 UTC. Ήδη οι νεφικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν έντονη ανάπτυξη, εξαιτίας των πολύ ανοιχτών αποχρώσεων του γκριζου που έχουν, ειδικά αυτοί που βρίσκονται στην περιοχή της βόρειας Αδριατικής Θάλασσας και καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή των δαλματικών ακτών. Οι διάσπαρτοι πυρήνες που αναπτύσσονται στην βόρεια Ιταλία και αυτοί ανατολικά της Κορσικής παρουσιάζουν, επίσης, υψηλή λευκαύγεια. Σ'αυτούς τους νεφικούς σχηματισμούς λοιπόν, παρατηρείται το φαινόμενο του Overshooting Top, πάνω από τις επιφάνειες των Cirrus Anvil. Στα σημεία εκείνα που παρατηρείται αυτό το φαινόμενο τα ανοδικά ρεύματα είναι πολύ ισχυρά και στην εικόνα του ορατού φαίνονται ως περιοχές, στις κορυφές των νεφών, με έντονο ανάγλυφο. Στους νεφικούς σχηματισμούς που λαμβάνουν χώρα στη νότια ζώνη της Αδριατικής παρατηρούνται ορισμένοι πυρήνες και κάποιες κορυφές με έντονο ανάγλυφο.

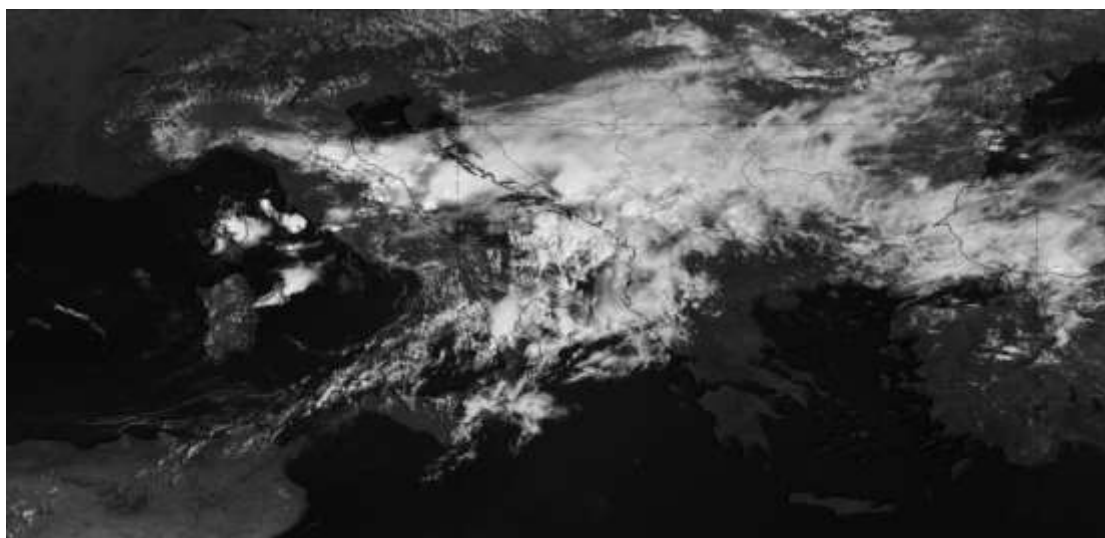


Σχήμα 6.27 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 06 UTC 10/07/2019

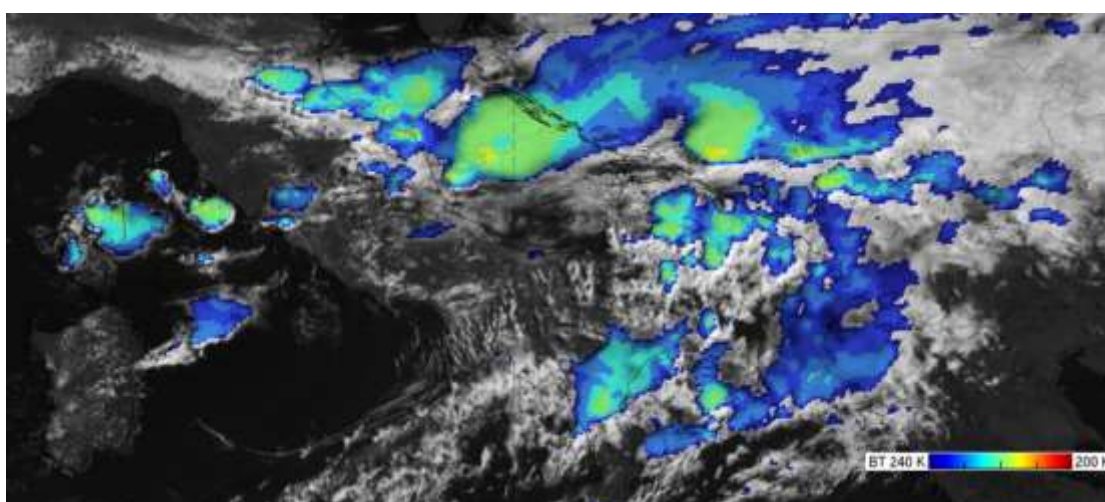


Σχήμα 6.28 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 06 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στην εικόνα των 09 UTC διακρίνονται διάσπαρτοι πυρήνες στην νότια Αδριατική θάλασσα, καθώς και στην περιοχή ΒΔ της Ελλάδας. Αυτοί εντοπίζονται εξαιτίας της υψηλής λευκαύγειας και του έντονου αναγλύφου που παρουσιάζουν το σύμπλεγμα των νεφικών αυτών σχηματισμών. Ωστόσο, αυτό που αξίζει να επισημάνουμε σ' αυτή την δορυφορική λήψη είναι οι νέοι πυρήνες που αναπτύσσονται στην βόρεια Αδριατική και δυτικά των δαλματικών ακτών, λόγω έντονης αστάθειας στην περιοχή. Επίσης, εξαιτίας της τοπογραφίας αρκετοί νέοι πυρήνες σχηματίζονται στην ΒΑ πλευρά της ιταλικής χερσονήσου προς την πλευρά της Αδριατικής θάλασσας. Διαφαίνονται τα ανοδικά ρεύματα από τις προεξέχουσες κορυφές των νεφών. Η υψηλή ανακλαστικότητα αυτών των νεφικών σχηματισμών υποδηλώνει την έντονη κατακόρυφη ανάπτυξή τους.



Σχήμα 6.29 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 09 UTC 10/07/2019

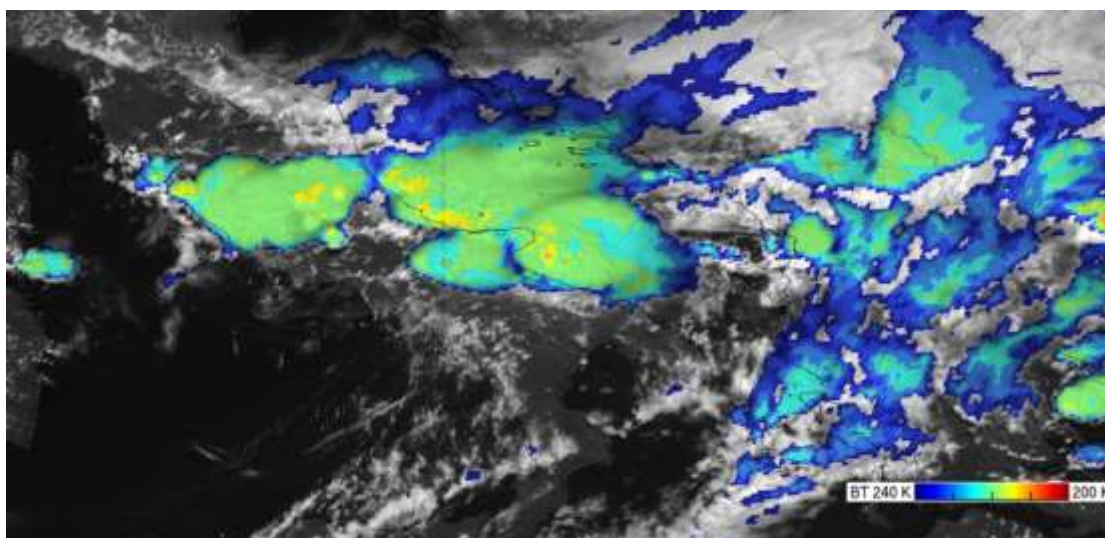


Σχήμα 6.30 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 09 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στις 12 UTC παρατηρούμε ότι ο νεφικός σχηματισμός στο κεντρικό τμήμα της Αδριατικής θάλασσας οργανώνεται καλύτερα, αποκτά μεγαλύτερη έκταση, ενώ οι κορυφές, που παρουσιάζουν το φαινόμενο του Overshooting Top, έχουν ακόμα πιο ανοιχτές αποχρώσεις του γκριζου, δείγματα της υψηλής αστάθειας που επικρατεί στην περιοχή. Επίσης, ο νεφικός σχηματισμός πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας, αποκτά και αυτός μεγαλύτερη έκταση και καλύτερη οργάνωση. Το έντονο ανάγλυφο στις κορυφές των δύο μεγάλων νεφικών σχηματισμών βοηθάει στον εντοπισμό των ισχυρών ανοδικών ρευμάτων.



Σχήμα 6.31 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 12 UTC 10/07/2019



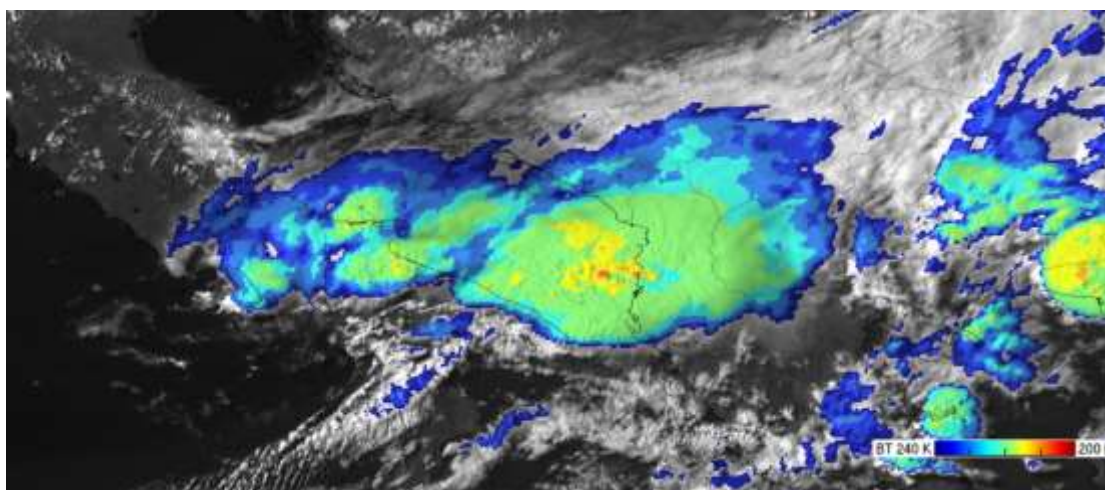
Σχήμα 6.32 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 12 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

Στην δορυφορική εικόνα των 15 UTC, το κανάλι του HRV μας δείχνει έναν νεφικό σύστημα, με υψηλή λευκαύγεια, το οποίο στο σύνολο του διατηρεί έντονο

ανάγλυφο, δείγμα των ισχυρών ανοδικών ρευμάτων καθώς επίσης και περιοχές με Overshooting Tops. Σύμφωνα με τους Bedka et al. (2010), οι περιοχές που παρουσιάζουν αυτές τις προεξέχουσες κορυφές συνδέονται με επικίνδυνο καιρό στην επιφάνεια της Γης, όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, καταστροφικούς ανέμους, μεγάλο χαλάζι και ανεμοστρόβιλους. Αυτές οι καταιγίδες είναι, επίσης, συνδεδεμένες με ισχυρή κατακόρυφη και οριζόντια διάτμηση ανέμου, ενώ στις περιοχές των ανοδικών ρευμάτων επικρατούν πολλές αστραπές εξαιτίας συσσώρευσης φορτίου. Τέλος, αν συνθέσουμε την εικόνα του ορατού με την ενισχυμένη εικόνα στο θερμικό υπέρυθρο (10.8 μm), από την χρωματική διαβάθμιση θα παρατηρήσουμε το μέγεθος της κατακόρυφης ανάπτυξης του νεφικού συστήματος, δηλαδή θα γίνει αρκετά κατανοητή η άνω δομή του. Οι πιο ψυχρές κορυφές του νέφους αυτού παρατηρούνται δυτικά των παράκτιων περιοχών της Αλβανίας, με ορισμένες κορυφές να παρουσιάζουν το φαινόμενο του cold ring (κόκκινες αποχρώσεις), ενώ συνολικά η έντονη μορφολογία των κορυφών συμπίπτει με αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες. Ο συνδυασμός των καναλιών αυτών συναντάται στην βιβλιογραφία ως “Sandwich Product”.



Σχήμα 6.33 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 15 UTC 10/07/2019

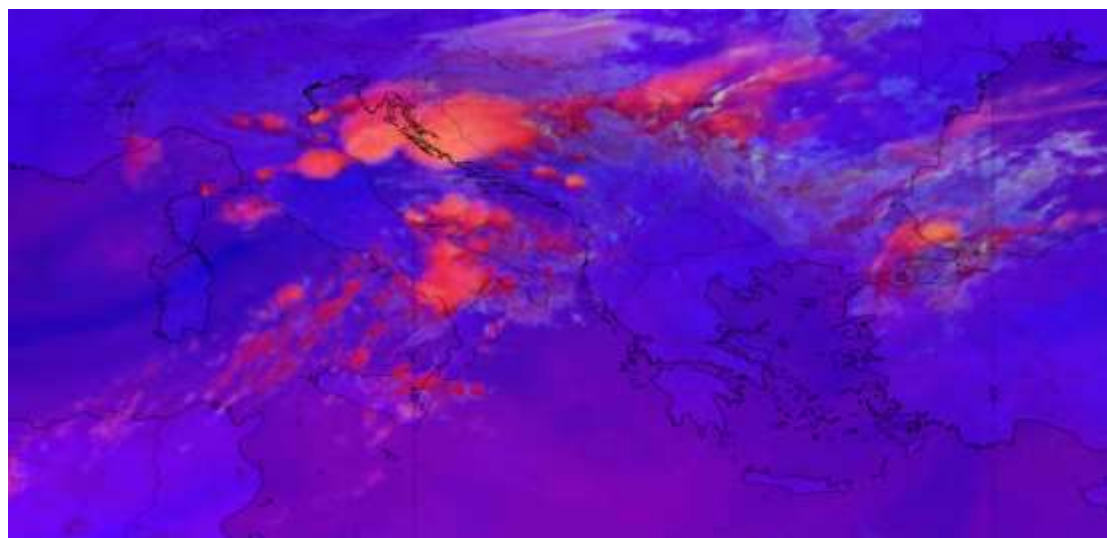


Σχήμα 6.34 – Δορυφορική εικόνα στο HRV στις 15 UTC 10/07/2019 με χρωματική διαβάθμιση

6.4 RGB – Convection

Το κανάλι αυτό βοηθά στην κατανόηση του οπτικού βάθους ενός νεφικού συστήματος, όπως επίσης μπορούμε να αντλήσουμε απ' αυτό διάφορες πληροφορίες για την μικροφυσική του συστήματος αυτού. Συνδυάζει την διαφορά των καναλιών 5-6 όπου προσδιορίζονται μέσω αυτής νέφη με μεγάλο οπτικό πάχος, την διαφορά των καναλιών 4-9 η οποία μας δίνει πληροφορίες για την μικροφυσική των νεφών και την διαφορά των καναλιών 1-3 όπου λαμβάνουμε πληροφορίες για το πάχος των νεφών και την σύστασή τους σε παγοκρυστάλλους. Κυρίως, με την βοήθεια της σύνθεσης των καναλιών, απεικονίζονται οι ισχυρές ανοδικές κινήσεις αερίων μαζών (convection) και αποτελεί ένα κατάλληλο εργαλείο για την αναγνώριση των μικροσωματιδίων στις κορυφές πυκνών οπτικά νεφών. Επειδή στην σύνθεση των καναλιών συμμετέχει και το κανάλι του ορατού στα 0.8 μm , η μελέτη μας θα γίνει μόνο κατά τις πρωινές ώρες, παρουσία του ηλιακού φωτός. Θα χρησιμοποιηθούν δορυφορικές εικόνες από τις 06 UTC έως και τις 15 UTC, της 10^{ης} Ιουλίου.

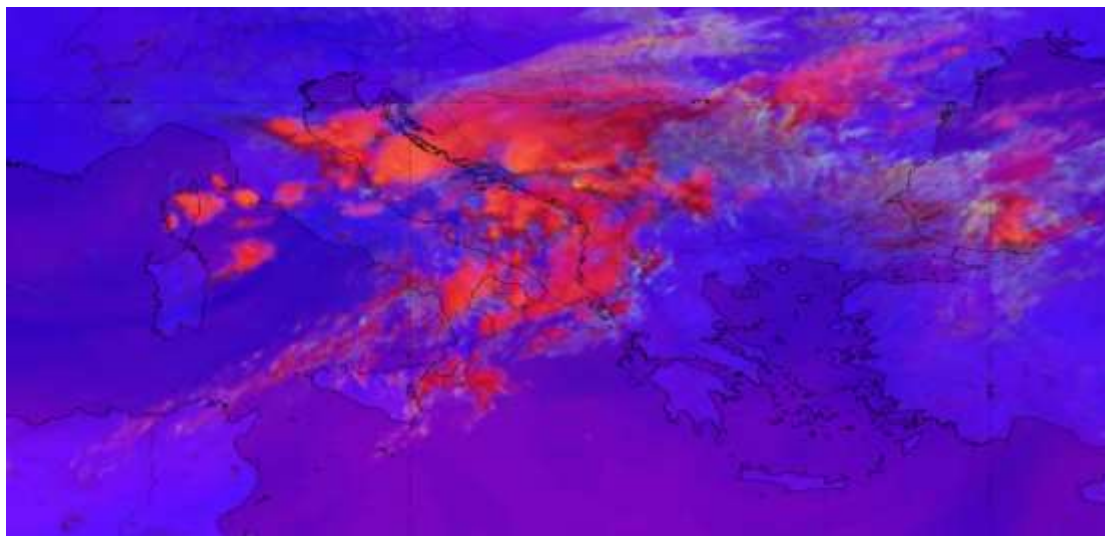
Στην δορυφορική εικόνα των 06 UTC στις περιοχές της νότιας Ιταλίας, της βόρειας Ιταλίας και δυτικά των δαλματικών ακτών παρατηρούνται ανοιχτές αποχρώσεις του πορτοκαλί που υποδηλώνουν την ύπαρξη μικρού μεγέθους παγοκρυστάλλων και ανοδικών κινήσεων. Στην βόρεια Ιταλία και ανατολικά της Κορσικής κάποιοι διάσπαρτοι πυρήνες με ερυθρό – κοκκινωπό χρώμα σημαίνουν την ύπαρξη Cb τα οποία είναι λιγότερο ανεπτυγμένα.



Σχήμα 6.35 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Convection στις 06 UTC 10/07/2019

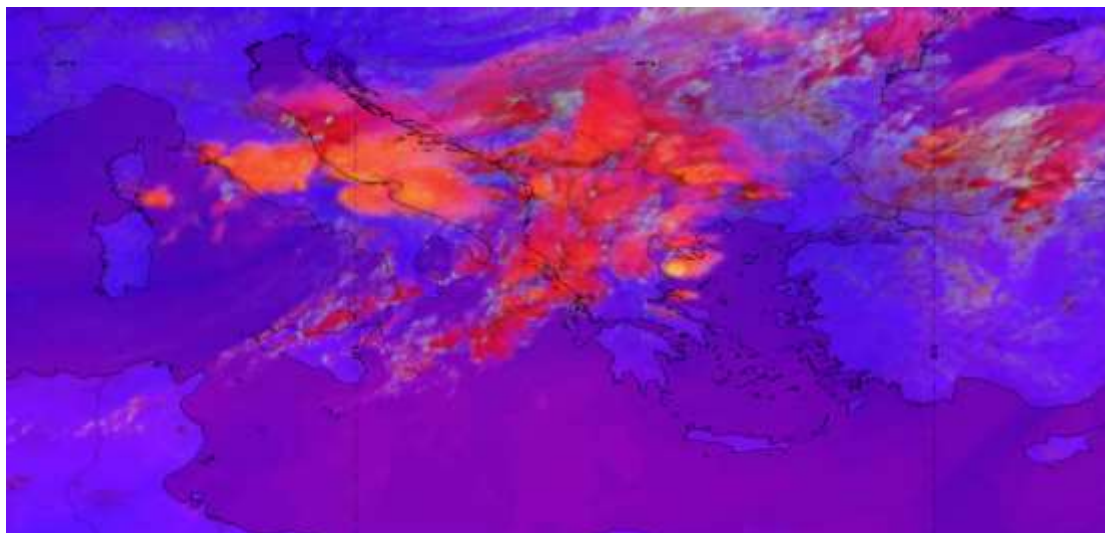
Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εικόνα στις 09 UTC. Στην ευρύτερη περιοχή της νότιας Αδριατικής θάλασσας και πάνω από τις χώρες του Μαυροβουνίου και της Βοσνίας – Ερζεγοβίνης παρατηρούνται ορισμένα εικονοστοιχεία με κίτρινη απόχρωση, που υποδηλώνουν έντονα ανοδικά ρεύματα. Στην περιοχή αυτή κυριαρχούν οι πορτοκαλί αποχρώσεις, δηλαδή νέφη με ισχυρή κατακόρυφη ανάπτυξη αποτελούμενα

από μικρού μεγέθους παγοκρυστάλλους. Οι νεφικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην βόρεια Αδριατική θάλασσα και ανατολικά της Κορσικής, σε σχέση με την προηγούμενη εικόνα, καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση και πιο αρκετά έντονο πορτοκαλί χρώμα. Ωστόσο, μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε, ορισμένα εικονοστοιχεία μέσα στους νεφικούς σχηματισμούς, με κίτρινη απόχρωση, κυρίως στα νέφη που καλύπτουν την περιοχή της βόρειας Αδριατικής θάλασσας. Σ' εκείνα ακριβώς τα σημεία υπάρχει η εμφάνιση ισχυρών ανοδικών ρευμάτων, ενώ στο σύνολο του ο νεφικός αυτός σχηματισμός, λαμβάνοντας πορτοκαλί απόχρωση, υποδηλώνει την ύπαρξη μικροκρυστάλλων πάγου στις κορυφές του.



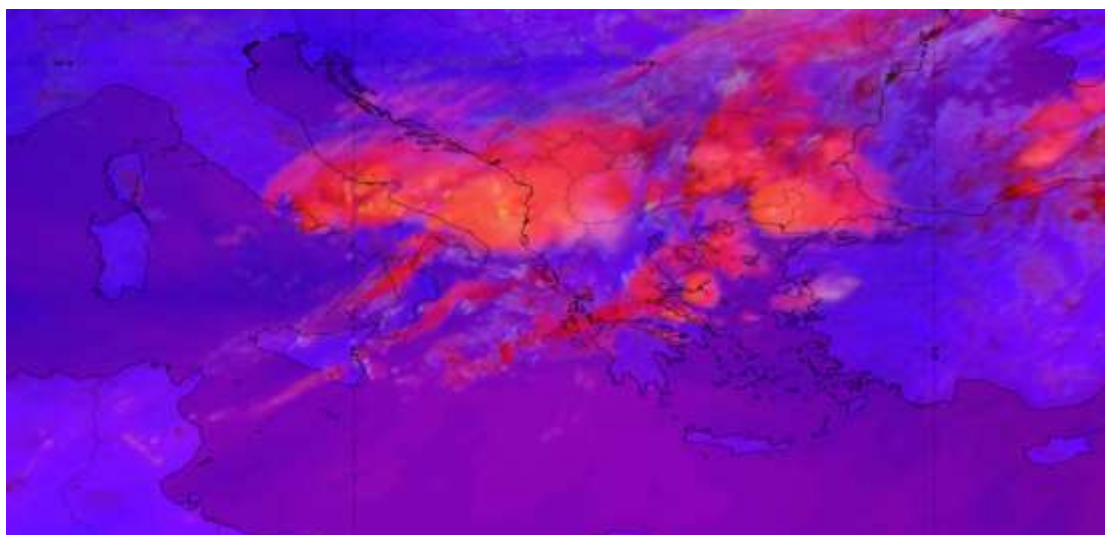
Σχήμα 6.36 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Convection στις 09 UTC 10/07/2019

Στις 12 UTC το καταιγιδοφόρο σύστημα που έχει δημιουργηθεί πάνω από την κεντρική περιοχή της Αδριατικής θάλασσας και της κεντρικής Ιταλίας φαίνεται να έχει μεγάλο οπτικό πάχος και να αποτελείται από μικρούς παγοκρυστάλλους, εξαιτίας της πορτοκαλί απόχρωσης που λαμβάνει στο σύνολό του. Επίσης, ο νεφικός σχηματισμός έχει αυξημένο μέγεθος σε σχέση με την προηγούμενη εικόνα, 3 ώρες πριν. Αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη ορισμένων εικονοστοιχείων κίτρινου χρώματος, χωρικά σημεία που υποδηλώνουν ισχυρές ανοδικές κινήσεις. Οι κινήσεις αυτές ενισχύουν το νεφικό σχηματισμό και το τροφοδοτούν στην πλειοψηφία του με υγρές αέριες μάζες. Τέλος, στην ευρύτερη περιοχή της νότιας Αδριατικής θάλασσας, παρατηρούνται πολλά εικονοστοιχεία κίτρινης απόχρωσης, δείγμα της έντονης αστάθειας που επικρατεί στην περιοχή.



Σχήμα 6.37 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Convection στις 12 UTC 10/07/2019

Στην δορυφορική εικόνα των 15 UTC το καταιγιδοφόρο σύστημα καλύπτει μία μεγάλη περιοχή ΒΔ της Ελλάδας. Στο σύνολό του συνεχίζει να έχει πορτοκαλί απόχρωση, δείγμα της έντονης κατακόρυφης ανάπτυξής του, το σχήμα του είναι ελλειψοειδές, ενώ το μέγεθός του έχει αυξηθεί σημαντικά, σχετικά με την προηγούμενη δορυφορική λήψη, στις 12 UTC. Τα εικονοστοιχεία που παρατηρούνται, κεντρικά του καταιγιδοφόρου συστήματος, δυτικά των παράκτιων περιοχών της Αλβανίας, λαμβάνουν πιο κίτρινες αποχρώσεις και ταυτίζονται με τα cold rings του καναλιού HRV. Πολλά ενεργά μέρη του νεφικού σχηματισμού (εικονοστοιχεία κίτρινων αποχρώσεων) παρατηρούνται και στο σύστημα που ακολουθεί το κύριο μέρος της καταιγίδας, του οποίου ο κύριος όγκος βρίσκεται στις παράκτιες περιοχές της Ιταλίας.

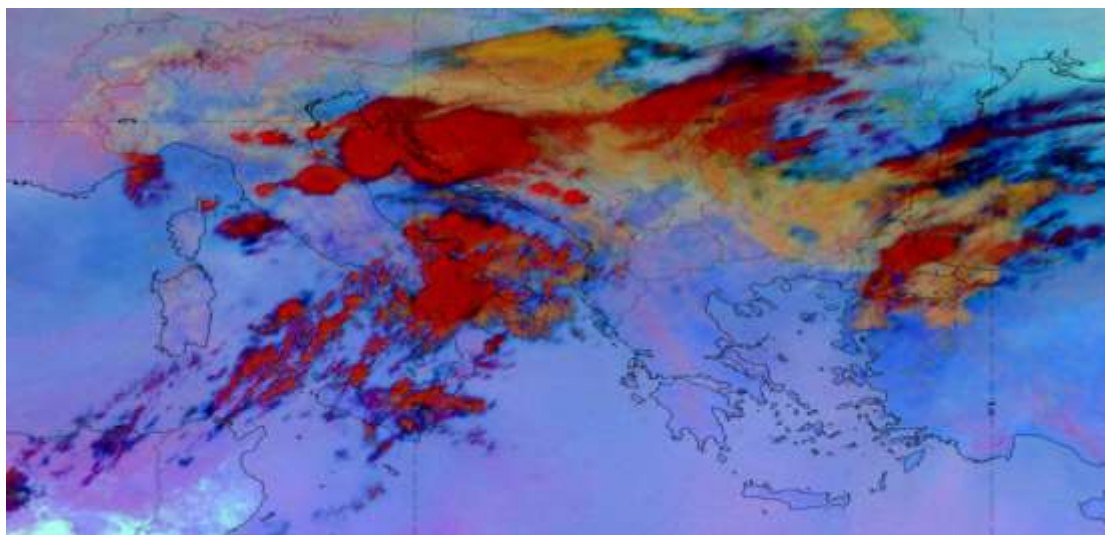


Σχήμα 6.38 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Convection στις 15 UTC 10/07/2019

6.5 RGB - 24h Microphysics

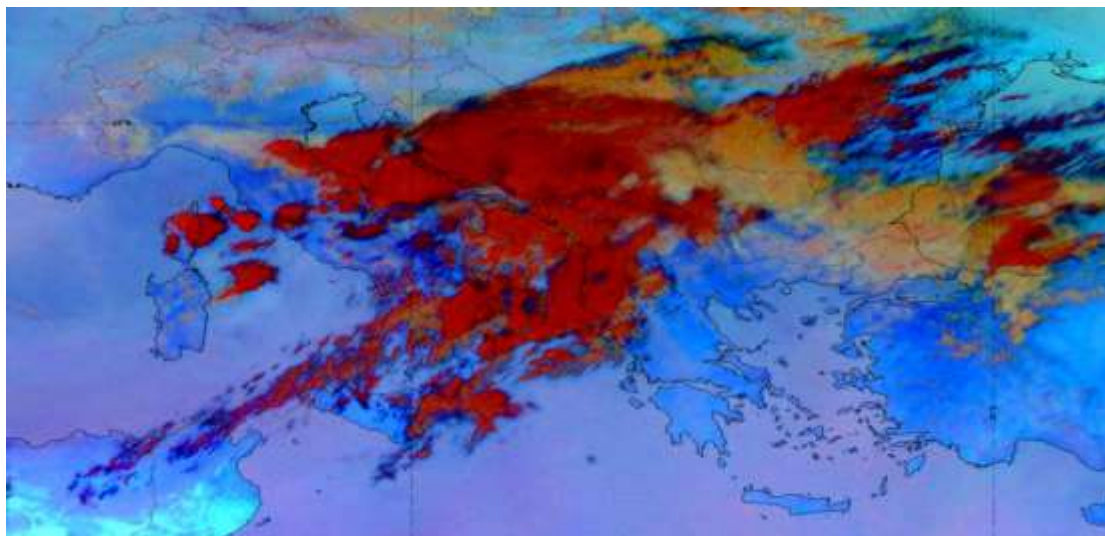
Ο συνδυασμός αυτός δεν έχει κάποιους περιορισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ'όλη την διάρκεια ενός 24ώρου, αφού δεν λαμβάνει μέρος το κανάλι του ορατού. Συνδυάζει την διαφορά των καναλιών 9-10 η οποία μας δίνει το οπτικό πάχος του νέφους, την διαφορά των καναλιών 7-9 από την οποία λαμβάνουμε πληροφορίες για την σύσταση του νέφους, αν δηλαδή αποτελείται από παγοκρυστάλλους ή υδροσταγόνες, ενώ συνδυάζει και το κανάλι 9 του θερμικού υπερύθρου που μας Τα αποτελέσματα που παίρνουμε μας βοηθούν να αντιληφθούμε καλύτερα την μικροφυσική ενός νεφικού συστήματος και συνεπώς να αντλήσουμε πληροφορίες για την δομή του και το πάχος του.

Στην εικόνα των 06 UTC, της 10^{ης} Ιουλίου, στην ευρύτερη περιοχή της νότιας Ιταλίας διαφαίνονται οπτικά πυκνά νέφη, τα οποία λαμβάνουν ερυθρές αποχρώσεις. Οι κίτρινες αποχρώσεις που βρίσκονται περιμετρικά των ερυθρών αντιστοιχούν σε μεσαία νέφη. Την ίδια χρονική στιγμή παρατηρούνται νέφη μεγάλου πάχους, στην ευρύτερη περιοχή της βόρειας Αδριατικής θάλασσας, στην βόρεια Ιταλία και ανατολικά της Κορσικής.



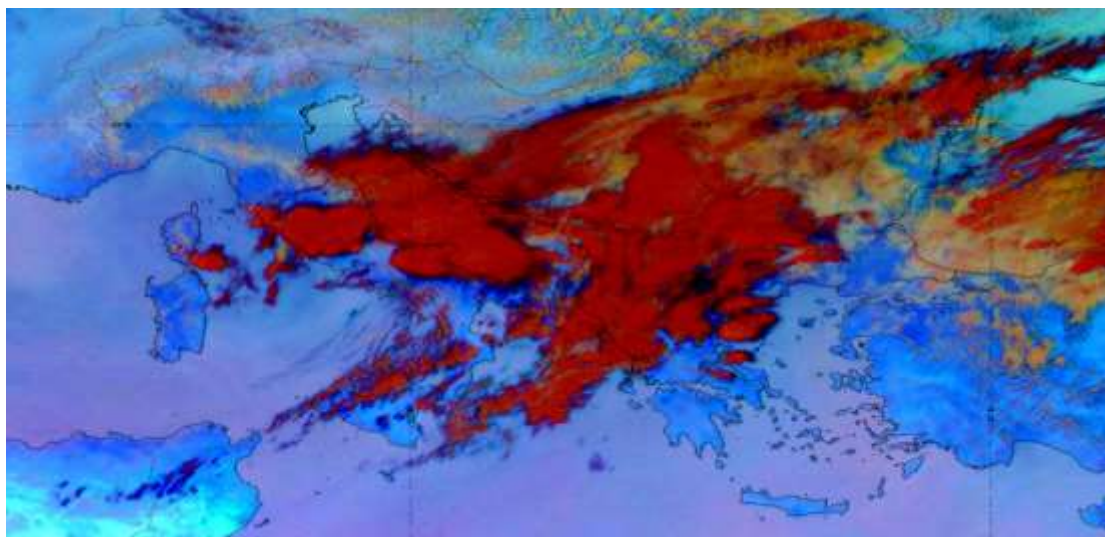
Σχήμα 6.39 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 06 UTC 10/07/2019

Το νεφικό σύστημα, που δημιουργείται, στην βόρεια Αδριατική θάλασσα και τα διάσπαρτα νέφη ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης είναι αυτά που θα απασχολήσουν την μελέτη μας. Ήδη από τις 09 UTC, της 10^{ης} Ιουλίου, ο νεφικός σχηματισμός έχει λάβει ερυθρές αποχρώσεις στο σύνολό του, ενώ αξίζει να αναφερθούν οι κίτρινες κουκίδες μέσα σ' αυτόν, δείγμα ότι πολλές νεφικές επιφάνειες έχουν αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες.



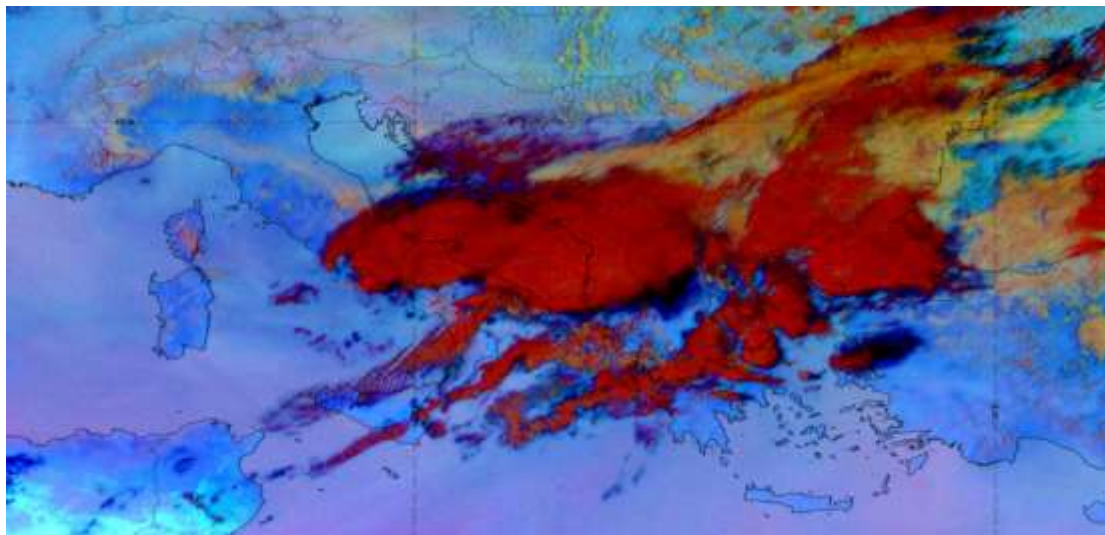
Σχήμα 6.40 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 09 UTC 10/07/2019

Στις 12 UTC, της 10^{ης} Ιουλίου, το νεφικό σύστημα καλύπτει ένα πολύ μεγάλο μέρος της Αδριατικής θάλασσας, από την βόρεια έως την νότια ζώνη της. Στο σύνολο του διατηρεί ερυθρά απόχρωση, ενώ πάλι διακρίνονται αρκετά εικονοστοιχεία με κίτρινες αποχρώσεις. Σ' αυτή την λήψη αξίζει να σημειωθούν ορισμένοι χρωματισμοί με σκούρο μπλε χρώμα, περιμετρικά του νεφικού σχηματισμού, στην νότια και την βόρεια πλευρά του. Πρόκειται για σχηματισμούς Cirrus Anvil και ειδικά στο βόρειο τμήμα του νέφους είναι ευδιάκριτη η κίνησή τους νοτιοανατολικά εξαιτίας της γενικότερης ροής του συστήματος. Ο νεφικός σχηματισμός που βρίσκεται πάνω από την κεντρική Ιταλία λαμβάνει παρόμοια χαρακτηριστικά με το μεγαλύτερο νεφικό σύστημα που βρίσκεται μπροστά του.



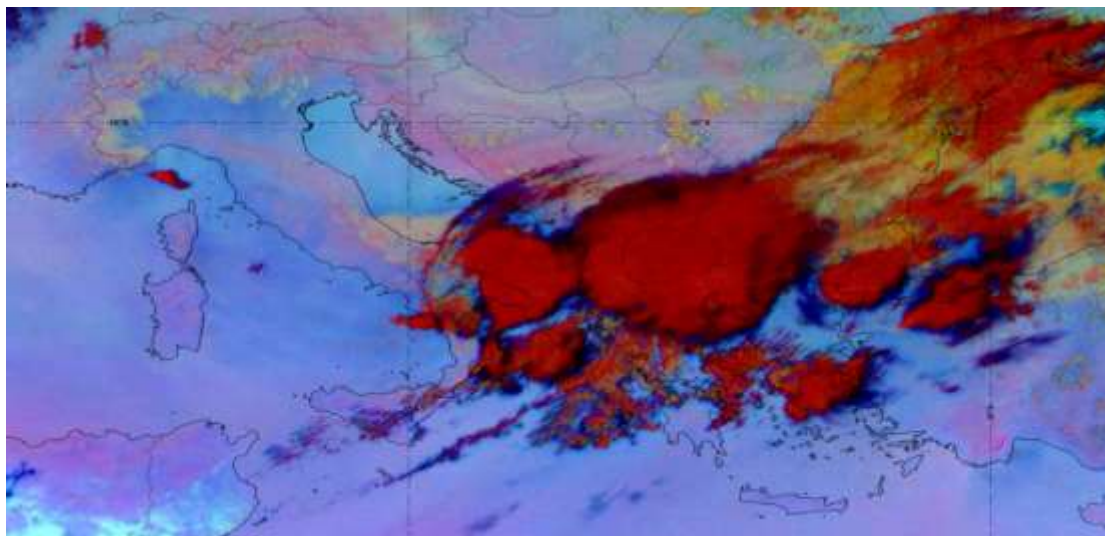
Σχήμα 6.41 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 12 UTC 10/07/2019

Στην επόμενη δορυφορική εικόνα που έχουμε, 3 ώρες μετά, το μέγεθος του νεφικού συστήματος αυξάνει. Η διατήρηση της ερυθράς απόχρωσής του υποδηλώνει έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη, ενώ αποτελείται από μικρούς παγοκρυστάλλους. Και σε αυτή την λήψη παρατηρούνται πολλές κίτρινες κουκίδες στο εσωτερικό της νεφικής «ασπίδας». Αξίζει να αναφερθεί η μαύρη απόχρωση που παρατηρείται στην δυτική Μακεδονία και οι μπλε αποχρώσεις που διαφαίνονται πάνω από την Αδριατική θάλασσα, στα όρια του νέφους.



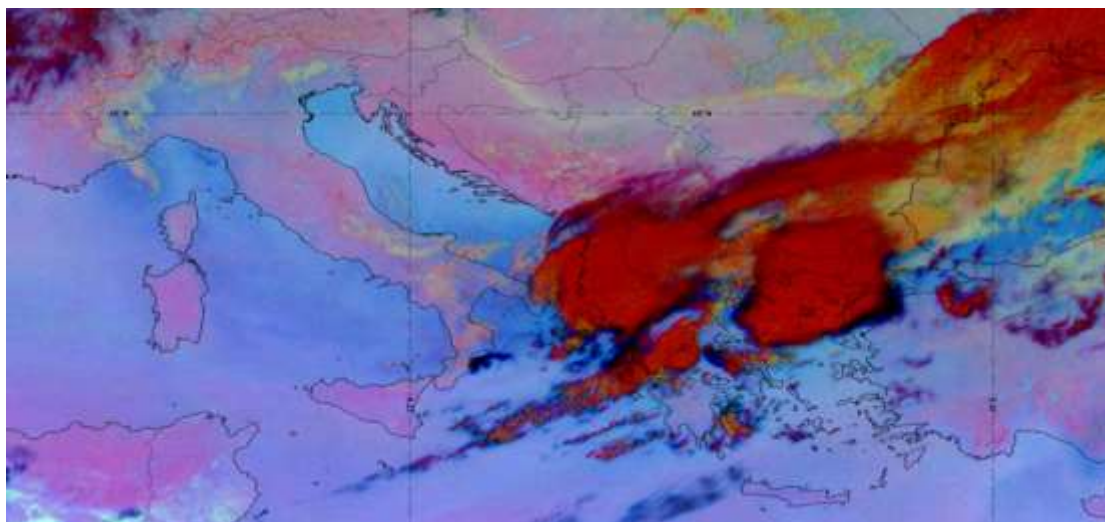
Σχήμα 6.42 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 15 UTC 10/07/2019

Την 10^η Ιουλίου, στις 18 UTC, το νεφικό σύστημα καλύπτει όλη την βόρεια Ελλάδα, καθώς επίσης και τις χώρες με τις οποίες συνορεύει αυτή στον βορρά. Η έντονη ερυθρά απόχρωση συνεχίζει να υφίσταται, υποδηλώνοντας έτσι το μεγάλο ύψος του νέφους, παρά το γεγονός ότι βρίσκεται πάνω από χερσαίες επιφάνειες. Διακρίνονται και πάλι ορισμένα εικονοστοιχεία κίτρινης απόχρωσης. Σ' αυτή την εικόνα το νεφικό σύστημα της προηγούμενης εικόνας δείχνει να χωρίζεται σε δύο επιμέρους νέφη, με το πρώτο να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος και το δεύτερο και μικρότερο να το ακολουθεί. Διακρίνεται επίσης, στο βόρειο τμήμα του δεύτερου MCS μια λεπτή ζώνη μπλε, κυρίως, απόχρωσης δηλώνοντας την παρουσία νεφών Cirrus σ' εκείνη την περιοχή τα οποία έχουν επηρεαστεί από την γενικότερη κίνηση των νεφών.



Σχήμα 6.43 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 18 UTC 10/07/2019

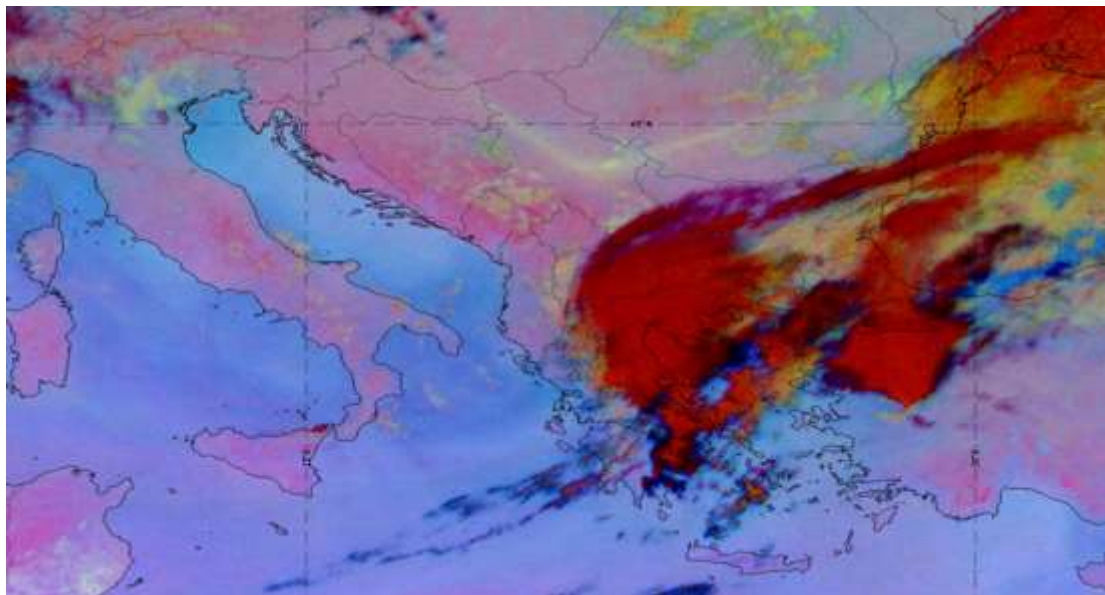
Στις 21 UTC, την ίδια ημέρα, θα παρατηρήσουμε ότι η έκταση του πρώτου σε σειρά καταγιδοφόρου νέφους, που επηρέασε την βόρεια Ελλάδα, έχει μειωθεί σημαντικά, ωστόσο συνεχίζει να διατηρεί το ύψος του, αν κρίνουμε από την μαύρη απόχρωση που παρατηρείται στα ανατολικά όρια αυτού, όπως επίσης και από τα κίτρινα εικονοστοιχεία πάνω στην νεφική επιφάνεια. Το δεύτερο MCS που ακολουθεί έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το πρώτο.



Σχήμα 6.44 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 21 UTC 10/07/2019

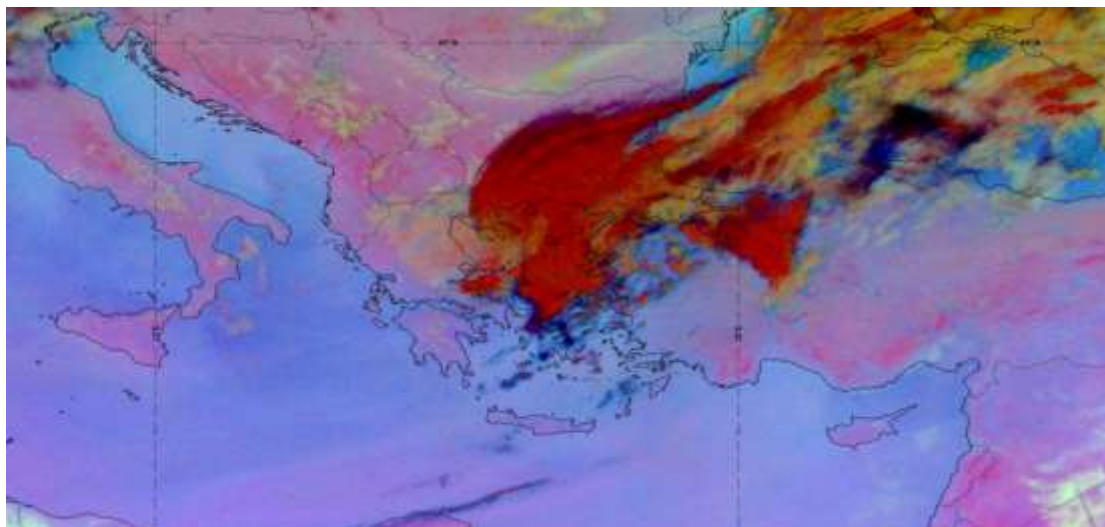
Λόγω της γενικότερης κυκλοφορίας, στις 00 UTC της 11^{ης} Ιουλίου, το πρώτο MCS έχοντας φτάσει στην Τουρκία θα χάσει περαιτέρω την έκτασή του, όχι όμως και την ερυθρή του απόχρωση. Το ίδιο συμβαίνει και με το δεύτερο MCS που ακολουθεί και βρίσκεται αυτή την χρονική στιγμή πάνω από την βόρεια Ελλάδα. Λαμβάνει και αυτό ερυθρή απόχρωση, ενώ και στις δύο περιπτώσεις παρατηρούνται πάλι κίτρινα

εικονοστοιχεία στο εσωτερικό τους, δείγμα των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών στις νεφικές επιφάνειες.



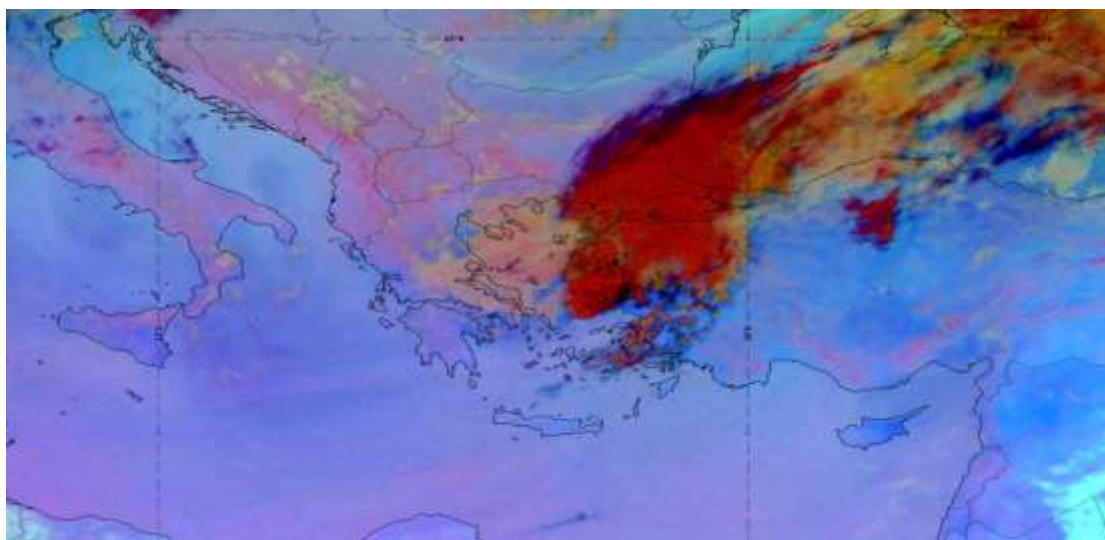
Σχήμα 6.45 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 00 UTC 11/07/2019

Στην επόμενη δορυφορική λήψη, 3 ώρες αργότερα, το πρώτο MCS βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Τουρκίας, έχοντας χάσει επιπλέον την έκτασή του, ενώ το δεύτερο MCS καταλαμβάνει μία έκταση από το ΒΑ Αιγαίο έως και την κεντρική Βουλγαρία. Παρουσιάζουν και οι δύο νεφικοί σχηματισμοί σκούρες αποχρώσεις του ερυθρού, ωστόσο βρίσκονται ήδη σε καθεστώς διάλυσης. Ειδικότερα, το MCS, του οποίου μέρος του βρίσκεται ακόμα στον ελλαδικό χώρο, παρουσιάζει διάλυση του κυκλικού σχήματός του, ενώ πάνω από το ΒΑ Αιγαίο το σχήμα του έχει αλλοιωθεί αρκετά αφού αποτυπώνεται μία λεπτή ζώνη νεφών μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης. Ανατολικά και δυτικά αυτής, παρατηρούνται πολλά εικονοστοιχεία κίτρινης αποχρώσεως που υποδηλώνουν νέφη μεσαίου ύψους και επομένως απώλεια της δυναμικής του συστήματος.



Σχήμα 6.46 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 03 UTC 11/07/2019

Πιο ξεκάθαρη είναι η δορυφορική εικόνα στις 06 UTC, της 11^{ης} Ιουλίου. Το πρώτο MCS έχει χάσει τελείως την έκτασή του. Οι σκούρες μπλε αποχρώσεις που λαμβάνει στο μεγαλύτερο μέρος του είναι δείγμα ύπαρξης νεφών Cirrus. Το δεύτερο MCS που ακολουθεί φαίνεται εκείνη την χρονική στιγμή να εισχωρεί στην Τουρκία. Σε σχέση με την προηγούμενη δορυφορική εικόνα φαίνεται να διατηρεί την έκτασή του καθώς επίσης και το πάχος του. Οι κίτρινες κουκίδες που παρατηρούνται στην νεφική επιφάνεια, πάνω από την ευρύτερη περιοχή της θάλασσας του Βοσπόρου το υποδηλώνουν.

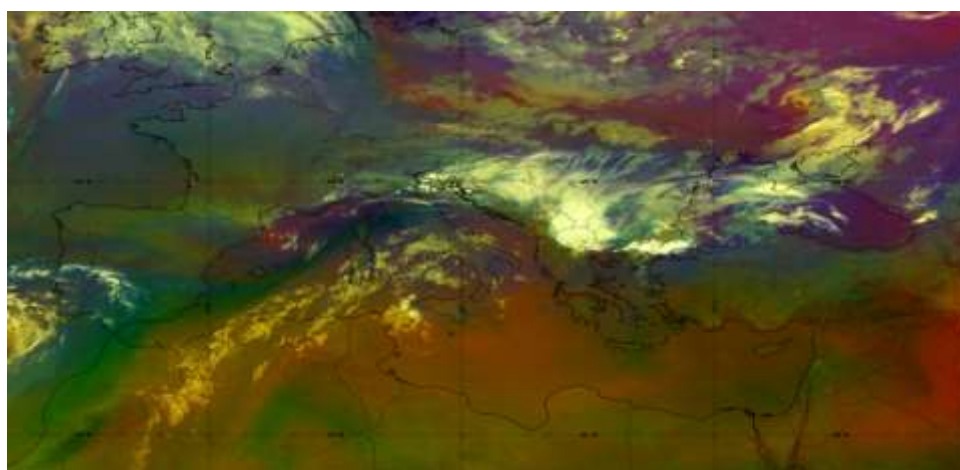


Σχήμα 6.47 – Δορυφορική εικόνα στο RGB 24h Microphysics στις 06 UTC 11/07/2019

6.6 RGB – Airmass

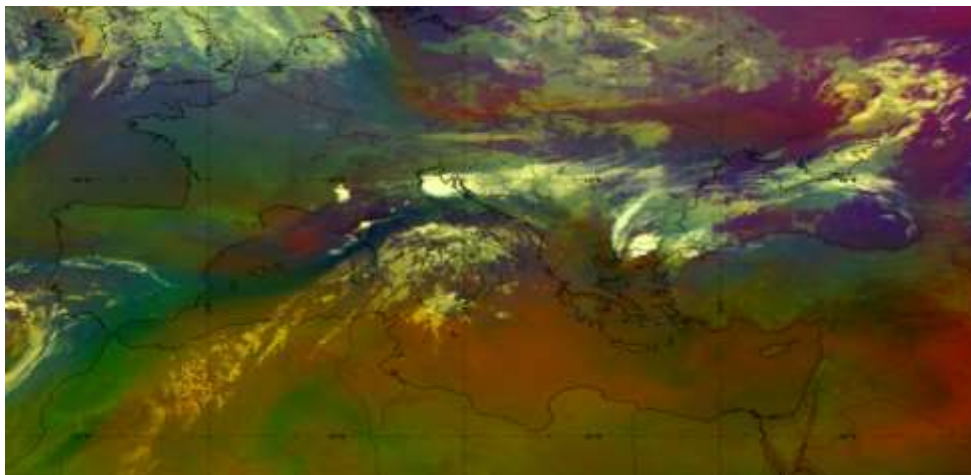
Ο συνδυασμός αυτός συνδυάζει την διαφορά των καναλιών 5-6 η οποία αποτυπώνει την ξηρότητα των αερίων μαζών στα ανώτερα στρώματα, την διαφορά των καναλιών 8-9 που απεικονίζει την ψυχρότητα ή την θερμότητα μιας αέριας μάζας και την περιεκτικότητά της σε όζον και τέλος χρησιμοποιεί το κανάλι 5 των υδρατμών στα 6.2 μm για την απεικόνιση των ποσών της υγρασίας στα ανώτερα στρώματα. Με ερυθρές αποχρώσεις αποδίδεται η εισβολή στρατοσφαιρικού αέρα στην τροπόσφαιρα όπως επίσης και οι ανωμαλίες του δυναμικού στροβιλισμού PV. Με σκούρο πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι θερμές αέριες μάζες με μεγάλο ύψος τροπόπαυσης, ενώ με μπλε – μωβ απόχρωση υποδηλώνονται οι ψυχρές αέριες μάζες με χαμηλό ύψος τροπόπαυσης. Με έντονο λευκό χρώμα απεικονίζονται τα νέφη ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης. Ο συνδυασμός αυτός εστιάζει στην κατάσταση που επικρατεί στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα και αναδεικνύει τα δυναμικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, αφού μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε τα χαρακτηριστικά των αερίων μαζών και την θέση του αεροχειμάρρου.

Στις 00 UTC 10/07 σχεδόν ολόκληρη η Μεσόγειος θάλασσα καλύπτεται από θερμές και τροπικές αέριες μάζες εξαιτίας της πράσινης απόχρωσης που έχουν, αφού οι τροπικές μάζες έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε όζον. Από την περιοχή της κεντρικής Ιταλίας και προς βορειότερα γεωγραφικά πλάτη κυριαρχούν οι ψυχρές αέριες μάζες. Στο ΒΑ άκρο της ιβηρικής χερσονήσου παρατηρείται μια ερυθρή απόχρωση, δείγμα της ανωμαλίας του δυναμικού στροβιλισμού στα μεσαία στρώματα, όπως είδαμε και στην δυναμική ανάλυση του ισημερινικού δυναμικού στροβιλισμού. Η ανωμαλία αυτή υποδηλώνει την ύπαρξη ατμοσφαιρικής διαταραχής στα 500 hPa. Ο αεροχειμάρρος αποτυπώνεται πάνω από την Γερμανία, την οποία διασχίζει κάθετα, και την κεντρική Ευρώπη, στα σημεία που παρουσιάζεται απότομη βαθμίδα των χρωμάτων μπλε και ερυθρού κατά μήκος μιας λεπτής γραμμής.



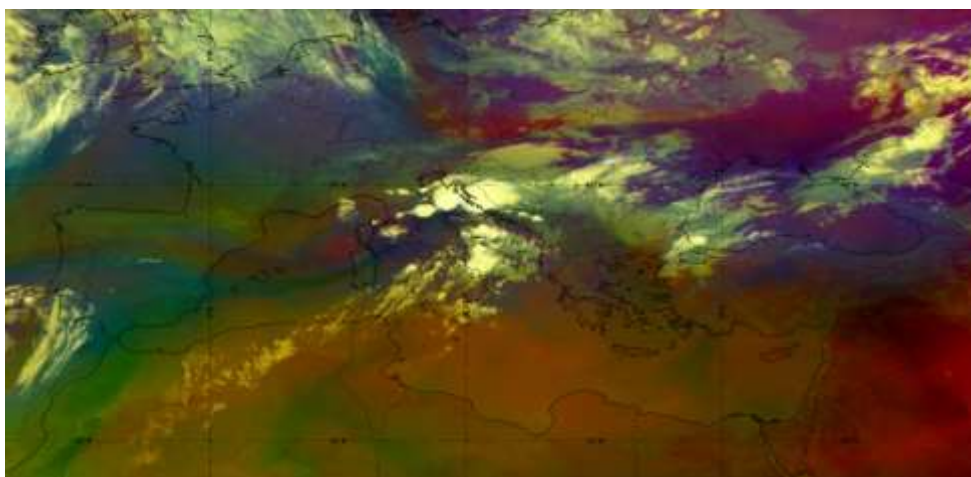
Σχήμα 6.48 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 00 UTC 10/07/2019

Στις 03 UTC 10/07 οι ψυχρές αέριες μάζες κινούνται νοτιότερα ενώ η ανωμαλία του PV μετακινείται ανατολικότερα, υποδηλώνει δηλαδή μια κίνηση της trough προς την ιταλική χερσόνησο. Το έντονο μπλε αποτυπώνει υψηλά ποσά υγρασίας στα ανώτερα στρώματα.



Σχήμα 6.49 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 03 UTC 10/07/2019

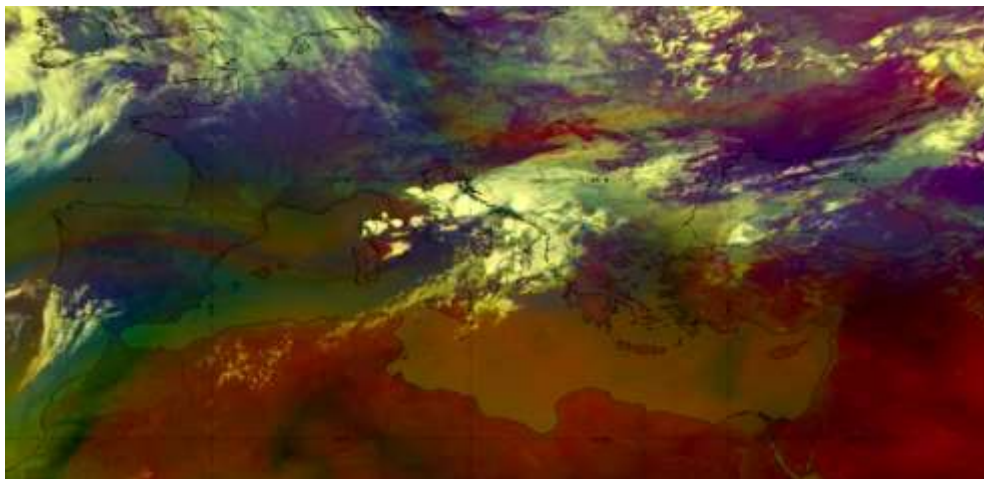
Στις 06 UTC 10/07 η ψυχρή μεταφορά των αερίων μαζών από τα βορειότερα στα νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη είναι ακόμα πιο έντονη, ενώ η θετική ανωμαλία του δυναμικού στροβιλισμού έχει μετατοπιστεί ανατολικότερα, ευρισκόμενη πάνω από την νήσο της Κορσικής. Με τον συνδυασμό αυτών των μεταφορών οι αδρανοποιημένες θερμές τροπικές αέριες μάζες τίθονται σε κίνηση. Ήδη παρατηρούνται κάποια νέφη έντονα λευκών αποχρώσεων, απόρροια της γενικότερης διαταραχής στην βόρεια και κεντρική Ιταλία.



Σχήμα 6.50 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 06 UTC 10/07/2019

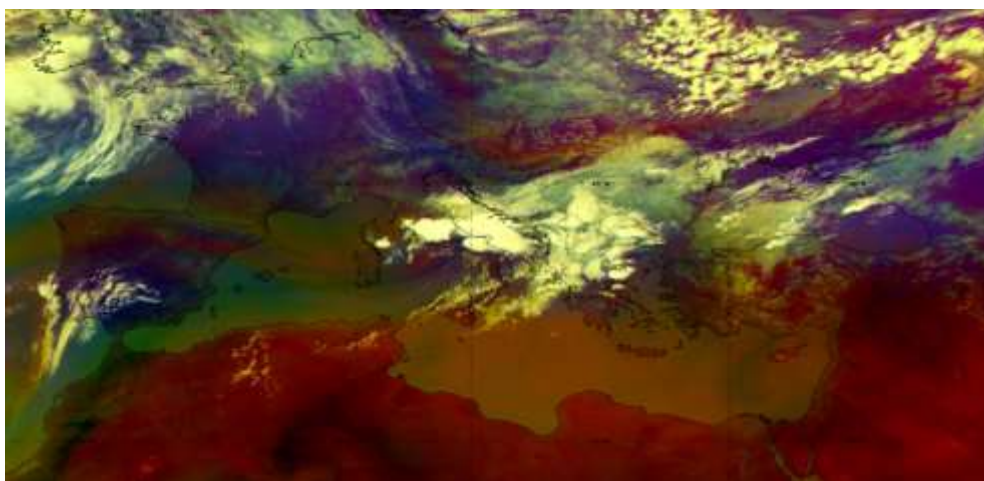
Ενδιαφέρουσα είναι η δορυφορική εικόνα στις 09 UTC 10/07. Απεικονίζονται ακόμα περισσότεροι πυρήνες νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης, με λευκές αποχρώσεις, ενώ οι ψυχρές αέριες μάζες έχουν συνεχίσει την νοτιοανατολική τους

κίνηση, μέσω της γενικότερης κυκλοφορίας σ' αυτά τα ύψη. Η ανωμαλία του PV που απεικονίζεται, με την μεταφορά ψυχρού αέρα στα μεσαία ύψη, δημιουργεί συνθήκες δυναμικής αστάθειας στην περιοχή, κάτι το οποίο υποδηλώνεται από τους πυρήνες ανατολικά των νήσων της Κορσικής και της Σαρδηνίας.



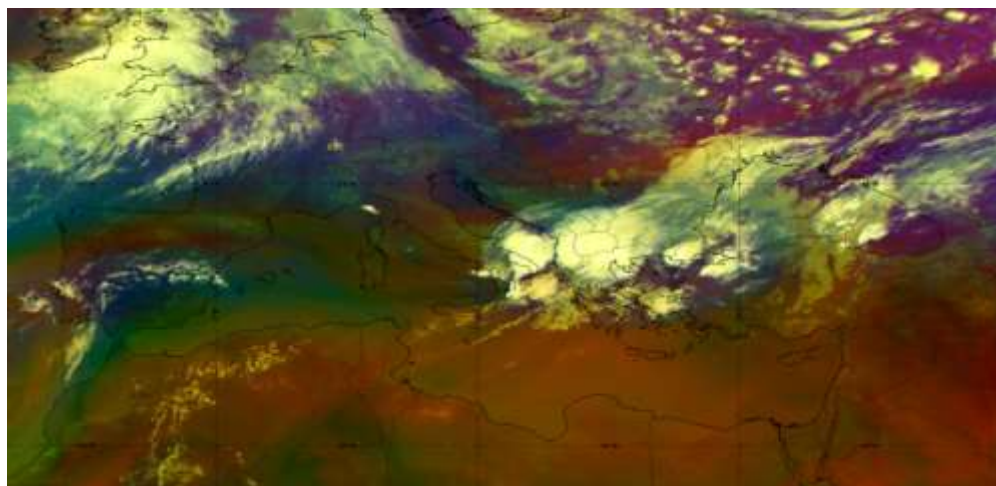
Σχήμα 6.51 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 09 UTC 10/07/2019

Η γενικότερη κίνηση της ανώτερης διαταραχής αναγκάζει τις θερμές αέριες μάζες σε ανύψωση και με τα μεγάλα ποσά υγρασίας να απελευθερώσουν υψηλά ποσά λανθάνουσας θερμότητας και να δημιουργήσουν έντονη αστάθεια στην περιοχή, όπως φαίνεται από την δορυφορική εικόνα στις 12 UTC 10/07. Φαίνεται ότι η βασική αιτία δημιουργίας του MCS που μελετάμε να είναι η κάθοδος των ψυχρών αερίων μαζών σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη και η αναρρίχηση τους πάνω από θερμές και τροπικές αέριες μάζες με πολλή υγρασία. Τα ποσά υγρασίας ενισχύθηκαν με την μεταφορά ποσών υγρασίας από το ΒΑ άκρο της ιβηρικής χερσονήσου, μπροστά από την ανωμαλία του δυναμικού στροβιλισμού.



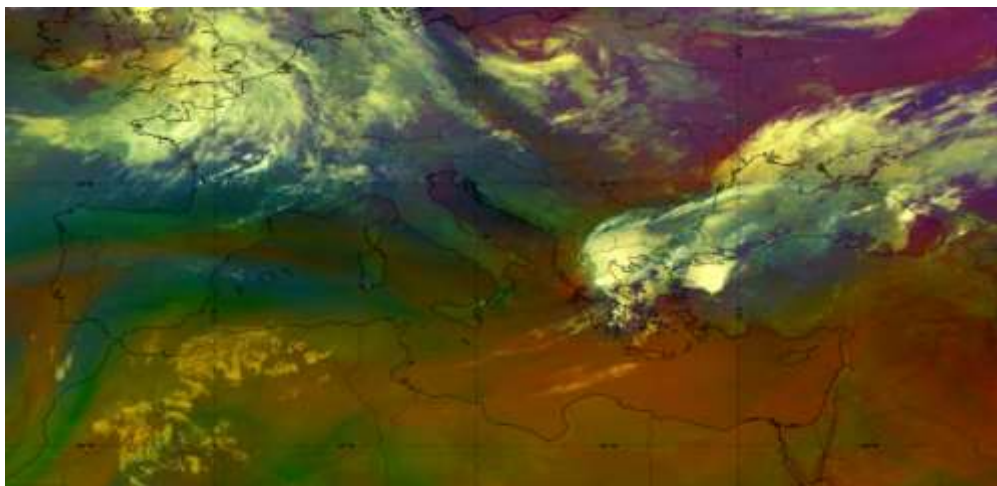
Σχήμα 6.52 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 12 UTC 10/07/2019

Στις 15 UTC 10/07 το MCS έχει αναπτυχθεί πλήρως, όπως φαίνεται και από τις λευκές αποχρώσεις και λόγω της γενικότερης κυκλοφορίας έχει ακολουθήσει νοτιοανατολική τροχιά. Στις 18 UTC 10/07 παρατηρείται η μετατόπιση του αεροχειμάρρου σε νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη και συγκεκριμένα πάνω την Σερβία και την Ρουμανία. Οι θερμές και τροπικές αέριες μάζες έχουν περιοριστεί στην περιοχή της κεντρικής και ΝΑ Μεσογείου, ενώ πίσω από το καταιγιδοφόρο σύστημα φαίνεται να υπάρχει μία ζώνη θερμής μεταφοράς, η οποία παρασύρεται λόγω της γενικότερης διαταραχής.

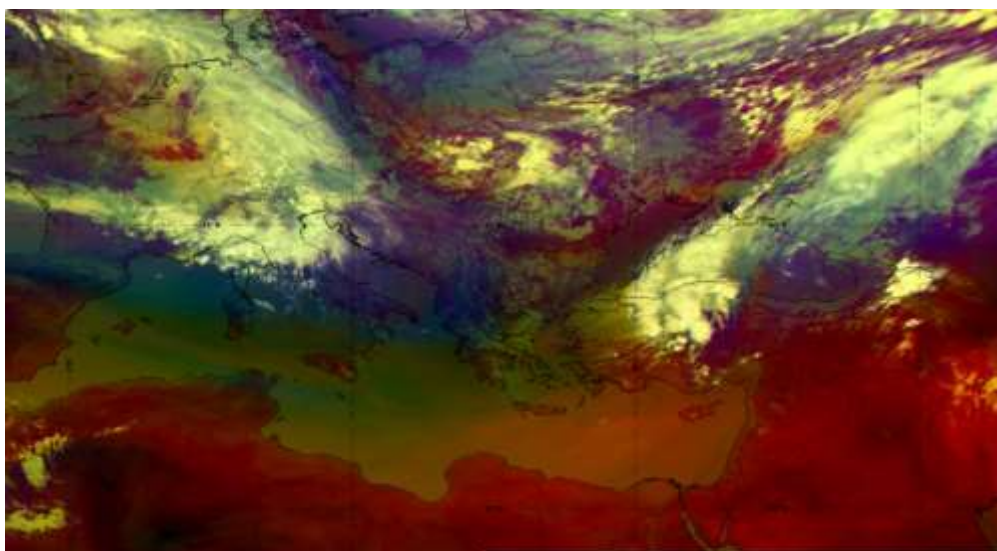


Σχήμα 6.53 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 18 UTC 10/07/2019

Στις 00 UTC 11/07 το καταιγιδοφόρο σύστημα που έπληξε την περιοχή μελέτης μας βρίσκεται στην ανατολική Τουρκία, ενώ το δεύτερο που δεν έδωσε ακραία φαινόμενα εξακολουθεί να βρίσκεται στον ελλαδικό χώρο. Χαρακτηριστικό είναι ότι η ανώτερη διαταραχή παρασύρει τις θερμές τροπικές αέριες μάζες που την ακολουθούν. Η απόρροια αυτής της κίνησης φαίνεται ξεκάθαρα στις 12 UTC 11/07, ενώ διακρίνεται και η ψυχρή μεταφορά που συντελείται στο ΒΔ τμήμα της Ελλάδας με ψυχρές αέριες μάζες να κατέρχονται νοτιότερα, λόγω της κυκλοφορίας στα μεσαία και ανώτερα στρώματα.



Σχήμα 6.54 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 00 UTC 11/07/2019



Σχήμα 6.55 – Δορυφορική εικόνα στο RGB Airmass στις 12 UTC 11/07/2019

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ένα μέσης κλίμακας ισχυρό convective σύστημα (MCS) από συνοπτική, δυναμική και δορυφορική σκοπιά το οποίο δημιουργήθηκε στην περιοχή της Αδριατικής θάλασσας στις 06 UTC της 10^{ης} Ιουλίου και επηρέασε το βόρειο τμήμα της Ελλάδας την ίδια ημέρα από τις 18 UTC έως και τις 00 UTC δίνοντας ισχυρά φαινόμενα καθώς επίσης προκάλεσε απώλειες ανθρωπίνων ζωών και αρκετές υλικές ζημιές, κυρίως στην περιοχή της Χαλκιδικής. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη του συστήματος αυτού.

Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την δυναμική ανάλυση:

- Το συγκεκριμένο σύστημα δεν προήλθε από οργανωμένη ύφεση, αλλά από μία ανώτερη διαταραχή (trough), η οποία ξεκίνησε στο βόρειο τμήμα της Ιταλίας, στις 10 Ιουλίου 2019 και κινήθηκε νοτιοανατολικά. Η παρουσία μιας λίμνης θερμών αερίων μαζών την προηγούμενη ημέρα οδήγησε σε αστάθεια την ατμόσφαιρα, επιτρέποντας ισχυρές ανοδικές κινήσεις, οι οποίες κινήθηκαν νοτιότερα με την κίνηση της διαταραχής.
- Η γένεση του convective συστήματος χαρακτηρίστηκε από:
 - α) υψηλές τιμές των δεικτών αστάθειας Lifted Index και ML CAPE
 - β) υψηλά ποσά σχετικής υγρασίας στα κατώτερα στρώματα και συγκεκριμένα στα 850 hPa και 700 hPa με αποτέλεσμα να τροφοδοτήσουν το σύστημα με λανθάνουσα θερμότητα η οποία αποτελεί σημαντικό παράγοντα εξέλιξης μιας καταιγίδας.
 - γ) ψυχρή μεταφορά αερίων μαζών στα 500 hPa και στα 850 hPa.
 - δ) την θέση του αεροχειμάρρου στα 200 hPa και στα 300 hPa, ο οποίος βοήθησε τις ανοδικές κινήσεις λόγω απόκλισης των αερίων μαζών σ'αυτά τα ύψη.
 - ε) την εξαναγκασμένη ανύψωση των αερίων μαζών εξαιτίας της τοπογραφίας της Ιταλίας.
- Στα κατώτερα στρώματα και ειδικότερα στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa παρατηρήθηκαν, κατά την διαδικασία εξέλιξης του συστήματος, υψηλές τιμές ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας, λόγω λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών που τροφοδοτούσαν με ενέργεια το σύστημα. Επίσης, σημειώθηκε, από την στιγμή της γένεσης, στην περιοχή της Αδριατικής θάλασσας μεγάλη θερμοβαθμίδα, η οποία ευνόησε την βαροκλιτικότητα του συστήματος. Η διαταραχή αυτή κινήθηκε κατά μήκος της ζώνης βαροκλιτικότητας μέχρι το πέρασμά της από το βόρειο τμήμα της Ελλάδας.
- Από την στιγμή της δημιουργίας του convective συστήματος μέχρι και το πέρασμα του πάνω από τον ελλαδικό χώρο παρατηρήθηκαν σημαντικές θετικές τιμές σχετικού στροβιλισμού, ο οποίος ταυτίζεται με την κίνηση της ανώτερης

διαταραχής καθ'όλη την διάρκεια της πορείας του καταιγιδόφρου συστήματος.

- Από τις 06 UTC της 10^{ης} Ιουλίου έως και τις 06 UTC της 11^{ης} Ιουλίου σημειώθηκε ισχυρή μεταφορά απόλυτου στροβιλισμού μπροστά από την trough στα 500 hPa.
- Τόσο από την μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 hPa, όσο και από την μεταφορά του ισοπαχούς στρώματος (1000 hPa – 500 hPa) γίνεται αντιληπτή η σημαντική ψυχρή μεταφορά που συντελείται στα κατώτερα στρώματα και σε συνδυασμό με την θέση της trough στα 500 hPa και την θέση του αεροχειμάρρου αποτελούν σημαντικές αιτίες δημιουργίας του MCS.

Από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, έτσι όπως κατεγράφησαν αυτές από τα δορυφορικά κανάλια του Meteosat, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Από το υπέρυθρο κανάλι των 10.8 μm προσδιορίστηκε το ύψος των νεφών του καταιγιδόφρου συστήματος, ενώ η χρωματική διαβάθμιση μας επέτρεψε να κατανοήσουμε το ύψος των νεφών σε βάθος αφού βάσει αυτής γνωρίζαμε την θερμοκρασία των κορυφών του συστήματος.
- Το κανάλι των υδρατμών στα 6.2 μm μας βοήθησε να αντιληφθούμε τα ποσά υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα, όπου σε συνδυασμό με το κανάλι στο υπέρυθρο μπορούσαμε εύκολα να διακρίνουμε τη κατακόρυφη ανάπτυξη του νεφικού σχηματισμού και την ποσότητα της υγρασίας από τους τόνους του γκρίζου σε όλο του το ύψος. Επίσης, αναγνωρίστηκε και η θέση του αεροχειμάρρου και trough δυναμικού στροβιλισμού, όπου υποδηλώνουν την ύπαρξη ανώτερης διαταραχής.
- Ιδιαίτερα ενδιαφέροντα συμπεράσματα προέκυψαν από το κανάλι 12 (HRV). Αναδείχθηκαν με λεπτομέρεια σημαντικές περιοχές του νεφικού συστήματος που αντικατοπτρίζουν την δυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας, όπως επίσης και τις συνθήκες στην επιφάνεια. Από τις έντονα ανάγλυφες περιοχές του νέφους παρατηρήσαμε το φαινόμενο των προεξέχουσων κορυφών (Overshooting Tops), ενώ με την χρωματική διαβάθμιση αναγνωρίστηκαν οι περιοχές ψυχρών δακτυλίων (Cold Rings) που ταυτίζονταν με φαινόμενα Overshooting. Για ένα καταιγιδόφρο σύστημα, αυτές οι δομές, είναι χρήσιμο να αναγνωρίζονται αφού συνδέονται με ακραία καιρικά φαινόμενα στην επιφάνεια.
- Ο συνδυασμός RGB Convection αναγνώρισε τα ενεργά μέρη της καταιγίδας, τα οποία υποδηλώνουν έντονες ανοδικές κινήσεις και ήρθε σε ικανοποιητική αντιστοιχία με το κανάλι HRV, όσον αφορά το φαινόμενο Overshooting Tops, ενώ αναγνωρίστηκαν και οι δομές των ψυχρών δακτυλίων. Επίσης, η απεικόνιση του νεφικού συστήματος σ' αυτό το κανάλι μας έδωσε αρκετά σημαντικά στοιχεία που αφορούν την μικροφυσική του συστήματος.
- Ο συνδυασμός RGB 24h Microphysics ανέδειξε το οπτικό πάχος του καταιγιδόφρου συστήματος, όπως επίσης και την μικροφυσική του, η οποία ήρθε σε απόλυτη αντιστοιχία με το κανάλι RGB Convection. Τέλος,

προσδιορίστηκαν περιοχές περιμετρικά του νεφικού σχηματισμού που εμφάνισαν το φαινόμενο Cirrus Anvil, το οποίο συνδέεται άμεσα με καταιγιδοφόρους σχηματισμούς.

- Από το κανάλι RGB Airmass προσδιορίστηκαν πλήρως οι κινήσεις των αερίων μαζών, όπως και οι ζώνες μεταφοράς. Τα χαρακτηριστικά των αερίων μαζών αναγνωρίστηκαν για να αποτυπωθεί ακριβώς ο δυναμικός χαρακτήρας της ατμόσφαιρας. Επίσης, προσδιορίστηκε και η θέση του πολικού αεροχειμάρρου, η οποία ήρθε σε πλήρη συμφωνία με το κανάλι των υδρατμών στα 6.2 μm .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

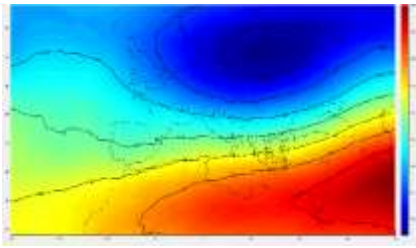
- [1] **Ahrens Donald**, 2012, *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*, Sixth Edition.
- [2] **Bedka, K., et al.** (2010), Objective Satellite-Based Detection of Overshooting Tops Using Infrared Window Channel Brightness Temperature Gradients, *J. Appl. Meteor. Climat.*, 49, 181-202, doi:10.1175/2009JAMC2286.1.
- [3] **Craven J. and Brooks H.**, 2004, Baseline climatology of sounding derived parameters associated with deep, moist convection.
- [4] **EUMeTrain**: International Training Project sponsored by EUMETSAT (URL: <http://www.eumetrain.org>).
- [5] **EUMETSAT**: European METeorological SATellite (URL: <https://www.eumetsat.int/website/home/index.html>).
- [6] **Fritsch J.M. and Kane R.J. and Chelius C.R.**, 1986, The Contribution of Mesoscale Convective Weather Systems to the Warm-Season Precipitation in the United States, *J. Climate Appl. Meteor.* (1986) **25** (10): 1333–1345.
- [7] **Holton J.**, 2004, *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Elsevier Academic Press.
- [8] **Huo Z. et al.** 1994, Interaction of Potential Vorticity Anomalies in Extratropical Cyclogenesis. Part 1: Static Piecewise Inversion. *Mon Wea Rev* 127: 2546-2562.
- [9] **MetOffice**: Meteorological Office of the United Kingdom (URL: <https://www.metoffice.gov.uk>).
- [10] **Meteorological Chart Site**: www.wetter3.de

- [11] **Min J. and Gao J. et al.**, 2020, Assimilation of Radar Data, Pseudo Water Vapor, and Potential Temperature in a 3DVAR Framework for Improving Precipitation Forecast of Severe Weather Events, *Atmosphere* 2020, 11,182, <https://doi.org/10.3390/atmos11020182>.
- [12] **NOAA**: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, (URL: <https://www.weather.gov>).
- [13] **North Carolina Climate Office**: (URL: <http://climate.ncsu.edu>).
- [14] **Prezerakos N.G.**, 1989, An investigation into the conditions in which air-mass thunderstorms occur at Athens, *Meteorological Magazine*, 118,1989,31-36.
- [15] **Pytharoulis I. et al.**, 2016, Numerical modeling of an intense precipitation event and its associated lightning activity over northern Greece, *Atmospheric Research*,523-538.
- [16] **Romero et al.**, 2000, Mesoscale Numerical Study of Two Cases of Long-Lived Quasi-Stationary Convective Systems over Eastern Spain, *Mon. Wea. Rev.* (2000) 128 (11): 3731–3751.
- [17] **Santurette P. and Georgiev C.G.**, 2007, Water vapour imagery analysis in 7.3μ/6.2μ for diagnosing thermo-dynamic context of intense convection, Joint 2007 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference and the 15th AMS Satellite Meteorology & Oceanography Conference.
- [18] **Schmetz J., Pili P., Tjemkes S., Just D., Kerkmann J., Rota S., Ratier A.**,2002, An introduction to Meteosat Second Generation (MSG), *American Meteorological Society*, 977-992.
- [19] **Sioutas M. and Flocas A.H.**, 2003, Hailstorms in Northern Greece: synoptic patterns and thermodynamic environment, *Theoretical and Applied Climatology*, 75, 189-202.

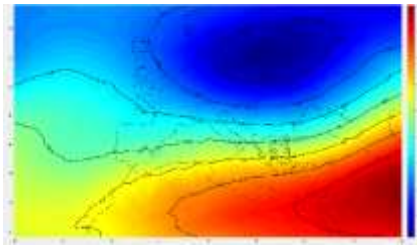
- [20] **Sioutas M. et al.**, 2009, Hail frequency, distribution and intensity in Northern Greece, *Atmospheric Research*, 526-533.
- [21] **Stull R.**, 2015, *Meteorology for Scientists and Engineers*, Third Edition, The University of British Columbia, Vancouver Canada.
- [22] **University of Wyoming**: Atmospheric soundings web site, University of Wyoming, Department of Atmospheric Science, Laramie, USA (URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>).
- [23] **Δεληγιώργη Δ. , Κάλλος Γ.**, 1988, Μαθήματα Δυναμικής – Συνοπτικής Μετεωρολογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [24] **EAA**: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (URL: <http://www.noa.gr>).
- [25] **EMY**: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (URL: <http://www.hnms.gr/emy/el>).
- [26] **Ζιακόπουλος Δημήτρης, Φραγκούλη Παρασκευή**, 2015, Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου – προγνώστη, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (URL: http://www.hnms.gr/emy/el/meteorology/components/HNMS_MeteorologistBook.pdf).
- [27] **Καρτάλης Κ., Φειδάς Χ.**, 2019, Σημειώσεις Δορυφορικής Μετεωρολογίας, Τομέας Φυσικής Περιβάλλοντος – Μετεωρολογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [28] **Σαχσαμάνογλου Χ. Σ., Μακρογιάννης Τ. Ι.**, 1998, Γενική Μετεωρολογία, εκδόσεις Ζήτη.
- [29] **Φλόκα Ε.**, 2019, Σημειώσεις Δυναμικής Μετεωρολογίας, Τομέας Φυσικής Περιβάλλοντος – Μετεωρολογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [30] www.ziakopoulos.blogspot.gr
- [31] www.kolydas.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

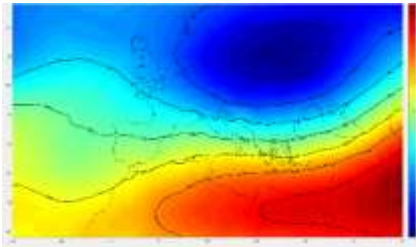
➤ Γεωδυναμικό ύψος 100 hPa



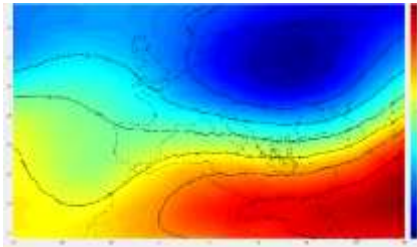
00:00:00 UTC , 09-07-2019



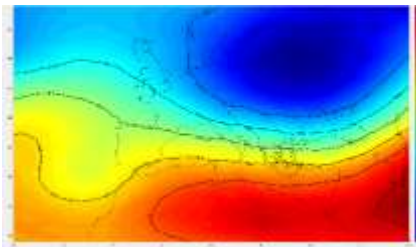
06:00:00 UTC , 09-07-2019



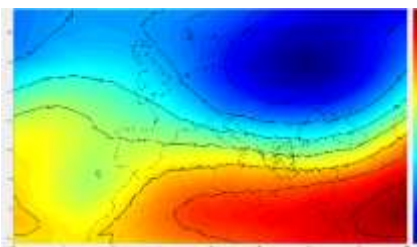
12:00:00 UTC , 09-07-2019



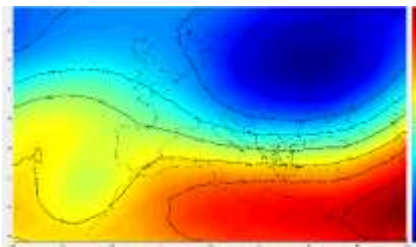
18:00:00 UTC , 09-07-2019



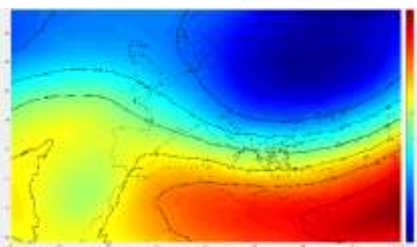
00:00:00 UTC , 10-07-2019



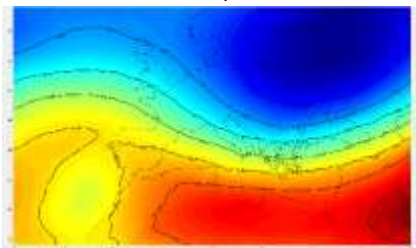
06:00:00 UTC , 10-07-2019



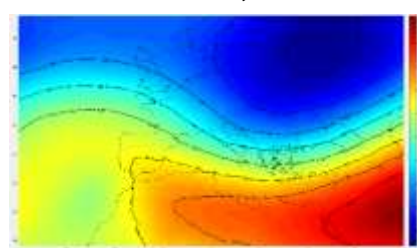
12:00:00 UTC , 10-07-2019



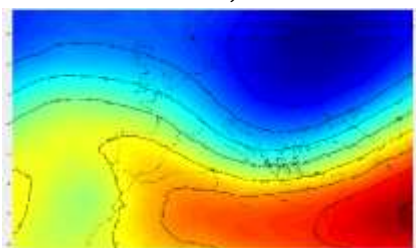
18:00:00 UTC , 10-07-2019



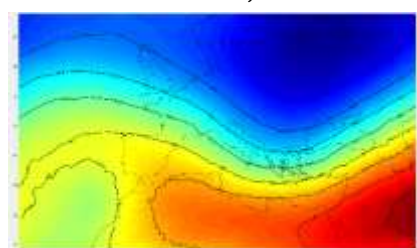
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

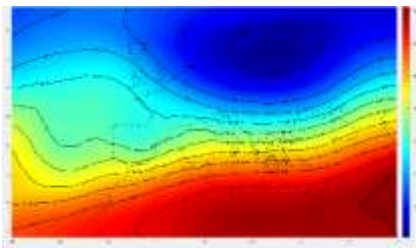


12:00:00 UTC , 11-07-2019

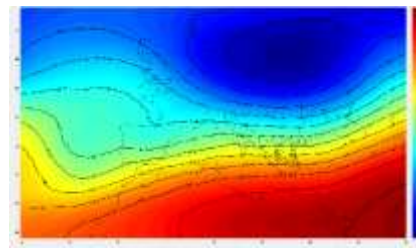


18:00:00 UTC , 11-07-2019

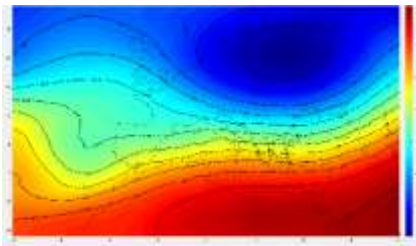
➤ Γεωδυναμικό ύψος 150 hPa



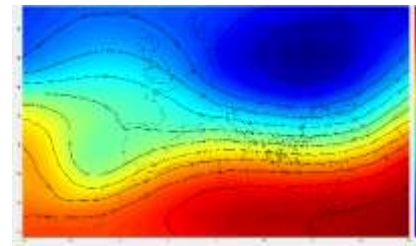
00:00:00 UTC , 09-07-2019



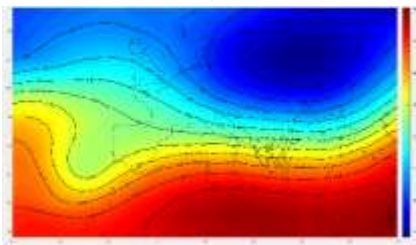
06:00:00 UTC , 09-07-2019



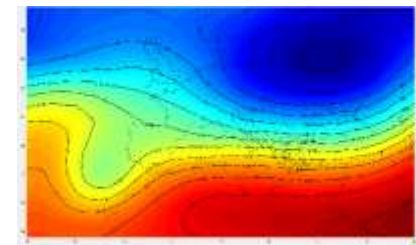
12:00:00 UTC , 09-07-2019



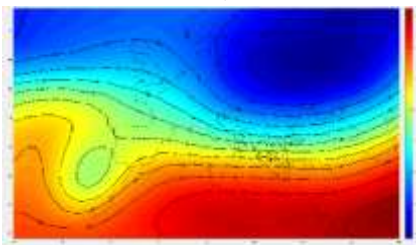
18:00:00 UTC , 09-07-2019



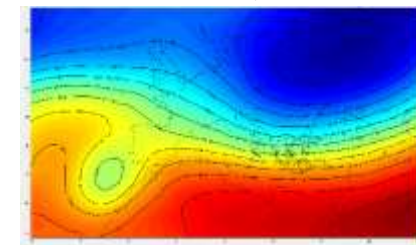
00:00:00 UTC , 10-07-2019



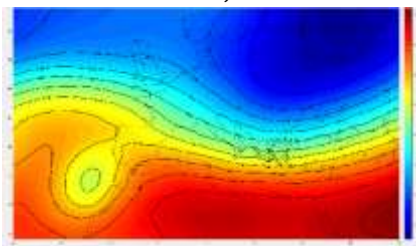
06:00:00 UTC , 10-07-2019



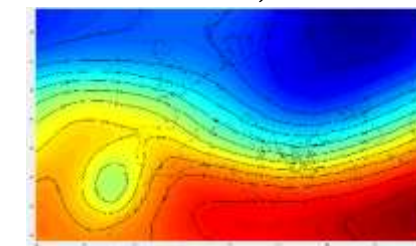
12:00:00 UTC , 10-07-2019



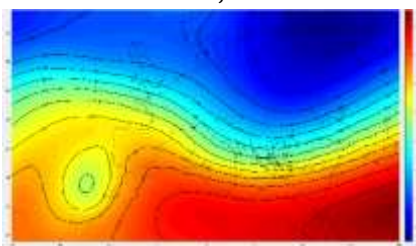
18:00:00 UTC , 10-07-2019



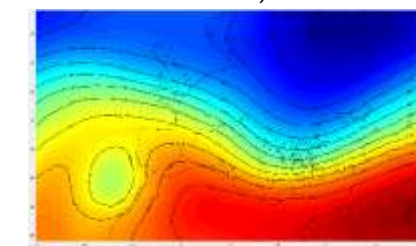
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

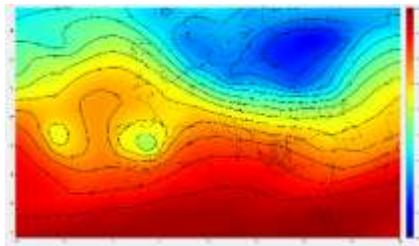


12:00:00 UTC , 11-07-2019

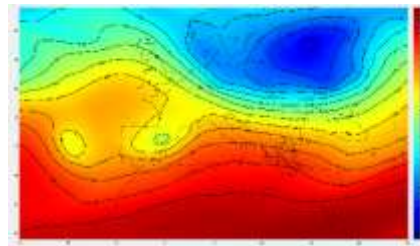


18:00:00 UTC , 11-07-2019

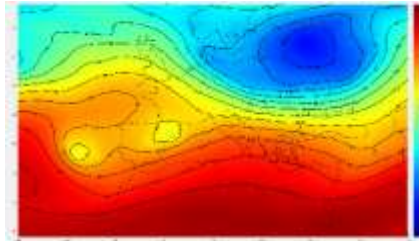
➤ Γεωδυναμικό ύψος 300 hPa



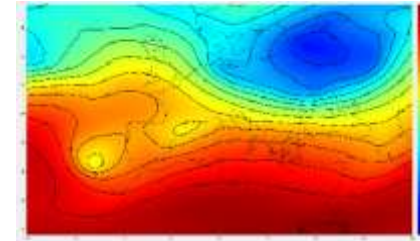
00:00:00 UTC , 09-07-2019



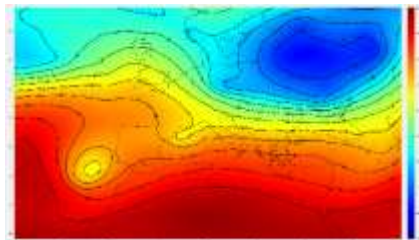
06:00:00 UTC , 09-07-2019



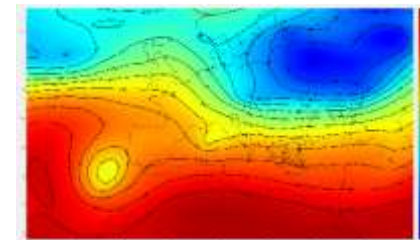
12:00:00 UTC , 09-07-2019



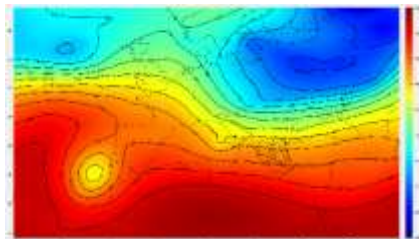
18:00:00 UTC , 09-07-2019



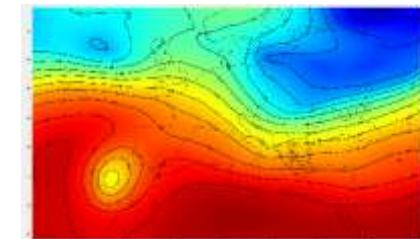
00:00:00 UTC , 10-07-2019



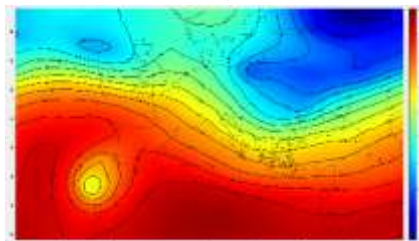
06:00:00 UTC , 10-07-2019



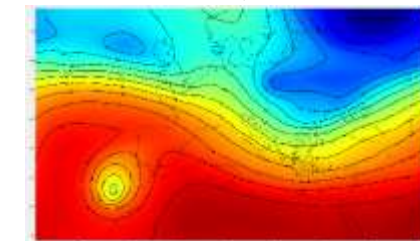
12:00:00 UTC , 10-07-2019



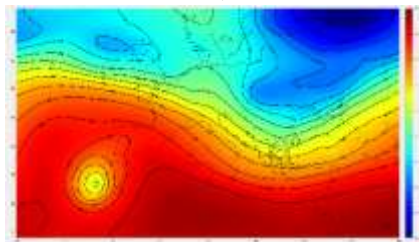
18:00:00 UTC , 10-07-2019



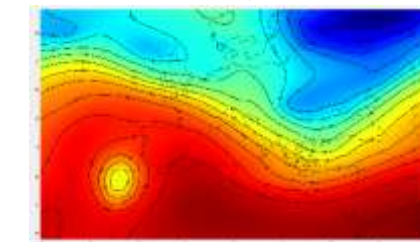
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

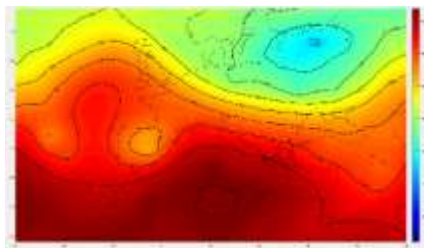


12:00:00 UTC , 11-07-2019

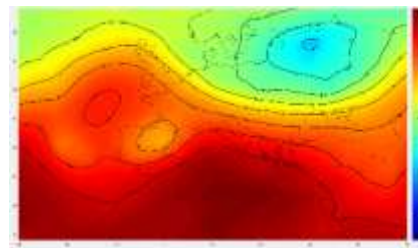


18:00:00 UTC , 11-07-2019

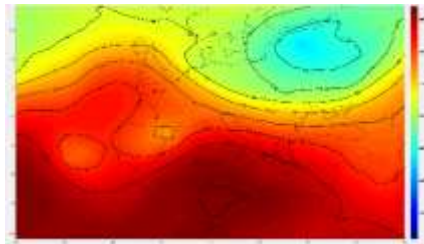
➤ Γεωδυναμικό ύψος 500 hPa



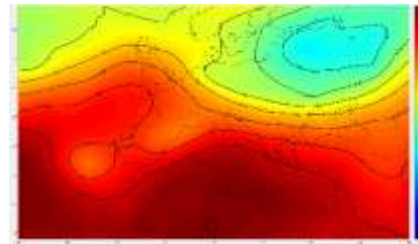
00:00:00 UTC , 09-07-2019



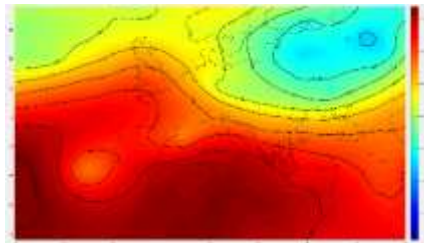
06:00:00 UTC , 09-07-2019



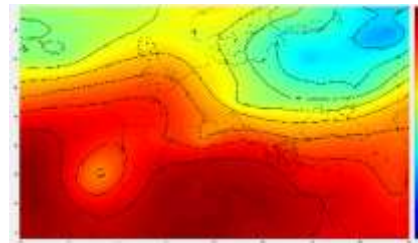
12:00:00 UTC , 09-07-2019



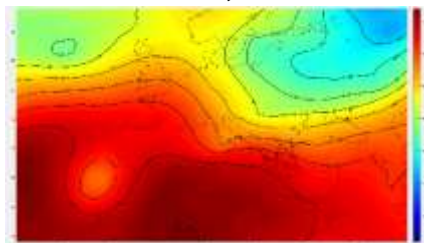
18:00:00 UTC , 09-07-2019



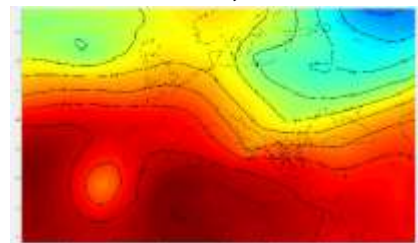
00:00:00 UTC , 10-07-2019



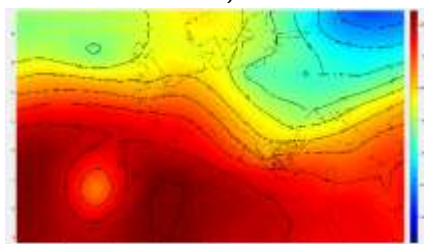
06:00:00 UTC , 10-07-2019



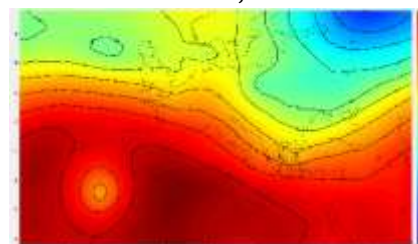
12:00:00 UTC , 10-07-2019



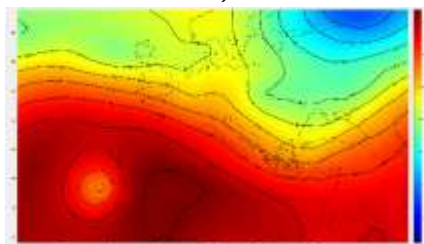
18:00:00 UTC , 10-07-2019



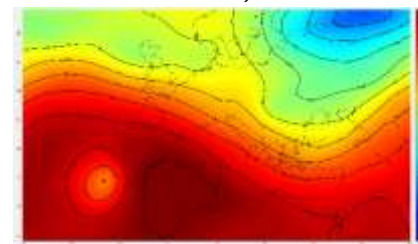
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

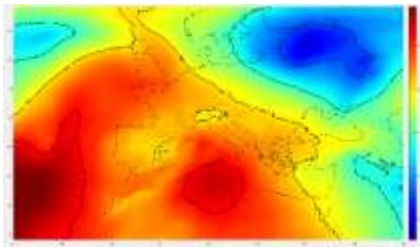


12:00:00 UTC , 11-07-2019

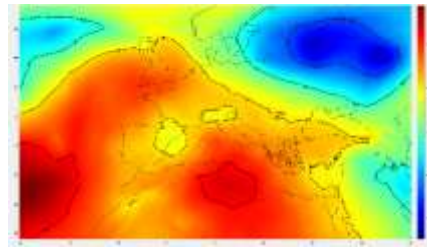


18:00:00 UTC , 11-07-2019

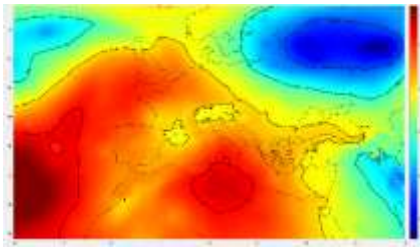
➤ Γεωδυναμικό ύψος 850 hPa



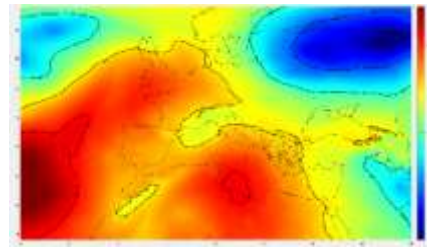
00:00:00 UTC , 09-07-2019



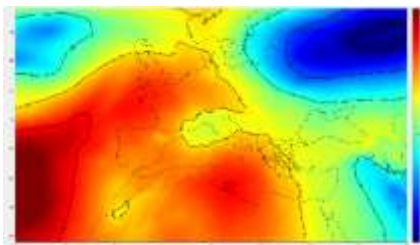
06:00:00 UTC , 09-07-2019



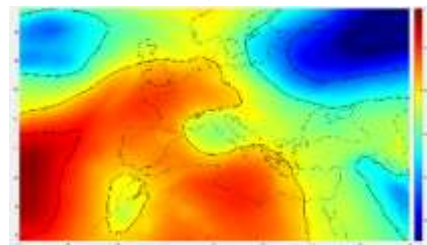
12:00:00 UTC , 09-07-2019



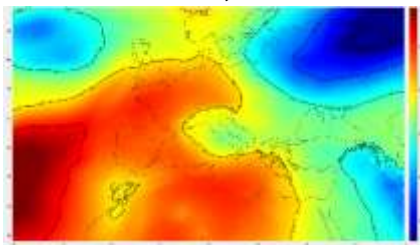
18:00:00 UTC , 09-07-2019



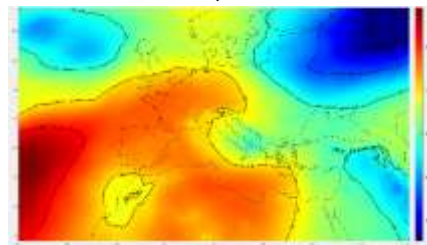
00:00:00 UTC , 10-07-2019



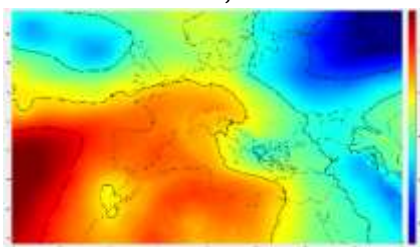
06:00:00 UTC , 10-07-2019



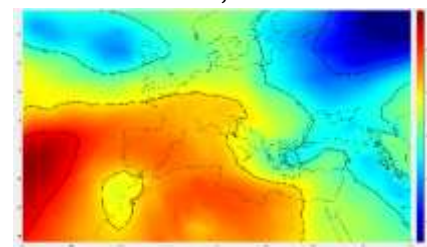
12:00:00 UTC , 10-07-2019



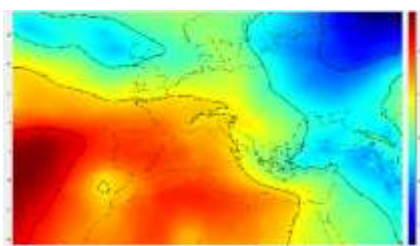
18:00:00 UTC , 10-07-2019



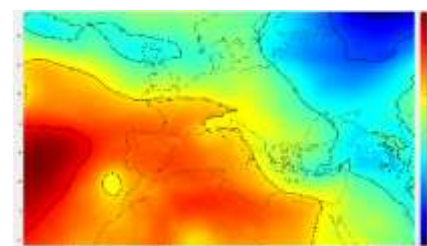
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

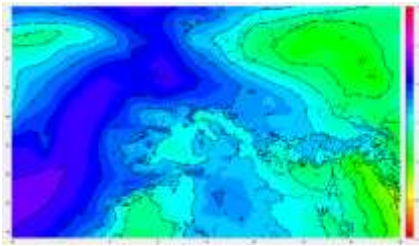


12:00:00 UTC , 11-07-2019

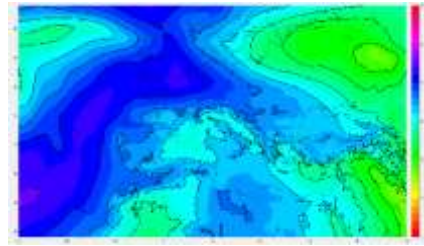


18:00:00 UTC , 11-07-2019

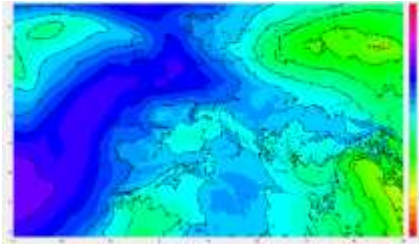
➤ Πίεση στην Μέση Στάθμη Θαλάσσης(ΜΣΘ) 1013 hPa



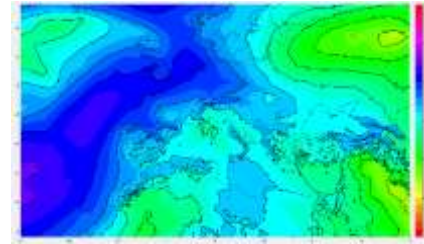
00:00:00 UTC , 09-07-2019



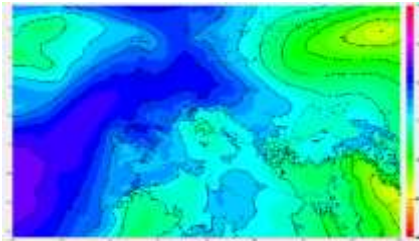
06:00:00 UTC , 09-07-2019



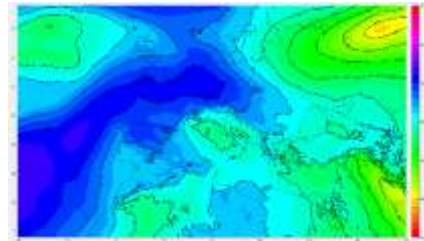
12:00:00 UTC , 09-07-2019



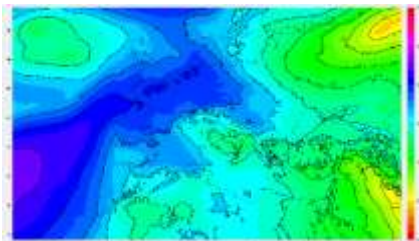
18:00:00 UTC , 09-07-2019



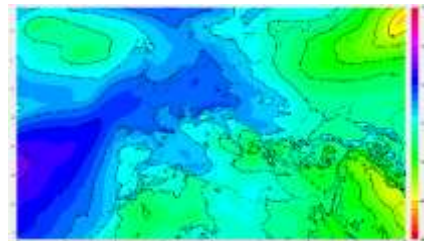
00:00:00 UTC , 10-07-2019



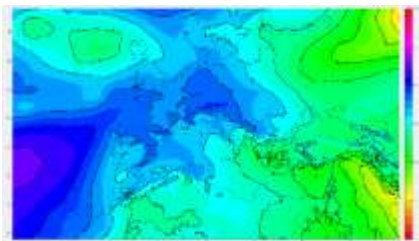
06:00:00 UTC , 10-07-2019



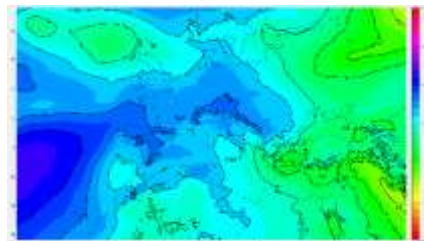
12:00:00 UTC , 10-07-2019



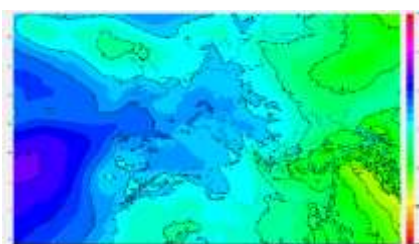
18:00:00 UTC , 10-07-2019



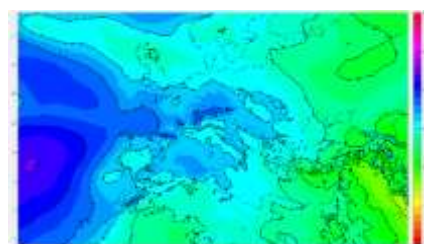
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

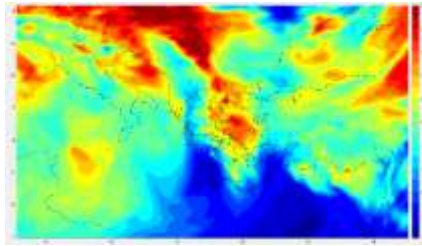


12:00:00 UTC , 11-07-2019

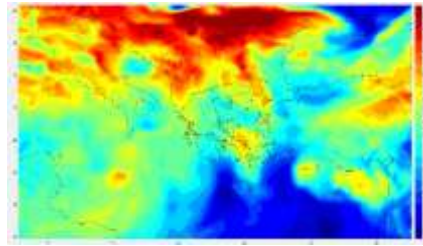


18:00:00 UTC , 11-07-2019

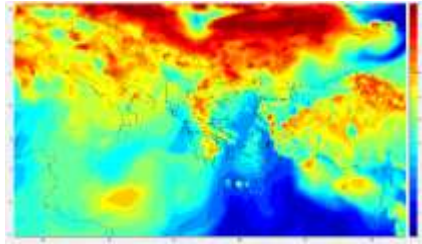
➤ Σχετική Υγρασία 700 hPa



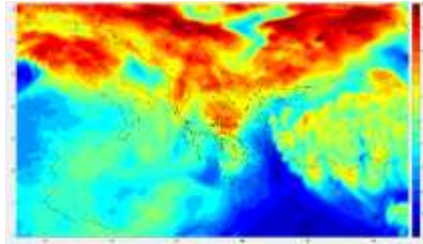
00:00:00 UTC , 09-07-2019



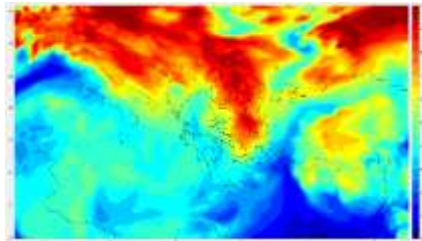
06:00:00 UTC , 09-07-2019



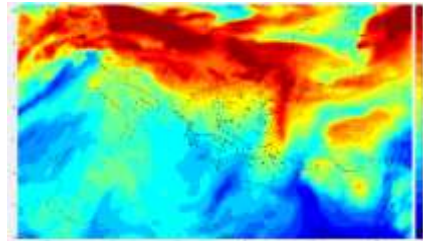
12:00:00 UTC , 09-07-2019



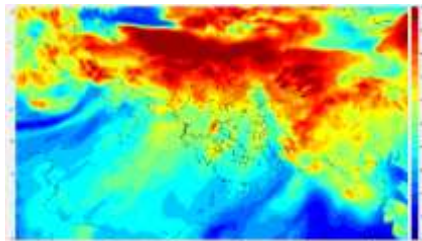
18:00:00 UTC , 09-07-2019



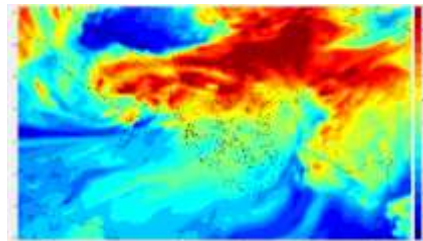
00:00:00 UTC , 10-07-2019



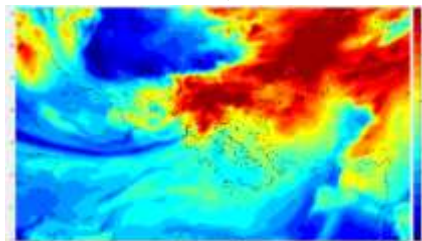
06:00:00 UTC , 10-07-2019



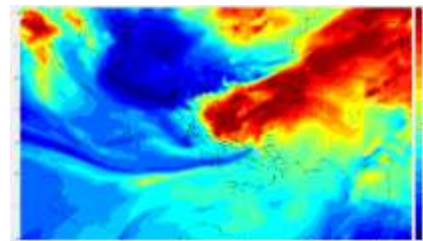
12:00:00 UTC , 10-07-2019



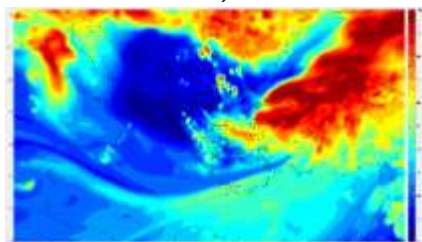
18:00:00 UTC , 10-07-2019



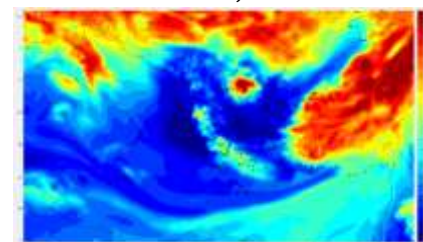
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

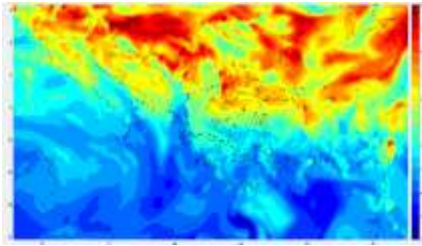


12:00:00 UTC , 11-07-2019

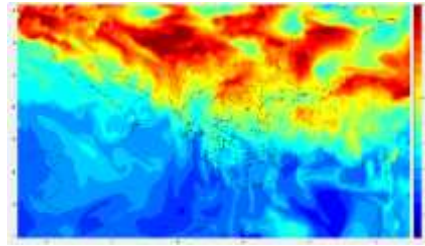


18:00:00 UTC , 11-07-2019

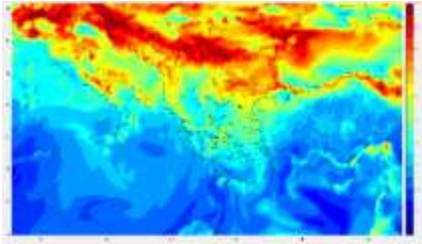
➤ Σχετική Υγρασία 850 hPa



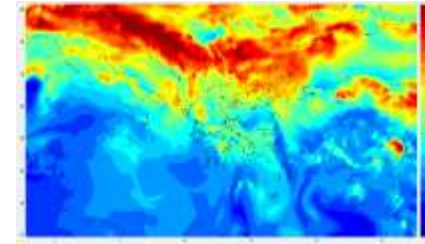
00:00:00 UTC , 09-07-2019



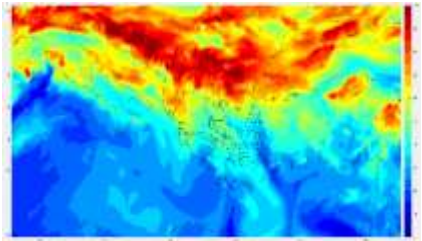
06:00:00 UTC , 09-07-2019



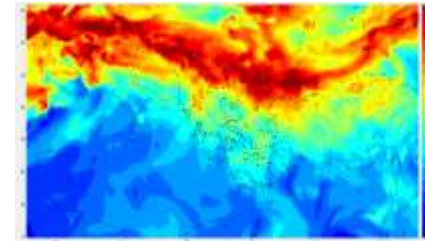
12:00:00 UTC , 09-07-2019



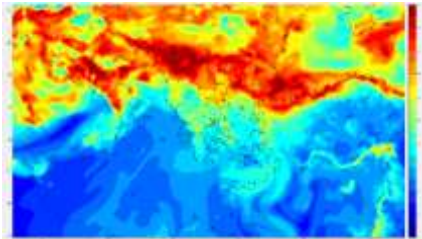
18:00:00 UTC , 09-07-2019



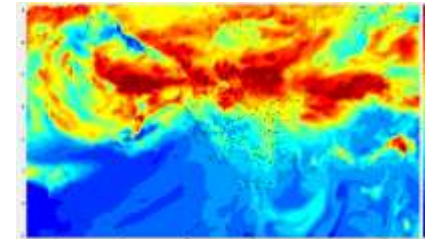
00:00:00 UTC , 10-07-2019



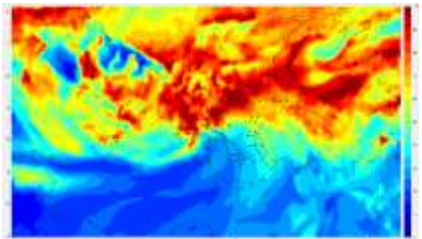
06:00:00 UTC , 10-07-2019



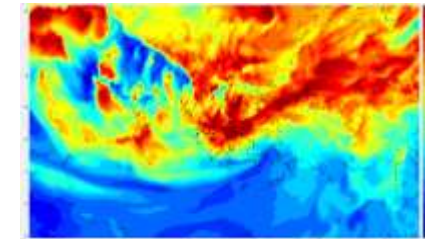
12:00:00 UTC , 10-07-2019



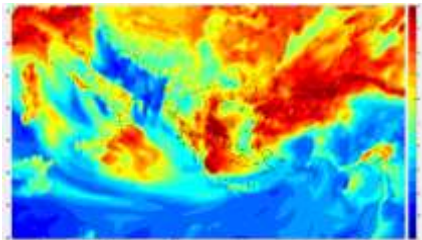
18:00:00 UTC , 10-07-2019



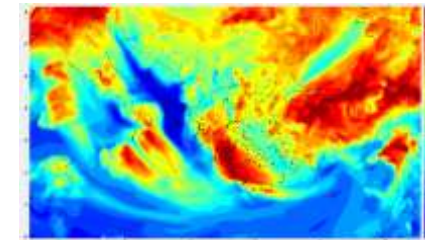
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

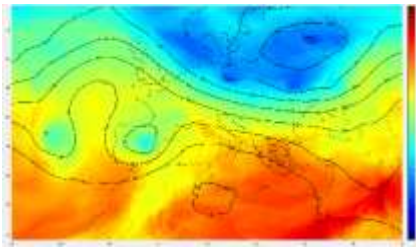


12:00:00 UTC , 11-07-2019

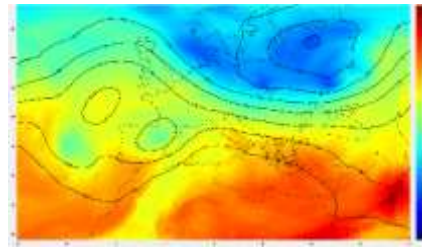


18:00:00 UTC , 11-07-2019

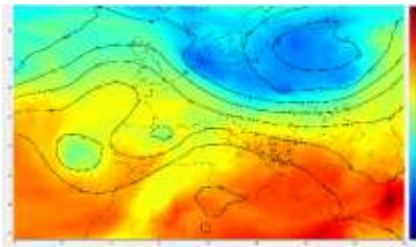
➤ *Θερμοκρασία 500 hPa*



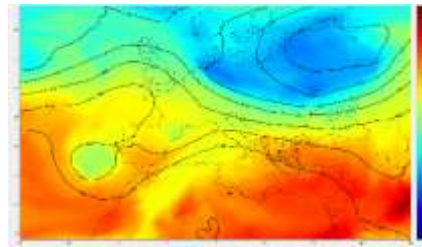
00:00:00 UTC , 09-07-2019



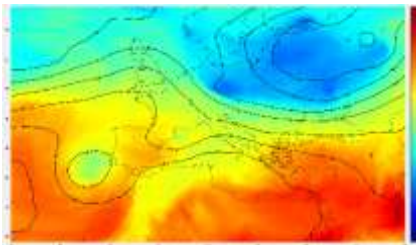
06:00:00 UTC , 09-07-2019



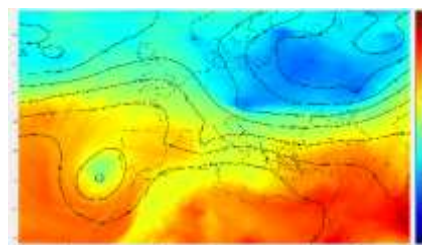
12:00:00 UTC , 09-07-2019



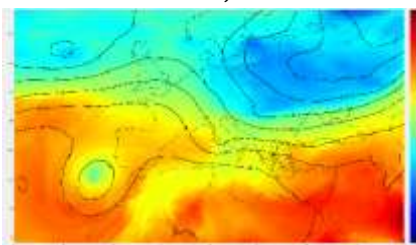
18:00:00 UTC , 09-07-2019



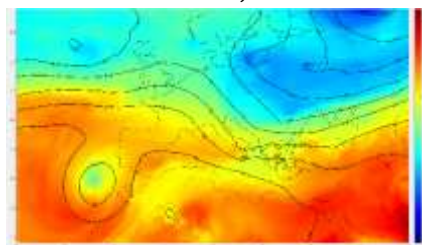
00:00:00 UTC , 10-07-2019



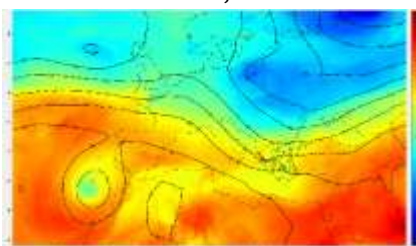
06:00:00 UTC , 10-07-2019



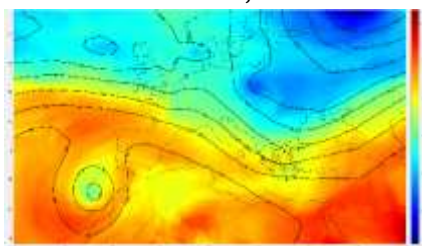
12:00:00 UTC , 10-07-2019



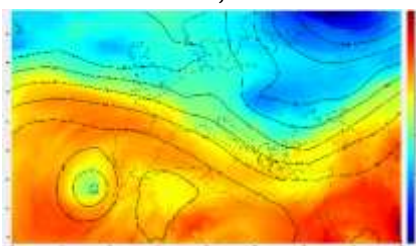
18:00:00 UTC , 10-07-2019



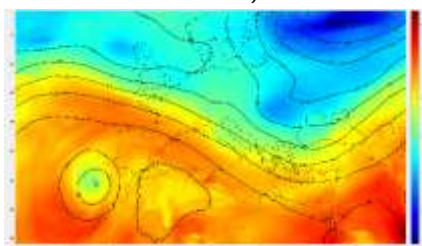
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

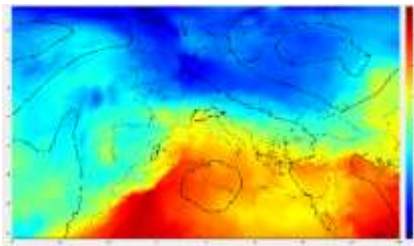


12:00:00 UTC , 11-07-2019

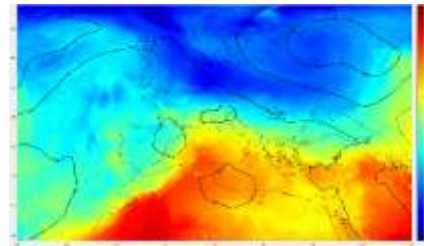


18:00:00 UTC , 11-07-2019

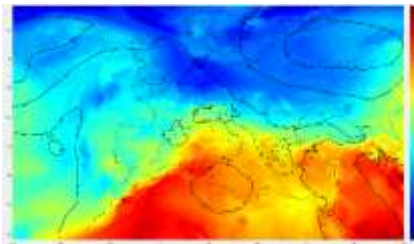
➤ Θερμοκρασία 850 hPa



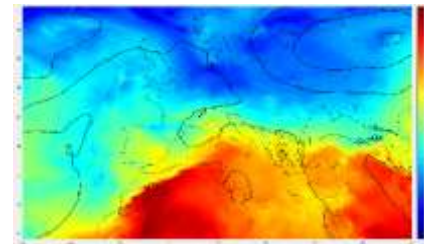
00:00:00 UTC , 09-07-2019



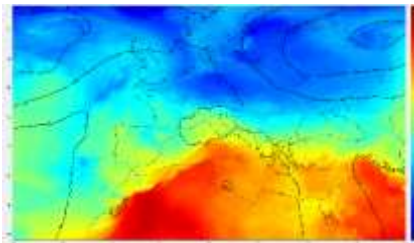
06:00:00 UTC , 09-07-2019



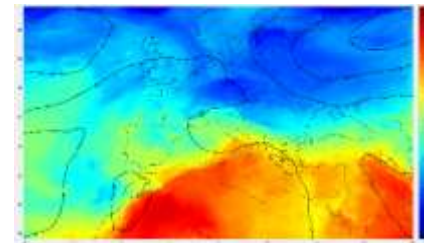
12:00:00 UTC , 09-07-2019



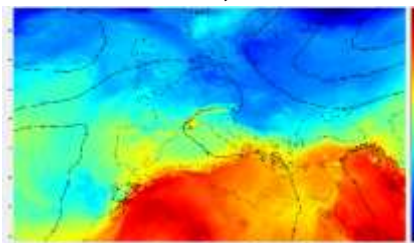
18:00:00 UTC , 09-07-2019



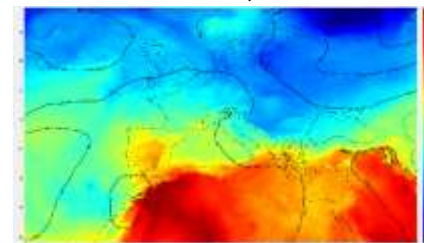
00:00:00 UTC , 10-07-2019



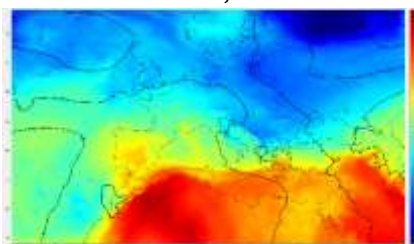
06:00:00 UTC , 10-07-2019



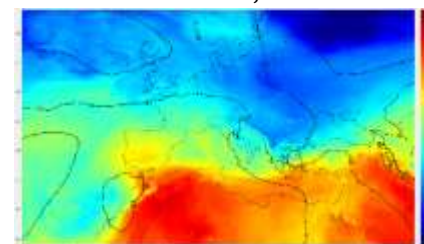
12:00:00 UTC , 10-07-2019



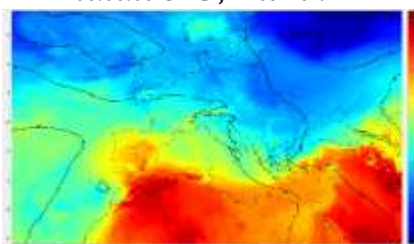
18:00:00 UTC , 10-07-2019



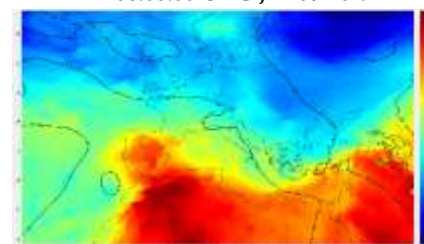
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

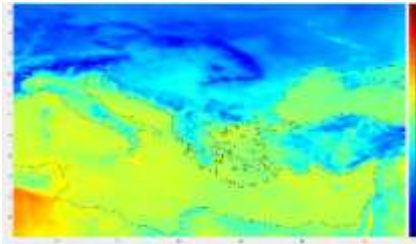


12:00:00 UTC , 11-07-2019

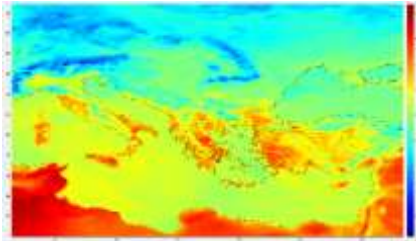


18:00:00 UTC , 11-07-2019

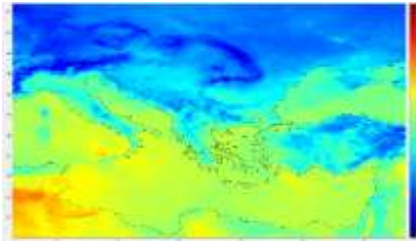
➤ *Επιφανειακή θερμοκρασία*



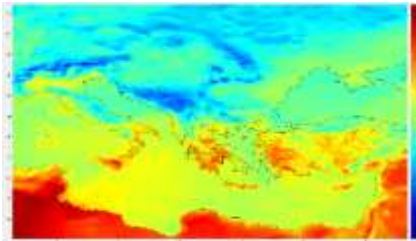
00:00:00 UTC , 09-07-2019



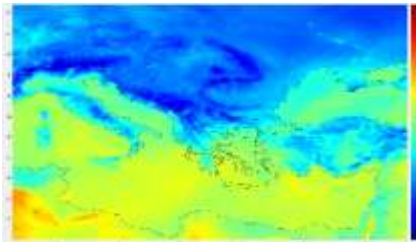
12:00:00 UTC , 09-07-2019



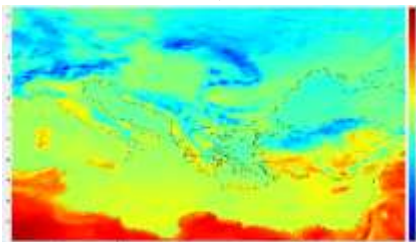
00:00:00 UTC , 10-07-2019



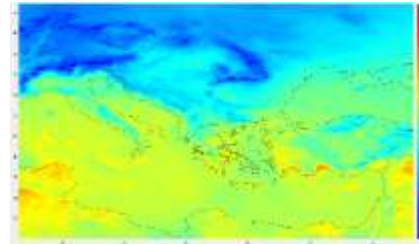
12:00:00 UTC , 10-07-2019



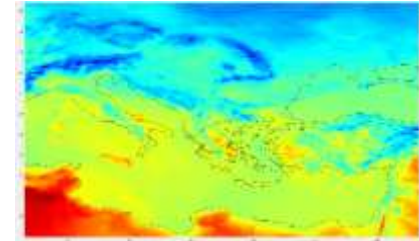
00:00:00 UTC , 11-07-2019



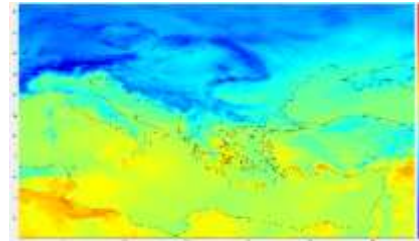
12:00:00 UTC , 11-07-2019



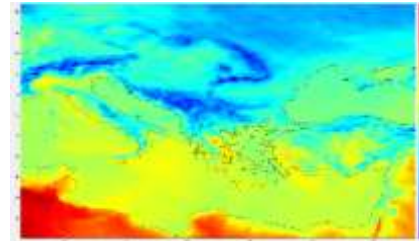
06:00:00 UTC , 09-07-2019



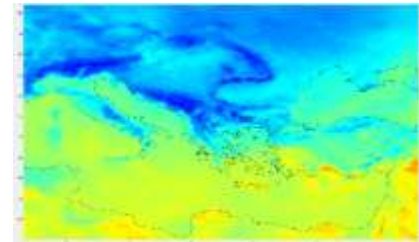
18:00:00 UTC , 09-07-2019



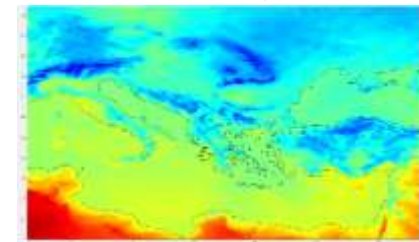
06:00:00 UTC , 10-07-2019



18:00:00 UTC , 10-07-2019

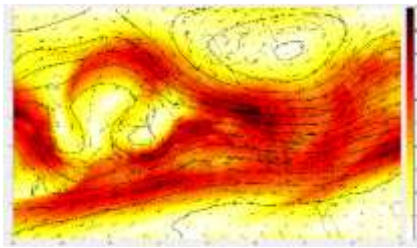


06:00:00 UTC , 11-07-2019

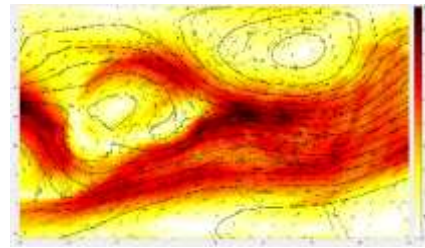


18:00:00 UTC , 11-07-2019

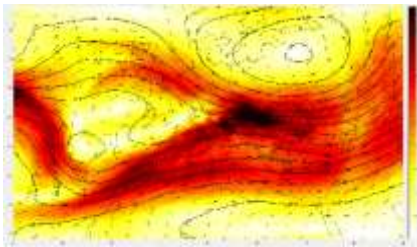
➤ Άνεμος 200 hPa



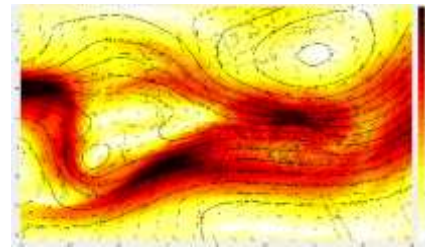
00:00:00 UTC , 09-07-2019



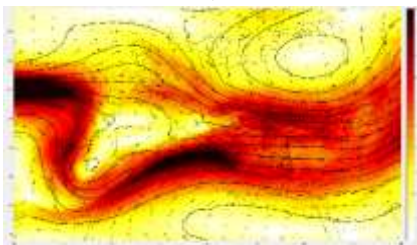
06:00:00 UTC , 09-07-2019



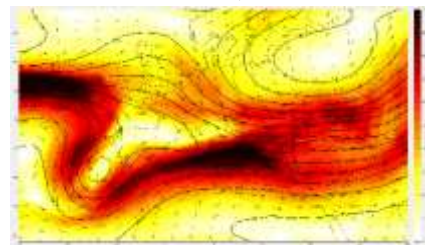
12:00:00 UTC , 09-07-2019



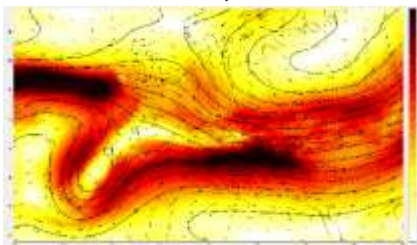
18:00:00 UTC , 09-07-2019



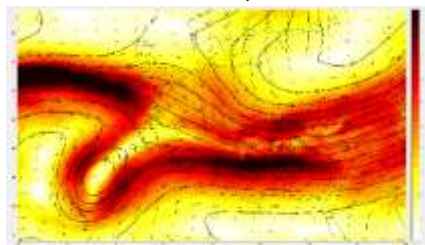
00:00:00 UTC , 10-07-2019



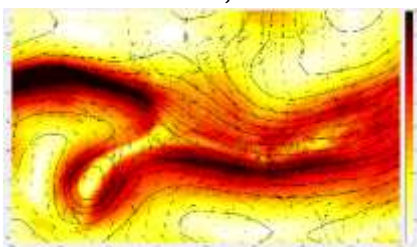
06:00:00 UTC , 10-07-2019



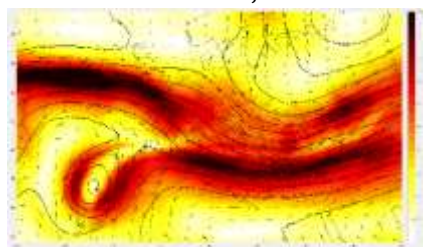
12:00:00 UTC , 10-07-2019



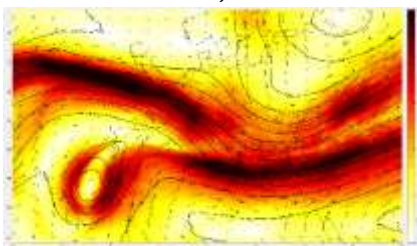
18:00:00 UTC , 10-07-2019



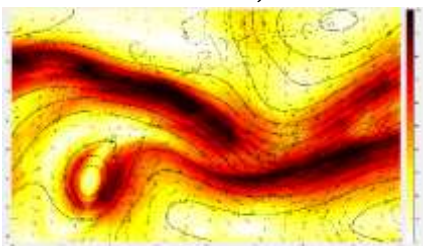
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019

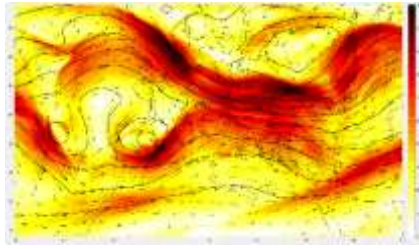


12:00:00 UTC , 11-07-2019

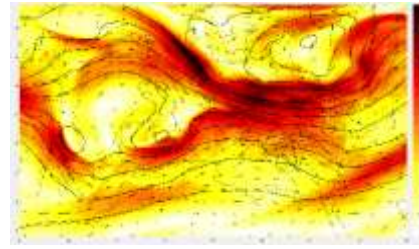


18:00:00 UTC , 11-07-2019

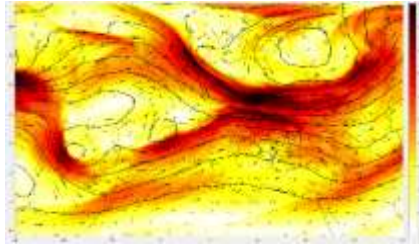
➤ Άνεμος 300 hPa



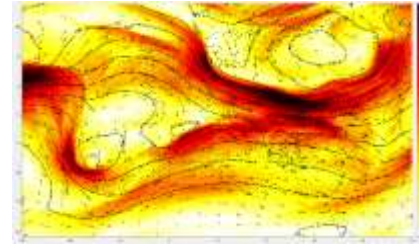
00:00:00 UTC , 09-07-2019



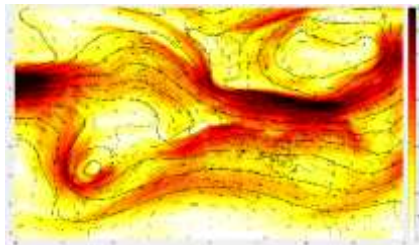
06:00:00 UTC , 09-07-2019



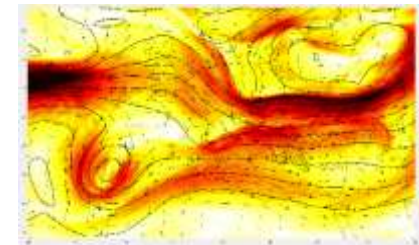
12:00:00 UTC , 09-07-2019



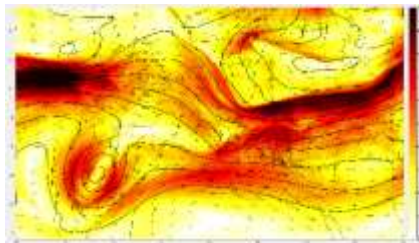
18:00:00 UTC , 09-07-2019



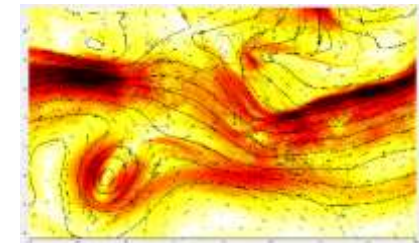
00:00:00 UTC , 10-07-2019



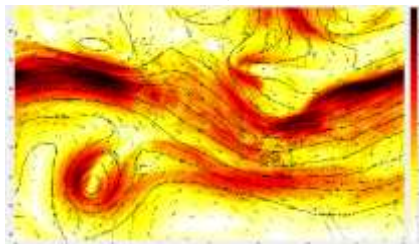
06:00:00 UTC , 10-07-2019



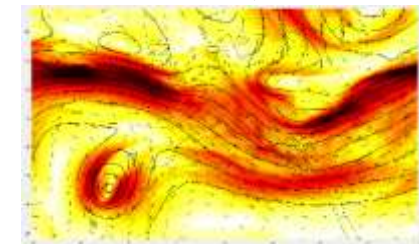
12:00:00 UTC , 10-07-2019



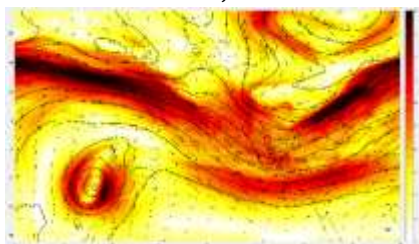
18:00:00 UTC , 10-07-2019



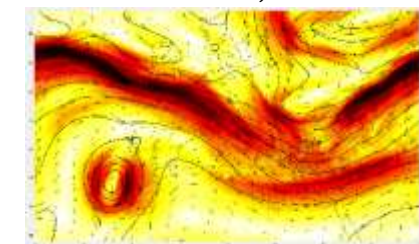
00:00:00 UTC , 11-07-2019



06:00:00 UTC , 11-07-2019



12:00:00 UTC , 11-07-2019



18:00:00 UTC , 11-07-2019