Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

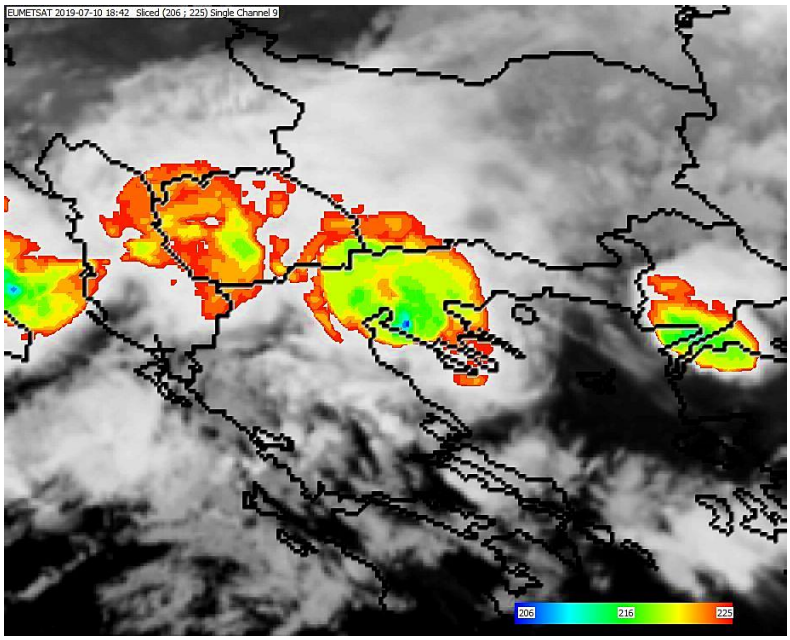
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΛΕΝΗ Χ. ΑΓΓΕΛΙΔΟΥ
Πτυχιούχος Μαθηματικός

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΤΗΣ 10ΗΣ ΙΟΥΛΙΟΥ 2019

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
'ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΛΕΝΗ Χ. ΑΓΓΕΛΙΔΟΥ
Πτυχιούχος Μαθηματικός

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΤΗΣ 10ΗΣ ΙΟΥΛΙΟΥ 2019

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών 'Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 03/12/2021

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Χαράλαμπος Φείδας, Επιβλέπων
Αν. Καθηγητής Ιωάννης Πυθαρούλης, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
ΕΔΙΠ Δημήτριος Μπαμπζέλης, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

© Ελένη Χ. Αγγελίδου, Μαθηματικός, 2021
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΥΠΕΡΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΤΗΣ 10ΗΣ ΙΟΥΛΙΟΥ 2019 – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Eleni Ch. Angelidou, Mathematician, 2021
All rights reserved.
A CASE STUDY OF A SUPERCELL ON THE 10TH JULY, 2019 BASED ON SATELLITE DATA – *Master Thesis*

Citation:
Αγγελίδου Ε. Χ., 2021. – Δορυφορική μελέτη των χαρακτηριστικών της υπερκυτταρικής καταιγίδας της 10ης Ιουλίου 2019. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 151 σελ.
Angelidou E. Ch., 2021. – A case study of a supercell on the 10th July, 2019 based on satellite data. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 151 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Ενισχυμένη χρωματικά δορυφορική εικόνα του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) στις 10/07/2019, 18:42UTC, όπου διακρίνεται η δομή του χαρακτηριστικού σχήματος ψυχρού U/V στην κορυφή του νέφους. Πηγή: Από δορυφορικά δεδομένα της παρούσας εργασίας του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 με το ραδιόμετρο SEVIRI.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

"If you want to see the sunshine,

you have to weather the storm"

Frank Lane

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Προλογικό Σημείωμα - Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών (Π.Μ.Σ.), του τμήματος Γεωλογίας, "Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον" με σκοπό την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης (ΜΔΕ, MSc). Ο τίτλος της εργασίας βασίζεται στην δορυφορική μελέτη των χαρακτηριστικών της Υπερκυτταρικής καταιγίδας της 10ης Ιουλίου 2019. Ήταν μια πρωτοβουλία του επιβλέποντος Καθηγητή της μεταπτυχιακής μου διατριβής κυρίου Χαράλαμπου Φείδα η οποία με βρήκε απόλυτα σύμφωνη, διότι το συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο ήταν ένα από τα πιο βίαια και ισχυρά γεγονότα που είχαν εξελιχθεί στον Ελλαδικό χώρο τα τελευταία χρόνια.

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας αποτελεί η αναγνώριση και η μελέτη των φασματικών και φυσικών χαρακτηριστικών της καταιγίδας που έπληξε την Χαλκιδική την 10η Ιουλίου 2019 με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα γεωστάσιμων και πολικής τροχιάς δορυφόρων (MSG-SEVIRI, Sentinel 2 και 3, GPM) σε συνδυασμό με καταγραφές επίγειων δεδομένων ραντάρ για να μελετηθούν και να καθοριστούν τα φασματικά χαρακτηριστικά του καταιγιδοφόρου νεφικού συστήματος βάσει των οποίων εξήχθησαν πληροφορίες για τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτού (ύψος, μορφή, τοπογραφία κορυφής, κατανομή βροχής κ.α.) και της χρονικής τους εξέλιξης. Τα φυσικά χαρακτηριστικά της καταιγίδας αποτέλεσαν τη βάση για τη διερεύνηση του είδους της καταιγίδας (MCS, πολυκυτταρικής ή υπερκυτταρικής). Τα παραπάνω ευρήματα, ερμηνεύονται, παράλληλα, σε σχέση και με τα συνοπτικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Η ανάλυση των κεφαλαίων της παρούσας εργασίας δομείται ως εξής: Στο 1ο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας μαζί με τον αντικειμενικό σκοπό της έρευνας αυτής. Στο 2ο Κεφάλαιο περιγράφονται τα δεδομένα και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Στο 3ο Κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των δεδομένων, καθώς απεικονίζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα όλης της μεταπτυχιακής διατριβής, από τα οποία στο 4ο Κεφάλαιο εξάγονται τα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας. Στο 5ο Κεφάλαιο δίνεται η ελληνική περίληψη ενώ στο 6ο Κεφάλαιο η αγγλική. Τέλος, στις τελευταίες δυο ενότητες, 7ο & 8ο Κεφάλαιο, παραθέτονται η βιβλιογραφία και το παράρτημα της εργασίας, αντίστοιχα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο "ευχαριστώ" στον Διδάκτορα Καθηγητή Μετεωρολογίας του Α.Π.Θ. και μέλος του ΕΛΓΑ κύριο Μιχάλη Σιούτα για την επεξήγηση βασικών στοιχείων καθώς και προσφορά δεδομένων του ραντάρ, τα οποία ήταν πολύ σημαντικά για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Όπως επίσης, και τον Επιστημονικό Συνεργάτη του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.) κύριο Στρατή Βουγιούκα για την παραχώρηση σημαντικών δεδομένων από επίγειους ελληνικούς μετεωρολογικούς σταθμούς.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής της μεταπτυχιακής μου διατριβής, Αναπληρωτή Καθηγητή κύριο Ιωάννη Πυθαρούλη και μέλος ΕΔΙΠ κύριο Δημήτρη Μπαμπζέλη για την καθοδήγηση και συνεχή στήριξή σε οποιαδήποτε απορία προέκυπτε, καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα.

Θα αποτελούσε παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον Ομότιμο Καθηγητή κύριο Θεόδωρο Καρακώστα, ο οποίος ως επιβλέπων μου στην εργασία του προπτυχιακού μου επιπέδου στο τμήμα του Μαθηματικού, ήταν συνεχώς παρών για να μου λύνει την κάθε αμφιβολία-απορία που προέκυπτε και μου δίδαξε σπουδαία πράγματα σχετικά με την Μετεωρολογία, αποκτώντας στη συνέχεια μια αξιοσημείωτη εμπειρία καθώς υπήρξε η πρώτη μου επαφή με τον κλάδο της Μετεωρολογίας.

Ένα ιδιαίτερο "ευχαριστώ" αξίζει σε δυο ανθρώπους που είχα την τιμή να γνωρίσω από κοντά κατά τη διάρκεια της Πρακτικής μου Άσκησης, ως προπτυχιακή φοιτήτρια του Μαθηματικού, στο Περιφερειακό Μετεωρολογικό Κέντρο Μακεδονίας (Π.Μ.Κ.Μ.) στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης. Αρχικά, τον Σμήναρχο Μετεωρολογίας και Διευθυντή του Π.Μ.Κ.Μ κύριο Χρήστο Σάρρα που χάρη στην δική του καθοδήγηση και προτροπή επέλεξα να μπω στο συγκεκριμένο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, ύστερα από μια σημαντική, πιθανότατα για την καριέρα μου, δίμηνη εμπειρία Πρακτικής Άσκησης στο Π.Μ.Κ.Μ μαζί, παράλληλα, με την γνωριμία και άλλων αξιοσημείωτων συναδέλφων στον χώρο αυτό. Και συμπληρωματικά, τον Διδάκτορα και Προγνώστη του Π.Μ.Κ.Μ./ Ε.Μ.Υ. κύριο Δημήτρη Μπρίκα για τις εξαιρετικά πολύτιμες συμβουλές του πάνω στην Μετεωρολογία καθώς και την συμβολή του σε βασικά ζητήματα σχετικά με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Το μεγαλύτερο "ευχαριστώ" αξίζει να αποδοθεί στον κύριο επιβλέποντα της μεταπτυχιακής μου διατριβής Αντιπρύτανη Οικονομικών, Υπολογισμού και Ανάπτυξης και Καθηγητή κύριο Χαράλαμπο Φείδα, αρχικά, για την υπομονή που

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της χρονιάς σε οτιδήποτε πρόβλημα προέκυπτε από πλευράς μου καθώς επίσης και για την καθοδήγηση και στήριξη που έδειξε για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστώ θερμά γιατί ήταν προσωπικά μια πολύ δύσκολη και περίεργη χρονιά από πολλές πλευρές και πραγματικά εύχομαι τόσο στον ίδιο όσο και στους παραπάνω αξιόλογους ανθρώπους να τους έχει ο Θεός καλά για να συνεχίσουν να προσφέρουν με το έργο τους και στις επόμενες γενιές.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην αναφερθώ στην πολλή σημαντική ψυχολογική βοήθεια που είχα τόσο από την οικογένεια μου όσο και από το στενό κοινωνικό μου περιβάλλον όλο αυτό τον καιρό. Υπήρξαν πολλές δυσκολίες και εμπόδια κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου διατριβής και χωρίς την δική τους ιδιαίτερη υποστήριξη θα ήταν πολύ δύσκολο να ολοκληρώσω το έργο μου. ΤΟΥΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΟΛΟΥΣ ΑΠΌ ΚΑΡΔΙΑΣ ΚΑΙ ΝΑ ΤΟΥΣ ΕΧΕΙ ΚΑΛΑ Ο ΘΕΟΣ!

ΝΑ ΕΙΣΤΕ ΟΛΟΙ ΚΑΛΑ!!

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμ. Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 10
1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ 10
1.1.1 Είδη καταιγίδων 12
1.1.2 Λεπτομερής επεξήγηση των Υπερκυτταρικών καταιγίδων 21
1.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙΡΟΥ 23
1.3 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ 25
2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 26
2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ 26
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ METEOSAT-11 31
2.2.1 Βασική ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων του Meteosat-11 31
2.2.2 Τρόπος λειτουργίας καναλιών 32
α) Ερμηνεία των εικόνων στα κανάλια του ορατού (VIS & HRV) 32
β) Ερμηνεία των εικόνων στα κανάλια του θερμικού υπερύθρου (IR) 33
γ) Ερμηνεία των εικόνων στα κανάλια των υδρατμών (WV) 34
2.2.3 Φυσικοί παράμετροι των νεφικών κορυφών και οι σχέσεις τους με τα φασματικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων του Meteosat-11 35
2.2.4 Ερμηνείες δορυφορικών εικόνων με βάση τις διαφορές, μεταξύ καναλιών, θερμοκρασιών λαμπρότητας (BTDs) του δορυφόρου Meteosat-11 36
α) Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών WV6.2 και WV7.3 ($BTDT6.2 - T7.3$) 37
β) Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών WV6.2 και IR10.8 ($BTDT6.2 - T10.8$) 37
γ) Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών του θερμικού υπερύθρου IR10.8 και IR12.0 ($BTDT10.8 - T12.0$) 38
2.2.5 Ερμηνείες δορυφορικών εικόνων με τη χρήση συνδυασμού καναλιών RGB . 39
α) Συνδυασμός Airmass RGB (5-6, 8-9, 5) 40
β) Συνδυασμός Night Microphysics RGB (10-9, 9-4, 9) 41
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 42
3.1 ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΝΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ 42
α. Συνοπτικοί χάρτες επιφανείας 44
β. Αεροχείμαρροι και απόκλιση στα 200hPa και 300hPa 45
γ. Σχετικός στροβιλισμός και μεταφορά απόλυτου στροβιλισμού στα 500hPa 50
δ. Θερμοκρασία και θερμική μεταφορά στα 500hPa 53
ε. Θερμοκρασία, άνεμοι και θερμική μεταφορά στα 850hPa 56
στ. Σχετική υγρασία και άνεμοι στα 700hPa 59

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΤΟΜΕΣ 61
9 Ιουλίου 2019 18:00UTC 62
10 Ιουλίου 2019 00:00UTC 64
10 Ιουλίου 2019 06:00UTC 66
10 Ιουλίου 2019 12:00UTC 67
10 Ιουλίου 2019 18:00UTC 69
11 Ιουλίου 2019 00:00UTC 71
3.4 GPM ΔΕΔΟΜΕΝΑ 73
3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΕΟΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ 74
3.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ 80
3.7 SENTINEL 2 & SENTINEL 3 81
3.8 ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ RANTAP 83
3.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΣΤΑΣΙΜΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ METEOSAT-11 89
α. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 9 του θερμικού υπερύθρου - IR10.8μm 89
β. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 12 του ορατού υψηλής ανάλυσης – HRV 96
γ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών 103
γ1. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 5 των υδρατμών – WV6.2μm . 103
γ2. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 6 των υδρατμών – WV7.3μm . 106
δ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών WV6.2 και WV7.3 ($BTDT6.2 - T7.3$) 108
ε. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών WV6.2 και IR10.8 ($BTDT6.2 - T10.8$) 111
στ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών του θερμικού υπερύθρου IR10.8 και IR12.0 ($BTDT10.8 - T12.0$) 114
ζ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων του συνδυασμού Airmass RGB (5-6, 8-9, 5) 117
η. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων του συνδυασμού Night Microphysics RGB (10-9, 9-4, 9) 121
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 125
5. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ 134
6. ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ 135
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 136
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 141

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Οι καταιγίδες έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης μπορούν να δημιουργηθούν και να διατηρηθούν κάτω από μια μεγάλη ποικιλία περιβαλλοντικών συνθηκών και στη συνέχεια να εξελιχθούν με πολλούς τρόπους. Επειδή η κατανόηση αυτών των καιρικών φαινομένων έχει κινήσει το ενδιαφέρον πολλών μετεωρολόγων, ώστε να εντρυφήσουν περισσότερο και να εξάγουν κάποια βασικά συμπεράσματα για αυτά τα συστήματα, καθίσταται απαραίτητη η εκτίμηση της πολυπλοκότητάς τους. Με βάση αυτή την πολυπλοκότητα, η "συμπεριφορά" και η εξέλιξη κάθε καταιγιδοφόρου συστήματος εξαρτάται εγγενώς από το περιβάλλον στο οποίο εξελίσσεται, συμπεριλαμβανομένου του θερμοδυναμικού προφίλ της ατμόσφαιρας, του πεδίου των κατακόρυφων ανέμων διάτμησης και του αιτίου ανύψωσης μέσης κλίμακας. Σύμφωνα με τους Weisman και Klemp (1986), στο βαθμό που μπορούν να ανιχνευθούν οι σημαντικές περιβάλλουσες συνθήκες πριν την έναρξη της καταιγίδας (μέσω ραδιοβολίσεων, μετεωρολογικών παρατηρήσεων επιφανείας, δορυφόρων, και άλλων μηχανισμών), η σημερινή γνώση παρέχει πολύτιμη πληροφορία για την εξέλιξη της ανωμεταφοράς σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Εξαιτίας της πολυπλοκότητάς της, ωστόσο, η κατανόηση των δυναμικών της καταιγίδας μέχρι σήμερα, είναι δυνατή περισσότερο για σχετικά απομονωμένα γεγονότα κατακόρυφης μεταφοράς (Weisman & Klemp 1986).

Γενικά, οι απομονωμένες καταιγίδες έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης θεωρούνται ότι είναι νέφη Σωρειτομελανίες (Cumulonimbus-Cb) που μπορούν να παραγάγουν βροντή και αστραπή, έντονη βροχόπτωση, ριπές ανέμων και, περιστασιακά, μεγάλης διάστασης χαλάζι και ανεμοστροβίλους. Πέρα από τις καταστροφές που προκαλούν στην κοινωνία, αυτά τα νέφη παίζουν, επίσης, ένα πολύ σημαντικό ρόλο με το να παρέχουν την απαιτούμενη βροχόπτωση σε πολλές περιοχές της Γης, να συμμετέχουν στη γενική κυκλοφορία μεταφέροντας υγρασία, αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα στην ανώτερη τροπόσφαιρα και στα κατώτερα επίπεδα της στρατόσφαιρας, και να αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι αποθεμάτων ηλιακής ακτινοβολίας της ατμόσφαιρας (Lin 2007).

Συγκεκριμένα, οι Byers και Braham (1949) διατύπωσαν ότι οι καταιγίδες αποτελούνται από βασικά στοιχεία που αναφέρονται ως κύτταρα και πως η εξέλιξη

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

αυτών των καταιγιδοφόρων κυττάρων εκτυλίσσεται μέσα από τρία στάδια: το στάδιο Σωρείτης-Cumulus Stage (μόνο με τη παρουσία ανοδικών κινήσεων), το στάδιο Ωρίμανσης-Mature Stage (παρουσία ανοδικών και καθοδικών κινήσεων μαζί) και το στάδιο Διάλυσης-Dissipating Stage (μόνο η παρουσία καθοδικών κινήσεων). Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η παραπάνω ταξινόμηση είναι μια ικανοποιητική περιγραφή αποκλειστικά για μη ισχυρά καταιγιδοφόρα κύτταρα. Στη περίπτωση ισχυρών καταιγίδων κατακόρυφης ανάπτυξης ο Browning (1965) θεώρησε πως είναι απαραίτητο να προστεθεί ένα ακόμα στάδιο στη παραπάνω ταξινόμηση. Δικαιολογώντας το γεγονός, ότι οι περισσότερες ισχυρές τοπικές καταιγίδες που συμβαίνουν στο Βόρειο Ημισφαίριο, και ειδικότερα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, εμφανίζονται να μετακινούνται, με μη φυσικό τρόπο, προς τα δεξιά του μέσου τροποσφαιρικού ανέμου κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, ο Browning (1964) πήρε τη πρωτοβουλία να το ονοματίσει ως το στάδιο Ωρίμανσης Δεξιών Ισχυρών καταιγίδων-SR Mature Stage (S for Severe, R for Right). Ανάλογα, για τον ίδιο λόγο ο Browning (1964) προσδιόρισε και το στάδιο Ωρίμανσης των Αριστερά κινούμενων Ισχυρών καταιγίδων- SL Mature Stage (S for Severe, L for Left), το οποίο στη πραγματικότητα εμφανίζεται πιο σπάνια καθώς παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι η πλειοψηφία των ισχυρών καταιγίδων κινείται προς τα δεξιά του μέσου ανέμου. Η ολοκληρωμένη ταξινόμηση της εξέλιξης αυτού του είδους καταιγίδας κατά Browning (1964), απεικονίζεται στον Πίνακα 1. Αν και τα στάδια 1, 2 και 4 μοιάζουν, κατά πολύ, με την αντίστοιχη ταξινόμηση των Byers-Braham, το στάδιο 3 δεν έχει αντιστοιχία καθώς είναι προφανές από τη περιγραφή του ίδιου του συγγραφέα (1964) πως διαφέρει τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά από το καθιερωμένο στάδιο Ωρίμανσης των Byers και Braham. Αυτή η τάση να κινούνται οι καταιγίδες προς τα δεξιά του μέσου ανέμου δεν οφείλεται αποκλειστικά στη δύναμη Coriolis, καθώς οι Klemp και Wilhelmson (1978) έδειξαν ότι η επίδρασή της ενισχύει ασθενώς τον τύπο καταιγίδας SR έναντι του τύπου SL στα αριθμητικά πειράματα του μοντέλου τους.

Κλιματολογικά δεδομένα αναφορικά με τους οδογράφους ανέμων που σχετίζονται με ισχυρές ανεμοστροβιλιακές καταιγίδες (η μεγαλύτερη πλειοψηφία των οποίων είναι τύποι καταιγίδων SR), δείχνουν μια καλοσχηματισμένη στροφή του διανύσματος διάτμησης του ανέμου σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού, μεταξύ της επιφάνειας και των 700mb (Maddox 1976). Οι Klemp και Wilhelmson (1978), επίσης, απέδειξαν ότι οι σχετικές εντάσεις των καταιγίδων τύπου SR και SL είναι ευαίσθητες στη μεταβολή της διεύθυνσης του διανύσματος διάτμησης του ανέμου με το ύψος. Με

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

βάση αυτά, οι Rotunno και Klemp (1982) διατύπωσαν τα εξής: Μια στροφή του διανύσματος διάτμησης του ανέμου καθ' ύψος, σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού (veering), ευνοεί την ανάπτυξη μιας κυκλωνικής δεξιά κινούμενης καταιγίδας τύπου SR (ακόμα και χωρίς την επίδραση της δύναμης Coriolis) ενώ αντίθετα, μια στροφή του διανύσματος διάτμησης του ανέμου καθ' ύψος, σύμφωνα με την αντίθετη φορά των δεικτών του ρολογιού (backing), ευνοεί την ανάπτυξη μιας αντικυκλωνικής αριστερά κινούμενης καταιγίδας τύπου SL.

Πίνακας 1. Ταξινόμηση της σταδίων μιας ισχυρής τοπικής καταιγίδας (Πηγή: Browning (1965)).

Stage 1:	Cumulus Stage	Updrafts alone
Stage 2:	Ordinary Mature Stage	Updrafts and
Stage 3:	SR Mature Stage	downdrafts together
Stage 4:	Dissipating Stage	Downdrafts alone

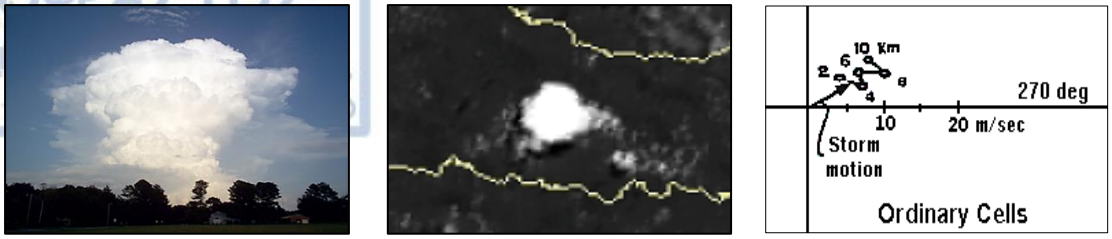
1.1.1 Είδη καταιγίδων

Ποικίλοι μέθοδοι έχουν προταθεί για την ταξινόμηση των διάφορων τύπων καταιγίδων σε σχέση με την εσωτερική τους δομή, την έντασης της βροχόπτωσης, την πιθανή επιδείνωσή τους, τη διάρκεια ζωής και τη γενικότερη μετάδοσής τους. Πιο συγκεκριμένα, η πιο ευρέως αναγνωρισμένη κατηγοριοποίησή τους, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων, είναι με βάση τον αριθμό και την οργάνωση του κυρίου πυρήνα ανοδικού ρεύματος που επισημαίνεται παρακάτω:

- **Μονοκυτταρικές καταιγίδες** (Single cell storms) είναι καταιγίδες μικρής διάρκειας (περίπου 20-45 λεπτών) και έκτασης (προσεγγιστικά 1-5km, meso-γ κλίμακα). Αποτελούνται από ένα πυρήνα ανοδικών ρευμάτων, κινούνται σύμφωνα με τον μέσο άνεμο, έχουν μικρό ή και ανύπαρκτο κατακόρυφο άνεμο διάτμησης με μια χαοτική κίνηση στον οδογράφο ανέμων και μπορούν να παραγάγουν σημαντικά καιρικά φαινόμενα όπως χαλάζι, ισχυρές βροχοπτώσεις, έντονους ανέμους και περιστασιακά αδύναμους ανεμοστροβίλους. Επειδή αυτές οι καταιγίδες εμφανίζονται συνήθως πολύ μικρές σε έκταση, καθίσταται δύσκολο να εντοπιστούν από τους γεωστάσιμους δορυφόρους (Εικόνα 1.1).

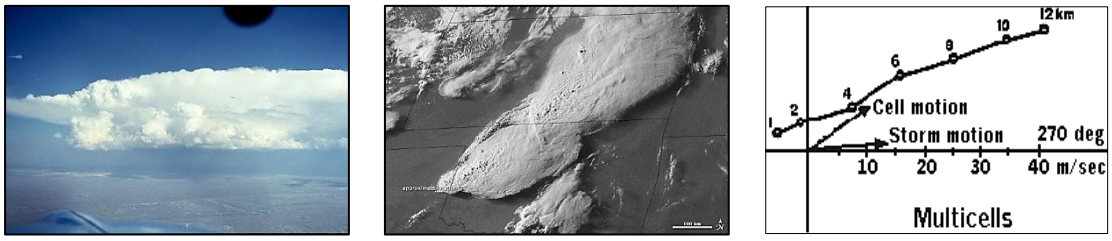
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 1.1. Μια Μονοκυτταρική καταιγίδα. Αριστερά: Στο στάδιο ανάπτυξης ενός towering-cumulus νέφους (Πηγή: National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). Μέση: Δορυφορική εικόνα του ορατού VIS από γεωστάσιμο δορυφόρο (Πηγή: EUMETSAT-SEVIRI) Δεξιά: Οδογράφος ανέμων που δείχνει τον κατακόρυφο άνεμο διάτμησης μιας Μονοκυτταρικής καταιγίδας (Πηγή: NOAA).

- **Πολυκυτταρικές καταιγίδες** (Multicell storms) είναι μια ομάδα πολλών Μονοκύτταρων καταιγίδων σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, κινούμενες ως μια μονάδα και κυρίως με τη φορά του μέσου ανέμου. Νέα κύτταρα τείνουν να αναπτύσσονται κατά μήκος του ασταθούς περιβάλλοντος εισροής. Ο κατακόρυφος περιβάλλοντας άνεμος διάτμησης είναι ασθενής έως έντονος και συνήθως στον οδογράφο ανέμου σχηματίζει μια ευθεία γραμμή επιδεικνύοντας την ταχύτητα και/ή την διεύθυνση της διάτμησης που συμβάλλει στην εξέλιξη σε Μέσης Κλίμακας Κατακόρυφης Ανάπτυξης Συστήματα (Mesoscale Convective Systems, MCSs), γραμμές λαίλαπας (squall lines) και νεφικά συστήματα τοξοειδούς ηχούς (bow echoes cloud systems). Μια Πολυκυτταρική καταιγίδα μπορεί να παραμείνει για αρκετές ώρες (περίπου 1-6 ώρες) και να καλύψει μια έκταση της τάξης των 10-50km (meso-γ και meso-β κλίμακα) (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2. Μια Πολυκυτταρική καταιγίδα. Αριστερά: Φωτογραφία όπως απεικονίζεται από το πιλοτήριο αεροπλάνου (Πηγή: Roland Stull from University of British Columbia,Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences (UBC EOAS)). Μέση: Δορυφορική εικόνα του ορατού VIS από γεωστάσιμο δορυφόρο (Πηγή: EUMETSAT-SEVIRI). Δεξιά: Οδογράφος ανέμων που δείχνει τον κατακόρυφο άνεμο διάτμησης μιας Πολυκυτταρικής καταιγίδας (Πηγή: NOAA).

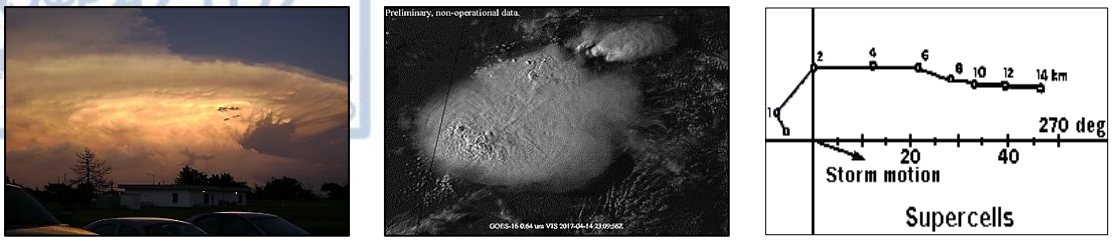
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- **Υπερκυτταρικές καταιγίδες (**Supercell storms**)** είναι οι οργανωμένες καταιγίδες μεγάλης έκτασης 20-50km (meso-β κλίμακας) και διάρκειας 2-4 ωρών. Συνήθως το ψυχρό νέφος του άκμονά τους έχει ελλειπτικό με επιμηκυμένο σχήμα, με βάση την εκκεντρότητά τους (μικρός άξονας/μεγάλος άξονας < 0.7) στις δορυφορικές εικόνες. Είναι ουσιαστικά μονοκύτταρες καταιγίδες, που χαρακτηρίζονται για την ισχυρή, συνεχώς περιστρεφόμενη παρουσία ενός κεκλιμένου ανοδικού ρεύματος (updraft), κινούμενες συνήθως στα δεξιά του μέσου τροποσφαιρικού ανέμου (σπανίως στα αριστερά). Η έντονη ανοδική κίνηση των Υπερκυτταρικών καταιγίδων, που συνήθως είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μιας τυπικής Μονοκύτταρης καταιγίδας, προκύπτει όταν ο οριζόντιος στροβιλισμός, που περιέχεται στη διάτμηση ανέμου του περιβάλλοντος, αποκτήσει μια κατακόρυφη κλίση με αποτέλεσμα ο άνεμος να αναγκαστεί να περιστρέφεται γύρω από έναν κάθετο άξονα. Αυτό το επίμονο περιστρεφόμενο ανοδικό ρεύμα των Υπερκυτταρικών καταιγίδων λέγεται μεσοκυκλώνας (mesocyclone). Ο μεσοκυκλώνας είναι ένας κυκλωνικά περιστρεφόμενος στρόβιλος διαμέτρου 2 έως 10km που έχει στροβιλισμό της τάξης των $10^{-2}s^{-1}$ ή και μεγαλύτερης, και σχηματίζεται στα μεσαία επίπεδα της καταιγίδας και συγκεκριμένα στην πίσω πλευρά της, δηλαδή στην περιοχή του ανοδικού ρεύματος. Αυτός είναι ορατός μέσω της παρουσίας ενός νεφικού τοίχους (wall cloud). Οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες χαρακτηρίζονται από ένα σημαντικό περιβάλλον κατακόρυφης διάτμησης με μια μέτρια προς έντονη διάτμηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου διάτμησης στο στρώμα 0-6km, σχηματίζοντας συνήθως μια καμπύλη στον οδογράφο ανέμων (στο χαμηλότερο στρώμα περίπου 0-3km). Αυτού του είδους οι καταιγίδες θεωρούνται το πιο επικίνδυνο και βίαιο είδος καταιγίδας καθώς μπορούν να παραγάγουν πολύ μεγάλο χαλάζι, καταστροφικούς ανέμους, ισχυρές βροχοπτώσεις, πλημμύρες, αρκετές ηλεκτρικές εκκενώσεις και κάποιες φορές μεγάλης διάρκειας έντονους με βίαιους ανεμοστροβίλους. Αν οι περιβάλλουσες συνθήκες είναι ευνοϊκές, τότε μια Υπερκυτταρική καταιγίδα μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες (Εικόνα 1.3).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 1.3. Μια Υπερκυτταρική καταιγίδα. Αριστερά: Φωτογραφία Υπερκυτταρικής καταιγίδας που βρίσκεται κοντά στο Groom του Τέξας στις 18 Ιουνίου 2010, όπως φάνηκε από το γραφείο της υπηρεσίας πρόγνωσης καιρού (National Weather Service-NWS) στο Amarillo του Τέξας (Πηγή: Chris Nuttall). Μέση: Δορυφορική εικόνα του ορατού VIS από γεωστάσιμο δορυφόρο (Πηγή: EUMETSAT-SEVIRI). Δεξιά: Οδογράφος ανέμων που δείχνει τον κατακόρυφο άνεμο διάτμησης μιας Υπερκυτταρικής καταιγίδας (Πηγή: NOAA).

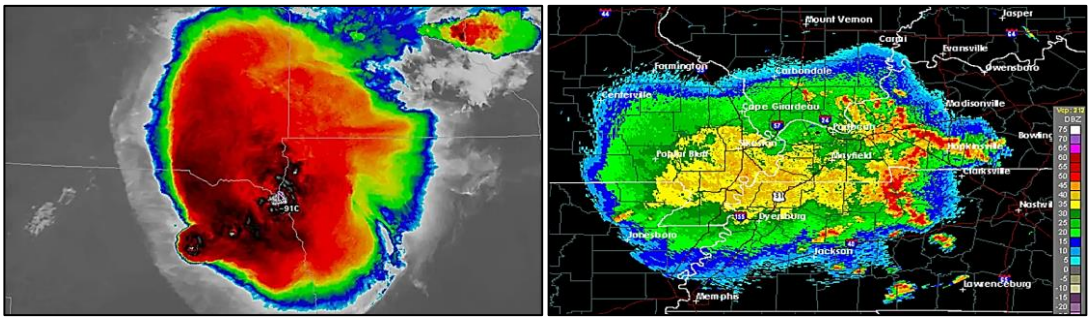
Οι Πολυκυτταρικές και Υπερκυτταρικές (οι τελευταίες ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία κυρίως λόγω της έκτασης και της διάρκειας ζωής τους) καταιγίδες χαρακτηρίζονται και ως **Μέσης Κλίμακας Κατακόρυφης Ανάπτυξης Συστήματα (Mesoscale Convective Systems, MCSs**). Πιο συγκεκριμένα, ένα MCS είναι ένα οργανωμένο σύμπλεγμα Πολυκυτταρικών καταιγίδων που εκδηλώνεται κυρίως τη θερμή περίοδο, αναπτύσσεται σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα από τις μεμονωμένες καταιγίδες, παραμένει τουλάχιστον για αρκετές ώρες ή και περισσότερο διάστημα (περίπου 3-18 ώρες) καλύπτοντας μια εκτεταμένη περιοχή 20-500km (meso-β έως meso-α κλίμακα) και δημιουργώντας μια ζώνη συνεχούς βροχόπτωσης. Διακρίνονται σε πολύ μεγάλης έκτασης και διάρκειας **Μέσης Κλίμακας Συμπλέγματα Κατακόρυφης Ανάπτυξης (Mesoscale Convective Complexes, MCCs**) και σε μεγάλες γραμμικές Πολυκυτταρικές καταιγίδες **Γραμμές Λαίλαπας (Squall lines ή Multicell lines)**.

Αν το μέγεθος του ψυχρού νέφους ασπίδας (cold cloud shield) των συγχωνευμένων ακμόνων ενός MCS είναι μεγάλο (διαμέτρου ≥ 350km), έχει ένα σε γενικές γραμμές κυκλικό σχήμα με εκκεντρότητα > 0.7 τη στιγμή της μέγιστης έκτασης, και τέλος διαρκεί και διατηρεί τα χαρακτηριστικά του μεγέθους του για 6 με 12 ώρες ή και περισσότερο, τότε αυτό καλείται **Μέσης Κλίμακας Σύμπλεγμα Κατακόρυφης Ανάπτυξης (Mesoscale Convective Complex, MCC)**. Επιπλέον, είναι απαραίτητο, για να ταξινομηθεί ένα καταιγιδοφόρο σύστημα σε MCC, η κορυφή του ψυχρού νέφους ασπίδας, όπως διακρίνεται από τις ενισχυμένες χρωματικά υπέρυθρες δορυφορικές εικόνες (colored enhanced IR10.8μm), και στη συγκεκριμένη περίπτωση όπως φαίνεται στα αριστερά της Εικόνας 1.4, να έχει μια θερμοκρασία λαμπρότητας ≤ -33°C και να

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

καλύπτει μια έκταση της τάξης των $100.000km^2$. Ακόμα, εξίσου σημαντικό είναι μέσα σε αυτό το ψυχρό νέφος ασπίδας να υπάρχει μια μικρότερη περιοχή (διαμέτρου ≥ 250km) που να δηλώνει την υψηλότερη και ψυχρότερη κορυφή του νέφους με θερμοκρασία λαμπρότητας ≤ -53°C και έκτασης της τάξης των $50.000km^2$. Τα MCCs τείνουν να σχηματίζονται τις νυχτερινές ώρες και μπορούν να παραγάγουν αρκετή βροχόπτωση, έντονους ανέμους, χαλάζι, ηλεκτρικές εκκενώσεις και περιστασιακά ανεμοστροβίλους πάνω από μεγάλες περιοχές (Maddox 1980). Μια ανάλογη περίπτωση με αυτά τα χαρακτηριστικά διακρίνεται στα δεξιά της Εικόνας 1.4 του ραντάρ.



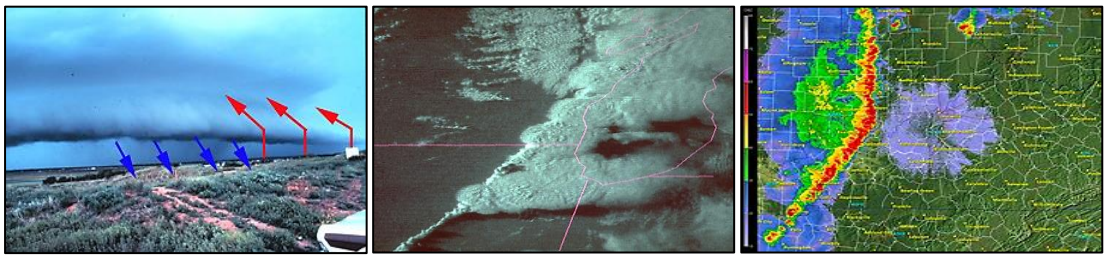
Εικόνα 1.4. Αριστερά: Ενισχυμένη χρωματικά υπέρυθρη δορυφορική εικόνα ενός Μέσης Κλίμακας Κατακόρυφης Ανάπτυξης Σύμπλεγμα (MCC) που καλύπτει μέρη της Nebraska, της δυτικής Iowa και της νοτιοανατολικής-νότιας Dakota στις 8 Αυγούστου 2010 στις 6:58 π.μ. CDT (Πηγή: University of Wisconsin Madison-Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies-,UW-CIMSS). Το βέλος δείχνει την θερμοκρασία (-91°C) σε μια από τις κορυφές του ψυχρού νέφους ασπίδας, η οποία απεικονίζεται με άσπρο χρώμα. Δεξιά: Απεικόνιση ενός MCC στο ραντάρ, όπου οι έντονες καταιγίδες εμφανίζονται με κόκκινα χρώματα κοντά στη δεξιά πλευρά του συμπλέγματος, ενώ η μέτρια βροχή (περιοχές με πορτοκαλί και κίτρινο χρώμα) και η ελαφρύτερη βροχή (περιοχές με πράσινα χρώματα) εκτείνονται σε μια ευρεία έκταση. Αυτή η καταιγίδα κινείται από αριστερά προς τα δεξιά (από δυτικά προς ανατολικά) (Πηγή: US National Weather Service).

Μια **Γραμμή Λαίλαπας (Squall Line)** είναι μια ομάδα καταιγίδων που οργανώνονται σε μια γραμμή, με ένα συνεχές καλά αναπτυγμένο μέτωπο ανέμου στην μετωπική άκρη της γραμμής (όπως φαίνεται μεσαία και αριστερά της Εικόνας 1.5). Συνήθως σχηματίζονται μπροστά από τα ψυχρά μέτωπα (cold fronts), τις γραμμές ξηρασίας (dry lines) ή τα μέτωπα ριπής (gust fronts), τα οποία σχετίζονται με τα μέσων γεωγραφικών πλατών συστήματα χαμηλής πίεσης και μεταφέρουν κατά μήκος πολύ ισχυρούς ανέμους και δυνατές βροχοπτώσεις. Το μέτωπο ριπής (gust front) λειτουργεί

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ως ένα μικρό ψυχρό μέτωπο, ανεβάζοντας συνεχώς θερμό υγρό αέρα ο οποίος τροφοδοτεί την καταιγίδα. Έτσι η Γραμμή Λαίλαπας διατηρεί τα χαρακτηριστικά της. Αυτή η ομάδα καταιγίδων μπορεί να είναι συνεχής ή με κενά. Έχει τη δυνατότητα να κινείται γρήγορα και μπορεί να έχει μήκος χιλιάδες χιλιόμετρα αλλά μόνο 10-20km πλάτος. Μπορεί να παραγάγει χαλάζι, πλημμύρες, έντονη κεραυνική δραστηριότητα ακόμα και ανεμοστροβίλους στο πέρασμα της. Οι ανεμοστρόβιλοι που σχηματίζονται σε μια Γραμμή Λαίλαπας είναι συνήθως ασθενείς, μικρής διάρκειας ζωής που περιστρέφονται γρήγορα και έτσι είναι δύσκολο να ανιχνευθούν από το ραντάρ. Επιπλέον, τα νέφη "ραφιού" (shelf clouds) (στα αριστερά της Εικόνας 1.5) που παρατηρούνται σε αυτό το είδος καταιγίδας, τείνουν να σχηματιστούν κατά μήκος του μπροστινού άκρου της Γραμμής Λαίλαπας και τα οποία σχετίζονται με βίαιους ανέμους ευθείας γραμμής (straight-line winds).



Εικόνα 1.5. Αριστερά: Νέφος "ραφιού" (Shelf cloud). Τα κόκκινα βέλη δηλώνουν την ανοδική κίνηση του αέρα μπροστά από το νέφος "ραφιού". Τα μπλε βέλη δείχνουν την προς τα κάτω κίνηση του αέρα πίσω από το νέφος "ραφιού". Ένα νέφος "ραφιού" υποδηλώνει το καθοδικό ρεύμα και την εκροή, και αυτό απομακρύνεται από την περιοχή βροχόπτωσης (Πηγή: Φωτογραφία από τη βιβλιοθήκη του National Severe Storm Laboratory, NSSL). Μέση: Υπέρυθρη δορυφορική εικόνα μιας Γραμμής Λαίλαπας κατευθυνόμενη από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά, πάνω από το Illinois και Wisconsin (Πηγή: US National Weather Service). Δεξιά: Εικόνα ραντάρ μιας Γραμμής Λαίλαπας (Πηγή: Φωτογραφία από τη βιβλιοθήκη του NSSL).

Οι Γραμμές Λαίλαπας αποκαλούνται αλλιώς και Σχεδόν-Γραμμικά Συστήματα Κατακόρυφης Ανάπτυξης (Quasi-Linear Convective Systems, QLCSs) (Alliss & Hoffman 2010). Η επιδείνωση του καιρού, στον σχηματισμό των έντονων ανέμων ευθείας-γραμμής, είναι πιθανό να αναμένεται να εκδηλωθεί σε περιοχές όπου το QLCS στο ραντάρ έχει σχηματισμό μια τοξοειδή ηχώ (bow echo). Η τοξοειδής ηχώ είναι ένα μη παροδικό, σε σχήματος τόξου, χαρακτηριστικό του ραντάρ με μια έντονη ανακλαστικότητα στο μπροστινό άκρο, της οποίας η εξέλιξη και η οριζόντια δομή είναι

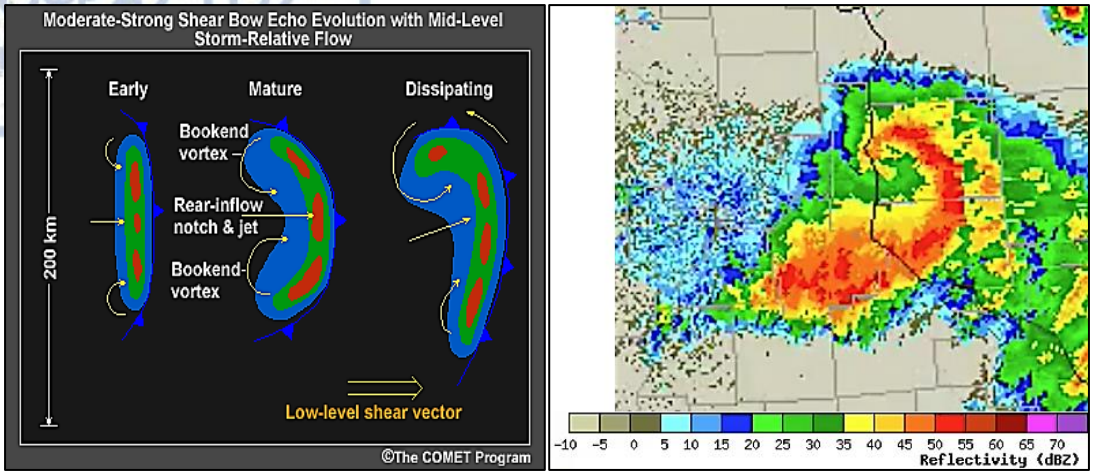
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

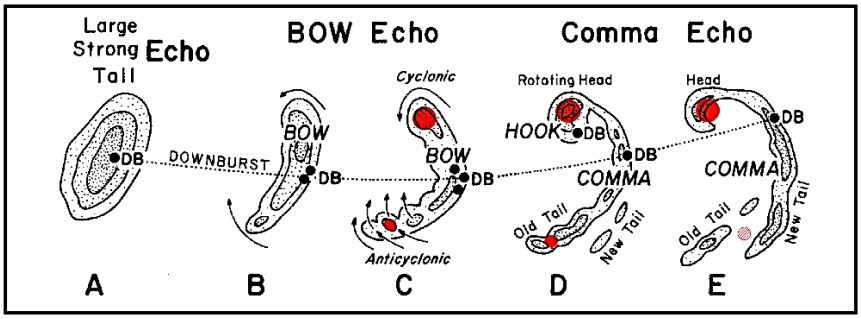
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

σύμφωνη με καταιγίδες που διαδίδονται κυρίως κατά μήκος μιας ισχυρής ροής ανέμων (Klimowski et al. 2004) (όπως φαίνεται πάνω δεξιά της Εικόνας 1.6). Έχει παρατηρηθεί ότι η τοξοειδής ηχώ στο ραντάρ έχει μήκος περίπου 20-200km (μικρότερη από άλλα MCSs, αλλά εμφανίζεται συχνά να είναι πιο ισχυρή από τα κανονικά MCSs) και διάρκεια ζωής που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 3 και 6 ωρών. Αυτή σχηματίζεται εξαιτίας μιας δυνατής ώθησης της ροής στη πίσω πλευρά της Γραμμής Λαίλαπας, δηλαδή μιας οπίσθιας εισροής του αεροχειμάρρου (rear inflow jet, RIJ), η οποία ώθηση θα δώσει στη Γραμμή Λαίλαπας ένα τοξοειδές σχήμα κάνοντας την να απεικονίζει μια τοξοειδή ηχώ στο ραντάρ (Alliss & Hoffman 2010) (όπως απεικονίζεται πάνω αριστερά της Εικόνας 1.6). Λόγω αυτής της έντονης οπίσθιας εισροής του αεροχειμάρρου (RIJ), στα άκρα του τόξου του QLCS σχηματίζονται οι μεσοστρόβιλοι (Mesovortices ή book-end vortices ή line-end vortices). Στα αρχικά στάδια της δημιουργίας τους, μαζί ο κυκλωνικός μεσοστρόβιλος, που σχηματίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα της τοξοειδούς ηχούς, και ο αντικυκλωνικός, που δημιουργείται στο νότιο τμήμα της τοξοειδούς ηχούς, τείνουν να είναι παρόμοιας εντάσεως, αλλά όσο εξελίσσονται, ο βόρειος μεσοστρόβιλος συνήθως είναι αυτός που επικρατεί δίνοντας στο QLCS την εικόνα ενός σχήματος κόμμα στο ραντάρ (όπως διακρίνεται πάνω αριστερά και κάτω της Εικόνα 1.6). Οι μεσοστρόβιλοι διαφέρουν από τους μεσοκυκλώνες στο ότι οι πρώτοι είναι χαρακτηριστικά καταιγίδας χαμηλού επιπέδου σε μια απόσταση 1km από την επιφάνεια. Εξαιτίας αυτού, οι μεσοστρόβιλοι τείνουν να δομούνται με κατεύθυνση προς τα πάνω ενώ οι μεσοκυκλώνες με κατεύθυνση προς τα κάτω. Επίσης, εξίσου σημαντική διαφορά είναι το γεγονός πως ο εντοπισμός των μεσοστροβίλων σχηματίζεται συνήθως κατά μήκος του μπροστινού άκρου του QLCS κοντά στην περιοχή των καθοδικών κινήσεων. Έχει αποδειχθεί ακόμα, ότι οι μεσοστρόβιλοι και οι άνεμοι που παράγουν, μπορούν να προκαλέσουν πιο σοβαρή και έντονη ζημιά, σε σχέση με τους ανέμους ευθείας γραμμής, στη κορυφή του τόξου λόγω της οπίσθιας εισροής του αεροχειμάρρου (RIJ) (Weisman & Trapp 2003).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"





Εικόνα 1.6. Πάνω Αριστερά: Η χρονική εξέλιξη μιας γραμμής καταιγίδων τοξοειδούς ηχούς. Τα χρώματα απεικονίζουν την ανακλαστικότητα του ραντάρ, η μπροστινή μπλε γραμμή με τα τρίγωνα δηλώνει το ψυχρό μέτωπο, το RIJ ορίζει την οπίσθια εισροή του αεροχειμάρρου που σχηματίζει την εσοχή (notch) της οπίσθιας εισροής (rear inflow notch, RIN) και τα bookend vortex δηλώνουν τον κυκλωνικό και αντικυκλωνικό μεσοστρόβιλο στο βόρειο και νότιο τμήμα της τοξοειδούς ηχούς, αντίστοιχα (Πηγή: COMET Program). Πάνω Δεξιά: Εικόνα του ραντάρ μιας τοξοειδούς ηχούς που προσεγγίζει το Wisconsin στις 14 Αυγούστου 2007 (Πηγή: US National Weather Service). Κάτω: Μια τυπική μορφολογία των ηχών του ραντάρ που σχετίζονται με τοξοειδείς ηχούς οι οποίες παράγουν δυνατές και εκτενείς θύελλες καταιγίδων (downbursts), με το ακρωνύμιο DB (Πηγή: Από Fujita 1978).

Επειδή μία τοξοειδής ηχώ στην απεικόνιση του ραντάρ αποτελεί έναν δείκτη/εικόνα ισχυρών ανέμων, και όχι ένα παράγοντα πρόβλεψης, είναι σημαντικό να γίνεται αντιληπτή η πρώιμη ανάπτυξη της τοξοειδούς ηχούς ώστε να γίνεται καλύτερα μια προετοιμασία για τη δημιουργία καταιγίδων θύελλας (downbursts), οι οποίες είναι υπεύθυνες για αυτές τις τοξοειδείς καταιγίδες (Klimowski et al. 2004). Χρονολογικά, πρώτος ο Fujita (1978, 1979) ήταν αυτός που όρισε τα τυπικά χαρακτηριστικά της εξέλιξης της τοξοειδούς ηχούς. Βασιζόμενοι στον Fujita (1979), η τοξοειδής ηχώ κοινώς εξελίσσεται είτε από ένα μεμονωμένο κύτταρο κατακόρυφης ανάπτυξης είτε

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

από μια σειρά κυττάρων, σε μια ηχώ σχήματος κόμμα με έναν επικρατούντα κυκλωνικό στρόβιλο στο βόρειο τμήμα της ηχούς. Ακολουθώντας ο Weisman (1993, 2001) διευκρίνισε ακόμα πιο πολύ την σημασία των book-end vortices και της οπίσθιας εισροής του αεροχειμάρρου (RIJ), οι οποίοι συντελούν στην διατήρηση και ενδυνάμωση μιας τοξοειδούς ηχούς. Klimowski et al. (2000, 2004) πρότειναν κάποιες ταξινομήσεις των δομών της τοξοειδούς ηχούς, όπως διακρίνονται δεξιά της Εικόνας 1.7 . Αυτές είναι:

- Η κλασική τοξοειδής ηχώ (classic bow echo, BE, όπως αναφέρεται με τον κλασικό ορισμό του Fujita (1978)), που χρησιμοποιείται για να περιγράψει εκείνες τις τοξοειδείς ηχούς που είναι μεγαλύτερες από μια μεμονωμένη καταιγίδα, δεν σχετίζονται με ένα μεγάλο γραμμικό σύμπλεγμα καταιγίδων και οι οποίες είναι κυρίως απομονωμένες από άλλη οργανωμένη ανωμεταφορά.
- Το σύμπλεγμα τοξοειδούς ηχούς (bow-echo complex, BEC) που περιγράφει εκείνα τα MCSs στα οποία η τοξοειδής ηχώ είναι η κύρια, αλλά όχι η μοναδική, οργανωμένη δομή κατακόρυφης ανάπτυξης. Σημειώνεται ότι οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες είναι συνήθως ένα δομικό στοιχείο σε ένα BEC. Οι Przybylinski και DeCaire (1985) (στα σχετιζόμενα γεγονότα τους, τύπων II και III), Johns και Hirt (1987) και Moller et al. (1994) παρουσιάζουν στις μελέτες τους παραδείγματα BEC τα οποία επίσης σχετίζονται με derechos (μια ευρέως διαδεδομένη ανεμοκαταιγίδα ευθείας γραμμής που παράγεται από MCSs).
- Το κύτταρο τοξοειδούς ηχούς (cell bow echo, CBE) που υιοθετήθηκε από την εργασία του Lee et al. (1992) και χρησιμοποιείται για να περιγράψει τοξοειδείς ηχούς που συμβαίνουν σε πολύ μικρές κλίμακες (π.χ. 10-25km), οι οποίες δεν έχουν κάποια συσχέτιση με οποιοδήποτε άλλο μεγαλύτερο και οργανωμένο σύστημα κατακόρυφης ανάπτυξης.
- Η τοξοειδής ηχώ Γραμμής Λαίλαπας (squall line bow echo, SLBE) που διατυπώθηκε στην εργασία και του Lee et al. (1992) και του Przybylinski και DeCaire (1985) (στο γεγονός τους τύπου I), η οποία περιγράφει εκείνες τις τοξοειδείς ηχούς που είναι μέρος ενός μεγάλου κατά κλίμακας, επιμηκυμένου QLCS και είναι παρόμοιο με του Nolen (1959) το μοτίβο κυματισμού γραμμικής ηχούς (line echo wave pattern, LEWP). Τέλος οι

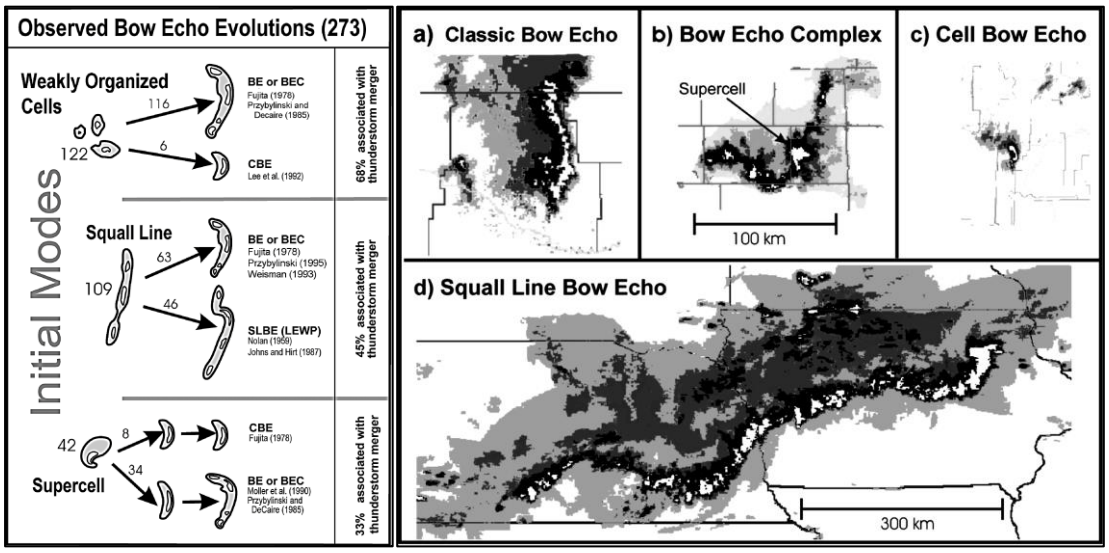
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Johns και Hirt (1987) επεσήμαιναν ότι σειριακά derechos περιέχονται συχνά στα SLBEs.

Στην εργασία Klimowski et al. (2004) από τις 273 υποθέσεις τοξοειδής ηχούς που αναλύθηκαν και εξετάστηκαν, τρεις κύριες λειτουργίες (αλλιώς αρχικές λειτουργίες, όπως καταγράφεται και αριστερά της Εικόνας 1.7) οργάνωσης κατακόρυφης ανάπτυξης αναγνωρίστηκαν, από τις οποίες μπορεί να σχηματιστεί μια τοξοειδής ηχώ στη συνέχεια. Με βάση αυτές τις αρχικές λειτουργίες και τις ταξινομήσεις της τοξοειδούς ηχούς, που αναλύθηκαν παραπάνω, προσεγγίστηκε και αξιολογήθηκε η παρούσα εργασία. Όπως απεικονίζονται και αριστερά της Εικόνας 1.7, αυτές είναι:

1. τα ασθενώς οργανωμένα κύτταρα (weakly organized cells, WO),
2. οι Γραμμές Λαίλαπας (squall lines, SL) και
3. οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες (supercells, SC).



Εικόνα 1.7. Αριστερά: Απεικόνιση των κύριων διαδρομών εξέλιξης για την τοξοειδή ηχώ, όπως παρατηρήθηκε από την εργασία Klimowski et al. (2004). Ο αριθμός των υποθέσεων που εξετάστηκε ακολουθώντας κάθε διαδρομή, επιδεικνύεται πάνω από τα μαύρα βέλη. Δίνονται αναφορές για τις εκπροσωπούμενες υποθέσεις τοξοειδούς ηχούς. Το ποσοστό των τοξοειδών ηχών που προηγήθηκε από συγχωνεύσεις καταιγίδων, δίνεται επίσης στα δεξιά της εικόνας. Δεξιά: Στην εικόνα απεικονίζονται οι τέσσερεις γενικοί τύποι της τοξοειδούς ηχούς: (a) BE, (b) BEC, (c) CBE και (d) SLBE. Τα BE, BEC και CBE είναι όλα σχετικά της κλίμακας που δίνεται στο τύπο (b). Επίσης, η ανακλαστικότητα δίνεται με σκίαση κάθε 10dBZ.

1.1.2 Λεπτομερής επεξήγηση των Υπερκυτταρικών καταιγίδων

Από τα ισχυρά καταιγιδοφόρα συστήματα που αναλύθηκαν παραπάνω, οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες είναι οι πιο αξιοσημείωτες και γενικά οι πιο εντυπωσιακές

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

καταιγίδες, οι οποίες έχουν "προσελκύσει" το ενδιαφέρον των επιστημόνων, τόσο στο παρελθόν όσο και στις μέρες μας. Αυτό οφείλεται στη πολυπλοκότητα των χαρακτηριστικών τους, στις ολέθριες καιρικές συνθήκες που συχνά τις συνοδεύουν και στα καταστροφικά φαινόμενα που προκαλούν στο πέρασμά τους. Η Υπερκυτταρική καταιγίδα θεωρείται δυνητικά η πιο επικίνδυνη, από τους τρεις τύπους καταιγίδας, λόγω της πολύ καλά οργανωμένης εσωτερικής δομής της και της παρουσίας ενός κυρίαρχου συνεχούς μεσοκυκλώνα, που την επιτρέπει να διατηρείται και να διαδίδεται για αρκετές ώρες. Ο Burgess et al. (1982), πρόσθεσαν ότι μια Υπερκυτταρική καταιγίδα συνήθως εμφανίζεται μεμονωμένη, αν και αυτή μπορεί να αποτελεί μέρος μια Γραμμής Λαίλαπας στην οποία υπάρχουν και αρκετές άλλες Υπερκυτταρικές, ή μπορεί αυτή να υπάρχει ως μέρος μιας σειράς Υπερκυτταρικών καταιγίδων, όπου η μία να "γεννά" την επόμενη. Τυπικά, οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες θεωρείται πιο πιθανό να βρίσκονται στον θερμό τομέα ενός συστήματος χαμηλής πίεσης. Αυτές έχουν την τάση να αποκλίνουν από τον μέσο τροποσφαιρικό άνεμο, κάτι το οποίο χαρακτηρίζει αυτού του είδους τις καταιγίδες. Εάν ακολουθούν τη δεξιά ή αριστερή πλευρά του μέσου τροποσφαιρικού ανέμου (σε σχέση με την κατακόρυφη διάτμηση του ανέμου), η καταιγίδα χαρακτηρίζεται ως δεξιά-κινούμενη ή αριστερά-κινούμενη, αντίστοιχα. Ακόμα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μια Υπερκυτταρική καταιγίδα μπορεί να αναγκαστεί, λόγω έντονης περιστροφής του ανοδικού ρεύματος, να χωριστεί (storm splitting) σε δυο μέρη και να αναπτύξει δυο ξεχωριστές ανυψώσεις με αντίθετες περιστροφές, οι οποίες να χωρίζουν την καταιγίδα σε δυο νέες Υπερκυτταρικές καταιγίδες, μία δεξιά-κινούμενη και μία αριστερά-κινούμενη.

Παρότι στον Ελληνικό χώρο οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες είναι ένα σπάνιο φυσικό φαινόμενο (Christodoulou & Sioutas 2014), αυτές μπορούν να παρατηρηθούν οπουδήποτε στον κόσμο, με μεγαλύτερη συχνότητα στις Μεγάλες Πεδιάδες (Great Plains) των κεντρικών Ηνωμένων Πολιτειών αλλά και σε πολλές άλλες περιοχές των μέσων γεωγραφικών πλατών, αρκεί να ικανοποιούνται οι κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Οι σημαντικότεροι παράμετροι για την ανάπτυξη τέτοιων νεφικών συστημάτων είναι η πολλή μεγάλη, υγρή και επίμονη ανωμεταφορά και ο κατακόρυφος άνεμος διάτμησης (που συμβάλει βασικώς στην παραγωγή του μεσοκυκλώνα) (Moller et al. 1994). Αυτή η μεγάλη, υγρή και επίμονη ανωμεταφορά περιλαμβάνει με τη σειρά της τρία βασικά στοιχεία: την μεγάλη παρουσία υγρασίας κυρίως στο οριακό στρώμα του εδάφους αλλά και στην τροπόσφαιρα, ένα αίτιο ανύψωσης της αέριας μάζας από το έδαφος και την ύπαρξη αστάθειας στην ατμόσφαιρα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η αστάθεια ή αλλιώς διαθέσιμη δυνητική ενέργεια κατακόρυφης ανάπτυξης (Convective Available Potential Energy, CAPE) είναι μια θερμοδυναμική παράμετρος που παρέχει ένα μέτρο της μέγιστης δυνατής κινητικής ενέργειας που μπορεί να αποκτήσει ένα ασταθές δείγμα αέρα κατακόρυφα κινούμενου από κάποιο χαμηλό υψόμετρο έως τη κορυφή του νεφικού συστήματος. Η CAPE με τιμές > 2500 Jkg^{-1} σημαίνει πως το δείγμα αέρα θεωρείται αρκετά ασταθές, δηλαδή υπάρχουν έντονες κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις στην ατμόσφαιρα και έτσι ευνοείται η ανάπτυξη Υπερκυτταρικών καταιγίδων (σε συνδυασμό με άλλες θερμοϋγρομετρικές παραμέτρους και έναν μηχανισμό ανύψωσης). Όμως έχουν υπάρξει περιπτώσεις, όπου έχουν δημιουργηθεί Υπερκυτταρικές καταιγίδες ακόμα και με τιμές της CAPE να είναι < 1500 Jkg^{-1} (όπως αναφέρουν οι εργασίες των McCaul 1991, Braun & Monteverdi 1991), κάτι το οποίο απαιτεί την ιδιαίτερη προσοχή των μετεωρολόγων.

Επίσης, ο κατακόρυφος άνεμος διάτμησης, που είναι η κατακόρυφη μεταβολή του διανύσματος του διατμητικού ανέμου στο χαμηλότερο επίπεδο των 6km πάνω από το έδαφος, καθίσταται ο πιο βασικός παράγοντας στην δημιουργία μιας Υπερκυτταρικής καταιγίδας, καθώς συντελεί στη θεμελίωση του χαρακτηριστικού στοιχείου της, του μεσοκυκλώνα, που το κάνει να ξεχωρίζει τόσο σε μορφολογία όσο και σε ένταση από τα άλλα καταιγιδοφόρα συστήματα. Μια άλλη διαφορετική παράμετρος που μπορεί να δικαιολογήσει την παρουσία μιας Υπερκυτταρικής καταιγίδας είναι ο καθαρός αριθμός κατακόρυφης ανάπτυξης Richardson (Bulk Richardson Number, BRN αλλιώς συμβολίζεται και Ri), που ορίζεται ως ο αδιάστατος αριθμός που ισούται με τον λόγο του CAPE προς το τετράγωνο της μέσης διάτμησης της ταχύτητας του ανέμου στην κατώτερη τροπόσφαιρα (Weisman & Klemp 1982). Έχει αποδεχθεί ότι υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ του Ri και της δομής της καταιγίδας, και πιο συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί πως υψηλές τιμές (Ri > 50) δείχνουν ασταθή και/ή με ασθενή διάτμηση περιβάλλοντα, οι χαμηλές (Ri < 10) δείχνουν ασθενή αστάθεια και/ή έντονο άνεμο διάτμησης, αλλά όταν 10 < Ri < 50 τότε οι περιβάλλουσες συνθήκες είναι αρκετά ευνοϊκές για την ανάπτυξη Υπερκυτταρικών καταιγίδων.

1.2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙΡΟΥ

Μεταξύ των πλατφορμών Τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται για ερευνητικούς σκοπούς ή για επιχειρησιακή παρακολούθηση νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι παίζουν έναν σημαντικό ρόλο,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

είτε ως μια συμπληρωματική πηγή δεδομένων στις παρατηρήσεις ραντάρ, δηλαδή ως μια βασική πηγή δεδομένων για την παρακολούθηση της ανάπτυξης και της τοποθεσίας της καταιγίδας σε περιοχές με ανεπαρκή ή και καθόλου κάλυψη του ραντάρ, είτε για λεπτομερείς μελέτες της χρονικής εξέλιξης και της δομής της κορυφής της καταιγίδας (Setvák et al. 2013). Ενώ τα ραντάρ καιρού παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για τη δυναμική και τη 3-διάστατη δομή της καταιγίδας, αυτά συνήθως είναι ανίκανα να ανιχνεύσουν λεπτομέρειες για τις κορυφές των καταιγίδων, ειδικότερα εκείνων των σημείων ή των χαρακτηριστικών που αποτελούνται από μικρότερους παγοκρυστάλλους (Setvák et al. 2013). Μελέτες που έγιναν αρκετές δεκαετίες πριν, έδειξαν ότι τα χαρακτηριστικά των κορυφών των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στις εικόνες των μετεωρολογικών δορυφόρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με την ένταση της καταιγίδας, τη πιθανή σφοδρότητά της ή την εσωτερική της δομή (Purdom 1976, Adler & Fenn 1979).

Η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα, κυρίως, γεωστάσιμων δορυφόρων που ξεκίνησε τα τέλη της δεκαετίας του ΄70, προσέφερε στην επιστημονική κοινότητα περισσότερες ευκαιρίες για έρευνα και παρακολούθηση της εξέλιξης καταιγιδοφόρων συστημάτων. Η πολυφασματική ανάλυση των εικόνων από γεωστάσιμους δορυφόρους και δορυφόρους πολικής τροχιάς έχει αποδειχθεί ότι διαδραματίζει έναν κεντρικό ρόλο στην απεικόνιση των χαρακτηριστικών των καταιγίδων κατακόρυφης ανάπτυξης. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα φασματικά χαρακτηριστικά των κορυφών των νεφών σε μια δορυφορική εικόνα, τα οποία περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία λαμπρότητας (Brightness Temperature, BT), τις διαφορές θερμοκρασιών λαμπρότητας (Brightness Temperature Differences, BTDs), τις τιμές ανακλαστικότητας (Reflectance Values, RVs) και τις διαφορές ανακλαστικότητας (Reflectance Differences, RDs), που υπολογίζονται από τα όργανα των δορυφόρων με βάση την ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από την κορυφή του νέφους. Αυτά τα χαρακτηριστικά με τη σειρά τους εξάγουν πληροφορίες για τα φυσικά χαρακτηριστικά του νέφους, όπως το ύψος της κορυφής, το οπτικό πάχος, τα μικροφυσικά χαρακτηριστικά του νέφους, τα οποία θα οδηγήσουν στην αποσαφήνιση των συστατικών του νεφικού συστήματος και στην περαιτέρω ταξινόμησή του.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1.3 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ

Με βάση, λοιπόν, τα παραπάνω, στη παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια να αναγνωριστούν και να μελετηθούν κυρίως από δορυφορικής άποψης, τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά της καταιγίδας που παρατηρήθηκε στις 10 Ιουλίου 2019 στην περιοχή της Χαλκιδικής. Αυτό το έντονο καταιγιδοφόρο σύστημα προκάλεσε τον θάνατο 7 ανθρώπων μαζί με σοβαρές καταστροφές στις ανθρώπινες περιουσίες, στο οδικό δίκτυο και στο δίκτυο ηλεκτροδότησης της περιοχής. Σε συνδυασμό με τα δορυφορικά δεδομένα γεωστάσιμου δορυφόρου (MSG-SEVIRI), χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα από δορυφόρους πολικής τροχιάς (Sentinel 2 και Sentinel 3, GPM), καταγραφές επίγειων ραντάρ, δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς εδάφους καθώς και τα συνοπτικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας της ευρύτερης περιοχής για την καλύτερη ανίχνευση και ανάλυση της εξέλιξης και της διαδρομής της καταιγίδας, όπως επίσης και του προσδιορισμού του είδους της.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ώστε, αρχικά, να διερευνηθούν και στη συνέχεια να αναλυθούν, κυρίως από δορυφορικής προσέγγισης, τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά του έντονου καταιγιδοφόρου συστήματος που έπληξε την περιοχή της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019.

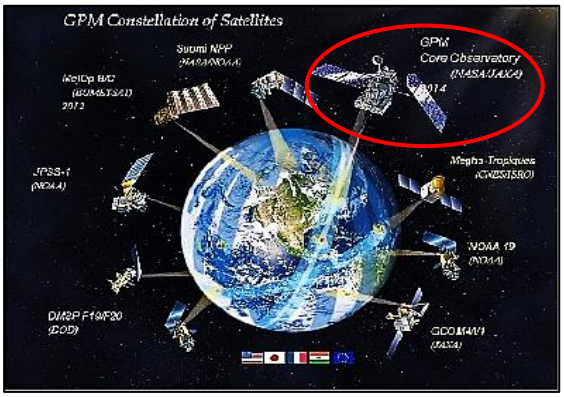
Ειδικότερα, έγινε χρήση κομβικών δεδομένων αναλύσεων από το Μετεωρολογικό Σύστημα Αρχειοθέτησης και Ανάκτησης (Meteorological Archival and Retrieval System, MARS), τα οποία παρήχθησαν από το ντετερμινιστικό ατμοσφαιρικό-υδροστατικό-φασματικό μοντέλο του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (European Center for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF), με ανάλυση πλέγματος 1º x 1º και χρονικού βήματος 6 ωρών για ένα διάστημα 6 χρονικών στιγμών (18:00UTC στις 09/07/2019, 00:00UTC στις 10/07/2019, 06:00UTC στις 10/07/2019, 12:00UTC στις 10/07/2019, 18:00UTC στις 10/07/2019 και στις 00:00UTC στις 11/07/2019), για την αναπαράσταση της γενικότερης συνοπτικής κατάστασης. Οι παράμετροι των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν την απεικόνιση των γεωδυναμικών υψών, της θερμοκρασίας, της μεταφοράς θερμοκρασίας, του σχετικού στροβιλισμού, της μεταφοράς στροβιλισμού, των ανέμων, της απόκλισης και της σχετικής υγρασίας για τα κύρια ισοβαρικά επίπεδα των 850hPa, 700hPa, 500hPa, 300hPa, 200hPa. Επίσης, χάρτες επιφανείας από την μετεωρολογική υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου (United Kingdom Met Office, UKMO) αναπαρίστανται για να συμβάλλουν στον εντοπισμό της μετωπικής δραστηριότητας. Ακόμα, για την καλύτερη αποσαφήνιση των ατμοσφαιρικών συνθηκών καθ΄ ύψος πραγματοποιούνται ζωνικές και μεσημβρινές τομές με τη χρήση βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων, ώστε να εξαχθούν πιο λεπτομερή αποτελέσματα για την κατακόρυφη δομή της συνοπτικής κατάστασης.

Δεδομένα βροχόπτωσης αποκτήθηκαν από τον πολικής τροχιάς δορυφόρο GPM (Global Precipitation Measurement) Core Observatory με απόσταση 407km από τη Γη, που είναι μια πρωτοβουλία της NASA (National Aeronautics and Space Administration) και JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) (Εικόνα 2.1). Η αποστολή GPM είναι ένα διεθνές δίκτυο δορυφόρων που παρέχει νέας γενιάς

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

παγκόσμιες παρατηρήσεις βροχόπτωσης και χιονιού, με σκοπό να ενοποιήσει τις μετρήσεις βροχόπτωσης με τη βοήθεια μιας ομάδας ερευνητικών και επιχειρησιακών δορυφόρων. Ο GPM Core Observatory παρέχει μικροκυματικές δορυφορικές λήψεις των χαρακτηριστικών των νεφών και του νερού που εμπεριέχουν. Οι λήψεις αυτές γίνονται μέσω ενός παθητικού, μικροκυματικού και πολυκαναλικού ραδιομέτρου GMI (GPM Microwave Imager) κωνικής σάρωσης, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στις ανάγκες του GPM για σχεδόν παγκόσμια κάλυψη (τροπικές περιοχές και μέσα γεωγραφικά πλάτη) και για συχνή επισκεψιμότητα πάνω από τις περιοχές ενδιαφέροντος, καθώς το εύρος σάρωσής του είναι 885km. Η επιλογή των δεδομένων έγινε μέσω του IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals για το GPM) με χωρική ανάλυση 0.1º x 0.1º και χρονική ανάλυση 30λεπτών, ο οποίος είναι ένας ενοποιημένος αλγόριθμος που παρέχει δεδομένα εκτίμησης βροχόπτωσης πολλαπλών δορυφόρων για την ομάδα GPM των ΗΠΑ. Η επεξεργασία και η οπτικοποίηση των εικόνων πραγματοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Orbit Viewer THOR. Το Orbit Viewer THOR (Tool for High-resolution Observation Review) είναι ένα εργαλείο για την επεξεργασία και απεικόνιση δορυφορικών δεδομένων από TRMM και GPM δορυφόρους, στη καλύτερη δυνατή ανάλυση του ραδιομέτρου.



Εικόνα 2.1. Η δομή της αποστολής όλης της οικογένειας δορυφόρων GPM. Ο κόκκινος κύκλος δείχνει τον δορυφόρο GPM Core Observatory (Πηγή: NASA).

Ακόμα στην εργασία γίνεται χρήση δεδομένων θερμοκρασιών, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης του μέσου ανέμου και ριπών ανέμου από 7 επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς της Χαλκιδικής και της ευρύτερης περιοχής της, τα οποία δεδομένα προέρχονται από την ελληνική και απλουστευμένη έκδοση της ήδη υπάρχουσας ιστοσελίδας του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Meteo.gr. Από την ίδια πηγή αναζήτησης αποκτήθηκαν μετρήσεις κεραυνικής δραστηριότητας (από το

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

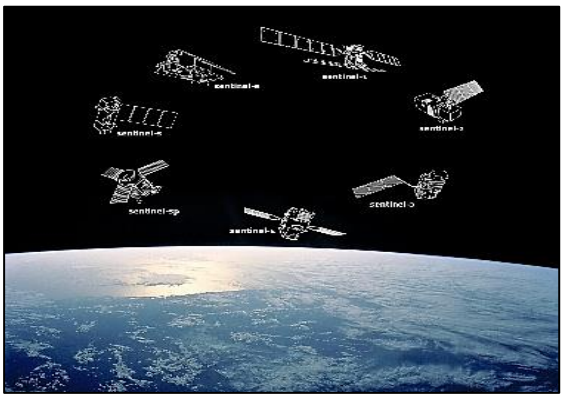
σύστημα TALOS) μέσω του επίγειου δικτύου ανίχνευσης αστραπών "ZEUS" του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.), όπου αυτές οι μετρήσεις αφορούν το σύνολο των ηλεκτρικών εκκενώσεων που εντοπίστηκαν ανά ώρα για την Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή της.

Επιπρόσθετα, εικόνες εξήχθησαν από τον ευρωπαϊκό δορυφόρο πολικής τροχιάς Sentinel-2 (Εικόνα 2.2), ο οποίος είναι μια πολυφασματική υψηλής-χωρικής-ανάλυσης (10m για τα 4 κανάλια: RGB και NIR, 20m για τα 6 κανάλια: Red edge και SWIR και 60m για τα 3 κανάλια: ατμοσφαιρικής διόρθωσης) αποστολή οπτικής απεικόνισης εφοδιασμένος με το υπερσύγχρονο όργανο Multi-Spectral Imager (MSI) του δορυφόρου που έχει πλάτος λωρίδας/σάρωσης 290km. Ο Sentinel-2 ανήκει στην οικογένεια των αποστολών Sentinels της ESA (European Space Agency) για τις επιχειρησιακές ανάγκες του προγράμματος Copernicus. Η αποστολή Copernicus Sentinel-2 περιλαμβάνει έναν αστερισμό δυο δορυφόρων πολικής τροχιάς, τον Sentinel-2A και τον Sentinel-2B, που τοποθετούνται στην ίδια συγχρονισμένη ηλιακή τροχιά με διαφορά φάσης 180º ο ένας με τον άλλο σε υψόμετρο 786km από τη Γη και με στόχο την κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειάς της με μια υψηλής συχνότητας σάρωση 5 ημερών (στον Ισημερινό). Μαζί με τον Sentinel-2, εξήχθησαν δορυφορικές εικόνες και από τον ευρωπαϊκό δορυφόρο πολικής τροχιάς Sentinel-3 (Εικόνα 2.2), ο οποίος αντιπροσωπεύει μια πολλαπλών οργάνων και πολυφασματική υψηλής-χωρικής-ανάλυσης (από 300m έως 1km, ανάλογα το όργανο μέτρησης) αποστολή παρατήρησης της Γης και αποτελείται από 4 βασικά όργανα το OLCI (Ocean and Land Colour Instrument), το SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Instrument), το SRAL (SAR Radar Altimeter) και το MWR (Microwave Radiometer). Το πλάτος λωρίδας/σάρωσης ποικίλει ανάλογα το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται. Η αποστολή του Sentinel-3 λειτουργεί από κοινού από την ESA και τη EUMETSAT για τη παροχή επιχειρησιακών υπηρεσιών παρατήρησης των ωκεανών και της Γης. Όπως ο Sentinel-2, έτσι και ο Sentinel-3 περιλαμβάνει έναν αστερισμό δυο δορυφόρων πολικής τροχιάς, τον Sentinel-3A και τον Sentinel-3B, που τοποθετούνται στην ίδια συγχρονισμένη ηλιακή τροχιά με διαφορά φάσης 180º ο ένας με τον άλλο σε υψόμετρο 815km από τη Γη και με στόχο την κάλυψη ολόκληρης της επιφάνειάς της με μια υψηλής συχνότητας σάρωση, για τα δύο βασικά όργανα μέτρησης δηλαδή, περίπου 1 ημέρας για το SLSTR όργανο και περίπου 2 ημερών για το OLCI όργανο (στον Ισημερινό και για τα δύο). Τα δεδομένα από τους δορυφόρους πολικής τροχιάς που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποκτήθηκαν από το Copernicus Open Access Hub και η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

οπτικοποίησή τους έγινε μέσω του προγράμματος SNAP (Sentinel Application Platform), το οποίο είναι ιδανικό για την επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών εικόνων Sentinel.



Εικόνα 2.2. Η οικογένεια των δορυφόρων Sentinel (Πηγή: ESA).

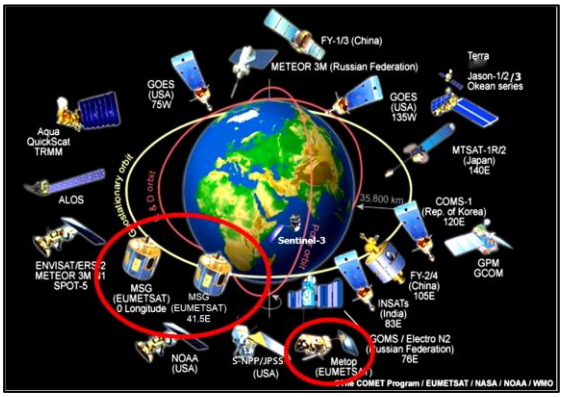
Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η χρήση δεδομένων ραντάρ του Φιλύρου Θεσσαλονίκης (το οποίο είναι ένα C-band radar και καταγράφει ανά 3.5 λεπτά περίπου) και του Λιόπρασου Τρικάλων (το οποίο είναι επίσης ένα C-band radar και καταγράφει συνδυαστικά με το ραντάρ του Φιλύρου ανά 4 λεπτά). Αυτά χρησιμοποιούνται από τον Οργανισμό Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ) για την παρακολούθηση και μέτρηση των ισχυρών νεφικών συστημάτων των βροχοπτώσεων, των καταιγίδων και των χαλαζοκαταιγίδων. Η παρατήρηση και συνεχής καταγραφή των φαινομένων αυτών πραγματοποιείται αρκετά ικανοποιητικά σε αποστάσεις μέχρι και τα 150km περιμετρικά του ραντάρ. Τα δεδομένα που καταγράφονται και αρχειοθετούνται αφορούν πρωταρχικά την ανακλαστικότητα των υδρομετεώρων, από την οποία μπορούν να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες για τη δομή, την ένταση και τη σφοδρότητα του κάθε νεφικού συστήματος. Για τη διαχείριση και απεικόνιση αυτών των δεδομένων ο ΕΛΓΑ χρησιμοποιεί τις εφαρμογές IRIS και TITAN. Τέλος, μέσω της εφαρμογής TITAN γίνεται και η αυτόματη αρχειοθέτηση των δεδομένων ραντάρ.

Το σημαντικότερο μέρος της εργασίας, σχετικά με τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά καθώς και την εξέλιξη του καταιγιδοφόρου συστήματος, μελετήθηκε με δορυφορικά δεδομένα γεωστάσιμων δορυφόρων δεύτερης γενιάς (Meteosat Second Generation, MSG) που ανήκουν στον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites, EUMETSAT) (Εικόνα 2.3). Ειδικότερα, οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, προέρχονται από τον γεωστάσιμο μετεωρολογικό

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

δορυφόρο δεύτερης γενιάς Meteosat-11 (ή αλλιώς MSG-4) της EUMETSAT οι οποίες στη συνέχεια ανακτήθηκαν από την Πύλη Παρατήρησης της Γης (Earth Observation Portal, EOP) της EUMETSAT και οπτικοποιήθηκαν με το πρόγραμμα NUBES. Ο Meteosat-11 εκτοξεύτηκε και τέθηκε σε τροχιά το 2015. Κύριο χαρακτηριστικό των γεωστάσιμων δορυφόρων είναι ότι έχουν την ίδια περίοδο περιστροφής με τη Γη, 24 ώρες, και κινούνται σε σταθερή απόσταση από αυτή. Έτσι με τον τρόπο αυτό ο δορυφόρος βρίσκεται στάσιμος πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή της Γης. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος βρίσκεται σε απόσταση 36.000km και σε μια τοποθεσία (0º degree, δηλαδή στην τομή του Ισημερινού με τον μεσημβρινό του Greenwich) ώστε να μπορεί πάντα να παρατηρεί την Ευρώπη, την Αφρική, τον Ατλαντικό Ωκεανό, τη Μέση Ανατολή και ένα μέρος της ανατολικής Λατινικής Αμερικής.



Εικόνα 2.3. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι της EUMETSAT συνεισφέρουν στο Σύστημα Παγκόσμιας Παρατήρησης του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού οι οποίοι βρίσκονται σε στενή συνεργασία μεταξύ των Ευρωπαϊκών, Γαλλικών και Γερμανικών υπηρεσιών Διαστήματος (ESA, CNES, DLR) με τους εταίρους των NOAA και NASA και με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Πηγή: The COMET Program / EUMETSAT / NASA / NOAA / WMO).

Τα δεδομένα που συγκεντρώνει ο MSG συνεισφέρουν όχι μόνο στη παρακολούθηση της ατμόσφαιρας, αλλά στο σωστό εντοπισμό και στην επιτυχή πρόγνωση ισχυρών καιρικών φαινομένων (καταιγίδων, MCSs, τροπικών κυκλώνων κ.α.). Οι εικόνες που παρέχει είναι εικόνες υψηλού δείκτη (High Rate SEVIRI image data) ποιότητας επεξεργασίας επιπέδου 1.5 (level 1.5), που παρέχουν κυρίως πληροφορίες ως προς τη πληρότητα και τη γεωμετρική και ραδιομετρική ποιότητα της εικόνας. Αυτή η συλλογή εικόνων, επιτυγχάνεται με τη χρήση του βασικού οργάνου παρακολούθησης, που διαθέτουν αυτοί οι δορυφόροι, και είναι ο απεικονιστής με την ονομασία SEVIRI (Spinning Enhanced Visible InfraRed Imager). Το ραδιόμετρο SEVIRI είναι ένα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

πολυφασματικό όργανο που σαρώνει την επιφάνεια της Γης, από ανατολή προς δύση, και η κάθε σάρωση που γίνεται αποτελείται από 8 τμήματα δεδομένων εικόνας, με εξαίρεση το κανάλι Υψηλής Ανάλυσης του Ορατού (High Resolution Visible, HRV) όπου η σάρωση αποτελείται από 24 τμήματα (με κάθε τμήμα να έχει 464 γραμμές δεδομένων εικόνας). Πιο συγκεκριμένα, λοιπόν, το ραδιόμετρο SEVIRI έχει μια πολυφασματική ανάλυση 12 καναλιών (όπως φαίνεται στον Πίνακα 2) με χρονική ανάλυση 15 λεπτών και χωρική ανάλυση 3km. Εξαίρεση αποτελεί το κανάλι 12 HRV με μια πιο υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα της τάξης του 1km. Το γεγονός της σύντομης χρονικά σάρωσης και αποστολής αυτών των δορυφορικών εικόνων, δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης με μεγάλη χρονική ανάλυση δυναμικών φαινομένων που εξελίσσονται με ταχύτατο ρυθμό.

Πίνακας 2. Κύριες εφαρμογές του ραδιομέτρου SEVIRI του δορυφόρου Meteosat-11 ανά φασματικό κανάλι.

Κανάλι	Μήκη κύματος (μm)	Φασματική ζώνη(μm)	Κύρια παρατηρησιακή εφαρμογή
1	0.48 - 0.78	VIS0.6 ορατό	Επιφάνεια, Νέφη, Πεδία ανέμων
2	0.67 - 0.95	VIS0.8 ορατό	Επιφάνεια, Νέφη, Πεδία ανέμων
3	1.36 - 1.92	NIR1.6 εγγύς υπέρυθρο	Επιφάνεια, Φάση νεφών
4	3.04 - 4.80	MIR3.9 μέσο υπέρυθρο	Επιφάνεια, Νέφη, Πεδία ανέμων
5	4.45 - 8.05	WV6.2 υδρατμών	Υδρατμοί,Υψηλά νέφη, Ατμοσφαιρική αστάθεια
6	6.35 - 8.35	WV7.3 υδρατμών	Υδρατμοί, Ατμοσφαιρική αστάθεια
7	7.90 - 9.50	IR8.7 θερμικό υπέρυθρο	Επιφάνεια, Νέφη, Ατμοσφαιρική ασταθεία
8	9.10 - 10.22	IR9.7 θερμικό υπέρυθρο (O_3)	Όζον
9	8.80 - 12.80	IR10.8 θερμικό υπέρυθρο	Επιφάνεια, Νέφη, Πεδία ανέμων, Ατμοσφαιρική αστάθεια
10	10.00 - 14.00	IR12.0 θερμικό υπέρυθρο	Επιφάνεια, Νέφη, Ατμοσφαιρική ασταθεία
11	11.40 - 15.40	IR13.4 θερμικό υπέρυθρο (CO_2)	Ύψος θυσάνων (Cirrus ή Ci), Ατμοσφαιρική αστάθεια
12	0.30 - 1.30	HRV υψηλής ανάλυσης ορατό	Επιφάνεια,Νέφη

2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ METEOSAT-11

2.2.1 Βασική ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων του Meteosat-11

Στη παρούσα μελέτη ο βασικότερος στόχος είναι να ανιχνευθούν και να ερμηνευθούν τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά του ισχυρού καταιγιδοφόρου συστήματος μέσα από το πρίσμα των δορυφορικών καναλιών και των κατάλληλων συνδυασμών αυτών. Για να επιτευχθεί η σωστή χρήση αυτών των καναλιών, είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας της κάθε κατηγορίας καναλιών. Η συγκεκριμένη εργασία εστιάζει μεμονωμένα στα κανάλια του θερμικού υπερύθρου (κανάλι 9 το οποίο είναι ενισχυμένο χρωματικά (colored enhanced IR10.8μm)), του ορατού (κανάλι 12 HRV) και των υδρατμών (κανάλι 5 (WV6.2μm) και κανάλι 6 (WV7.3μm)). Σημαντικό κομμάτι της εργασίας αποτελεί η μελέτη με βάση τόσο τις διαφορές θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών (Brightness Temperature Differences,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

BTDs) όσο και τις χρωματικές τους συνθέσεις (RGB), με σκοπό τον εντοπισμό νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης αλλά και τη μελέτη στοιχείων μικροφυσικής των νεφών. Τα BTDs και οι χρωματικές συνθέσεις RGB των καναλιών μπορούν να προκύψουν και με τη χρήση άλλων καναλιών. Ειδικότερα, οι διαφορές θερμοκρασίας λαμπρότητας των καναλιών που χρησιμοποιούνται είναι οι 5-6, 5-9, 9-10. Ενώ οι συνδυασμοί των χρωματικών συνθέσεων RGB που εφαρμόζονται είναι οι Airmass (με συνδυασμό 5-6, 8-9, 5) και Night Microphysics (με συνδυασμό 10-9, 9-4, 9). Περισσότερη ανάλυση και επεξήγηση των παραπάνω δίνεται στις επόμενες υποενότητες του 2^{ου} Κεφαλαίου.

2.2.2 Τρόπος λειτουργίας καναλιών

α) Ερμηνεία των εικόνων στα κανάλια του ορατού (VIS & HRV)

Οι εικόνες στα κανάλια του ορατού, που παρέχονται από τον αισθητήρα του δορυφόρου Meteosat-11, καταγράφουν την ηλιακή ακτινοβολία με μήκη κύματος από 0.48μm έως 0.95μm, η οποία ακτινοβολία ανακλάται από τις κορυφές των νεφών και την επιφάνεια της Γης, και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα. Πέρα από αυτή την φασματική ζώνη, ιδιαίτερη σημασία έχει το κανάλι HRV το οποίο ανήκει σε μια πιο διευρυμένη περιοχή του ορατού, η οποία είναι από 0.30μm έως 1.30μm, με μια αρκετά καλύτερη απεικόνιση της χωρικής ανάλυσης. Επειδή τα κανάλια αυτά εξαρτώνται από την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούν να συλλέξουν δεδομένα μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας με την παρουσία του ηλιακού φωτός. Η λαμπρότητα στις εικόνες των ορατών φασμάτων θεωρείται ότι εκφράζει την λευκαύγεια (albedo) της Γης, όπου περιοχές με μεγαλύτερη λευκαύγεια εμφανίζονται με πιο ανοικτές (έως και άσπρες) αποχρώσεις του γκρι (π.χ. "φρέσκο" χιόνι, μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης και πάχους Cb, MCS) ενώ περιοχές με μικρότερο ποσοστό λευκαύγειας εμφανίζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι (π.χ. θάλασσες, ωκεανοί, λίμνες, ξηρά, πυκνές δασικές εκτάσεις). Αυτά απεικονίζονται στον Πίνακα 3, όπου εκεί σημειώνονται οι μέσες τιμές λευκαύγειας (ποσοστά επί τις εκατό) διαφόρων τύπων νεφών και επιφανειών, όπως καταγράφηκαν από δορυφορικές μετρήσεις. Παρότι η λαμπρότητα κάθε διαφορετικής επιφάνειας του εδάφους της Γης φαίνεται να μη παρουσιάζει πολλές ιδιαιτερότητες, τα νέφη, από την άλλη, αποτελούν μια κατηγορία όπου η ερμηνεία τους γίνεται πιο σύνθετη, εφόσον η λαμπρότητά τους επηρεάζεται τόσο από τη γωνιακή θέση τους σε σχέση με τον δορυφόρο και τον Ήλιο όσο και από την ανακλαστικότητά τους (Reflectance, R) (Conover 1962). Η ανακλαστικότητα με τη σειρά της εξαρτάται

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

κυρίως από το οπτικό πάχος των νεφών και το περιεχόμενο τους σε νερό, καθώς και δευτερευόντως από το μέγεθος των υδροσταγονιδίων και τη σύσταση του νέφους (Καρτάλης & Φείδας 2006). Με άλλα λόγια, η επίδραση αυτών των παραγόντων στην ανακλαστικότητα των νεφών μπορεί να συνοψιστεί ως εξής ότι: α) τα νέφη έχουν μεγάλη λευκαύγεια όταν παρουσιάζουν μεγάλο οπτικό πάχος, μεγάλο περιεχόμενο σε νερό (ή πάγο) και μικρό μέσο μέγεθος υδροσταγόνων, ενώ β) τα νέφη εμφανίζουν μικρή λευκαύγεια όταν διαθέτουν μικρό οπτικό πάχος, μικρό περιεχόμενο σε νερό (ή πάγο) και μεγάλο μέσο μέγεθος υδροσταγόνων. Η μελέτη της εργασίας εστιάζει το ενδιαφέρον της μόνο στην συλλογή δεδομένων από το κανάλι HRV, ώστε να αποτυπώσει πιο λεπτομερειακά τα χαρακτηριστικά του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσα από την αξιοποίηση της υψηλής χωρικής ανάλυσης που παρέχει.

Πίνακας 3. Ποσοστά λευκαύγειας επί της εκατό για διάφορους τύπους νεφών και επιφανειών, όπως προέκυψαν από δορυφορικές εικόνες του ορατού (Πηγή: Φείδας 2019 – Ηλεκτρονικές Σημειώσεις).

Στοιχείο της εικόνας	Λευκάγεια
Μεγάλης κατακόρυφης έκτασης πυκνά Cumulunimbus	92
Μικρής έκτασης, ύψους 6 km Cumulunimbus	86
Πυκνά Cirrostratus με χαμηλότερα νέφη και βροχή	74
Cumulus και Stratocumulus επάνω από ξηρά (άνω του 80% νεφοκάλυψη)	69
Stratocumulus επάνω από ξηρά (άνω του 80% νεφοκάλυψη)	68
Stratus με μεγάλο πάχος (0.5 km) επάνω από θάλασσα	64
Λευκή άμμος	60
Stratocumulus επάνω από θάλασσα	60
Χιόνι 3-7 ημερών	59
Λεπτά stratus επάνω από θάλασσα	42
Cirrus επάνω από ξηρά	36
Cirrostratus επάνω από ξηρά	32
Cumulus καλοκαιρίας επάνω από ξηρά (άνω του 80% νεφοκάλυψη)	29
Άμμος κοιλάδων και σε κλίση	27
Θάλασσα με ανανάκλαση του Ήλιου	17
Κωνοφόρο δάσος	12
Λίμνη	9
Θάλασσα	9

β) Ερμηνεία των εικόνων στα κανάλια του θερμικού υπερύθρου (IR)

Η φασματική περιοχή του θερμικού υπερύθρου του δορυφόρου Meteosat-11 είναι μεταξύ 7.90μm και 15.40μm. Σε αυτό το διάστημα καταγράφεται η θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια της Γης και η ατμόσφαιρα. Το ποσό της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας με βάση τον νόμο των Steffan-Boltzmann, εξαρτάται από την θερμοκρασία της πηγής. Έτσι η ερμηνεία των εικόνων σε αυτό το φάσμα γίνεται με βασικό κριτήριο τις τιμές των θερμοκρασιών λαμπρότητας (Brightness Temperatures, BTs) στις κορυφές των νεφών και των επιφανειών της Γης,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

με τις ανοικτές αποχρώσεις του γκρι να δηλώνουν τις ψυχρές περιοχές (π.χ. χιονοκάλυψη, υψηλά νέφη, νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης Cu ή Cb, MCSs) και με τις σκούρες να δείχνουν τις θερμές περιοχές της Γης (θάλασσες, ωκεανοί, ξηρά, χαμηλά νέφη, ομίχλη). Επίσης, σύμφωνα με τον νόμο των Steffan-Boltzmann, σε αυτή την κατηγορία μηκών κύματος η επιφάνεια της Γης και τα πυκνά νέφη με μεγάλο πάχος θεωρούνται μέλανα σώματα και οπότε οι τιμές της ακτινοβολίας μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας. Συνεπώς, τα υψηλά πυκνά νέφη Ci (Cirrus), Cs (Cirrostratus) και Cb εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας λόγω των πολύ υψηλών κορυφών τους. Ίδια ερμηνεία αναφέρεται και για τις περιοχές του εδάφους της Γης με χιονοκάλυψη, οι οποίες απεικονίζονται με λευκές αποχρώσεις στον αισθητήρα του δορυφόρου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, στις εικόνες του καναλιού 9 (IR10.8) του θερμικού υπερύθρου, υπάρχει η δυνατότητα να προστεθούν χρωματικές αποχρώσεις στα ψυχρότερα σημεία της κορυφής του νέφους (περίπου κάτω των -43°C), ώστε το ανθρώπινο μάτι να εντοπίζει πιο γρήγορα και εύκολα τα βασικά χαρακτηριστικά της δομής της κορυφής του νέφους, το ύψος του νεφικού συστήματος, καθώς και τον ή τους πυρήνες της καταιγίδας. Επομένως, στη παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν ενισχυμένες χρωματικά εικόνες από το κανάλι 9 (IR10.8), αυτής της φασματικής περιοχής, με σκοπό τη καλύτερη εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά της καταιγίδας και της συνολικής δομής της κορυφής του νέφους.

γ) Ερμηνεία των εικόνων στα κανάλια των υδρατμών (WV)

Η φασματική περιοχή των υδρατμών του δορυφορικού αισθητήρα αποτυπώνει την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η ατμόσφαιρα με μήκη κύματος από 4.45μm έως 8.35μm. Υπάρχουν δυο κανάλια που καταγράφουν την υπέρυθρη ακτινοβολία σε αυτό το φάσμα, το κανάλι 5 κοντά στα 6.2μm και το κανάλι 6 κοντά στα 7.3μm. Οι μετρήσεις που εκτελούνται σε αυτές τις περιοχές του φάσματος, όπου η ατμόσφαιρα απορροφά έντονα την εξερχόμενη ακτινοβολία, παρέχουν την δυνατότητα της απεικόνισης της οριζόντιας χωρικής κατανομής των υδρατμών της ατμόσφαιρας (Καρτάλης & Φείδας 2006).

Το μεγαλύτερο πόσο της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας προέρχεται από τα υψηλά στρώματα της τροπόσφαιρας (300-600hPa). Αυτή η ακτινοβολία που αποτυπώνεται, προσδιορίζεται από δύο παράγοντες: το ολικό ποσό των υδρατμών της στήλης της

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

τροπόσφαιρας και την κατακόρυφη κατανομή της. Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα υγρασίας στα υψηλότερα επίπεδα της τροπόσφαιρας, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απορρόφηση της ακτινοβολίας από τα κατώτερα επίπεδα, την οποία ο ανιχνευτής δε κατορθώνει να εντοπίσει. Οπότε, όσο από πιο υψηλά προέρχεται η ακτινοβολία που καταγράφει ο αισθητήρας τόσο πιο χαμηλές θα είναι οι θερμοκρασίες. Έτσι λοιπόν, μια εκτεταμένη περιοχή με υψηλή υγρασία στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα θα εμφανίζεται με ανοικτούς τόνους του γκρι ενώ μια με χαμηλή ποσότητα υγρασίας θα εμφανίζεται με σκούρους τόνους του γκρι (με την ίδια βασική ερμηνεία που ισχύει και με τις εικόνες του υπερύθρου, δηλαδή χαμηλή θερμοκρασία αντιστοιχεί με ανοικτές αποχρώσεις του γκρι ενώ υψηλή θερμοκρασία αντιστοιχεί σε πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι) (Καρτάλης & Φείδας 2006). Σχετικά με τα κανάλια των υδρατμών, το κανάλι 5 (WV6.2μm) δέχεται ακτινοβολία κυρίως από τα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και συνεπώς η μέγιστη συνεισφορά του είναι από τα 350hPa, κάνοντάς το πιο ευαίσθητο στον εντοπισμό των βαθιών υγρών στρωμάτων (Santurette & Georgiev 2005). Ενώ στο κανάλι 6 (WV7.3μm) φτάνει ακτινοβολία και από τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, με αποτέλεσμα η μέγιστη συνεισφορά του να είναι από τα 500hPa, κάνοντας το πιο ευαίσθητο στο να ανιχνεύει τα υψηλά νέφη και τις διαφορές στην ποσότητα υγρασίας της χαμηλής τροπόσφαιρας (Santurette & Georgiev 2005). Τέλος, αξίζει να τονιστεί ότι τα κανάλια των υδρατμών (κανάλι 5 και κανάλι 6) είναι τα πιο κατάλληλα για τον εντοπισμό των αεροχειμάρρων και των μεγίστων του στροβιλισμού, οι οποίοι δημιουργούν μεγάλη θερμοβαθμίδα και άρα μεγάλες αντιθέσεις στην κατανομή των υδρατμών (Καρτάλης & Φείδας 2006).

2.2.3 Φυσικοί παράμετροι των νεφικών κορυφών και οι σχέσεις τους με τα φασματικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων του Meteosat-11

Με αναφορά, παραπάνω, για τις ερμηνείες των καναλιών σχετικά με τις τιμές ανακλαστικότητας (R) και θερμοκρασίας λαμπρότητας (BT), δηλαδή για τα φασματικά χαρακτηριστικά των κορυφών του νέφους στις δορυφορικές εικόνες, είναι σημαντικό να διευκρινιστούν και τα φυσικά χαρακτηριστικά των νεφών, τα οποία μπορούν να εξαχθούν μέσα από τα φασματικά στοιχεία των εικόνων. Αυτά τα φυσικά χαρακτηριστικά έχουν να κάνουν με το ύψος της κορυφής, τα μικροφυσικά χαρακτηριστικά καθώς και το οπτικό πάχος του νέφους.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Αρχικά, το ύψος του νέφους σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία λαμπρότητας (BT) των κορυφών του νέφους στις εικόνες του υπερύθρου (ή και ακόμα των ενισχυμένων χρωματικά εικόνων του υπερύθρου). Αυτό σημαίνει πως όσο χαμηλότερες είναι οι τιμές των θερμοκρασιών λαμπρότητας τόσο πιο μεγάλο ύψος έχει η κορυφή του νέφους και άρα πιο πιθανή είναι η παρουσία βροχόπτωσης, όπως συμβαίνει με τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης τα οποία παρουσιάζουν μεγάλο κατακόρυφο ύψος καθώς αναπτύσσονται. Συγκεκριμένα, στις ενισχυμένες χρωματικά εικόνες του υπερύθρου (IR) υπάρχει η δυνατότητα, πέρα από το ύψος της κορυφής του νέφους, να προσδιοριστεί και η δομή αυτής της κορυφής, απεικονίζοντας στοιχεία όπως την υπερυψωμένη κορυφή (overshooting top, OT), τον σχηματισμό ψυχρού δαχτυλιδιού (cold ring) ή τον σχηματισμό του χαρακτηριστικού του ψυχρού U/V (cold U/V shaped feature) στη κορυφή του νέφους.

Ένα άλλο φυσικό χαρακτηριστικό είναι η φάση του νέφους, σε νερό ή πάγο, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της βροχόπτωσης. Πληροφορίες για τη φάση του νέφους παρέχονται με τη χρήση κατάλληλων χρωματικών συνθέσεων RGB (αυτοί οι συνδυασμοί παρουσιάζονται παρακάτω).

Μια τελευταία φυσική παράμετρος που πρέπει να σχολιαστεί είναι το οπτικό πάχος του νέφους (πάχος νέφους μαζί με περιεχόμενο σε νερό), το οποίο εντοπίζεται μελετώντας συνδυασμούς διαφορών θερμοκρασίας λαμπρότητας (Brightness Temperature Differences-BTDs) (επίσης σημαντικά φασματικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων που παρουσιάζονται παρακάτω), χρησιμοποιώντας εικόνες θερμοκρασίας λαμπρότητας (BT) του υπερύθρου. Κύρια λειτουργία του είναι ο διαχωρισμός των οπτικά λεπτών νεφών από τα παχιά νέφη.

2.2.4 Ερμηνείες δορυφορικών εικόνων με βάση τις διαφορές, μεταξύ καναλιών, θερμοκρασιών λαμπρότητας (BTDs) του δορυφόρου Meteosat-11

Οι διαφορές θερμοκρασίας λαμπρότητας BTDs, μεταξύ καναλιών του δορυφόρου Meteosat-11, χρησιμοποιούνται για να δώσουν πιο λεπτομερείς και σημαντικές πληροφορίες για τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός νεφικού συστήματος. Επίσης, η χρήση τους βοηθάει ώστε, μέσα από την εικόνα, να γίνει μια προσέγγιση της δομής και των χαρακτηριστικών της κορυφής του καταιγιδοφόρου συστήματος και να εξαχθούν έτσι πιο ολοκληρωμένα συμπεράσματα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

α) Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών WV6.2 και WV7.3 ($BTD(T_{6.2} - T_{7.3})$)

Η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας $BTD(T_{6.2} - T_{7.3})$ μεταξύ των καναλιών 5 (WV6.2μm) και 6 (WV7.3μm) μπορεί να χρησιμοποιηθεί, κυρίως, για τον εντοπισμό των πολύ υψηλών κορυφών των νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης, που είτε βρίσκονται είτε ξεπερνούν το στρώμα της τροπόπαυσης. Συμβάλλει, δηλαδή, στον εντοπισμό των υπερυψώσεων των κορυφών των νεφών (overshooting tops). Αν οι κορυφές των νεφών είναι κορυφές νεφών μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης, τότε αυτές απορροφούν και εκπέμπουν ακτινοβολία σαν μέλανα σώματα, με αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες λαμπρότητας των καναλιών να έχουν μικρή έως και μηδενική απόκλιση μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι η $BTD(T_{6.2} - T_{7.3})$ είτε προσεγγίζει το μηδέν είτε παίρνει θετικές τιμές. Είναι σημαντικό να τονιστεί εδώ, ότι οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτης για την ένταση του καταιγιδοφόρου συστήματος. Αντίθετα, η ακτινοβολία που προέρχεται από χαμηλότερα νέφη διαφέρει για τα κανάλια των υδρατμών, εξαιτίας της μεγαλύτερης απορρόφησης ακτινοβολίας από το κανάλι WV6.2μm σε σχέση με το κανάλι WV7.3μm. Αυτό έχει σαν συνέπεια η $BTD(T_{6.2} - T_{7.3})$ να λαμβάνει μεγάλες αρνητικές τιμές.

β) Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών WV6.2 και IR10.8 ($BTD(T_{6.2} - T_{10.8})$)

Γενικά, η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών και του θερμικού υπερύθρου χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της υγρασίας του χαμηλότερου στρώματος της στρατόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ του καναλιού 5 (WV6.2μm) και του καναλιού 9 (IR10.8μm) πλεονεκτεί ως προς το γεγονός ότι μπορεί να διαχωρίσει τα υψηλά από τα μεσαία νέφη (Lutz et al. 2003) και να διακρίνει τη κατανομή θερμής υγρασίας πάνω από τις κορυφές νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης. Επιπλέον, στα 6.2μm επικρατεί η απορρόφηση από τους υδρατμούς πάνω από το νέφος, με αποτέλεσμα τα χαμηλού και μεσαίου επιπέδου νέφη να εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας από αυτές που πραγματικά έχουν. Σε αντίθετη περίπτωση στα 10.8μm οι τιμές των θερμοκρασιών των κορυφών του νέφους είναι πιο αντιπροσωπευτικές των πραγματικών τιμών που επικρατούν σε αυτά, καθώς η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ατμόσφαιρα σε αυτό το μήκος κύματος συμπεριφέρεται ως διαφανές στρώμα (Feidas & Giannakos 2011).

Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα ημιδιάφανα νέφη των παγοκρυστάλλων τύπου Cirrus, όπου μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας που δέχεται ο δορυφορικός αισθητήρας προέρχεται κατευθείαν από το έδαφος διαπερνώντας το νέφος. Αυτό σημαίνει ότι για μεσαία και χαμηλά νέφη καθώς και για νέφη τύπου Cirrus η $\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{10.8})$ τείνει να παίρνει πολύ μεγάλες αρνητικές τιμές. Ακόμα, για υψηλά παχιά νέφη με κατακόρυφη ανάπτυξη, όπου δε παρατηρούνται υδρατμοί πάνω από αυτά ώστε να επηρεάσουν την απορρόφηση της ακτινοβολίας στα 6.2μm, η απορρόφηση της ακτινοβολίας, από την παρουσία παγοκρυστάλλων σε αυτά, παράγει θερμοκρασίες στα 6.2μm που προσεγγίζουν τις πραγματικές των νεφών. Έτσι η $\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{10.8})$ λαμβάνει τιμές που είναι κοντά στο μηδέν. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, όταν κορυφές νεφών πολύ ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης "διεισδύσουν" στο χαμηλό στρώμα της στρατόσφαιρας, μπορούν να παραγάγουν ένα σημαντικό ποσό υγρασίας. Αυτό το στρώμα υγρασίας, που είναι συνήθως θερμότερο από τις κορυφές των νεφών καθώς εισχωρεί στην στρατόσφαιρα, έχει σαν άμεση συνέπεια να απορροφά και να επανεκπέμπει επιπρόσθετη ακτινοβολία στα 6.2μm ενώ να παραμένει διαφανές στη φασματική ζώνη των 10.8μm. Επομένως, να καταγράφονται θετικές τιμές στην $\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{10.8})$, υποδηλώνοντας ταυτόχρονα και την ένδειξη νεφικών κορυφών σημαντικής κατακόρυφης ανάπτυξης (Fritz & Lazlo 1993, Schmetz et al. 1997)

γ) Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών του θερμικού υπερύθρου IR10.8 και IR12.0 ($\boldsymbol{BTD(T_{10.8} - T_{12.0})}$)

Η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας, που προκύπτει μεταξύ των καναλιών του θερμικού υπερύθρου 9 (IR10.8μm) και 10 (IR12.0μm), αποτελεί έναν καλό δείκτη του οπτικού πάχους των νεφών και υπερτερεί έναντι άλλων BTDs στο να διακρίνει τα οπτικώς παχιά σωρειτόμορφα νέφη από τα λεπτά νέφη των θυσάνων (Inoue 1985, 1987a). Η βασική διαφορά που υπάρχει μεταξύ αυτών των καναλιών έγκειται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας τους από τους παγοκρυστάλλους. Στη περίπτωση εμφάνισης ενός οπτικά μεγάλου πάχους σωρείτη, επειδή και στα δύο κανάλια θεωρείται μέλαν σώμα, αυτός απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους και στη συνέχεια επανεκπέμπει μέρος αυτής (Inoue et al. 2001). Έτσι η $\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{10.8} - \mathrm{T}_{12.0})$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

λαμβάνει τιμές που είναι μικρότερες της μονάδας και προσεγγίζουν ακόμα και το μηδέν. Αναμένεται, επίσης, με την παρουσία νεφών με μεγάλο οπτικό πάχος και έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη να παρατηρηθεί βροχόπτωση (Inoue 1987b). Ωστόσο, στη περίπτωση εμφάνισης λεπτών σε πάχος θυσάνων, παρότι εκπέμπεται η ίδια ακτινοβολία από το νέφος και στα δύο κανάλια, η βασική διαφορά τους βρίσκεται στη μεγάλη απορρόφηση της ακτινοβολίας από τους παγοκρυστάλλους στο κανάλι 10 σε σύγκριση με αυτή στο κανάλι 9 (Inoue et al. 2001). Αυτό σημαίνει ότι η $\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{10.8} - \mathrm{T}_{12.0})$ παίρνει θετικές τιμές που είναι μεγαλύτερες από τη μονάδα.

2.2.5 Ερμηνείες δορυφορικών εικόνων με τη χρήση συνδυασμού καναλιών RGB

Η μεθοδολογία του RGB συνδυασμού καναλιών χρησιμοποιείται για να προσφέρει μια καλύτερη και πιο σαφή εικόνα των χαρακτηριστικών των νεφών και της επιφάνειας της Γης. Αυτή η τεχνική μεταφέρει πληροφορίες από τρία διαφορετικά κανάλια ή από διαφορές καναλιών σε μια μεμονωμένη χρωματική σύνθεση. Τα τρία διαφορετικά κανάλια (ή διαφορές αυτών) αποδίδονται το καθένα με ένα από τα τρία βασικά χρώματα, κόκκινο (R), πράσινο (G) και μπλε (B). Οι πληροφορίες που δίνει είναι πολύ χρήσιμες για έναν μετεωρολόγο-προγνώστη, καθώς εξυπηρετούν σε μια πιο λεπτομερή ανάλυση και επεξήγηση των νεφικών χαρακτηριστικών και της γενικότερης γήινης επιφάνειας. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η μεθοδολογία διατηρεί την πρωταρχική μορφή και υφή (ιδιαίτερα των νεφών) των εικόνων που χρησιμοποιεί καθώς και την χρονική και χωρική τους συνέχεια, επιτρέποντας έτσι την ομαλή διαχείριση της απεικόνισης των ακολουθιών εικόνων RGB. Τέλος, οι χρωματικές συνθέσεις RGB καθίστανται ένα εξαιρετικό εργαλείο που μπορούν να υποστηρίξουν την αναγνώριση:

- της σύστασης των νεφών σε υδροσταγόνες ή παγοκρυστάλλους και τα σχετικά τους μεγέθη,
- της ασθενούς έως μέτριας και έντονης ανωμεταφοράς,
- της σκόνης και των νεφών καπνού,
- των ειδών των αερίων μαζών στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα και
- της εξέλιξης της χιονοκάλυψης και βλάστησης.

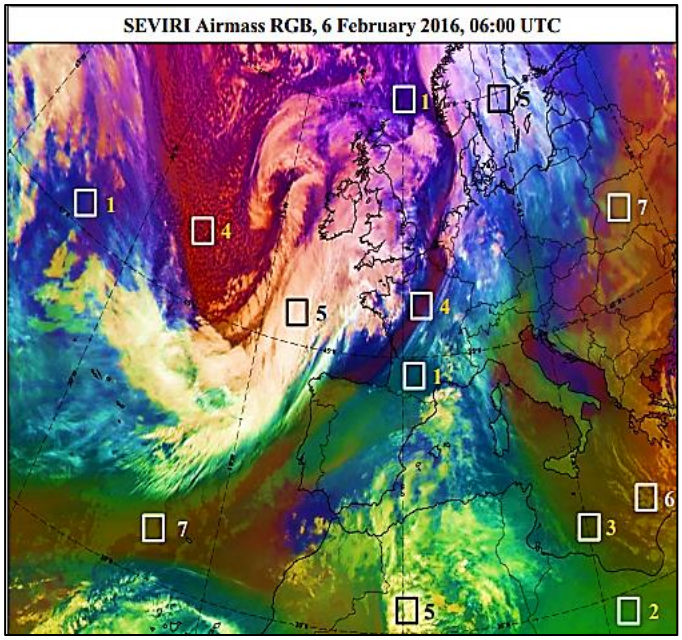
Παρακάτω περιγράφονται οι συνδυασμοί καναλιών RGB που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία και βοήθησαν επικουρικά στην εξέλιξή της.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

α) Συνδυασμός Airmass RGB (5-6, 8-9, 5)

Αυτός ο συνδυασμός RGB (Εικόνα 2.4) έχει κύριο στόχο να ξεχωρίζει τα είδη των αερίων μαζών και να διαχωρίζει τα μεσαία από τα υψηλά νέφη. Επιπλέον συμβάλλει στην ανίχνευση των δυναμικών διαδικασιών της ατμόσφαιρας όπως την παρουσία κυκλογένεσης, τις ανωμαλίες του δυναμικού στροβιλισμού, τα μετωπικά νεφικά συστήματα μαζί με τον καθοδικό ξηρό στρατοσφαιρικό αέρα που τα συνοδεύει, τη θέση των αεροχειμάρρων και τις ζώνες παραμόρφωσης. Αυτό το προϊόν RGB μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας όλο τον χρόνο, χωρίς να τροποποιούνται οι αποχρώσεις της εικόνας με την πάροδο των εποχών.



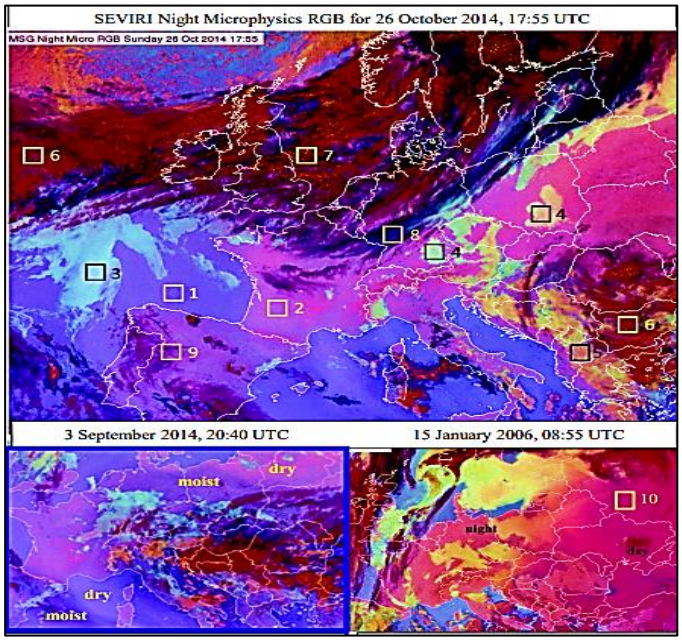
Εικόνα 2.4. Απεικονίζεται ο συνδυασμός Airmass RGB του ραδιομέτρου SEVIRI στις 6 Φεβρουαρίου 2016, 06:00UTC, από το Quick Guide του EUMETRAIN υπό την αιγίδα της EUMETSAT. Η ερμηνεία των διάφορων χρωματικών αποχρώσεων δίνεται με τους συμβολισμούς από το 1 έως το 7. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται: 1) οι ψυχρές, πλούσιες σε όζον, πολικές αέριες μάζες, 2) οι θερμές, φτωχές σε όζον, τροπικές αέριες μάζες (με υψηλή την ανώτερη τροποσφαιρική υγρασία), 3) οι θερμές αέριες μάζες με χαμηλή την ανώτερη τροποσφαιρική υγρασία, 4) οι ξηρές αέριες μάζες (που υποδεικνύουν π.χ. τον καθοδικό αέρα, τις ανωμαλίες του δυναμικού στροβιλισμού και τις θέσεις των αεροχειμάρρων), 5) τα υψηλού επιπέδου παχιά νέφη, 6) τα μεσαίου επιπέδου νέφη με υδροσταγόνες και παγοκρυστάλλους και 7) τα χαμηλού επιπέδου νέφη, τα οποία δεν έχουν συγκεκριμένο χρώμα απλά η δομή τους είναι ορατή, η οποία εμφανίζεται με μπλε σκιάσεις στις πολικές και με πράσινες σκιάσεις στις τροπικές αέριες μάζες.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

β) Συνδυασμός Night Microphysics RGB (10-9, 9-4, 9)

Ο συνδυασμός Night Microphysics RGB (Εικόνα 2.5) επικεντρώνεται στον εντοπισμό της ομίχλης και των χαμηλών νεφών της ατμόσφαιρας. Ακόμα, έχει την δυνατότητα να προσφέρει πλήρη ανάλυση των νεφών και να προσδιορίσει την ύπαρξη φωτιάς και σκόνης. Αυτό το προϊόν RGB παρέχει την καλύτερη χρωματική αντίθεση μεταξύ περιοχών με παρουσία ομίχλης ή χαμηλής νέφωσης και ανέφελων περιοχών, μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Εικόνα 2.5. Απεικονίζεται ο συνδυασμός Night Microphysics RGB του ραδιομέτρου SEVIRI στις 26 Οκτωβρίου 2014, 17:55UTC (πάνω) στις 3 Σεπτεμβρίου 2014, 20:40UTC (κάτω αριστερά) και στις 15 Ιανουαρίου 2006, 08:55UTC (κάτω δεξιά), από το Quick Guide του EUMETRAIN υπό την αιγίδα της EUMETSAT. Η ερμηνεία των διάφορων χρωματικών αποχρώσεων δίνεται με τους συμβολισμούς από το 1 έως το 10. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται: 1) η ανέφελη επιφάνεια θάλασσας και 2) η ανέφελη επιφάνεια εδάφους (οι μπλε ή ροζ σκιάσεις εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και το περιεχόμενο σε υδρατμούς, αντίστοιχα), 3) τα θερμά και πυκνά χαμηλά νέφη ή ομίχλη με μικρές νεφοσταγόνες (σκιάσεις του χρώματος του νερού), 4) τα ψυχρά και πυκνά χαμηλά νέφη ή ομίχλη (με πράσινες σκιάσεις σε περίπτωση μικρών νεφοσταγόνων, με ροζ προς γκρι σκιάσεις σε περίπτωση μεγάλων νεφοσταγόνων ή λεπτών νεφών), 5) τα παχιά νέφη μεσαίου επιπέδου (με καφετί σκιάσεις), 6) τα παχιά νέφη με παγοκρυστάλλους (με καστανοκόκκινες σκιάσεις), 7) τα πολύ ψυχρά παχιά νέφη με παγοκρυστάλλους (καστανοκόκκινες αποχρώσεις με πράσινες προς κίτρινες βούλες), 8) τα λεπτά νέφη τύπου Cirrus (με σκιάσεις του βαθύ μπλε), 9) τα πολύ λεπτά νέφη τύπου Cirrus (με φουξ αποχρώσεις που εξαρτώνται από την διαφάνεια και το είδος της υποκείμενης επιφάνειας) και 10) τα νέφη κατά τη διάρκεια της ημέρας (με φουξ, κόκκινες ή μπλε σκιάσεις).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της υπό μελέτη καταιγίδας που έπληξε σοβαρά την περιοχή της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019. Αρχικά περιγράφονται η γένεση και η πορεία του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας μέχρι να φτάσει στον Ελλαδικό χώρο και να εξελιχθεί σε κύτταρο μιας Υπερκυτταρικής καταιγίδας. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της συνοπτικής κατάστασης της ατμόσφαιρας, των επίγειων δεδομένων, των πολικής τροχιάς δορυφόρων GPM και Sentinel 2 & 3 και τέλος ακολουθεί η ερμηνεία των εικόνων του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11. Η μελέτη των συγκεκριμένων δεδομένων γίνεται με σκοπό την αναγνώριση των βασικών χαρακτηριστικών της καταιγίδας, της αποσαφήνισης του είδους της, καθώς επίσης και της γενικότερης κατάστασης που επικρατούσε στην ατμόσφαιρα εκείνη την χρονική περίοδο.

3.1 ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΝΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ

Ο ακόλουθος χάρτης (Εικόνα 3.1) χρησιμοποιείται με βασικό σκοπό την καλύτερη αποτύπωση της κίνησης του καταιγιδοφόρου συστήματος. Πάνω του σημειώνεται με διακεκομμένες γραμμές η πορεία του συστήματος από την στιγμή που γεννήθηκε, τις πρωινές ώρες της 10^{ης} Ιουλίου 2019 στον ηπειρωτικό κορμό της κεντρο-νότιας Ιταλίας, μέχρι την ώρα που διαλύθηκε, τα ξημερώματα της 11^{ης} Ιουλίου 2019 πέρα από τα παράλια της Μικράς Ασίας.

Γενικότερα το καταιγιδοφόρο σύστημα μετακινείται ανατολικά-νοτιοανατολικά ξεκινώντας από την Ιταλία, στη συνέχεια περνώντας στην Αδριατική θάλασσα, την Αλβανία, την περιοχή των Πρεσπών, την περιοχή του Βερμίου και των Πιερίων, έπειτα την κοιλάδα της Ημαθίας και Πέλλας, τον Θερμαϊκό κόλπο, διασχίζοντας την Χαλκιδική, τα νησιά Θάσος - Σαμοθράκη - Λήμνος, καταλήγοντας τελικά αρκετά ανατολικά από τα παράλια της Μικράς Ασίας.

Αναλυτικότερα, το μέσης κλίμακας καταιγιδοφόρο σύστημα δημιουργήθηκε και εξελίχθηκε στην κεντρονότια Ιταλία περίπου στις 09:30UTC. Ακολούθως, το σύστημα μετακινούμενο νοτιοανατολικά πέρασε από την περιοχή των Πρεσπών στον Ελλαδικό χώρο (μεταξύ 16:00UTC και 17:00UTC) με τη μορφή μιας συγχωνευμένης ομάδας καταιγίδων ευθείας γραμμής (κάτι το οποίο παρουσιάζεται και σχολιάζεται παρακάτω

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

στις ενισχυμένες χρωματικά δορυφορικές εικόνες IR10.8 και στις καταγραφές του ραντάρ). Από εκεί και έπειτα η καταιγίδα άρχισε να εμφανίζει χαρακτηριστικά μιας Υπερκυτταρικής καταιγίδας, επηρεάζοντας σοβαρά, κυρίως, την χερσόνησο της Κασσάνδρας (πρώτο "πόδι" Χαλκιδικής) τις βραδινές ώρες της 10ης Ιουλίου 2019. Τέλος, το κύτταρο της Υπερκυτταρικής καταιγίδας φαίνεται να διαλύεται γύρω στις 21:00UTC νότια της χερσονήσου του Άθου, αλλά δημιουργούνται, ακολούθως, νέα κύτταρα τα οποία συνεχίζουν την πορεία τους (πιο εξασθενημένα) προς τα παράλια της Μικράς Ασίας μέχρι να αποδυναμωθούν τελείως τα ξημερώματα της 11ης Ιουλίου 2019.

Εικόνα 3.1. Χάρτης απεικόνισης της πορείας του καταιγιδοφόρου συστήματος, με βάση τις μέγιστες ανακλαστικότητες του ραντάρ και τις ελάχιστες θερμοκρασίες από τις κορυφές των νεφών στα δορυφορικά του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11, περίπου από τις 09:30UTC στις 10 Ιουλίου 2019 έως τις 03:00UTC στις 11 Ιουλίου 2019 (Πηγή: http://photodentro.edu.gr/photodentro/d-balkan_geo_map_v1.6_pidx0014032/story_html5.html ,ΙΤΥΕ "ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ"). Επίσης, στον χάρτη σημειώνονται με μπλε βούλες οι 7 μετεωρολογικοί σταθμοί (Β(Βατοπέδι), Ν.Μ.(Νέα Μηχανιώνα), Κ(Κασσάνδρεια), Π(Πολύγυρος), Ν.Μ.(Νέος Μαρμαράς), Σ(Στρατώνι) και Μ.Λ.(Μεγίστη Λαύρα)) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία και αναλύονται στην υποενότητα 3.5 .

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

α. Συνοπτικοί χάρτες επιφανείας

Στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, μια οικογένεια υφέσεων στροβιλίζεται στον Ατλαντικό Ωκεανό με την γηραιότερη ύφεση να σημειώνει ελάχιστη πίεση 1001hPa και με τις νεότερες να εμφανίζουν ελάχιστες πιέσεις 1010hPa και 1011hPa. Ανατολικά αυτής της οικογένειας υφέσεων, παρατηρούνται βαρομετρικά υψηλά με κεντρικές πιέσεις 1025hPa στη Νορβηγική θάλασσα, 1022hPa στη Βόρεια θάλασσα και 1023hPa δυτικά της Ιβηρικής χερσονήσου. Στην Ευρώπη το κύριο χαρακτηριστικό είναι ένα ζωνικά διατεταγμένο μέτωπο που εκτείνεται από την νότια Γαλλία, διαμέσου των Άλπεων και της Βαλκανικής χερσονήσου, φτάνοντας έως τη Μαύρη Θάλασσα. Βόρεια αυτού του μετώπου επικρατεί ενισχυμένη βαροβαθμίδα που μεταφέρει ψυχρές αέριες μάζες (βλέπε Εικόνα 3.2). Μια σειρά βαρομετρικών χαμηλών παρατηρείται μέσα στη θερμή αέρια μάζα, με 1009hPa στη Θάλασσα των Βαλεαρίδων, 1007hPa στο Τυρρηνικό Πέλαγος και 1009hPa στο Βόρειο Αιγαίο Πέλαγος. Ακόμα, βαρομετρικά υψηλά καλύπτουν την βόρεια ακτή της Αφρικής με 1013hPa στην Αλγερία και 1014hPa ανοικτά της Λιβύης.

Καμία αξιοσημείωτη αλλαγή δεν παρατηρείται στις 10 Ιουλίου 2019, για τις 00:00UTC, ενώ στις 06:00UTC το βαρομετρικό χαμηλό του Τυρρηνικού Πελάγους βαθαίνει (1006hPa) κινούμενο προς τα ανατολικά. Επιπλέον το ψυχρό μέτωπο της Βαλκανικής αρχίζει να κινείται νότια.

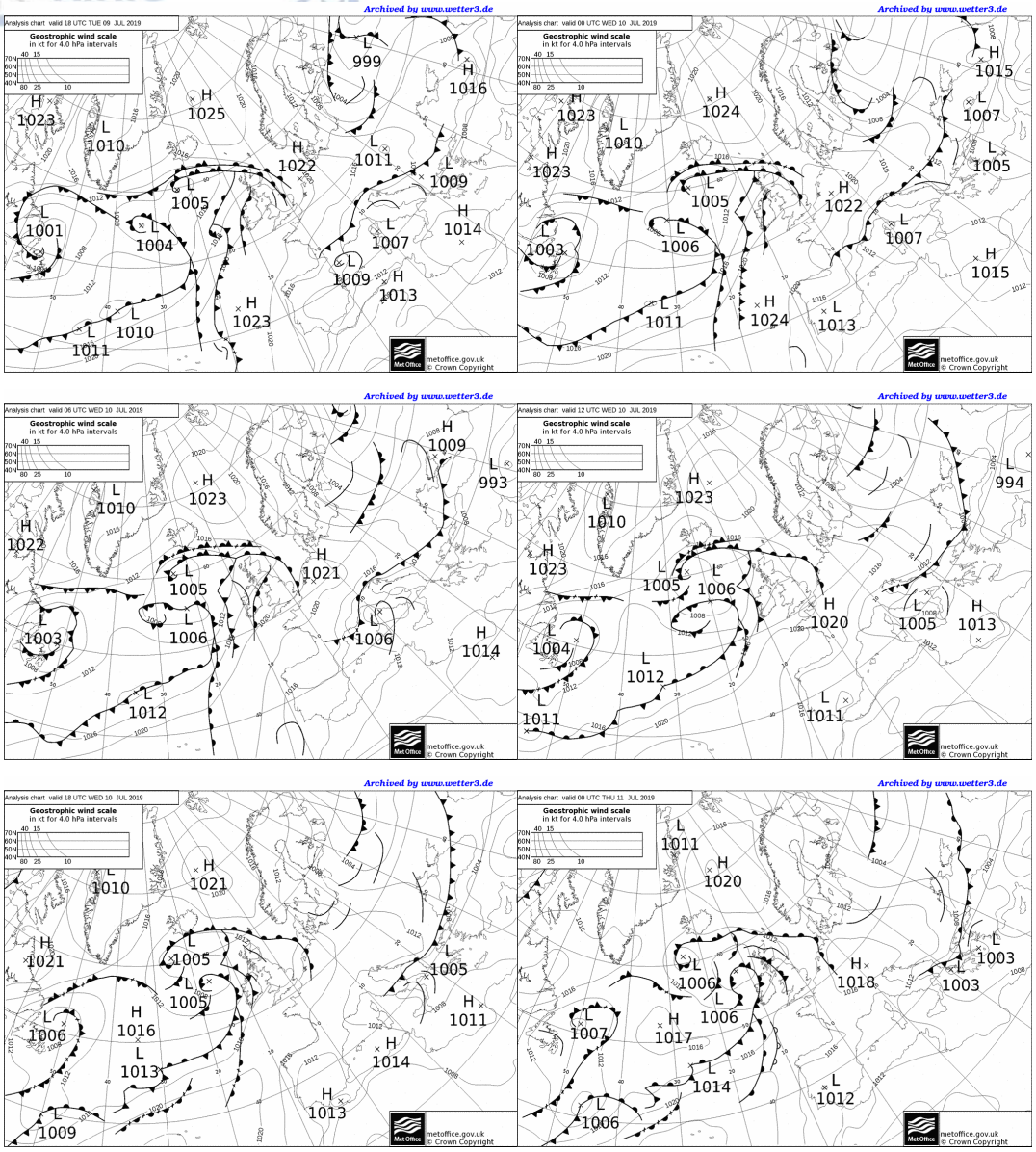
Στις 12:00UTC συνεχίζει η βάθυνση του βαρομετρικού χαμηλού (1005hPa) και η κίνησή του προς τα ανατολικά, καθώς επίσης και η διατήρηση της προς νότο πορείας του ψυχρού μετώπου. Προχωρώντας στις 18:00UTC, λίγο πριν η υπό μελέτη καταιγίδα επηρεάσει την περιοχή της Χαλκιδικής, παρατηρείται περαιτέρω προσέγγιση του βαρομετρικού χαμηλού (βόρειο Ιόνιο, 1005hPa) με το ψυχρό μέτωπο, που τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή το τελευταίο βρίσκεται εντός του βορειοελλαδικού χώρου.

Τέλος, στις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, λίγες ώρες αφού η υπό μελέτη καταιγίδα επηρέασε την Χαλκιδική, αυτή έχει εξασθενήσει και κινείται ανατολικότερα προς τα παράλια της Μικράς Ασίας (κάτι το οποίο θα περιγραφεί αναλυτικότερα παρακάτω στα δορυφορικά δεδομένα). Το μέτωπο έχει φτάσει μέχρι τη Στερεά Ελλάδα ενώ δύο πλέον

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

βαρομετρικά χαμηλά έχουν σχηματιστεί στον Ελλαδικό χώρο, το ένα στη δυτική Ελλάδα και το άλλο στις Κυκλάδες με κεντρικές πιέσεις και για τα δυο στα 1003hPa.



Εικόνα 3.2. Χάρτες επιφανείας για τις 18:00UTC στις 09/07/2019, 00:00UTC, 06:00UTC, 12:00UTC, 18:00UTC στις 10/07/2019 και 00:00UTC στις 11/07/2019 (Πηγή: www.wetter3.de)

β. Αεροχείμαρροι και απόκλιση στα 200hPa και 300hPa

Στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, (Εικόνα 3.3.α και Εικόνα 3.3.β), πάνω από τον Ευρωπαϊκό χώρο δεσπόζει η συμβολή των δύο αεροχειμάρρων, πολικού και υποτροπικού, σε ένα τυπικό “trough over ridge μοτίβο”. Πιο αναλυτικά, ο άξονας του πολικού αεροχειμάρρου (300hPa) διέρχεται από την Βόρεια Θάλασσα, την Κεντρική Ευρώπη, τα Βόρεια Βαλκάνια και καταλήγει στην Ουκρανία. Όπως φαίνεται από τα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

300hPa, υπάρχουν δύο μέγιστα του πολικού αεροχειμάρρου (jet streaks), το κύριο μέγιστο στη βάση του αυλώνα, με ταχύτητα ~ 50 m/s, σχετικά υψηλή για τη θερινή περίοδο, ενώ ένα δευτερεύον μέγιστο κατέρχεται από τη Βόρεια θάλασσα (~ 40 m/s). Ο άξονας του υποτροπικού αεροχειμάρρου (200hPa) διέρχεται από τη Δυτική Μεσόγειο και την Κεντρική Ιταλία με το μέγιστό του να δημιουργείται στη Δυτική Μεσόγειο (~ 50 m/s στα 200hPa). Κυκλωνική κυκλοφορία επικρατεί βόρεια του πολικού αεροχειμάρρου (300hPa), με κέντρο τη Ρωσία, ενώ αντικυκλωνική κυκλοφορία παρατηρείται στα νότια του υποτροπικού (200hPa), με κέντρο την νοτιοδυτική Αλγερία. Η κυκλωνική κυκλοφορία της Βορειοανατολικής Ευρώπης "συγκλίνει" κατά μήκος του πολικού αεροχειμάρρου (300hPa) με μέγιστο ~ -60*$10^{-6}*s^{-1}$ πάνω από την περιοχή της Δανίας, στην κυκλωνική πλευρά του αντίστοιχου jet streak. Απόκλιση μάζας λαμβάνει χώρα στην έξοδο του πολικού (300hPa) καθώς και αριστερά της εξόδου του υποτροπικού (200hPa) με το μέγιστο και στους δυο αεροχειμάρρους να φτάνει τα 60*$10^{-6}*s^{-1}$.

Μεταξύ της εισόδου του πολικού jet streak και της εξόδου του υποτροπικού, όπου συμβάλλουν οι δυο αεροχείμαρροι, σημειώνεται απόκλιση μάζας (> 50*$10^{-6}*s^{-1}$ στα 200hPa και ~ 30*$10^{-6}*s^{-1}$ στα 300hPa), η οποία αντιστοιχεί σε επιτάχυνση κατά μήκος της ροής. Η απόκλιση αυτή παρατηρείται επάνω από το ζωνικά διατεταγμένο μέτωπο, όπως ήδη έχει αναφερθεί στην υποενότητα των συνοπτικών χαρτών επιφανείας.

Όπως προκύπτει από τους χάρτες των 300hPa και 200hPa, στις 10 Ιουλίου 2019, 00:00UTC (Εικόνα 3.3.γ και Εικόνα 3.3.δ), το μέγιστο του υποτροπικού αεροχειμάρρου, κινούμενο προς τα ανατολικά-βορειοανατολικά, προσεγγίζει το μέγιστο του πολικού. Το jet streak από τη Βόρεια Θάλασσα κινείται νοτιοανατολικά κατά μήκος της ροής, συνοδευόμενο από μια βάθυνση της κυκλωνικής κυκλοφορίας στη Βόρεια Ευρώπη (300hPa). Από την άλλη πλευρά, μετατοπίζεται και ενισχύεται βορειότερα η αντικυκλωνική κυκλοφορία της Βορείου Αφρικής (200hPa και 300hPa). Μεγάλες τιμές απόκλισης παρατηρούνται στη περιοχή των Βαλκανίων πάνω από το επιφανειακό μέτωπο, οι οποίες στα 200hPa φτάνουν τα 70*$10^{-6}*s^{-1}$. Η απόκλιση μεταξύ των δύο αεροχειμάρρων αυξάνει, καθώς αυτοί πλησιάζουν μεταξύ τους, και το επιφανειακό μέτωπο ενισχύεται, κάτι το οποίο θα φανεί παρακάτω στους χάρτες της ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Η βάθυνση της κυκλωνικής κυκλοφορίας της Βόρειας Ευρώπης, η προσέγγιση των δυο αεροχειμάρρων καθώς και η απόκλιση μάζας, που λαμβάνει χώρα μεταξύ τους, συνεχίζονται και στις 06:00UTC (Εικόνα 3.3.ε και Εικόνα 3.3.στ) και στα δυο ισοβαρικά επίπεδα (200hPa και 300hPa). Συγκεκριμένα, η απόκλιση μάζας μεγιστοποιείται στην περιοχή της Αδριατικής με τιμές ~ $85*10^{-6}*s^{-1}$ στα 200hPa και ~ $40*10^{-6}*s^{-1}$ στα 300hPa, πάνω από μια περιοχή όπου το μέτωπο στα 850hPa λαμβάνει την μεγαλύτερή του ένταση (κάτι το οποίο θα φανεί παρακάτω). Το jet streak, που προήλθε από τη Βόρεια Θάλασσα, έχει πλέον συνενωθεί με τον ζωνικά διατεταγμένο πολικό αεροχείμαρρο, συμβάλλοντας έτσι σε μια δυτικότερη επέκταση αυτού του αεροχειμάρρου.

Στις 12:00UTC (Εικόνα 3.3.ζ και Εικόνα 3.3.η) το μέγιστο της απόκλισης της Αδριατικής συνεχίζει να κινείται νοτιοανατολικά, λαμβάνοντας τη μέγιστή του ένταση (~ $160*10^{-6}*s^{-1}$ στα 200hPa και ~ $85*10^{-6}*s^{-1}$ στα 300hPa) και προσεγγίζοντας την περιοχή της Αλβανίας. Παράλληλα, η κυκλωνική κυκλοφορία της Βόρειας Ευρώπης βαθαίνει περαιτέρω και ο πολικός αεροχείμαρρος (300hPa) μετακινείται νοτιότερα, ενώ το μέγιστο του υποτροπικού αεροχειμάρρου (200hPa), κινούμενο ανατολικά κατά μήκος της ροής, καθίσταται πλέον ζωνικό και βρίσκεται πάνω από τον Ελλαδικό χώρο. Αξίζει να αναφερθεί πως στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σε συνδυασμό με την μετακίνηση του αυλώνα της Κεντρικής Ευρώπης προς τα νοτιοανατολικά, ο πολικός αεροχείμαρρος αποκτά μια σημαντική καμπυλότητα πάνω από την Κεντρική Ευρώπη (300hPa).

Η ροή πάνω απ' όλη σχεδόν την Ευρώπη και την Μεσόγειο έχει γίνει κυκλωνική και μόνο στη Βόρεια Αφρική παραμένει η αντικυκλωνική κυκλοφορία στις 18:00UTC (Εικόνα 3.3.θ και Εικόνα 3.3.ι). Πλέον, ο υποτροπικός αεροχείμαρρος έχει αρχίσει να μετακινείται και αυτός νότια, "πιεζόμενος" από τον πολικό. Η περιοχή της μέγιστης απόκλισης βρίσκεται αυτή τη χρονική στιγμή πάνω από τη Βόρεια Ελλάδα με τιμή > $80*10^{-6}*s^{-1}$ στα 300hPa, ενώ στα 200hPa η περιοχή της μέγιστης απόκλισης μάζας εντοπίζεται γενικά πάνω από όλο σχεδόν τον Ελλαδικό χώρο με τιμή > $40*10^{-6}*s^{-1}$. Όπως θα φανεί παρακάτω, οι ανοδικές κινήσεις που έλαβαν χώρα κάτω από αυτήν την περιοχή απόκλισης, συνέβαλαν στην εκδήλωση της υπό μελέτη καταιγίδας.

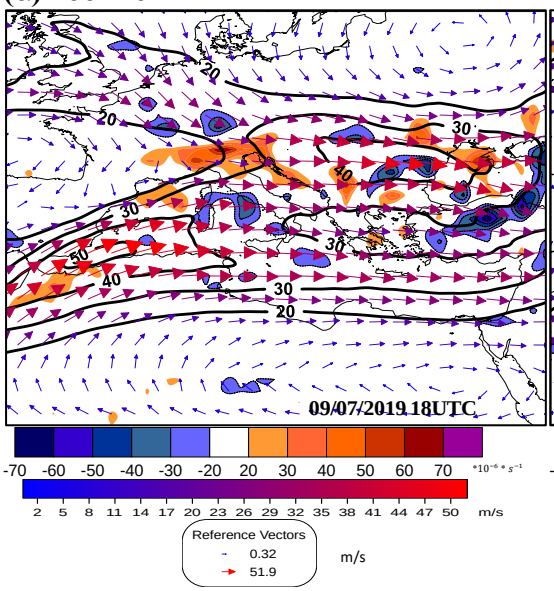
Τέλος, στις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC (Εικόνα 3.3.κ και Εικόνα 3.3.λ), οπότε και η υπό μελέτη καταιγίδα έχει εξασθενήσει και κινηθεί προς τα παράλια της Μικράς

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

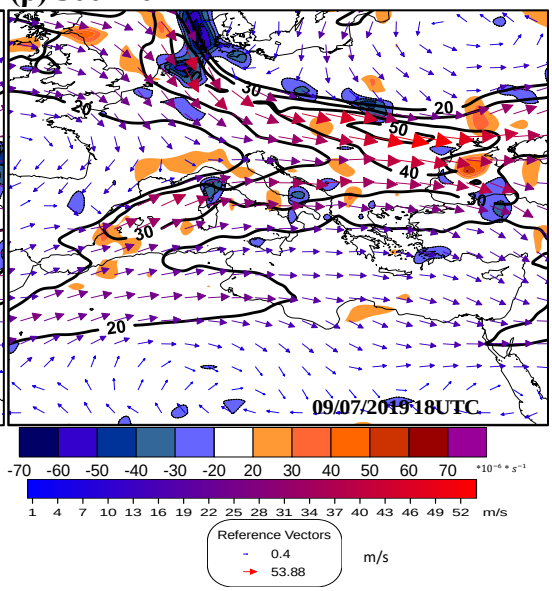
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ασίας, συνεχίζεται η μετατόπιση των αεροχειμάρρων προς νότο καθώς και των μεγίστων απόκλισης που τους συνοδεύουν.

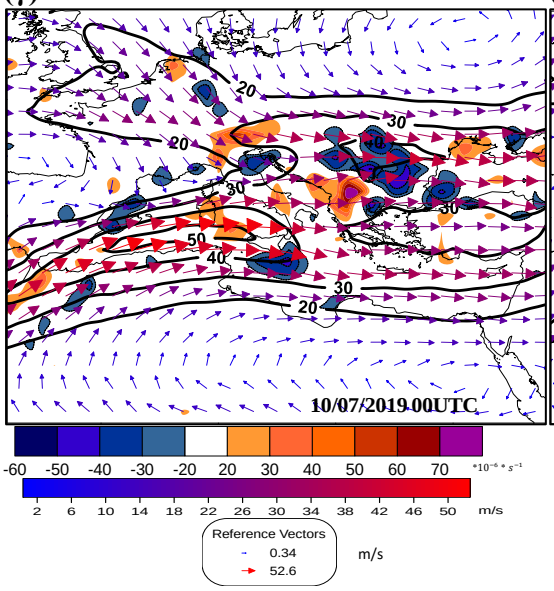
(α) 200hPa



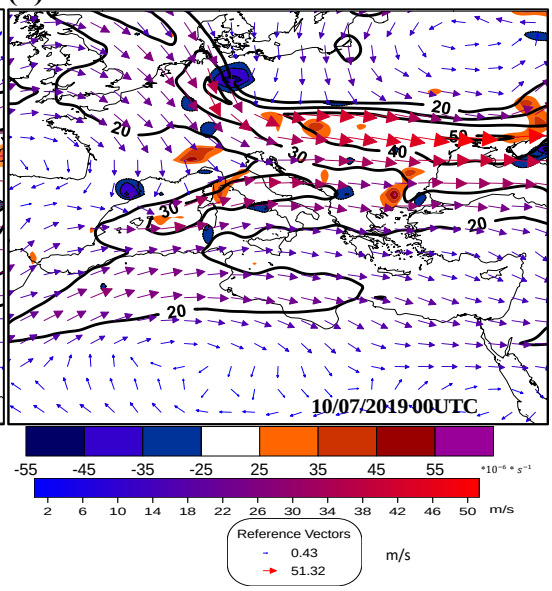
(β) 300hPa



(γ) 200hPa



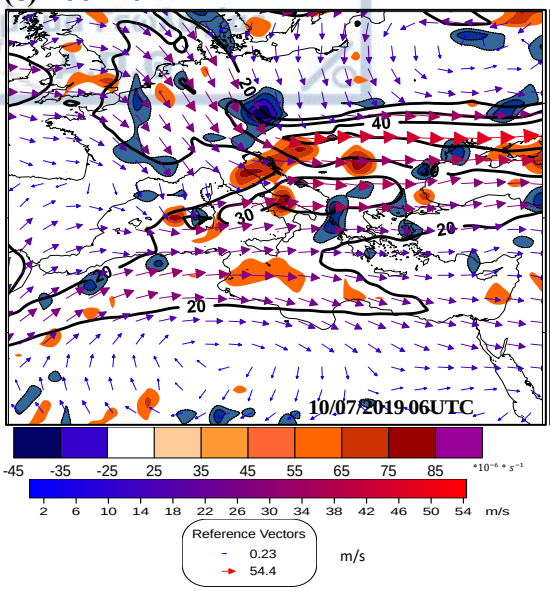
(δ) 300hPa



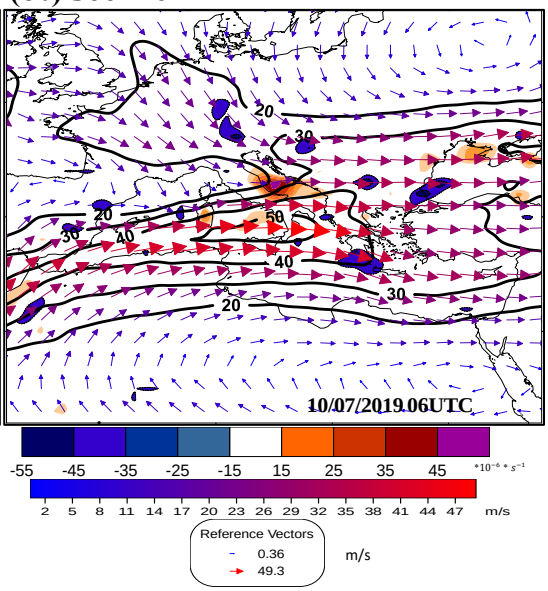
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

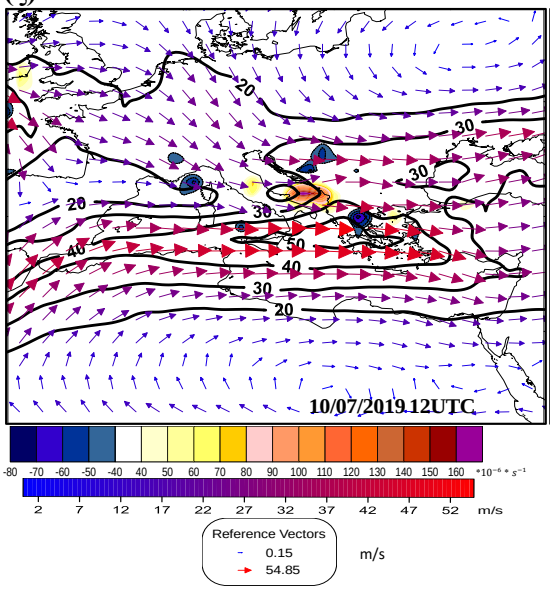
(ε) 200hPa



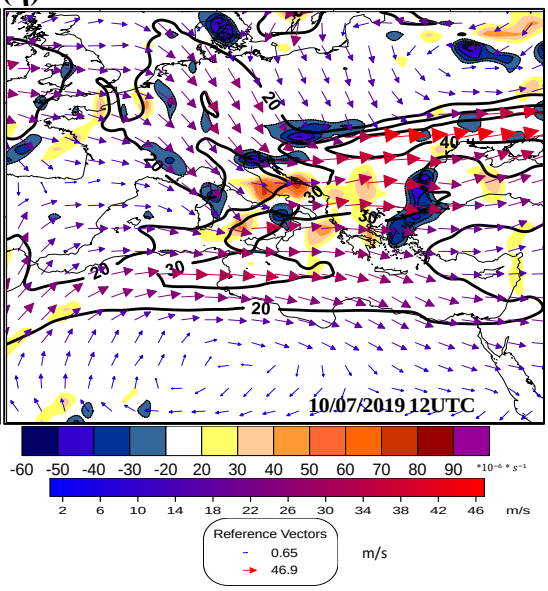
(στ) 300hPa



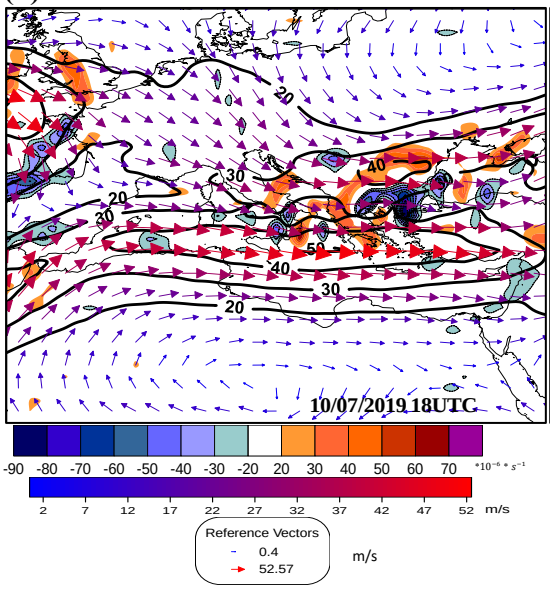
(ζ) 200hPa



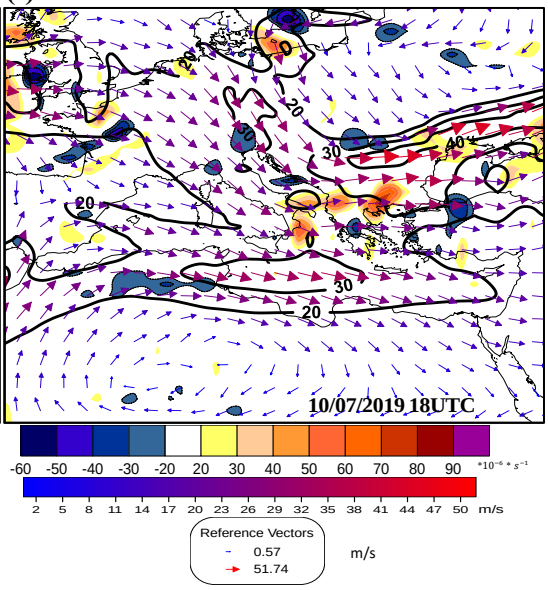
(η) 300hPa



(θ) 200hPa



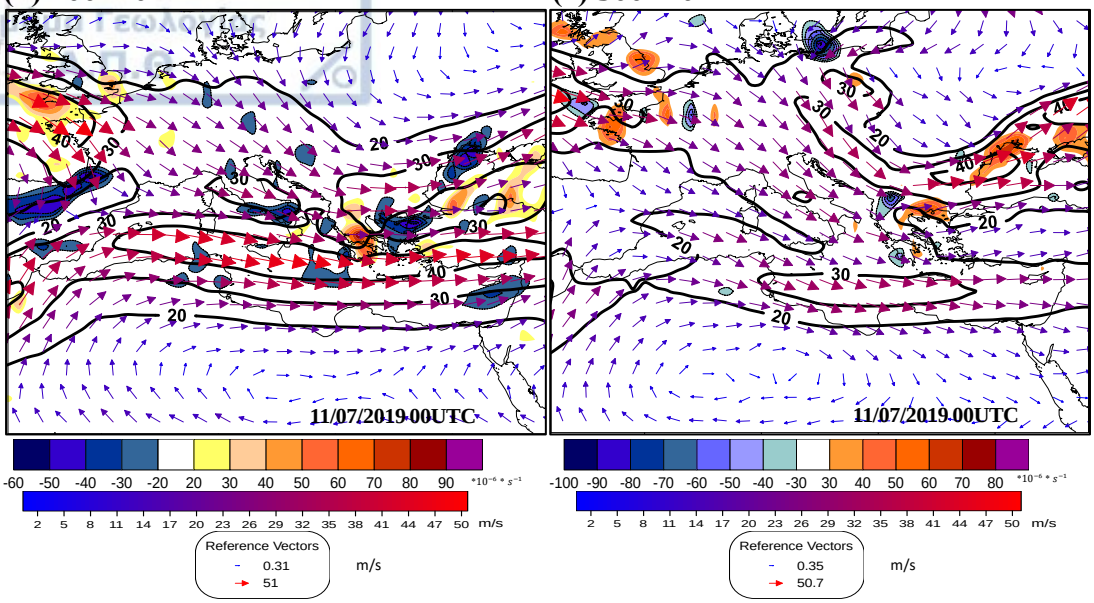
(ι) 300hPa



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

(κ) 200hPa (λ) 300hPa



Εικόνα 3.3. Ισοβαρική επιφάνεια των 200hPa (αριστερά) και ισοβαρική επιφάνεια των 300hPa (δεξιά): Αεροχείμαρροι και ισοταχείς (συνεχείς γραμμές, > 20 m/s) ανά 10 m/s και απόκλιση (έγχρωμη σκίαση, $10^{-6}*s^{-1}$) ανά $10*10^{-6}*s^{-1}$.

γ. Σχετικός στροβιλισμός και μεταφορά απόλυτου στροβιλισμού στα 500hPa

Στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC (Εικόνα 3.4), ένα χαμηλό, με ύψος 5380gpm βρίσκεται στη Ρωσία. Ακόμα, ένα εκτεταμένο υψηλό, ύψους 5820gpm, επικρατεί πάνω από τη Βόρεια Αφρική με τον άξονα της έξαρσης να βρίσκεται πάνω από την Ιταλία. Βορειοδυτικό ρεύμα επικρατεί στην Ευρώπη και την Κεντρική - Ανατολική Μεσόγειο, ενώ νοτιοδυτικό ρεύμα εντοπίζεται στη Δυτική Μεσόγειο. Ένας αυλώνας/διαταραχή (5660gpm) διακρίνεται στη βορειοανατολική Ισπανία - νότια Γαλλία (που από εδώ και στο εξής θα καλείται διαταραχή της Μεσογείου), με σχετικό στροβιλισμό $160*10^{-6}*s^{-1}$ και μια διαταραχή στη Βόρεια Γερμανία (που από εδώ και στο εξής θα καλείται διαταραχή της Ευρώπης) με σχετικό στροβιλισμό $120*10^{-6}*s^{-1}$. Η σημαντικότερη μεταφορά στροβιλισμού λαμβάνει χώρα μπροστά από τον αυλώνα της Δυτικής Μεσογείου (> $1000*10^{-11}*s^{-2}$). Μικρό-διαταραχές της δυτικής-βορειοδυτικής ροής εντοπίζονται στην Ελλάδα και την Ουκρανία με μεταφορά στροβιλισμού > $800*10^{-11}*s^{-2}$ και > $1200*10^{-11}*s^{-2}$, αντίστοιχα.

Η διαταραχή της Δυτικής Μεσογείου μετακινείται ανατολικά φτάνοντας στον κόλπο του Λέοντα, στις 10 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, και στη Σαρδηνία, στις 06:00UTC, οπότε και ο σχετικός στροβιλισμός της φτάνει τα $200*10^{-6}*s^{-1}$ ενώ η μεταφορά στροβιλισμού της σχεδόν διπλασιάζεται ($2200*10^{-11}*s^{-2}$), αφού αυτή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

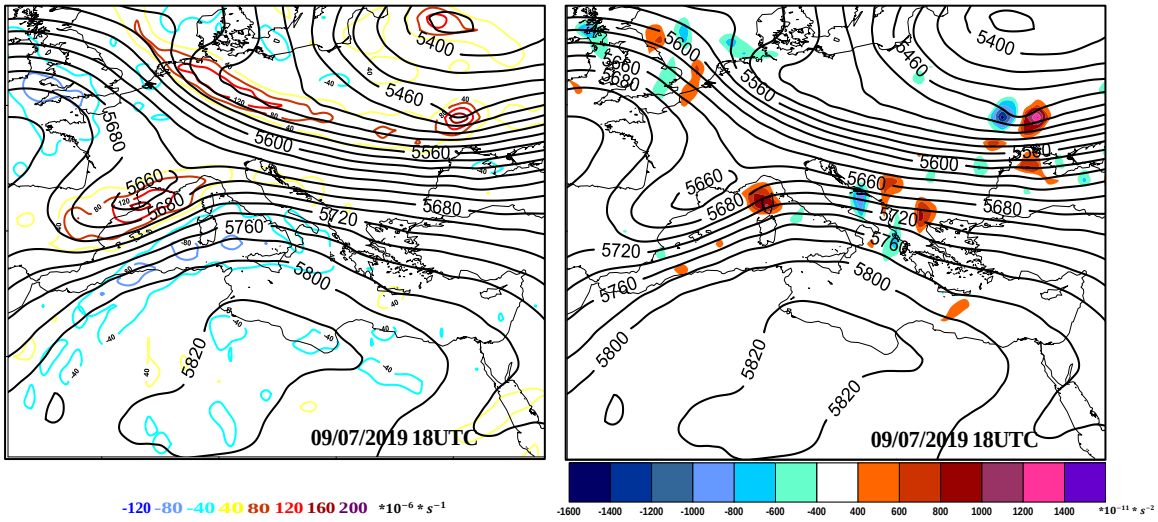
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

εισέρχεται στον υποτροπικό αεροχείμαρρο. Σχετικά με τη διαταραχή στην Ευρώπη, αυτή κινείται νοτιοανατολικά φτάνοντας στην περιοχή της Τσεχίας στις 06:00UTC, με τον σχετικό στροβιλισμό της να παραμένει στα $160*10^{-6}*s^{-1}$ και τη μεταφορά του στροβιλισμού της να αυξάνει στα $900*10^{-11}*s^{-2}$ (Εικόνα 3.4).

Στις 12:00UTC η διαταραχή της Μεσογείου επιταχύνεται, καθώς πλησιάζει περισσότερο στον άξονα του υποτροπικού αεροχειμάρρου και συνεχίζει να κινείται ανατολικά, φτάνοντας στην Κεντρική Ιταλία, με τον σχετικό στροβιλισμό της να διατηρείται στα $200*10^{-6}*s^{-1}$ και την μεταφορά του στροβιλισμού της να ξεπερνάει τα $2500*10^{-11}*s^{-2}$. Από την άλλη πλευρά, η διαταραχή της Ευρώπης μετατοπίζεται στην Ουγγαρία με την μεταφορά στροβιλισμού της να σημειώνει μια μικρή αύξηση (Εικόνα 3.4).

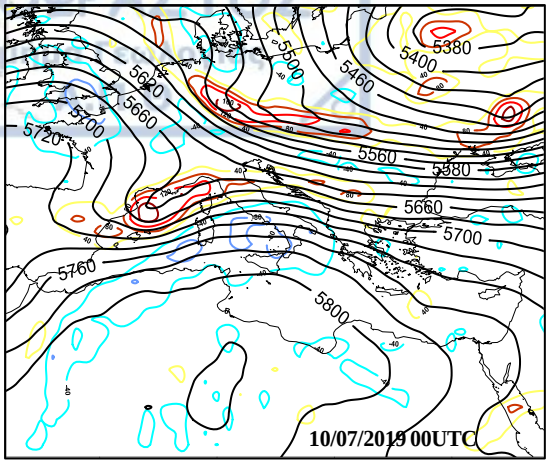
Αυτό που παρατηρείται στις 18:00UTC, είναι πως η διαταραχή της Μεσογείου εντοπίζεται στη νότια Ιταλία, με τον σχετικό στροβιλισμό της να διατηρείται όπως στις 12:00UTC ενώ με τη μεταφορά στροβιλισμού της να ξεπερνά τα $2600*10^{-11}*s^{-2}$ και να εκτείνεται μέχρι τη βορειοδυτική Ελλάδα (Εικόνα 3.4). Όσον αφορά την διαταραχή της Ευρώπης, αυτή συνεχίζει να κινείται ανατολικά, προσεγγίζει την Ρουμανία και, όπως και στις 12:00UTC, η μεταφορά στροβιλισμού της αυξάνει ελάχιστα.

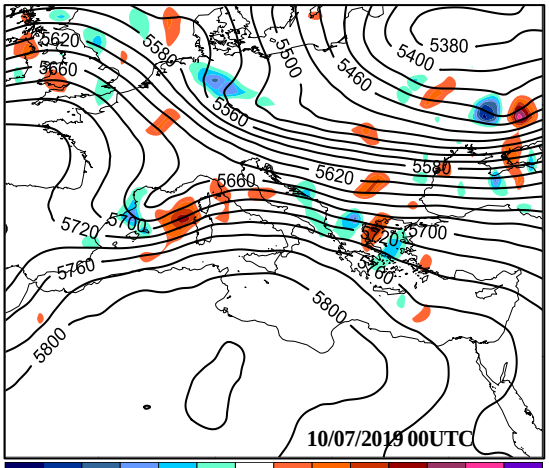
Τέλος, στις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC (Εικόνα 3.4), η διαταραχή της Μεσογείου βρίσκεται στην Ελλάδα, ενώ η Ευρωπαϊκή διαταραχή απομακρύνεται προς τη Μαύρη Θάλασσα, οπότε και αρχίζει η εξασθένηση του σχετικού στροβιλισμού και της μεταφοράς του και στις δυο διαταραχές.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

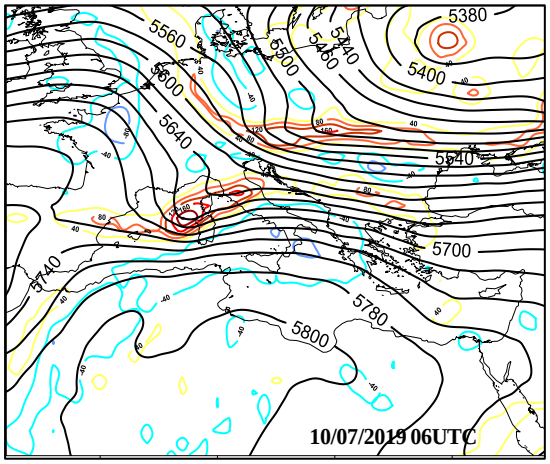
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

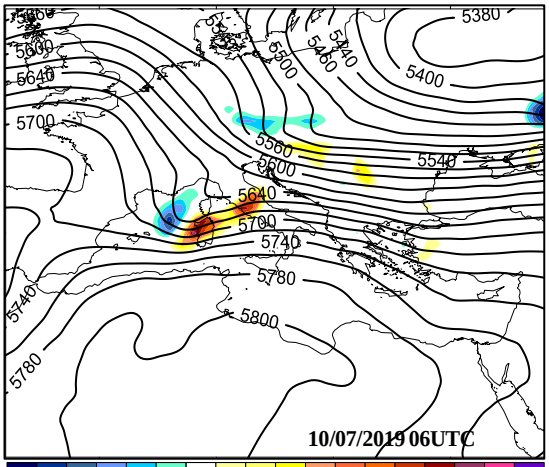




-120 -80 -40 40 80 120 160 200 $*10^{-6} * s^{-1}$

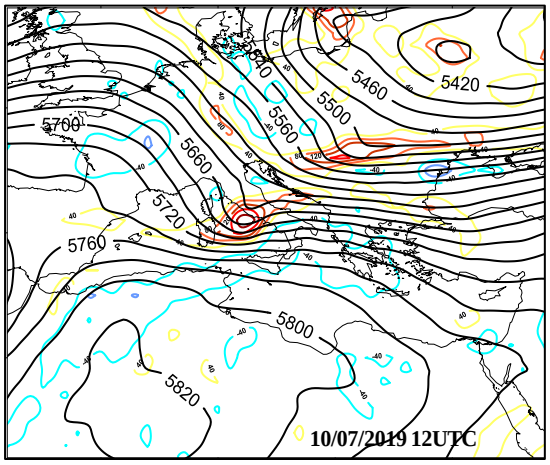
-1600 -1400 -1200 -1000 -800 -600 -400 400 600 800 1000 1200 1400 1600 $*10^{-11} * s^{-2}$

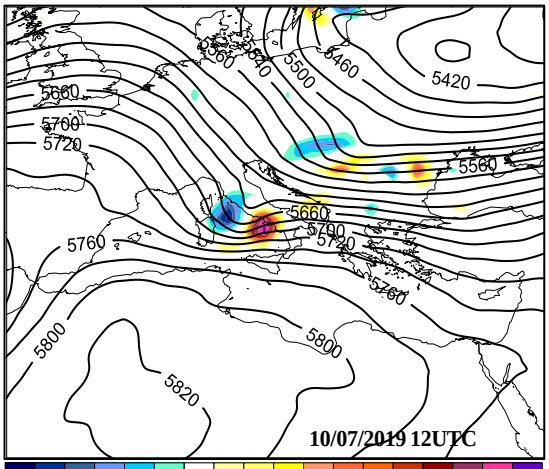




-120 -80 -40 40 80 120 160 200 240 $*10^{-6} * s^{-1}$

-1800 -1600 -1400 -1200 -1000 -800 -600 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 $*10^{-11} * s^{-2}$



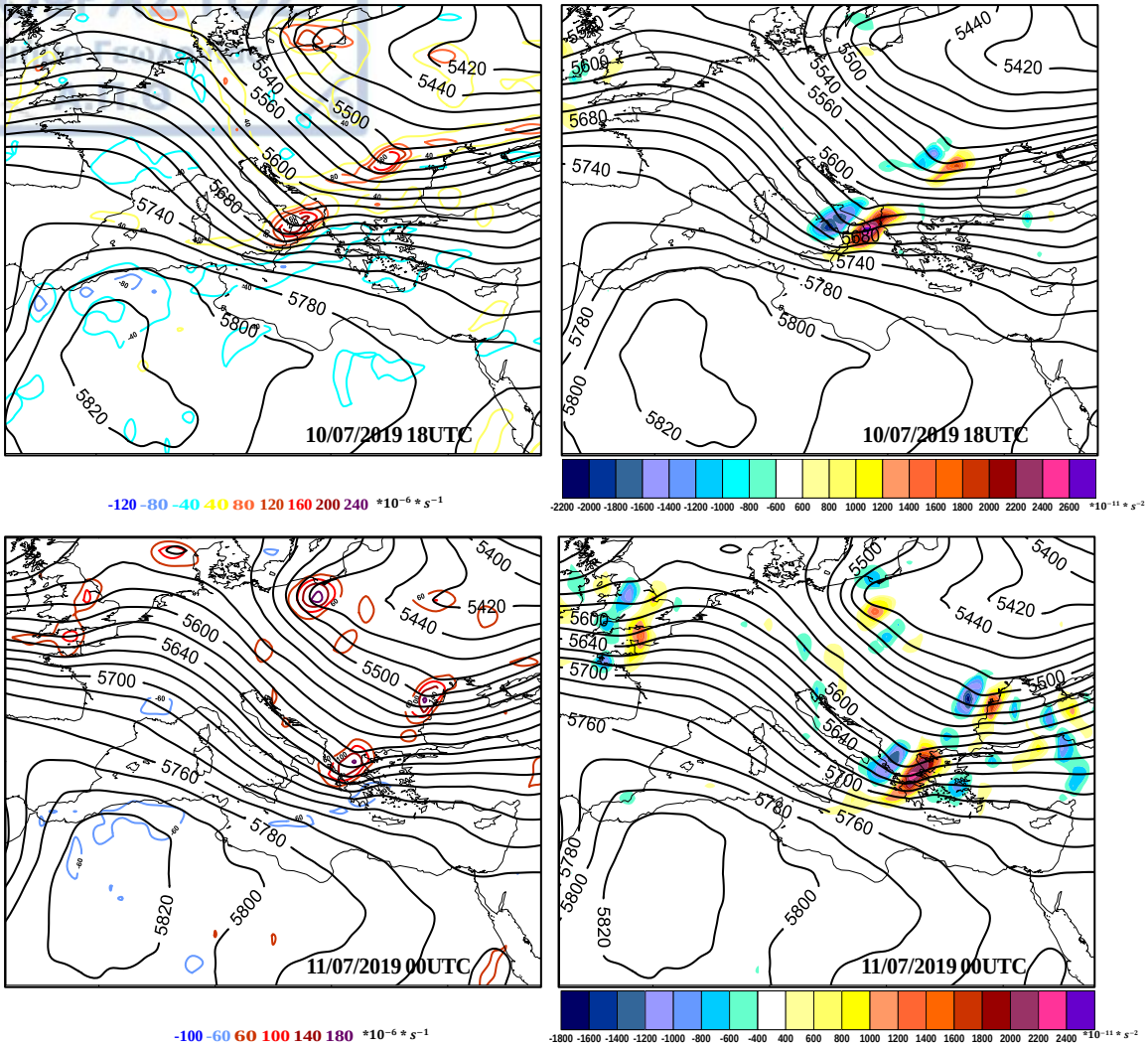


-120 -80 -40 40 80 120 160 200 240 $*10^{-6} * s^{-1}$

-1800 -1600 -1400 -1200 -1000 -800 -600 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 $*10^{-11} * s^{-2}$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμ. Γεωλογίας
Α.Π.Θ.



Εικόνα 3.4. Ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa: Γεωδυναμικό ύψος (μαύρες γραμμές, gpm) ανά 20gpm. Αριστερά: Σχετικός στροβιλισμός (έγχρωμες γραμμές, $10^{-6}*s^{-1}$) ανά $40*10^{-6}*s^{-1}$. Δεξιά: Μεταφορά απόλυτου στροβιλισμού (έγχρωμη σκίαση, $10^{-11}*s^{-2}$) ανά $200*10^{-11}*s^{-2}$.

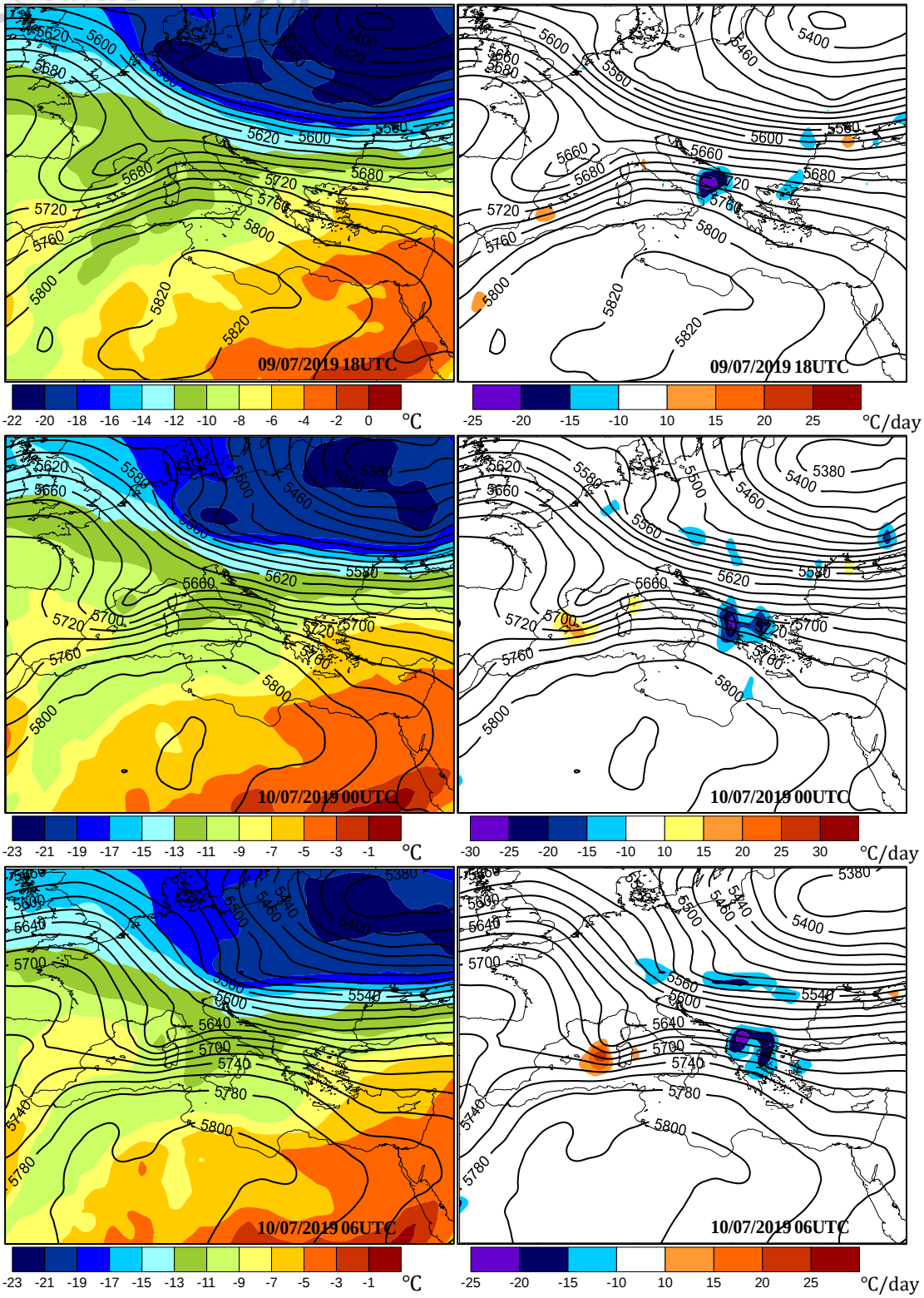
δ. Θερμοκρασία και θερμική μεταφορά στα 500hPa

Κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, οι θερμοκρασίες στα 500hPa (Εικόνα 3.5) κυμαίνονται από ~ -22°C στη Ρωσία, όπου εκεί παρατηρείται το χαμηλό των υψών, έως ~ 0°C στο νοτιοανατολικό τμήμα του χάρτη. Η εντονότερη θερμοβαθμίδα εντοπίζεται κατά μήκος των χωρών της Γερμανίας – Ουγγαρίας - Ρουμανίας και Μαύρης Θάλασσας, με τις ισοϋψείς να είναι διατεταγμένες παράλληλα με τις ισόθερμες. Μεμονωμένα μέγιστα ψυχρής μεταφοράς (~ -25°C/day) εμφανίζονται στην περιοχή των Βαλκανίων (Εικόνα 3.5), κυρίως στην Ελλάδα, όπου η ροή αποκτά σημαντική βορειοδυτική συνιστώσα. Εν κατακλείδι, γενικώς, δεν παρατηρούνται

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

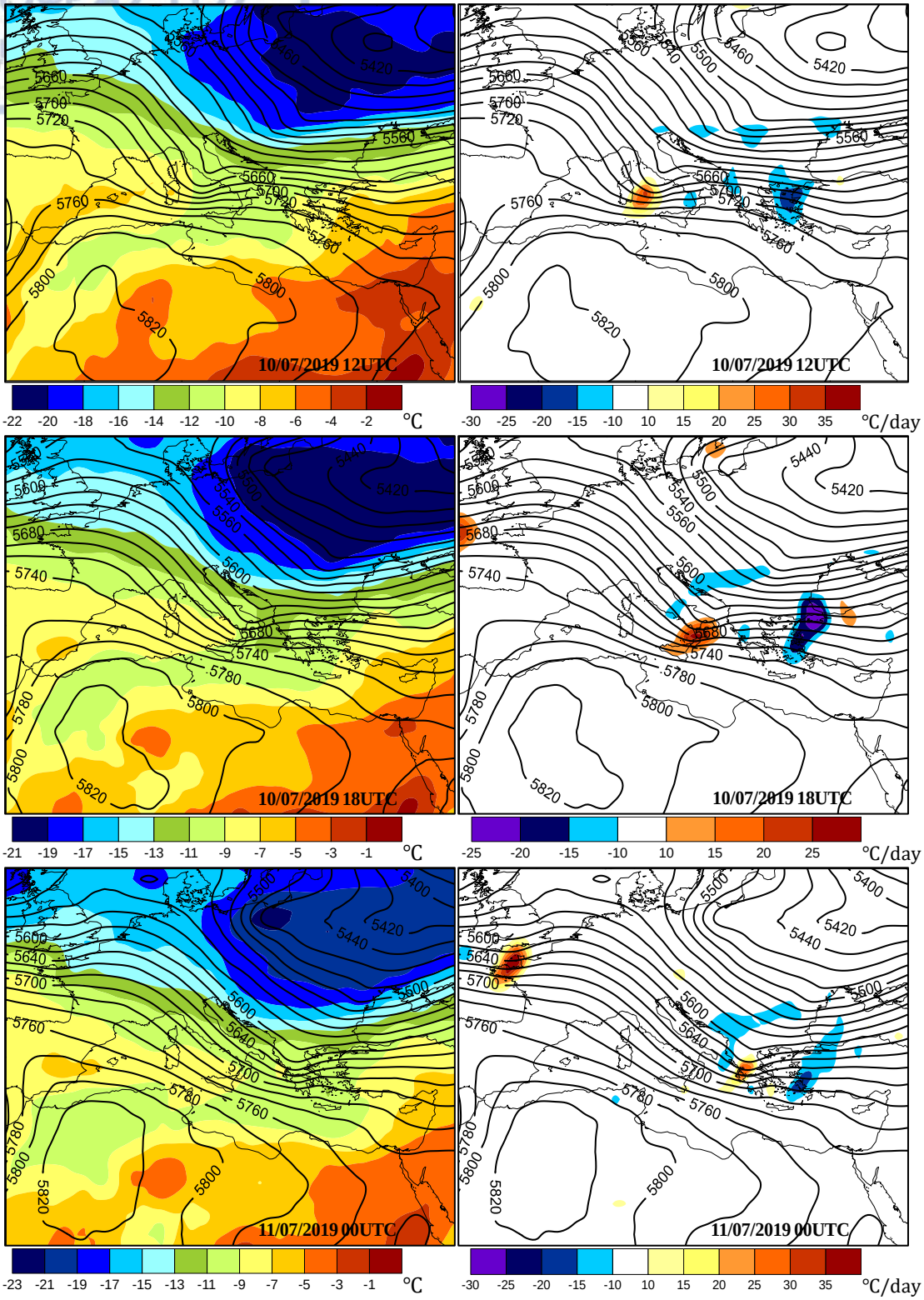
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

αξιοσημείωτες μεταβολές, κατά τη διάρκεια της περιόδου ενδιαφέροντος, στο συγκεκριμένο ισοβαρικό επίπεδο.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.5. Ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa: Γεωδυναμικό ύψος (μαύρες γραμμές, gpm) ανά 20gpm. Αριστερά: Θερμοκρασία (έγχρωμη σκίαση ισοβαρικού επιπέδου, °C) ανά 2°C. Δεξιά: Θερμική μεταφορά (έγχρωμη σκίαση, °C/day) ανά 5°C/day.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ε. Θερμοκρασία, άνεμοι και θερμική μεταφορά στα 850hPa

Στη στάθμη των 850hPa στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC (Εικόνα 3.6), ένα βαθύ χαμηλό των υψών στη Ρωσία συνδυάζεται με υψηλό στα ανοικτά της Γαλλίας, μεταφέροντας ψυχρές αέριες μάζες στην Ευρώπη. Όπως περιγράφηκε στην υποενότητα των συνοπτικών χαρτών επιφανείας, το αντίστοιχο μέτωπο εκτείνεται από την Γαλλία, διαμέσου των Άλπεων και των Βαλκανίων και καταλήγει στην Μαύρη Θάλασσα. Επίσης, ένα υψηλό εντοπίζεται στη Λιβύη- Κεντρική Μεσόγειο, μεταξύ του οποίου και του υψηλού στον Ατλαντικό, σχηματίζεται ένα χαμηλό, με κέντρο 1460gpm, στον κόλπο της Γένοβας. Η κυκλωνική κυκλοφορία που συνοδεύει το χαμηλό τείνει να μεταφέρει θερμές αέριες μάζες προς την Ιταλία.

Στις 10 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, το χαμηλό της Δυτικής Μεσογείου μετακινείται προς την Ιταλία με τους νοτιοδυτικούς ανέμους να ενισχύονται και τη θερμή του μεταφορά να ξεπερνά τους 20°C/day. Το ζωνικά διατεταγμένο μέτωπο στη Ευρώπη, παραμένει σχεδόν στάσιμο με την θερμοβαθμίδα του να προσεγγίζει περίπου τους 8°C/444km[1] (Εικόνα 3.6).

Στις 06:00UTC το χαμηλό της Μεσογείου (1440gpm) βρίσκεται στην Κεντρική Ιταλία. Καθώς το μέτωπο της Κεντρικής Ευρώπης κατέρχεται νοτιότερα και ενισχύεται (~12°C/444km), η απόστασή του από το χαμηλό μειώνεται και ταυτόχρονα οι νοτιοδυτικής συνιστώσας άνεμοι ενισχύονται. Την ίδια χρονική στιγμή, ακριβώς μπροστά από το χαμηλό εμφανίζεται ένα "δίπολο" θερμής (ψυχρής) μεταφοράς κατά μήκος της θερμής (ψυχρής) πλευράς του ζωνικά διατεταγμένου μετώπου, με τιμές ~ +13°C/day (~ -14°C/day) (Εικόνα 3.6).

Στις 12:00UTC το χαμηλό (1440gpm) συνεχίζει να κινείται ανατολικά και το μέτωπο να μετατοπίζεται προς τα νότια (Εικόνα 3.6). Η μεταξύ τους απόσταση εξακολουθεί να ελαττώνεται, ενώ η θερμοβαθμίδα του μετώπου λαμβάνει την μέγιστή της τιμή (~ 14°C/444km). Αντίστοιχα, η θερμή (ψυχρή) μεταφορά νοτίως (βορείως) του μετώπου μεγιστοποιείται φτάνοντας τους 26°C/day στην περιοχή της Αλβανίας (-22°C/day στην περιοχή της Κροατίας).

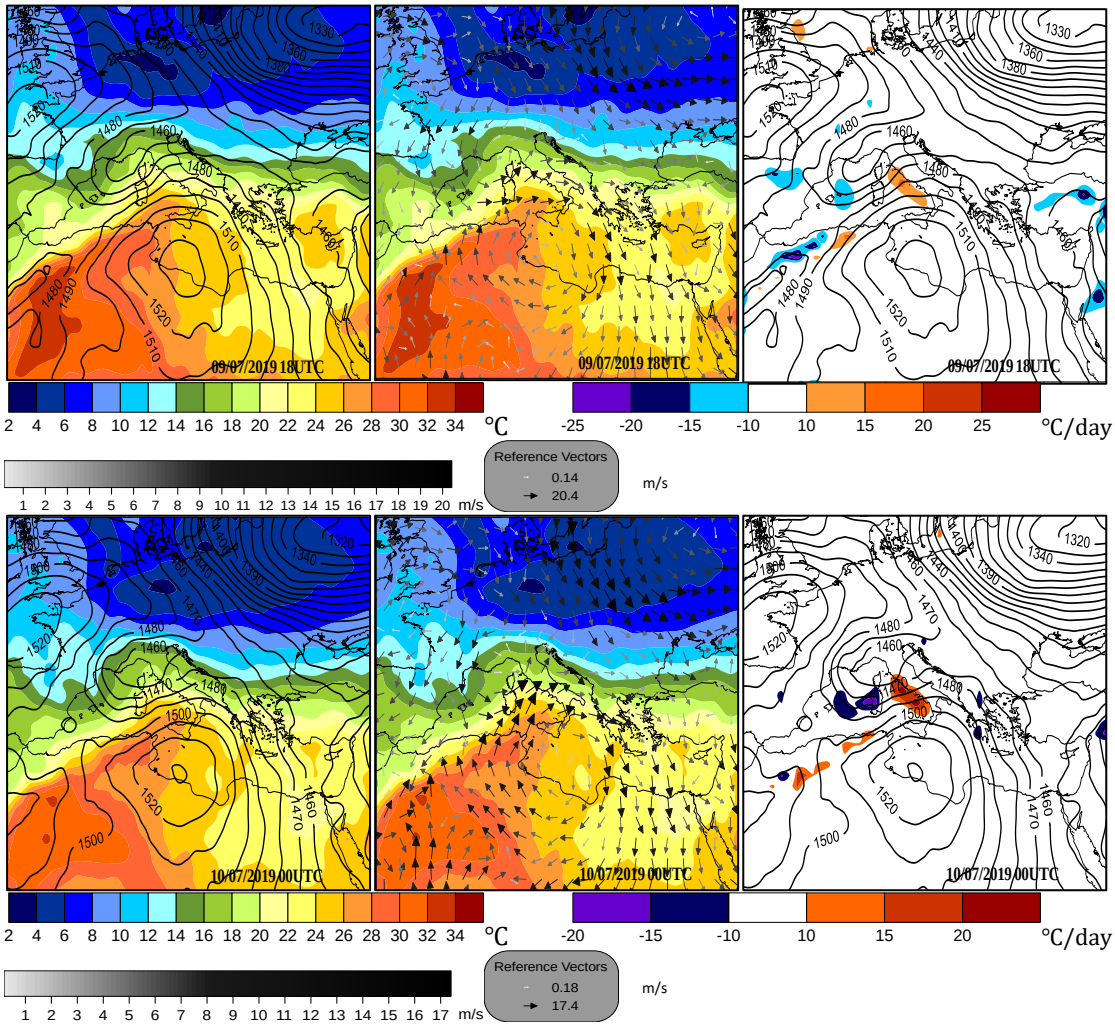
Στη συνέχεια, στις 18:00UTC παρατηρείται ότι το χαμηλό έχει σχεδόν συμπέσει με το μέτωπο και έχει βαθύνει στα 1420gpm. Ανατολικά του χαμηλού, το μέτωπο βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στη περιοχή όπου δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε η υπό μελέτη καταιγίδα (Εικόνα 3.6).

[1] 444 είναι η απόσταση μεταξύ 4° γεωγραφικού πλάτους (4*111km)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

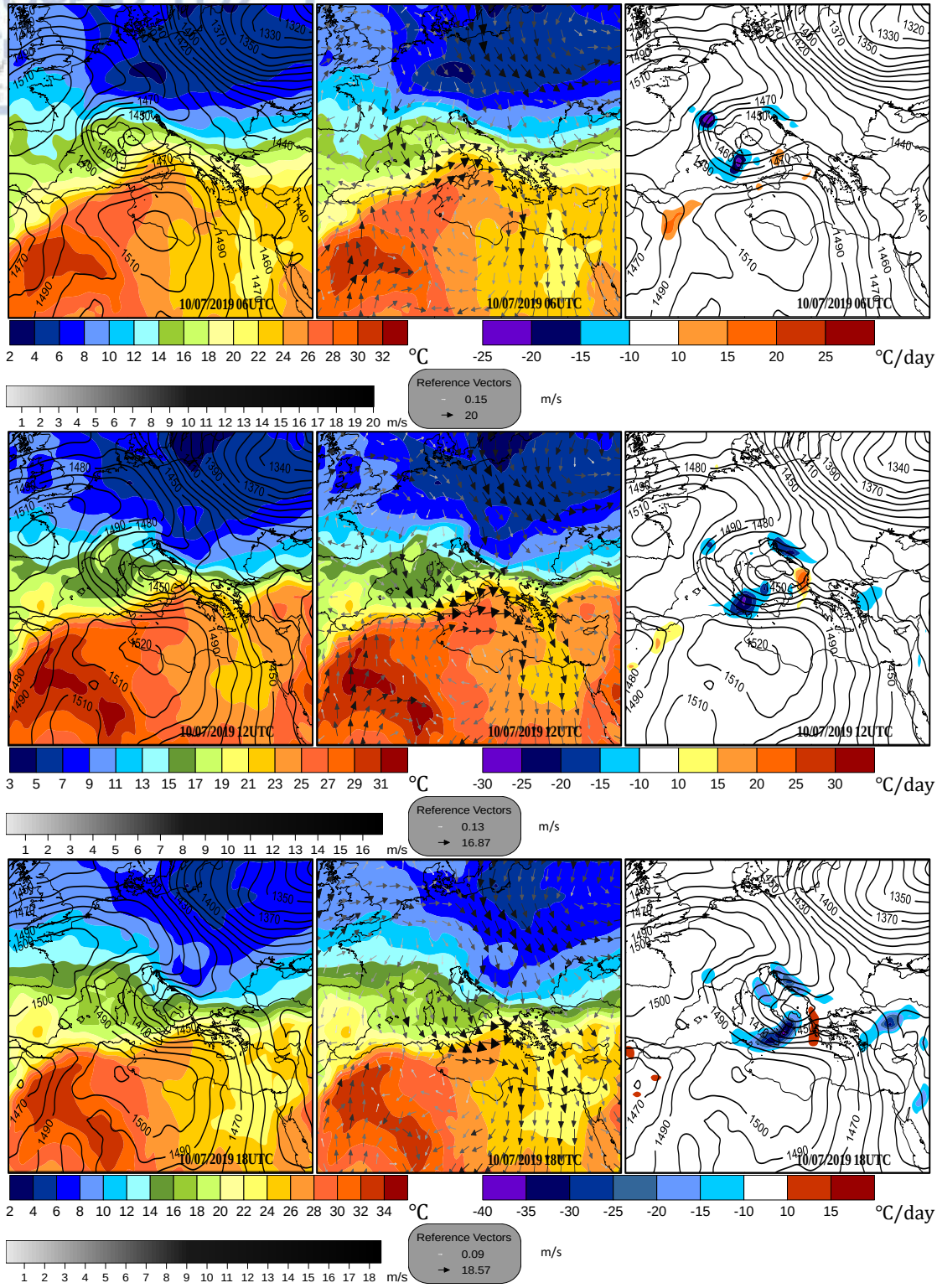
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Τέλος, στις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, το χαμηλό (1410gpm) βρίσκεται στη Δυτική Ελλάδα και έχει μετατραπεί σε μετωπική ύφεση, καθώς το μέτωπο διέρχεται ακριβώς από το κέντρο του χαμηλού. Η βόρεια συνιστώσα της ροής αυξάνει σε όλη την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος. Η θερμοβαθμίδα του μετώπου μειώνεται στους 12.5°C/444km, η θερμή μεταφορά περιορίζεται σε μια μικρή περιοχή στα νοτιοανατολικά του χαμηλού ενώ η ψυχρή μεταφορά καταλαμβάνει σημαντικά μεγαλύτερη έκταση (Εικόνα 3.6).



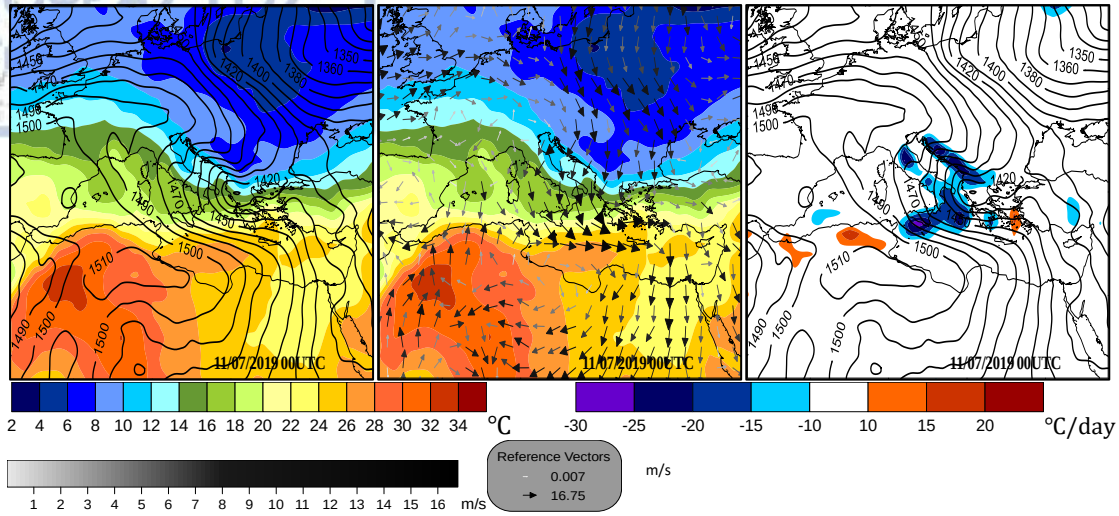
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.6. Ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa: Αριστερά: Γεωδυναμικό ύψος (μαύρες γραμμές, gpm) ανά 10gpm και θερμοκρασία (έγχρωμη σκίαση ισοβαρικού επιπέδου, °C) ανά 2°C. Μέση: Θερμοκρασία (έγχρωμη σκίαση ισοβαρικού επιπέδου, °C) ανά 2°C και άνεμοι (m/s). Δεξιά: Γεωδυναμικό ύψος (μαύρες γραμμές, gpm) ανά 10gpm και θερμική μεταφορά (έγχρωμη σκίαση, °C/day) ανά 5°C/day.

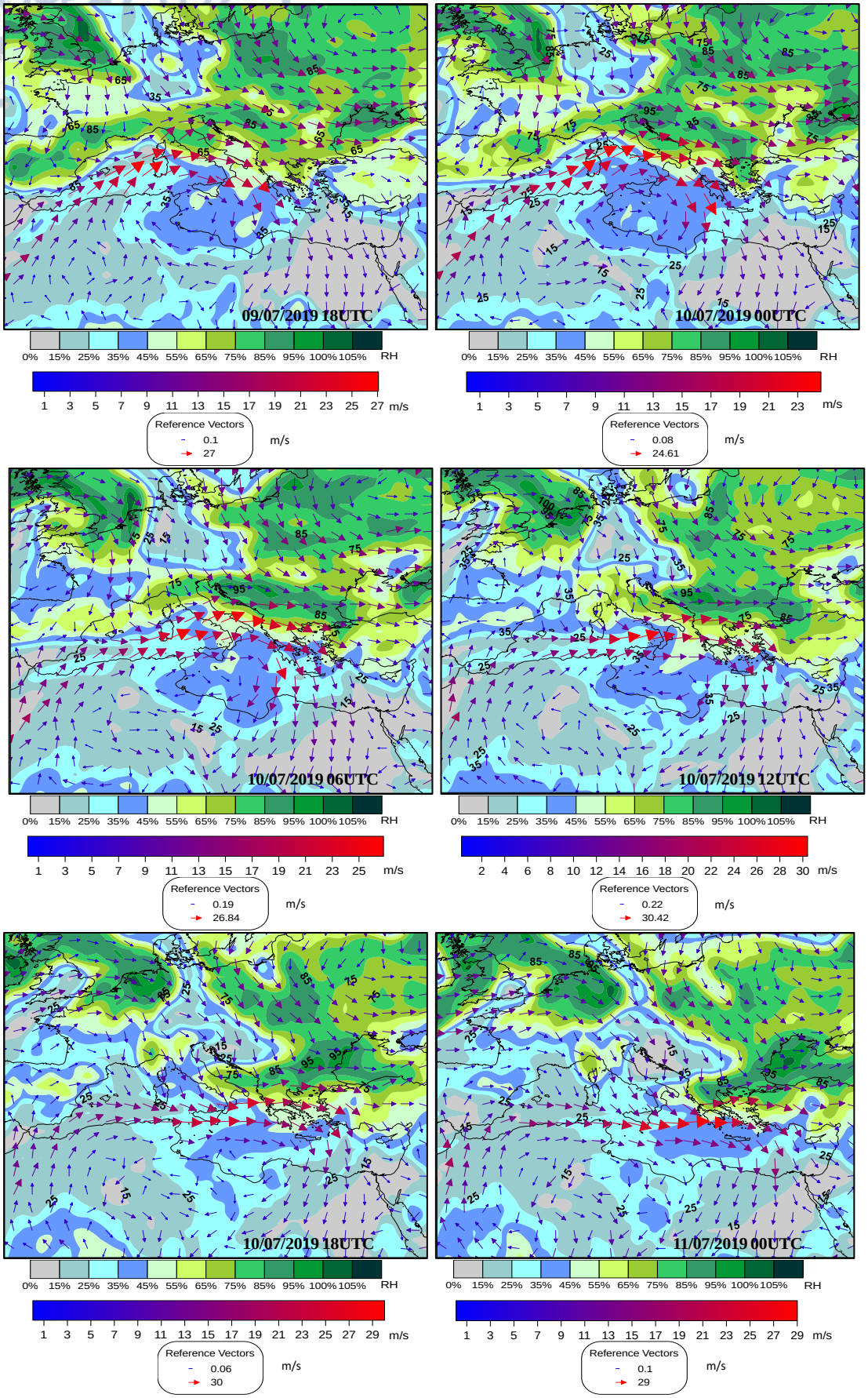
στ. Σχετική υγρασία και άνεμοι στα 700hPa

Αρχικά, στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC (Εικόνα 3.7), η κυκλοφορία πάνω από την Βόρεια Αφρική και την Μεσόγειο είναι αντικυκλωνική με ένα ιδιαίτερα έντονο ρεύμα (> 20 m/s) να περιβάλλει τον αντικυκλώνα. Αντίθετα στο βόρειο και κυρίως στο βορειοανατολικό τμήμα του χάρτη η κυκλοφορία είναι κυκλωνική. Επιπλέον, ένα βόρειο ρεύμα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης. Η σχετική υγρασία μέσα στον αντικυκλώνα είναι χαμηλή έως και < 15%, ενώ στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης επικρατούν υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας έως και 100%. Πιο συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας επικρατούν κατά μήκος της μετωπικής ζώνης, όπου οι άνεμοι συγκλίνουν.

Ακολούθως στις επόμενες χρονικές στιγμές και ειδικά από τις 10 Ιουλίου, 06:00UTC (Εικόνα 3.7) και έπειτα, στον νότο, παρατηρείται συρρίκνωση του αντικυκλώνα και επικράτηση μιας δυτικής ροής, Είναι εμφανές, επίσης, ότι η ζώνη υψηλής σχετικής υγρασίας κατά μήκος της νότιας Ευρώπης, μετατοπίζεται ανατολικότερα κατά την διάρκεια της περιόδου μελέτης, ακολουθώντας την κίνηση του ζωνικά διατεταγμένου μετώπου της Ευρώπης (βλέπε Εικόνα 3.2), καταλήγοντας την στιγμή της εκδήλωσης της υπό μελέτη καταιγίδας, να βρίσκεται πάνω από την Βόρεια Ελλάδα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.7. Ισοβαρική επιφάνεια των 700hPa: Σχετική υγρασία (έγχρωμη σκίαση ισοβαρικού επιπέδου, %) και άνεμοι (m/s).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΤΟΜΕΣ

Οι κατακόρυφες τομές αποσκοπούν στην καλύτερη απεικόνιση της δομής του συνοπτικού περιβάλλοντος του καταιγιδοφόρου συστήματος, που έπληξε την Χαλκιδική στις 10 Ιουλίου 2019. Όπως παρουσιάστηκε στους παραπάνω χάρτες συνοπτικής ανάλυσης, η περιγραφή της κατάστασης της ατμόσφαιρας έγινε από τις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, έως τις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, με χρονικό βήμα 6ωρών. Έτσι επιτυγχάνεται η κατανόηση των τρισδιάστατων δυναμικών διαδικασιών της ατμόσφαιρας.

Οι ζωνικές τομές είναι σταθερού γεωγραφικού πλάτους, κατά μήκος της παραλλήλου φ = 40,5ºΒ, που διέρχεται από τη Θεσσαλονίκη. Το γεωγραφικό αυτό πλάτος περιέχεται στη ζώνη, στην οποία κινήθηκε η διαταραχή της Μεσογείου, που, όπως φάνηκε στη συνοπτική ανάλυση (υποενότητα 3.2), συνοδεύτηκε από θερμή μεταφορά στα χαμηλά στρώματα, γεγονός που συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της υπό μελέτης καταιγίδας.

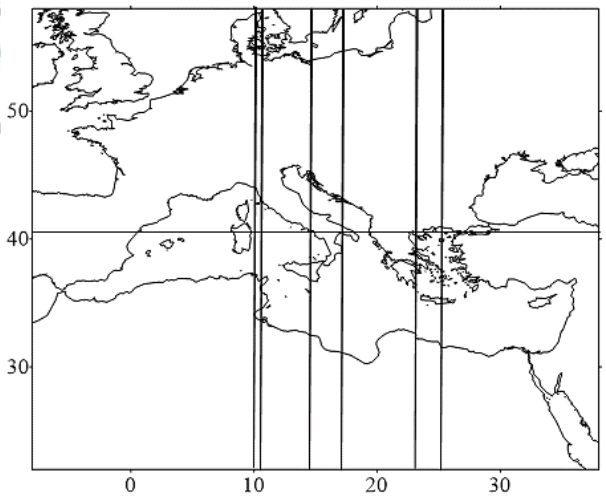
Οι μεσημβρινές τομές έχουν ως στόχο να παρουσιάσουν τη σταδιακή προσέγγιση μεταξύ της διαταραχής της Μεσογείου και του ζωνικά διατεταγμένου μετώπου της Ευρώπης. Για αυτό το λόγο οι μεσημβρινές τομές είναι μεταβλητού γεωγραφικού μήκους, ακολουθώντας έτσι τον αυλώνα της Μεσογείου. Πιο αναλυτικά, το γεωγραφικό μήκος (πλάτος) των μεσημβρινών (ζωνικών) τομών φαίνεται ανά χρονική στιγμή στον Πίνακα 4 και στην Εικόνα 3.8 .

Πίνακας 4. Το γεωγραφικό μήκος (πλάτος) των μεσημβρινών (ζωνικών) τομών ανά χρονική στιγμή από τις 9 Ιουλίου 2019 έως τις 11 Ιουλίου 2019.

Ημέρα	09	10	10	10	10	11	**Ιούλιος 2019**
Ώρα	18	00	06	12	18	00	**UTC**
Μεσημβρινή	10	11	14	18	23	25	**ºΑ**
Ζωνική	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	**ºΒ**

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Εικόνα 3.8. Χάρτης απεικόνισης της ζωνικής κατακόρυφης τομής (40.5ºΒ για όλες τις χρονικές στιγμές) και των έξι μεσημβρινών κατακόρυφων τομών 10 ºΑ, 11 ºΑ, 14 ºΑ, 18 ºΑ, 23 ºΑ, 25 ºΑ, με την καθεμιά από αυτές να αντιστοιχεί σε μια χρονική στιγμή από τις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, έως τις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, ανά 6 ώρες.

<u>9 Ιουλίου 2019 18:00UTC</u>

Στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, στη μεσημβρινή τομή της ατμόσφαιρας (Εικόνα 3.9.α) ο αεροχείμαρρος που κυριαρχεί είναι ο υποτροπικός, με τον πυρήνα του στα 200hPa και στις 36ºΒ και με την ζωνική του συνιστώσα να φτάνει τα 40 m/s. Επιπλέον ο πολικός βρίσκεται στα 300hPa και στις 50ºΒ, με την ζωνική του συνιστώσα στα 30 m/s. Όπως φαίνεται από την γραμμή της PV=2 PVU (δυναμική τροπόπαυση), στο νότιο τμήμα της τομής (Εικόνα 3.9.α) επικρατεί η τροπική τροπόπαυση (περίπου στα 100hPa), από τις 35ºΒ και βορειότερα η τροπόπαυση των μέσων γεωγραφικών πλατών και από τις 50ºΒ και βορειότερα η πολική τροπόπαυση.

Κάτω από τους δύο αεροχειμάρρους και από την επιφάνεια έως τα 700hPa, διακρίνεται η μετωπική ζώνη της Κεντρικής Ευρώπης, με κέντρο, περίπου, στις 47 ºΒ. Καθώς η μεσημβρινή τομή διέρχεται από μια περιοχή σύγκλισης (confluence) των δύο αεροχειμάρρων, η μεσημβρινή συνιστώσα του υποτροπικού (πολικού) αεροχειμάρρου είναι νότια (βόρεια), όπως φαίνεται στο Εικόνα 3.9.β . Σε συμφωνία με τις αντίθετες κατευθύνσεις της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου, ένα σχετικά βαθύ στρώμα ανοδικών κινήσεων παρατηρείται μεταξύ των δύο αεροχειμάρρων στις 45 ºΒ (Εικόνα 3.9.β), με μέγιστες ανοδικές κινήσεις στο στρώμα 300hPa – 400hPa (< - 0.25Pa/s, Εικόνα 3.9.α), περιοχή στην οποία και η σχετική υγρασία ξεπερνάει και το 85% (Εικόνα 3.9.β).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

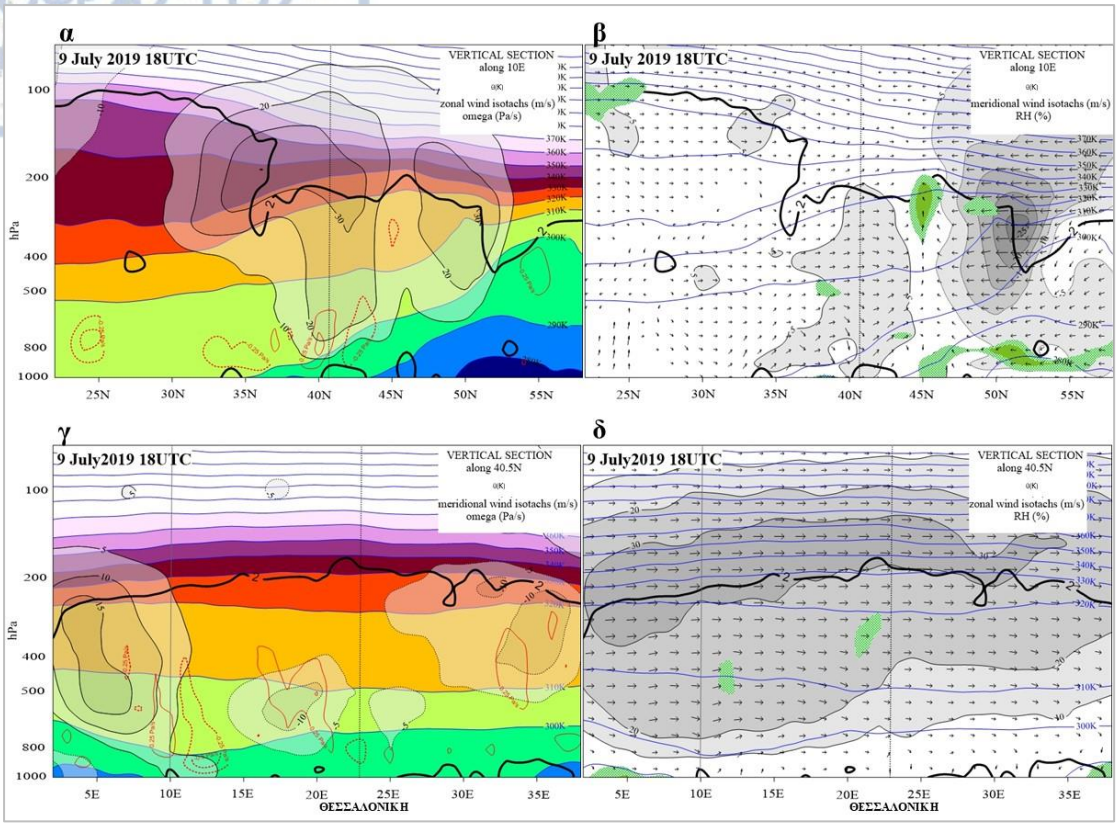
Μια αρκετά ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας παρατηρείται στη ζωνική τομή στις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC (Εικόνα 3.9.γ). Η ζωνική συνιστώσα του ανέμου (Εικόνα 3.9.δ) είναι επίσης ομοιόμορφη, καθώς η τομή είναι παράλληλη στον υποτροπικό αεροχείμαρρο. Καθοδικές κινήσεις παρατηρούνται σε όλα τα γεωγραφικά μήκη ανατολικά του ~ 25ºΑ, πιθανόν σχετιζόμενες με το εποχικό φαινόμενο των Ετησίων και την ενισχυμένη κατακόρυφη κυκλοφορία τύπου Hadley, που συνοδεύει το φαινόμενο αυτό (Rodwell and Hoskins 1996).

Στη Δυτική-Κεντρική Μεσόγειο (4ºΑ – 20ºΑ), είναι εμφανής μια θερμή περιοχή στο στρώμα ~ 900hPa – 500hPa. Πράγματι, η μεταφορά Σαχαριανών αερίων μαζών στη Δυτική–Κεντρική Μεσόγειο προκύπτει και από τους χάρτες που έχουν παρουσιαστεί στην υποενότητα 3.2, όπου φαίνεται το ενισχυμένο ΝΔ ρεύμα στα 850hPa, 700hPa και 500hPa, όπως και η ξηρασία, που επικρατεί στο επίπεδο των 700hPa.

Το μεγάλο ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης (200hPa) στη ζωνική τομή, κατά τις 18:00UTC στις 9 Ιουλίου 2019, φανερώνει την απουσία κάποιου σημαντικού συστήματος. Από το δυτικό άκρο της τομής εμφανίζεται μια μείωση του ύψους της τροπόπαυσης στα ~ 350hPa, καθώς και μια ενίσχυση του υποτροπικού αεροχειμάρρου και στροφή του προς μια πιο ΝΔ διεύθυνση, το οποίο και, όπως θα φανεί στα παρακάτω, οφείλεται στη διαταραχή που πλησιάζει από τα δυτικά.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.9. Κατακόρυφες τομές στις 9 Ιουλίου 2019 στις 18:00UTC: α) Μεσημβρινή κατακόρυφη τομή κατά μήκος των 10ºΑ. Χρώματα: δυνητική θερμοκρασία (θ) ανά 5ºΚ. Σκίαση: ζωνική συνιστώσα ανέμου > ± 10 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανατολικών (δυτικών) ανέμων. Εστιγμένες (συνεχείς) κόκκινες καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανοδικών (καθοδικών) κινήσεων ω > ± 0,25 Pa/s. Έντονη μαύρη γραμμή: PV = 2 PVU (δυναμική τροπόπαυση). β) Όπως στην τομή α, αλλά για τη μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. Μπλε γραμμές: θ ανά 5ºΚ. Βέλη: κατακόρυφη κυκλοφορία, παράλληλη με το επίπεδο της τομής. Γραμμοσκίαση: σχετική υγρασία > 75% ανά 10%. γ) Όπως στο α, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Σκίαση: μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. δ) Όπως στο β, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Συνεχείς καμπύλες εσωκλείουν περιοχές δυτικών ανέμων.

10 Ιουλίου 2019 00:00UTC

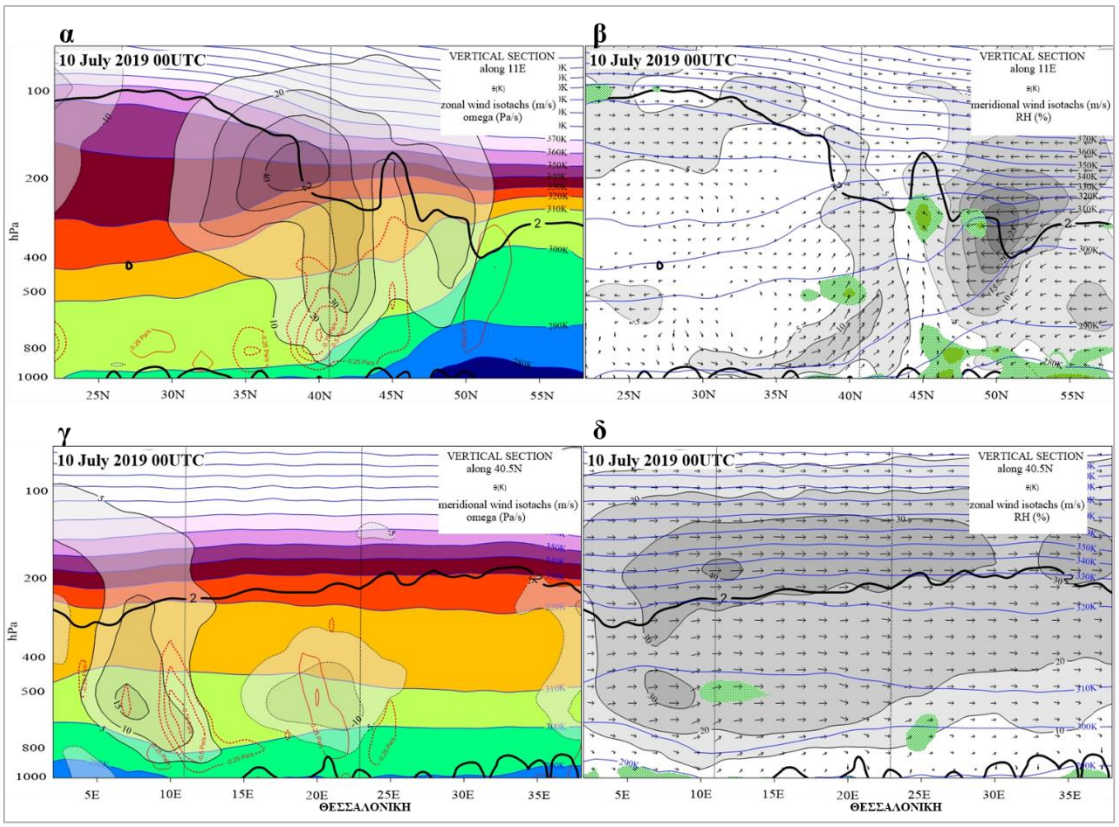
Σύντομα (10 Ιουλίου 2019, 00:00UTC) αρχίζουν μεταβολές στην Ευρώπη, οι οποίες θα παίξουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ενός συνοπτικού-δυναμικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο 18 ώρες αργότερα θα δημιουργηθεί η υπό μελέτη καταιγίδα στη Χαλκιδική. Όπως φαίνεται στη μεσημβρινή τομή στις 11ºΑ (Εικόνα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3.10.α και Εικόνα 3.10.β), το ζωνικά διατεταγμένο μέτωπο στην Ευρώπη αργά, αλλά σταθερά, όπως θα φανεί και στις επόμενες χρονικές στιγμές, κινείται νότια, ενώ η (μεσημβρινή) θερμοβαθμίδα του εντείνεται. Ο υποτροπικός αεροχείμαρρος ενισχύεται στα ~ 45m/s, ενώ η απόστασή του από τον πολικό μειώνεται (Εικόνα 3.10.α) και η σύγκλισή του με αυτόν εντείνεται, όπως φαίνεται από την αύξηση της νότιάς του συνιστώσας (Εικόνα 3.10.β). Σε συμφωνία με αυτό, οι ανοδικές κινήσεις μεταξύ των αεροχειμάρρων και επάνω από την μετωπική ζώνη, ενισχύονται, ξεπερνώντας τώρα τα 0.5Pa/s (κατά απόλυτη τιμή) στις 45ºΒ, στα ~ 500hPa.

Στην ζωνική τομή για τις 00:00UTC στις 10 Ιουλίου 2019, η διαταραχή της Δυτικής Μεσογείου είναι τώρα ορατή στο αριστερό άκρο της τομής, όπου εμφανίζεται μια μερική βύθιση της τροπόπαυσης έως τα 300hPa, στις 4ºΑ (Εικόνα 3.10.γ και Εικόνα 3.10.δ). Ακριβώς πριν από την διαταραχή, προηγείται μια ενίσχυση του ΝΔ ανέμου (Εικόνα 3.10.β). Λόγω του ενισχυμένου αυτού ΝΔ ανέμου, ενισχύεται η σύγκλιση ακριβώς επάνω από το ζωνικά διατεταγμένο μέτωπο της Ευρώπης (Εικόνα 3.10.β) και οι ανοδικές κινήσεις εμπρός από τη διαταραχή ενισχύονται, ξεπερνώντας τα 0.75Pa/s (κατά απόλυτη τιμή) στη ζωνική τομή (Εικόνα 3.10.γ, 10ºΑ) και φτάνοντας και το 1 Pa/s στη μεσημβρινή (Εικόνα 3.10.α, 39ºΒ), περίπου στην ισοβαρική στάθμη των 700hPa.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Εικόνα 3.10. Κατακόρυφες τομές στις 10 Ιουλίου 2019 στις 00:00UTC: α) Μεσημβρινή κατακόρυφη τομή κατά μήκος των 11ºΑ. Χρώματα: δυνητική θερμοκρασία (θ) ανά 5ºΚ. Σκίαση: ζωνική συνιστώσα ανέμου > ± 10 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανατολικών (δυτικών) ανέμων. Εστιγμένες (συνεχείς) κόκκινες καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανοδικών (καθοδικών) κινήσεων ω > ± 0,25 Pa/s. Έντονη μαύρη γραμμή: PV = 2 PVU (δυναμική τροπόπαυση). β) Όπως στην τομή α, αλλά για τη μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. Μπλε γραμμές: θ ανά 5ºΚ. Βέλη: κατακόρυφη κυκλοφορία, παράλληλη με το επίπεδο της τομής. Γραμμοσκίαση: σχετική υγρασία > 75% ανά 10%. γ) Όπως στο α, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Σκίαση: μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. δ) Όπως στο β, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Συνεχείς καμπύλες εσωκλείουν περιοχές δυτικών ανέμων.

10 Ιουλίου 2019 06:00UTC

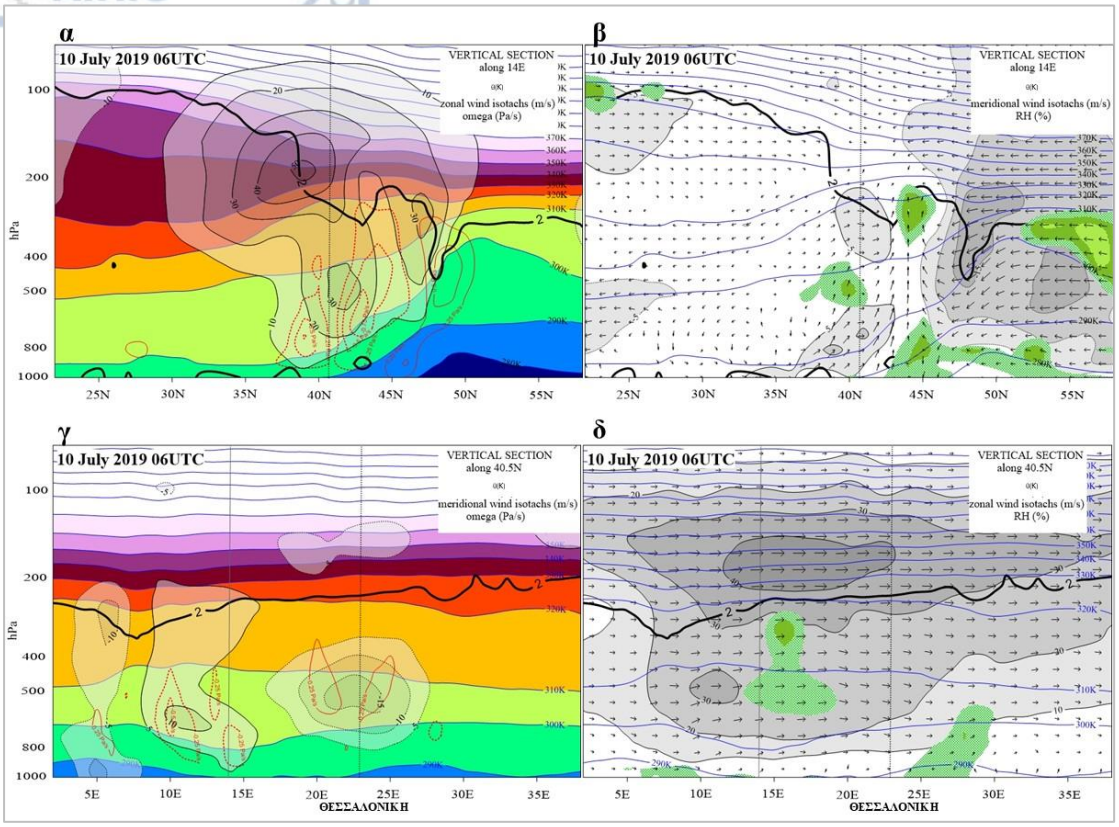
Στις 10 Ιουλίου 2019, 06:00UTC, το μέτωπο συνεχίζει να κινείται νότια και να ενισχύεται, τόσο όσον αφορά στη θερμοβαθμίδα, όσο και στην κατακόρυφη κυκλοφορία του, αφού οι ανοδικές (καθοδικές) κινήσεις μέσα στο θερμό (ψυχρό) αέρα ξεπερνούν τα 0.75 (0.5)Pa/s (κατά απόλυτη τιμή) (Εικόνα 3.11.α). Η περιοχή σχετικής υγρασίας > 75% επίσης αυξάνει εντός της μετωπικής ζώνης και πάνω από αυτήν (Εικόνα 3.11.β). Δεδομένου ότι η μεσημβρινή τομή μετατοπίζεται ανατολικότερα ανά 6 ώρες, η ροή στους αεροχειμάρρους τείνει να γίνει πιο ζωνική.

Στη ζωνική τομή η διαταραχή προχωράει ανατολικά (~ 8ºΑ), όπως δηλώνει η μερική βύθιση της τροπόπαυσης, που περιβάλλεται από βόρεια/νότια συνιστώσα ανέμου στα δυτικά/ανατολικά, αντίστοιχα (Εικόνα 3.11γ). Η κίνηση της διαταραχής προς τα ανατολικά ακολουθείται και από το θερμικό πεδίο, καθώς μια θερμότερη (ψυχρότερη) μάζα παρατηρείται μπροστά από τη (μέσα στη) διαταραχή. Η περιοχή βόρειας συνιστώσας αρκετά μπροστά από τη διαταραχή, στο γεωγραφικό μήκος της Θεσσαλονίκης περίπου, οφείλεται στη βορειοδυτική ροή, που αναπτύσσεται στα ανατολικά κράσπεδα του αντικυκλώνα, που δημιουργείται λόγω της μεταφοράς Σαχαριανών αερίων μαζών στη Μεσόγειο, έμπροσθεν της διαταραχής. Η διαταραχή διακρίνεται επίσης και στο πεδίο της ζωνικής συνιστώσας του ανέμου (> 30 m/s στα 500 hPa στις 11ºΑ) και της σχετικής υγρασίας (> 85 m/s στα 300 hPa στις 15ºΑ), καθώς αυτές αυξάνουν ανατολικά της διαταραχής (Εικόνα 3.11.δ). Η αυξημένη σχετική υγρασία μπροστά από την διαταραχή οφείλεται στην αλληλεπίδρασή της με την

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

μετωπική ζώνη, όπως ειπώθηκε παραπάνω. Αυτή η αλληλεπίδραση θα αποτελέσει το σημαντικότερο αίτιο δημιουργίας (ανάπτυξης) της υπό μελέτη καταιγίδας.



Εικόνα 3.11. Κατακόρυφες τομές στις 10 Ιουλίου 2019 στις 06:00UTC: α) Μεσημβρινή κατακόρυφη τομή κατά μήκος των 14ºΑ. Χρώματα: δυνητική θερμοκρασία (θ) ανά 5ºΚ. Σκίαση: ζωνική συνιστώσα ανέμου > ± 10 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανατολικών (δυτικών) ανέμων. Εστιγμένες (συνεχείς) κόκκινες καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανοδικών (καθοδικών) κινήσεων ω > ± 0,25 Pa/s. Έντονη μαύρη γραμμή: PV = 2 PVU (δυναμική τροπόπαυση). β) Όπως στην τομή α, αλλά για τη μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. Μπλε γραμμές: θ ανά 5ºΚ. Βέλη: κατακόρυφη κυκλοφορία, παράλληλη με το επίπεδο της τομής. Γραμμοσκίαση: σχετική υγρασία > 75% ανά 10%. γ) Όπως στο α, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Σκίαση: μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. δ) Όπως στο β, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Συνεχείς καμπύλες εσωκλείουν περιοχές δυτικών ανέμων.

10 Ιουλίου 2019 12:00UTC

Στις 10 Ιουλίου 2019, 12:00UTC, κατά μήκος του 18ου μεσημβρινού (Ιόνιο – Νότια Αδριατική, Εικόνα 3.12.α, Εικόνα 3.12.β), το μέτωπο βρίσκεται στο γεωγραφικό

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

πλάτος της Θεσσαλονίκης. Οι ανοδικές κινήσεις που συνοδεύουν το μέτωπο είναι κατακόρυφες και καλύπτουν όλο το βάθος της τροπόσφαιρας, που δηλώνει πως καταιγίδες ήδη εκδηλώνονται εκεί, όπως προκύπτει από την μεγάλη τιμή του ωμέγα (> 1.25Pa/s κατά απόλυτη τιμή) (Εικόνα 3.12.α) και από την αυξημένη σχετική υγρασία που επικρατεί σε αυτό το βαθύ στρώμα (με μέγιστη τιμή > 95%, Εικόνα 3.12.β).

Όσον αφορά την ζωνική τομή στις 10 Ιουλίου 2019, 12:00UTC, αυτή βρίσκεται σχεδόν πάνω από τη μετωπική ζώνη της Ευρώπης, κάτι το οποίο φαίνεται και από τη δημιουργία στην ανώτερη τροπόσφαιρα ενός δευτερεύοντος μεγίστου της ζωνικής συνιστώσας στα 300hPa, ενδεικτικού του πολικού αεροχειμάρρου που πνέει εκεί (Εικόνα 3.12.δ).

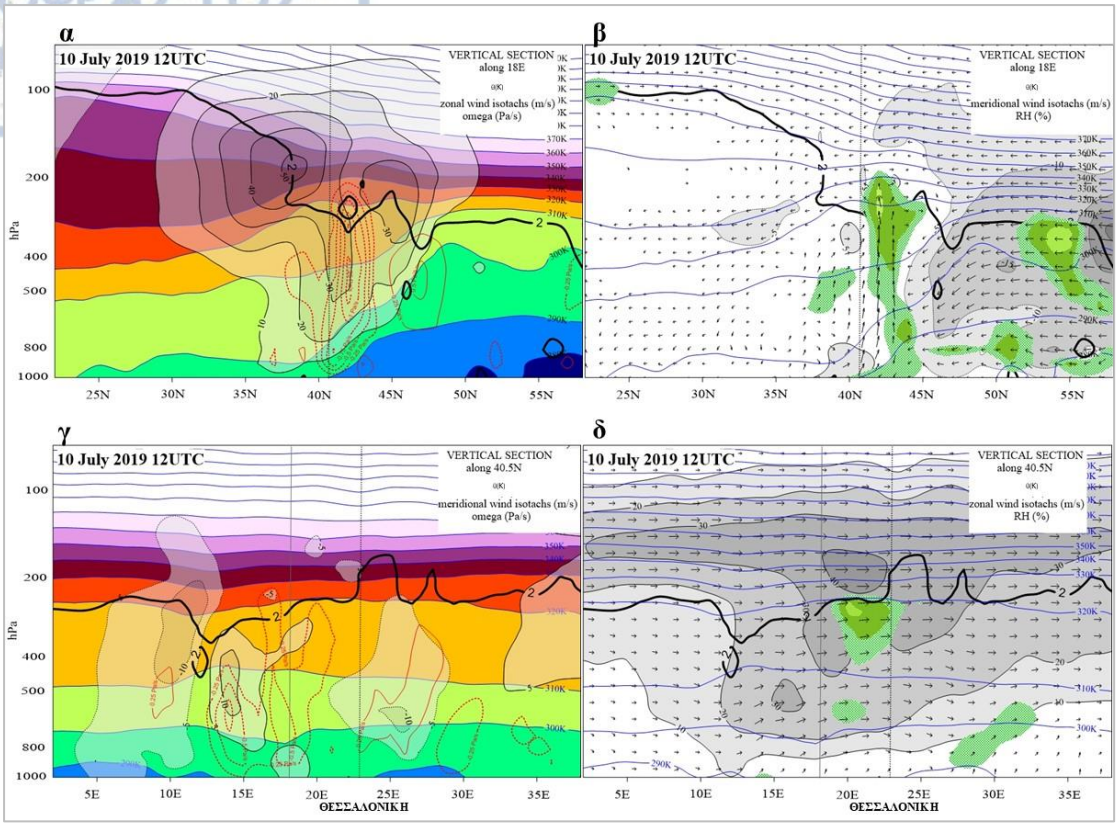
Στην υποενότητα 3.2 της συνοπτικής ανάλυσης έχει ήδη δειχθεί πως περί την ισοβαρική στάθμη των 850 hPa, η θερμή μεταφορά μεγιστοποιείται ακριβώς νοτίως του μετώπου στις 10 Ιουλίου 2019, 12:00UTC. Αυτό αποδόθηκε στη μείωση της απόστασης μεταξύ της διαταραχής και του ζωνικά διατεταγμένου μετώπου στην Ευρώπη. Πράγματι, από τις μεσημβρινές τομές προκύπτει πως η μεσημβρινή απόσταση μεταξύ των δύο συστημάτων ελαχιστοποιήθηκε στις 10 Ιουλίου 2019, 12:00UTC.

Ακόμη, στις ζωνικές τομές (Εικόνα 3.12.γ και Εικόνα 3.12.δ) φαίνεται πως η διαταραχή της Μεσογείου είναι στις 12:00UTC 10 Ιουλίου 2019 εντονότερη, αφού η τροπόπαυση έχει κατέλθει στα 450 hPa στις 13°Α. Επίσης, όλα τα χαρακτηριστικά της διαταραχής είναι αυτή την χρονική στιγμή εντονότερα, όπως οι ανοδικές κινήσεις και η μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου (Εικόνα 3.12.γ).

Συνέπεια της βάθυνσης της διαταραχής και, κυρίως, της προσέγγισής της στο ευρωπαϊκό μέτωπο, είναι η μεγιστοποίηση της θερμής μεταφοράς (βλέπε Εικόνα 3.6 στις 12:00UTC, 850 hPa), η οποία και συντέλεσε στη δημιουργία ενός συνοπτικού περιβάλλοντος κατάλληλου για την ανάπτυξη έντονων καταιγίδων, αφού ο θερμός/υγρός αέρας από τα νότια ανασηκώνονταν από το ψυχρό μέτωπο. Πράγματι, όπως προκύπτει τόσο από τη σχετική υγρασία και τις ανοδικές κινήσεις στην τομή (των Εικόνων 3.12.α και 3.12.β στις 12:00UTC 10 Ιουλίου 2019), όσο και από τις δορυφορικές εικόνες και τα δεδομένα του ραντάρ, έντονες καταιγίδες δημιουργήθηκαν στην περιοχή της Αλβανίας, πολλές μάλιστα από τις οποίες οργανώθηκαν σε συμπλέγματα. Ένα από αυτά πέρασε από την περιοχή των Πρεσπών στον Ελλαδικό χώρο και, όπως θα φανεί παρακάτω, τις βραδινές ώρες της 10^{ης} Ιουλίου 2019 επηρέασε το Θερμαϊκό Κόλπο-Χαλκιδική, ανατροφοδοτούμενο από τις θερμές και υγρές θαλάσσιες αέριες μάζες, που επικρατούσαν εκείνην την ώρα στην περιοχή.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.12. Κατακόρυφες τομές στις 10 Ιουλίου 2019 στις 12:00UTC: α) Μεσημβρινή κατακόρυφη τομή κατά μήκος των 18ºΑ. Χρώματα: δυνητική θερμοκρασία (θ) ανά 5ºΚ. Σκίαση: ζωνική συνιστώσα ανέμου > ± 10 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανατολικών (δυτικών) ανέμων. Εστιγμένες (συνεχείς) κόκκινες καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανοδικών (καθοδικών) κινήσεων ω > ± 0,25 Pa/s. Έντονη μαύρη γραμμή: PV = 2 PVU (δυναμική τροπόπαυση). β) Όπως στην τομή α, αλλά για τη μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. Μπλε γραμμές: θ ανά 5ºΚ. Βέλη: κατακόρυφη κυκλοφορία, παράλληλη με το επίπεδο της τομής. Γραμμοσκίαση: σχετική υγρασία > 75% ανά 10%. γ) Όπως στο α, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Σκίαση: μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. δ) Όπως στο β, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Συνεχείς καμπύλες εσωκλείουν περιοχές δυτικών ανέμων.

10 Ιουλίου 2019 18:00UTC

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, στις 10 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, ένα σύμπλεγμα καταιγίδων επηρέασε την ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού – Χαλκιδικής. Το νεφικό σύστημα της καταιγίδας αυτής είναι ορατό στις Εικόνες 3.13.α και 3.13.β ως μια βαθιά

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

περιοχή με ω < 0 και σχετική υγρασία > 75%, αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι η έκταση της περιοχής σχετικής υγρασίας > 95% μεγιστοποιείται στις 18:00UTC[2].

Από την αυξημένη κλίση της θ=290ºK στο κατώτερο τροποσφαιρικό στρώμα (Εικόνα 3.13.α και Εικόνα 3.13.β), φαίνεται πως η κατακόρυφη κλίση του μετώπου μεγιστοποιείται στις 18:00UTC, κάτι το οποίο συνέβαλε στην αναζωπύρωση του συστήματος καταιγίδων στην περιοχή του Θερμαϊκού, όπως φαίνεται και από τις δορυφορικές εικόνες και τα δεδομένα ραντάρ, με συνέπεια να καταγραφούν πολλές ανυπολόγιστες ζημιές καθώς και ανθρώπινα θύματα στην χερσόνησο της Χαλκιδικής.

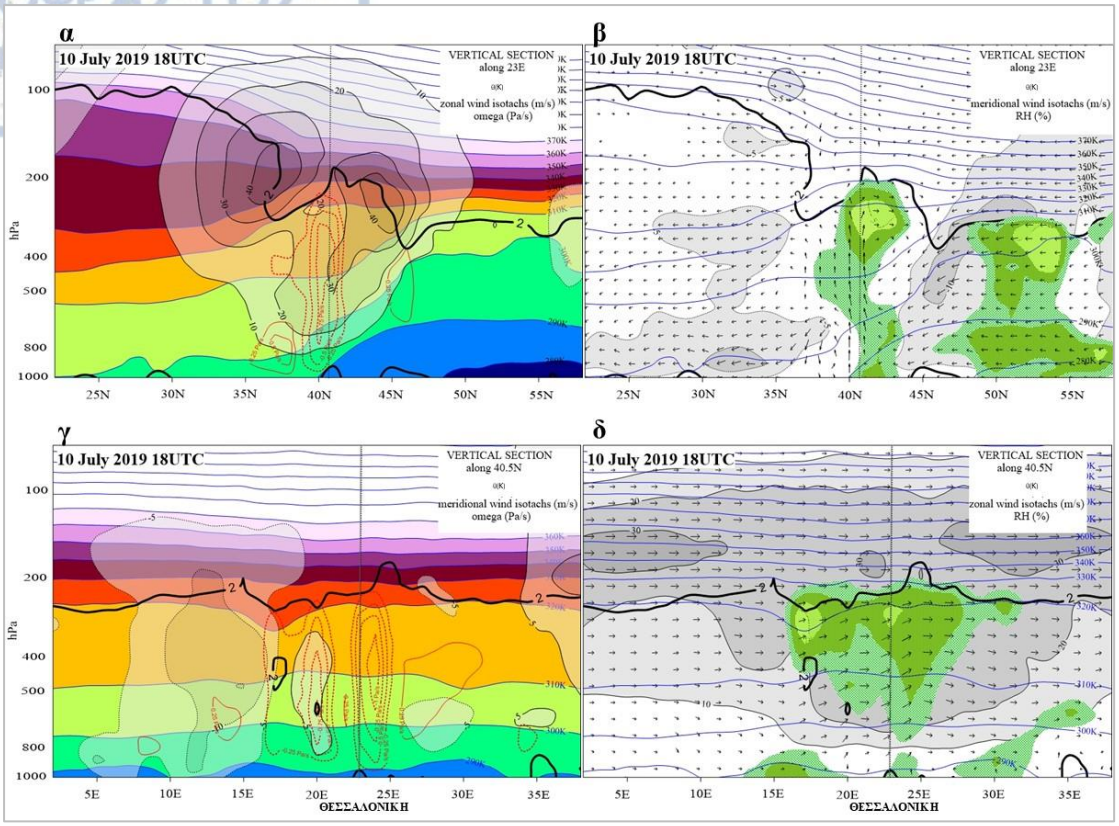
Μια θερμικά ορθή κατακόρυφη κυκλοφορία, με τις ψυχρές μάζες να καθιζάνουν ακριβώς πίσω (βόρεια) από το μέτωπο, ενώ με τις θερμές μάζες να ανέρχονται μπροστά (νότια) από αυτό, είναι ορατή στην Εικόνα 3.13.β. Αρκετά νοτιότερα από το μέτωπο (22ºΒ – 37ºΒ) επικρατούν οι Ετησίες (μελτέμι), με τη μέγιστη τιμή της βόρειας συνιστώσας τους να ξεπερνάει τα 10m/s, στα 800 hPa και στις 33ºΒ (Εικόνα 3.13.β).

Στις 10 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, στα χαμηλότερα στρώματα της ζωνικής τομής (Εικόνα 3.13.γ και Εικόνα 3.13.δ) έχουν πλέον εισχωρήσει οι πολικές αέριες μάζες, όπως δηλώνει η ανύψωση της θ=290ºK, γεγονός που δείχνει τον καθοριστικό ρόλο που έπαιξε αυτό το ισχυρό – για την εποχή – μέτωπο, στη δημιουργία και ένταση της ακραίας υπό μελέτη καταιγίδας. Η παρουσία του μετώπου στη ζωνική τομή φαίνεται και από τη βαθιά και εκτεταμένη περιοχή σχετικής υγρασίας > 75% (Εικόνα 3.13.δ). Τέλος, η συνεχιζόμενη κίνηση της διαταραχής προς τα ανατολικά φαίνεται στη ζωνική τομή ως μια μετακίνηση της μερικής βύθισης της τροπόπαυσης στις 18ºΑ περίπου, καθώς και του χαρακτηριστικού διπόλου βόρειας/νότιας μεσημβρινής συνιστώσας (Εικόνα 3.13.γ) δυτικά/ανατολικά της διαταραχής, αντίστοιχα.

[2] Όσον αφορά στις ανοδικές κινήσεις, αυτές λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή τους μία μοίρα ανατολικότερα της τομής των σχημάτων 3,13.α και 3.13.β.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.13. Κατακόρυφες τομές στις 10 Ιουλίου 2019 στις 18:00UTC: α) Μεσημβρινή κατακόρυφη τομή κατά μήκος των 23ºΑ. Χρώματα: δυνητική θερμοκρασία (θ) ανά 5ºΚ. Σκίαση: ζωνική συνιστώσα ανέμου > ± 10 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανατολικών (δυτικών) ανέμων. Εστιγμένες (συνεχείς) κόκκινες καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανοδικών (καθοδικών) κινήσεων ω > ± 0,25 Pa/s. Έντονη μαύρη γραμμή: PV = 2 PVU (δυναμική τροπόπαυση). β) Όπως στην τομή α, αλλά για τη μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. Μπλε γραμμές: θ ανά 5ºΚ. Βέλη: κατακόρυφη κυκλοφορία, παράλληλη με το επίπεδο της τομής. Γραμμοσκίαση: σχετική υγρασία > 75% ανά 10%. γ) Όπως στο α, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Σκίαση: μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. δ) Όπως στο β, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Συνεχείς καμπύλες εσωκλείουν περιοχές δυτικών ανέμων.

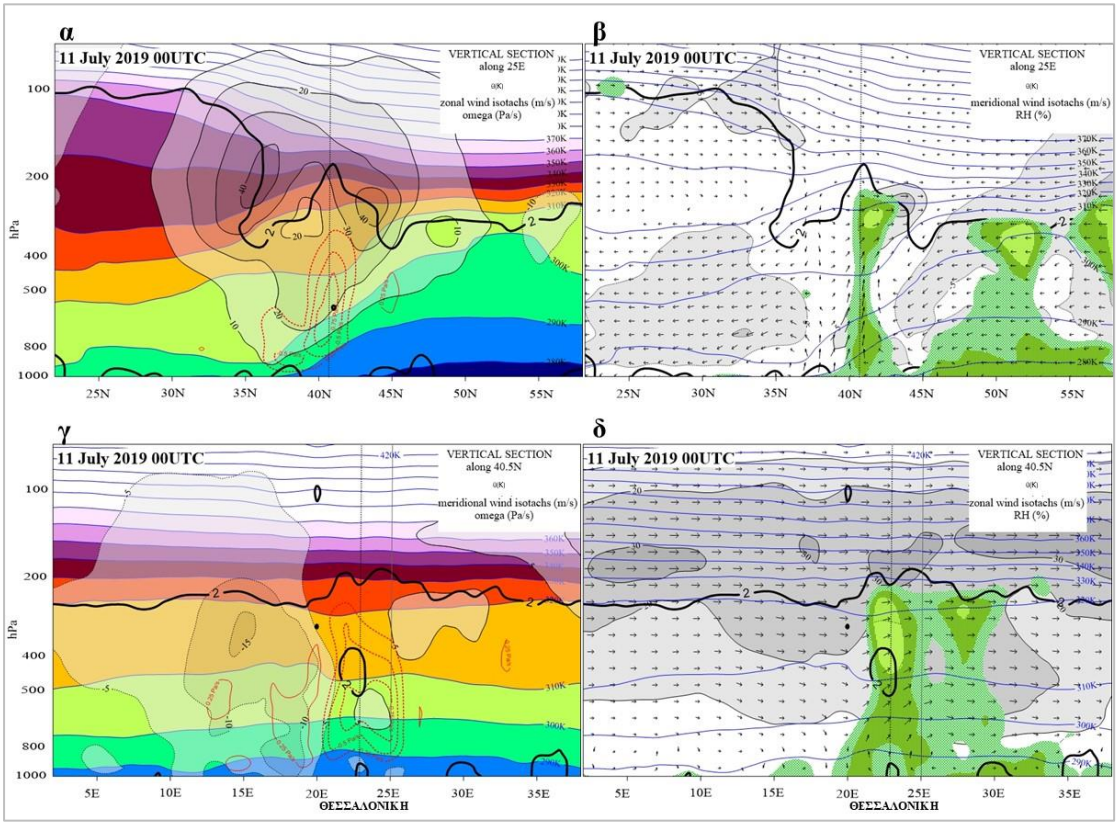
11 Ιουλίου 2019 00:00UTC

Στις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, η μεσημβρινή τομή (25 ºΑ) διέρχεται από το νησί της Λήμνου, όπου κατά μήκος αυτής το επιφανειακό μέτωπο έχει κινηθεί στις ~ 37 ºΒ σχεδόν κάτω από τον υποτροπικό αεροχείμαρρο (Εικόνα 3.14.α).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στις ζωνικές τομές των 40,5ºΒ (Εικόνα 3.14.γ και Εικόνα 3.14.δ) για την ίδια χρονική στιγμή, είναι φανερό πως η θερμοκρασία έχει πέσει ακόμα περισσότερο. Η υπό μελέτη καταιγίδα έχει ήδη διαλυθεί αλλά το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο είχε γεννηθεί και αναπτυχθεί η υπό μελέτη καταιγίδα – θα μελετηθεί σε επόμενη υποενότητα) συνεχίζει την πορεία του νοτιοανατολικότερα (κοντά στις 30 ºΑ), με αποτέλεσμα να μην φαίνεται ευκρινώς στην ζωνική τομή. Μία άλλη καταιγίδα επηρεάζει την περιοχή της Θεσσαλονίκης (21ºΑ – 23ºΑ) στις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, όπως φαίνεται τόσο από τις τιμές του ω στις 22ºΑ (Εικόνα 3.14.γ) όσο και από το μέγιστο της σχετικής υγρασίας στις 22ºΑ -23ºΑ (Εικόνα 3.14.δ). Αυτή η καταιγίδα φαίνεται να σχετίζεται με τη διαταραχή, που τώρα βρίσκεται στο γεωγραφικό μήκος της Θεσσαλονίκης, όμως είναι σίγουρα ασθενέστερη εκείνης των 18:00UTC στις 10 Ιουλίου 2019 (βλέπε υποενότητα 3.9) και ο λόγος είναι πως το μέτωπο έχει πλέον κατέβει νοτιότερα και έτσι έχει εκλείψει η επιφανειακή σύγκλιση, ενώ, από θερμοδυναμικής άποψης, η επικράτηση ψυχρών αερίων μαζών στα επιφανειακά στρώματα έχει ελαττώσει την θερμική αστάθεια.



Εικόνα 3.14. Κατακόρυφες τομές στις 11 Ιουλίου 2019 στις 00:00UTC: α) Μεσημβρινή κατακόρυφη τομή κατά μήκος των 25ºΑ. Χρώματα: δυνητική θερμοκρασία (θ) ανά 5ºΚ. Σκίαση: ζωνική συνιστώσα ανέμου > ± 10 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές ανατολικών (δυτικών) ανέμων. Εστιγμένες (συνεχείς) κόκκινες καμπύλες εσωκλείουν

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

περιοχές ανοδικών (καθοδικών) κινήσεων ω > ± 0,25 Pa/s. Έντονη μαύρη γραμμή: PV = 2 PVU (δυναμική τροπόπαυση). β) Όπως στην τομή α, αλλά για τη μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. Μπλε γραμμές: θ ανά 5ºK. Βέλη: κατακόρυφη κυκλοφορία, παράλληλη με το επίπεδο της τομής. Γραμμοσκίαση: σχετική υγρασία > 75% ανά 10%. γ) Όπως στο α, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Σκίαση: μεσημβρινή συνιστώσα ανέμου > ± 5 m/s. Εστιγμένες (συνεχείς) καμπύλες εσωκλείουν περιοχές βορείων (νοτίων) ανέμων. δ) Όπως στο β, αλλά για ζωνική τομή κατά μήκος των 40,5ºΒ. Συνεχείς καμπύλες εσωκλείουν περιοχές δυτικών ανέμων.

3.4 GPM ΔΕΔΟΜΕΝΑ

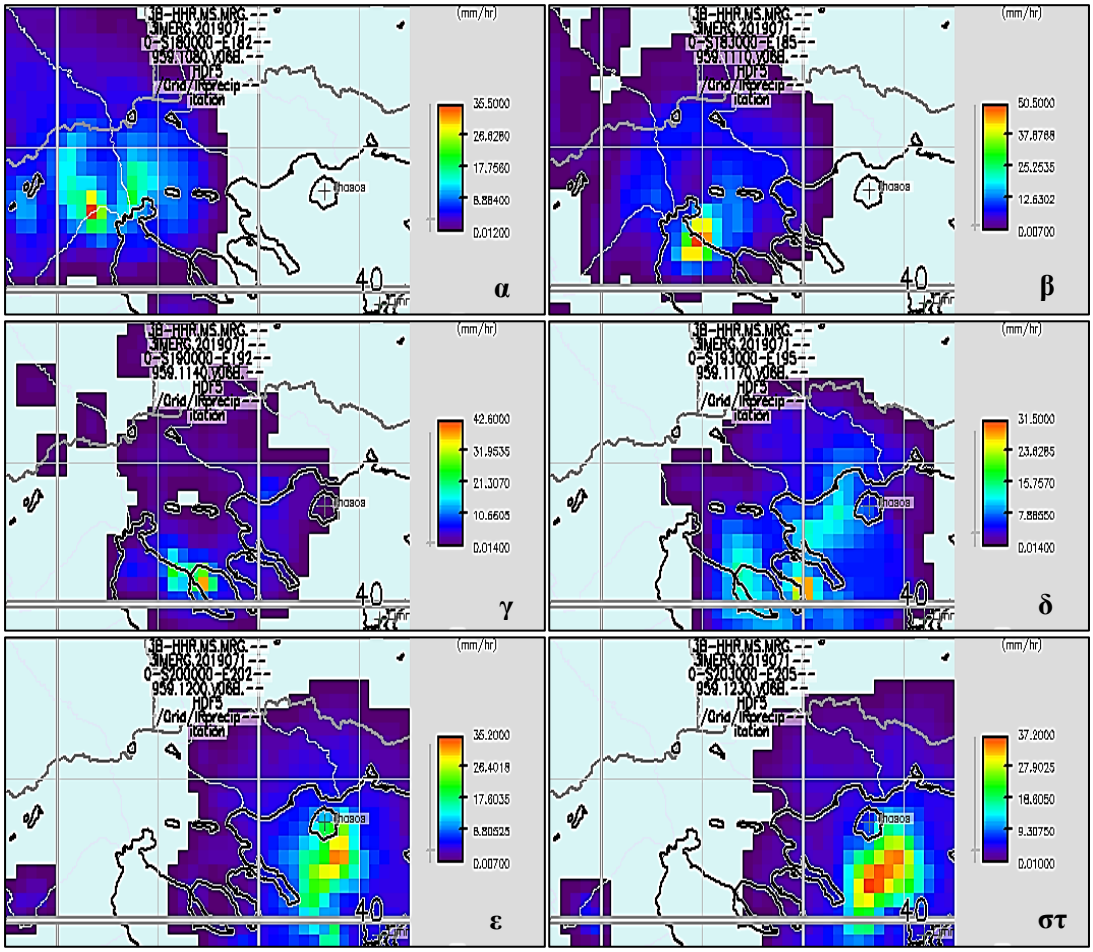
Στους παρακάτω χάρτες (Εικόνα 3.15) παρουσιάζονται τα προϊόντα του ραδιομέτρου GMI του δορυφόρου GPM, όπου απεικονίζεται το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του δορυφόρου που είναι η ένταση της βροχόπτωσης. Ειδικότερα, καταγράφονται με προσεγγιστικό τρόπο οι εντάσεις της βροχόπτωσης της υπό μελέτη καταιγίδας τις χρονικές στιγμές παρατήρησης από τις 18:00UTC έως τις 20:59UTC στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019.

Η καταιγίδα στο χρονικό διάστημα 18:00UTC με 18:29UTC εντοπίζεται να είναι πάνω από τις περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας με την μέγιστη ένταση βροχής (~ 35mm/hr) να σημειώνεται μεταξύ των νομών Ημαθίας και Πιερίας. Καθώς το καταιγιδοφόρο σύστημα φαίνεται να κινείται προς τα ανατολικά-νοτιοανατολικά την επόμενη χρονική σάρωση, 18:30UTC με 18:59UTC, καταγράφονται οι υψηλότερες μέγιστες εντάσεις βροχόπτωσης (έως και 48mm/hr) μεταξύ των νομών Θεσσαλονίκης και βορειοδυτικής Χαλκιδικής και πάνω από τα νοτιοανατολικά του Θερμαϊκού κόλπου, την χρονική στιγμή όπου η υπό μελέτη καταιγίδα, συνοδευόμενη από πολύ έντονους ανέμους, προκαλεί τον θάνατο 7 ανθρώπων και τις καταστροφικές ζημίες στην βορειοδυτική Χαλκιδική. Ακολούθως, στα επόμενα δυο χρονικά διαστήματα, 19:00UTC με 19:29UTC και 19:30UTC με 19:59UTC, η καταιγίδα συνεχίζει να μετακινείται νοτιοανατολικά περνώντας από το βόρειο τμήμα της χερσονήσου Κασσάνδρας στο ανατολικό της χερσονήσου Σιθωνίας, με τα μέγιστα έντασης βροχόπτωσης να βρίσκονται βόρεια του Τορωναίου κόλπου (~ 37 mm/hr) το πρώτο χρονικό διάστημα και νοτιοανατολικά της χερσονήσου Σιθωνίας (~ 27 mm/hr) το δεύτερο χρονικό διάστημα, αντίστοιχα. Τέλος, το καταιγιδοφόρο σύστημα, τις δυο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

τελευταίες χρονικές σαρώσεις 20:00UTC με 20:29UTC και 20:30UTC με 20:59UTC, παρατηρείται να εγκαταλείπει την χερσόνησο της Χαλκιδικής, καθώς μετακινείται ανατολικά με τα μέγιστα έντασης βροχόπτωσης να διακρίνονται νότια της Θάσου (> 30 mm/hr το πρώτο χρονικό διάστημα και > 35 mm/hr το δεύτερο χρονικό διάστημα, αντίστοιχα).



Εικόνα 3.15. Μικροκυματικά δεδομένα τύπου 3IMERGHH του πολλαπλού δορυφόρου GPM, με το ραδιόμετρο GMI, παρέχουν εκτιμήσεις έντασης βροχόπτωσης (mm/hr) για τις 10/07/2019 στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής τα χρονικά διαστήματα (α) 18:00UTC-18:29UTC, (β) 18:30UTC-18:59UTC, (γ) 19:00UTC-19:29UTC, (δ) 19:30UTC-19:59UTC, (ε) 20:00UTC-20:29UTC και (στ) 20:30UTC-20:59UTC. Η χρωματική κλίμακα απεικονίζει την εκτιμώμενη ένταση της βροχόπτωσης (mm/hr) του καταιγιδοφόρου συστήματος.

3.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΕΟΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Είναι αξιοσημείωτη η χρήση επίγειων δεδομένων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.), για την υπό μελέτη καταιγίδα που έπληξε την χερσόνησο της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019. Οι 7

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ελληνικοί μετεωρολογικοί σταθμοί (βλέπε Εικόνα 3.1) που είναι εγκατεστημένοι σε διάφορες περιοχές της Χαλκιδικής (μεταξύ των οποίων, ένας σταθμός από αυτούς, της Νέας Μηχανιώνας βρίσκεται στον νομό της Θεσσαλονίκης) έδωσαν σημαντικές πληροφορίες για την συγκεκριμένη καταιγίδα. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να τονιστεί, ότι, λόγω της σφοδρότητας του καταιγιδοφόρου συστήματος, οι καταγραφές της ταχύτητας των ανέμων στους επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς που μελετήθηκαν, παρουσιάζονται να είναι χαμηλότερες, καθώς τα ισχυρότερα φαινόμενα έλαβαν χώρα σε πολύ μικρή έκταση όπου δεν υπάρχει κάλυψη από μετεωρολογικό σταθμό (Lagouvardos et al. 2017). Τέλος, να σημειωθεί πως οι ώρες που αναφέρονται στα δεδομένα του ΜΕΤΕΟ είναι σε ώρα Ελλάδας.

Αναλυτικότερα, στο διάγραμμα των θερμοκρασιών (Εικόνα 3.16) παρατηρείται μια απότομη πτώση της θερμοκρασίας σε όλους τους σταθμούς, με ιδιαίτερη αναφορά για τον σταθμό της Κασσάνδρειας (κίτρινο χρώμα) όπου σημειώθηκε πτώση μέχρι και της τάξης των ~ 7 βαθμών Κελσίου μέσα σε μόλις 10 λεπτά. Επιπλέον αυτή η σημαντική πτώση της θερμοκρασίας που καταγράφηκε στους 7 μετεωρολογικούς σταθμούς, αποτυπώνει και την πορεία της καταιγίδας, ερχόμενη από την περιοχή της Νέας Μηχανιώνας (~21:40), κατευθυνόμενη προς Κασσάνδρεια και Πολύγυρο (~22:15), Νέο Μαρμαρά και Στρατώνι (~22:30) και πορευμένη προς Βατοπέδι και Μεγίστη Λαύρα (μετά τις 23:00).

Το διάγραμμα σχετικής υγρασίας (Εικόνα 3.17) απεικονίζει, επίσης, μια απότομη μείωση της σχετικής υγρασίας ιδιαίτερα στους σταθμούς του Πολυγύρου (κατά 23 μονάδες (επί τις %) μέσα σε ένα 30λεπτο), του Νέου Μαρμαρά (κατά 11 μονάδες (επί τις %) μέσα σε ένα 20λεπτο) και της Νέας Μηχανιώνας (κατά 20 μονάδες (επί τις %) μέσα σε ένα 20λεπτο), κατά προσέγγιση από τις 20:00 έως τις 20:50. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο σταθμός της Νέας Μηχανιώνας (καφέ χρώμα) ο οποίος μέσα σε 30 λεπτά κατέγραψε μια πολύ μεγάλη αύξηση σχετικής υγρασίας κατά 32 μονάδες (επί τις %), από τις 21:10 έως τις 21:40, ξεπερνώντας την 90% τιμή σχετικής υγρασίας. Γενικότερα μεγάλα ποσά σχετικής υγρασίας φαίνεται να σημειώνονται περίπου μετά τις 21:30 για τους περισσότερους σταθμούς (φτάνοντας κατά προσέγγιση 90% τιμή σχετικής υγρασίας), με εξαίρεση τον σταθμό του Πολυγύρου και του Νέου Μαρμαρά που ξεκίνησε περίπου από τις 20:30. Αυτή η σημαντική αύξηση της σχετικής υγρασίας σηματοδοτεί και την παρουσία της καταιγίδας.

Αναφορικά με τις ριπές των ανέμων που καταγράφηκαν, στο αντίστοιχο διάγραμμα (Εικόνα 3.18) σημειώνονται και οι διευθύνσεις των μεγίστων ριπών των ανέμων τη

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

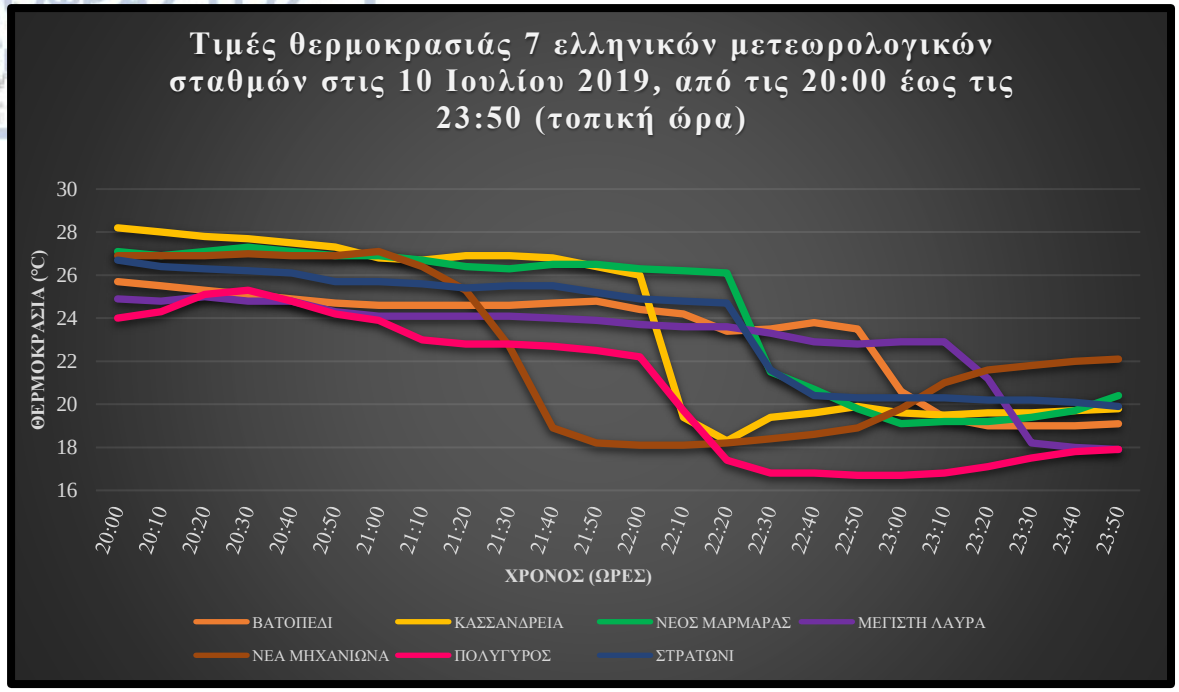
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

χρονική στιγμή που παρατηρήθηκαν. Οι μέγιστες ριπές των 7 επίγειων μετεωρολογικών σταθμών που καταγράφονται με χρονολογική σειρά είναι: 85.3km/hr στην Νέα Μηχανιώνα (με διεύθυνση ΒΕ στις 21:30), 111km/hr στην Κασσάνδρεια (με διεύθυνση ΔΒΔ στις 22:10), 67.6km/hr στον Πολύγυρο (με διεύθυνση Β στις 22:20), 132km/hr στον Νέο Μαρμαρά (με διεύθυνση ΔΒΔ στις 22:30), 99.8km/hr στο Στρατώνι (με διεύθυνση ΒΔ στις 22:30), 62.8km/hr στο Βατοπέδι (με διεύθυνση ΒΒΔ στις 22:50) και 51.5km/hr στην Μεγίστη Λαύρα (με διεύθυνση ΔΒΔ στις 23:20). Η χρονική αλληλουχία κατά την οποία σημειώθηκαν οι μέγιστες ριπές στους 7 συγκεκριμένους μετεωρολογικούς σταθμούς, έρχεται σε συμφωνία με την χρονική στιγμή παρατήρησης της απότομης πτώσης της θερμοκρασίας που καταγράφηκε σε αυτούς τους σταθμούς. Αυτό παρατηρείται, επίσης, και στα 4 διαγράμματα (Εικόνα 3.19 έως Εικόνα 3.22) που απεικονίζουν συγχρόνως την πορεία της θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και των ριπών των ανέμων, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει έναν επίγειο μετεωρολογικό σταθμό: της Νέας Μηχανιώνας της Κασσάνδρειας, του Νέου Μαρμαρά και του Πολυγύρου, με τη σειρά με την οποία κινήθηκε η καταιγίδα κατά τη διάρκεια της έντονης επίδρασής της.

Να σημειωθεί πως οι τέσσερεις αυτοί σταθμοί επιλέχθηκαν λόγω των σημαντικών τιμών που κατέγραψαν και στις τρεις παραμέτρους που εξετάστηκαν. Σε αυτά διακρίνεται η (σχεδόν) ταυτοχρόνως απότομη πτώση της θερμοκρασίας και η εμφάνιση της ριπής των ανέμων (μαζί με την μέγιστη διεύθυνση της ριπής), με μια χρονική απόκλιση της τάξης των 10 λεπτών (που σηματοδοτεί την “είσοδο” του gust front της καταιγίδας και στη συνέχεια την πτώση της θερμοκρασίας).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

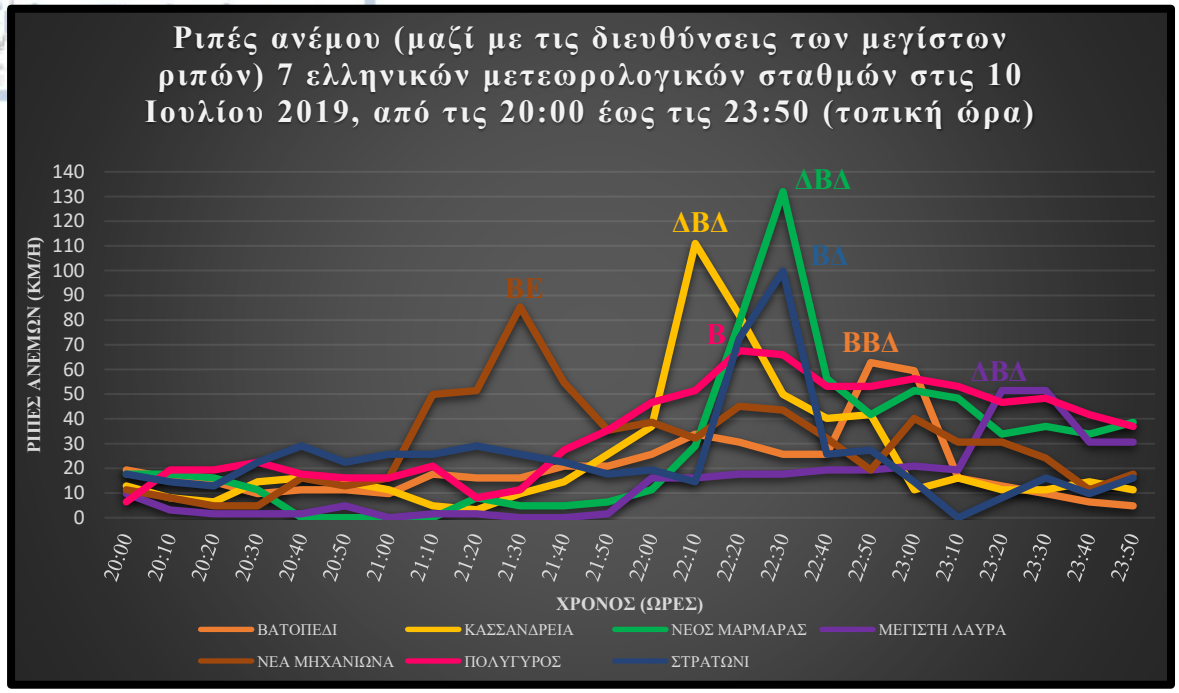


Εικόνα 3.16. Απεικόνιση της πορείας των θερμοκρασιών των 7 ελληνικών μετεωρολογικών σταθμών στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.

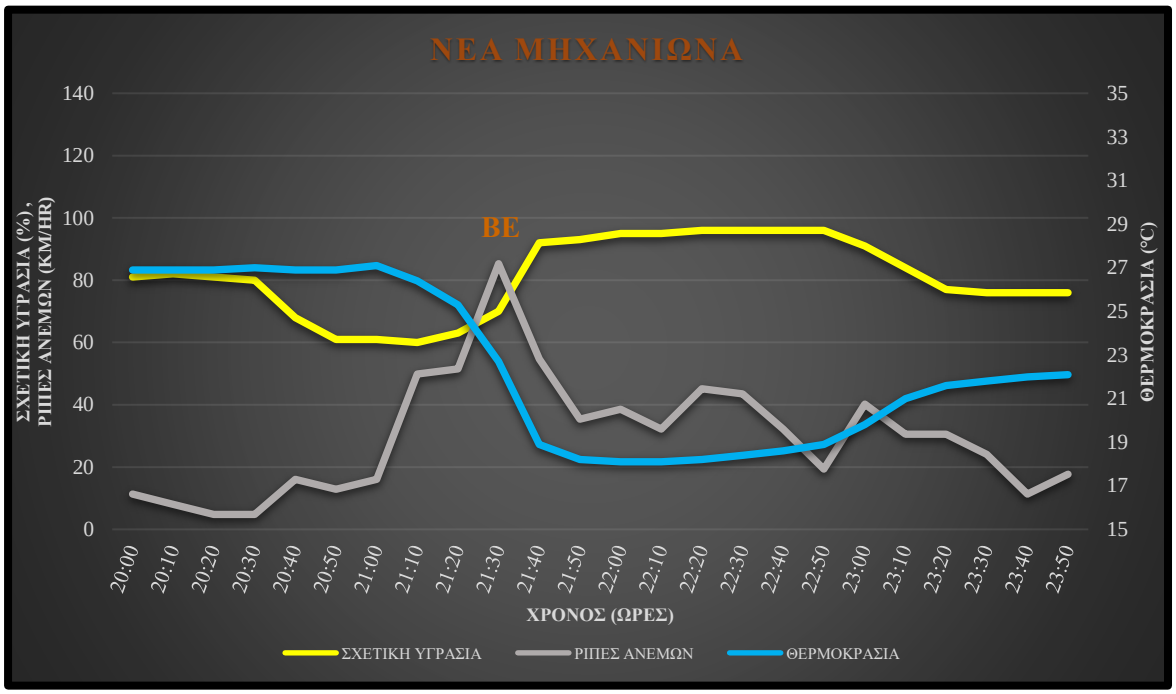
Εικόνα 3.17. Απεικόνιση της πορείας της σχετικής υγρασίας των 7 ελληνικών μετεωρολογικών σταθμών στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



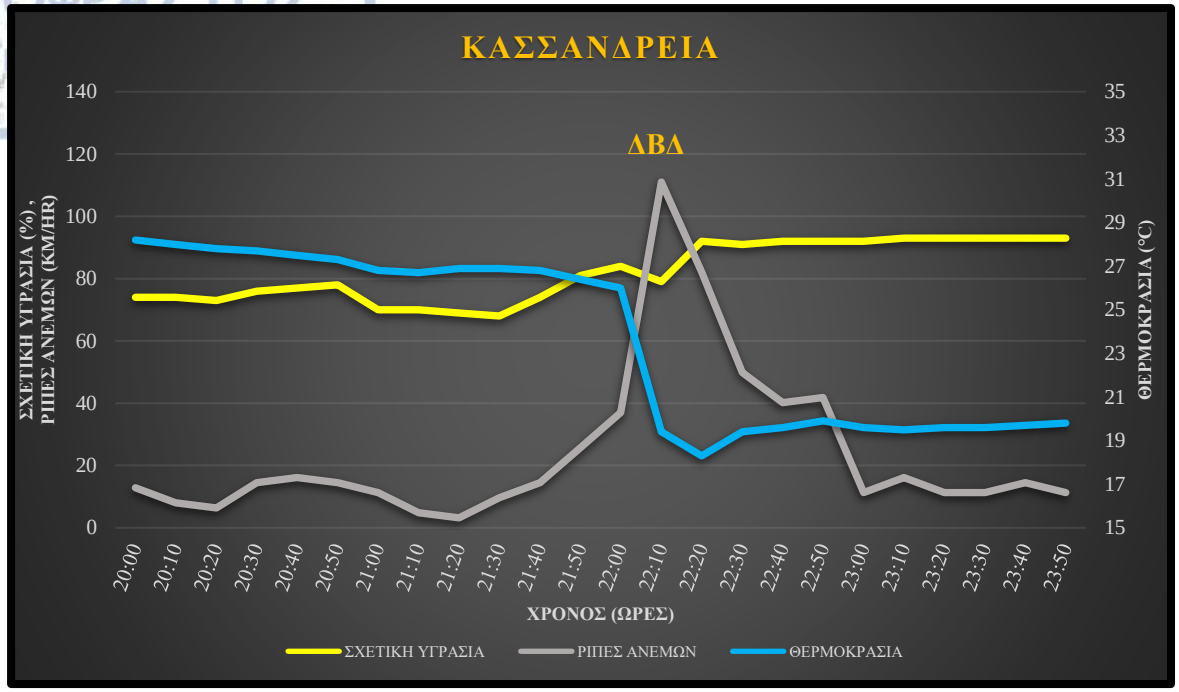
Εικόνα 3.18. Καταγραφή των ριπών των ανέμων καθώς και της διεύθυνσης των μεγίστων ριπών των 7 ελληνικών μετεωρολογικών σταθμών στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.



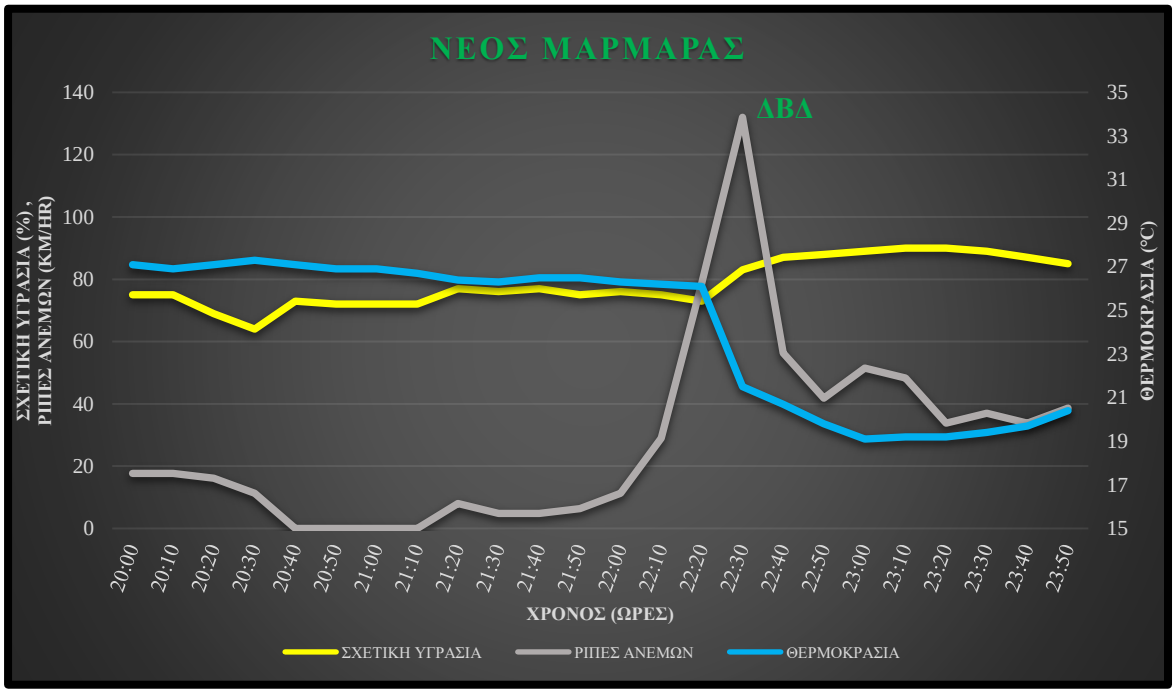
Εικόνα 3.19. Απεικόνιση της πορείας της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και των ριπών του ανέμου (και της διεύθυνσης της μέγιστης ριπής του ανέμου) για τον σταθμό της Νέας Μηχανιώνας, στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



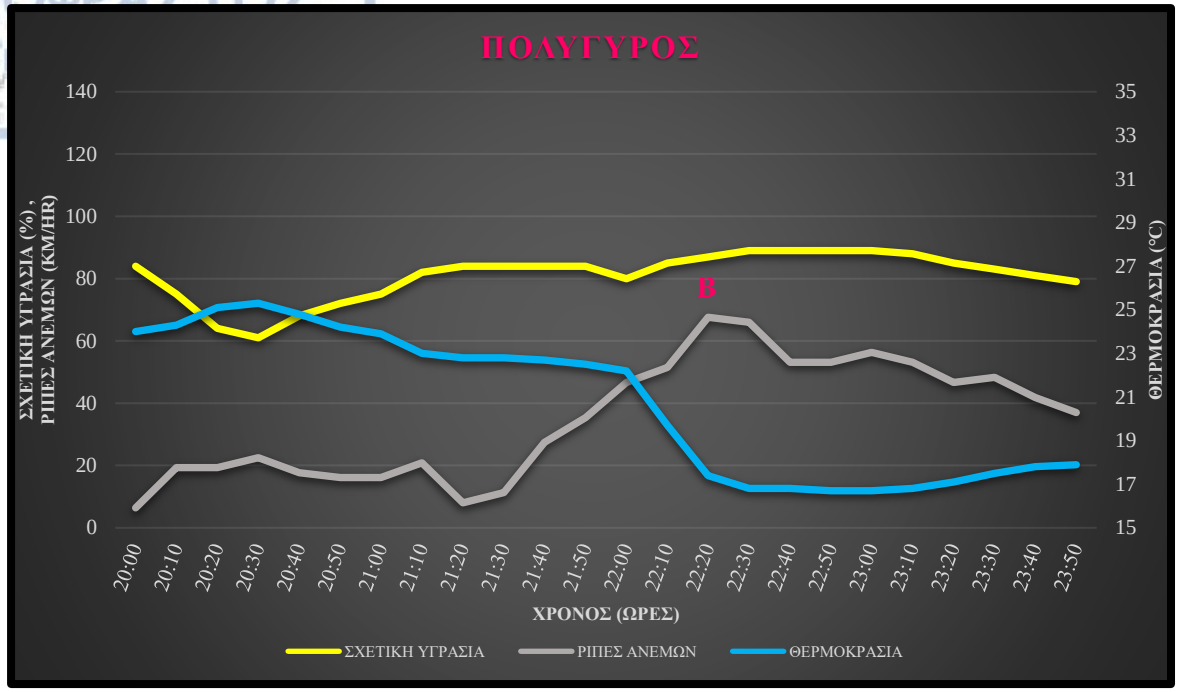
Εικόνα 3.20. Απεικόνιση της πορείας της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και των ριπών του ανέμου (και της διεύθυνσης της μέγιστης ριπής του ανέμου) για τον σταθμό της Κασσάνδρειας, στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.



Εικόνα 3.21. Απεικόνιση της πορείας της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και των ριπών του ανέμου (και της διεύθυνσης της μέγιστης ριπής του ανέμου) για τον σταθμό του Νέου Μαρμαρά, στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



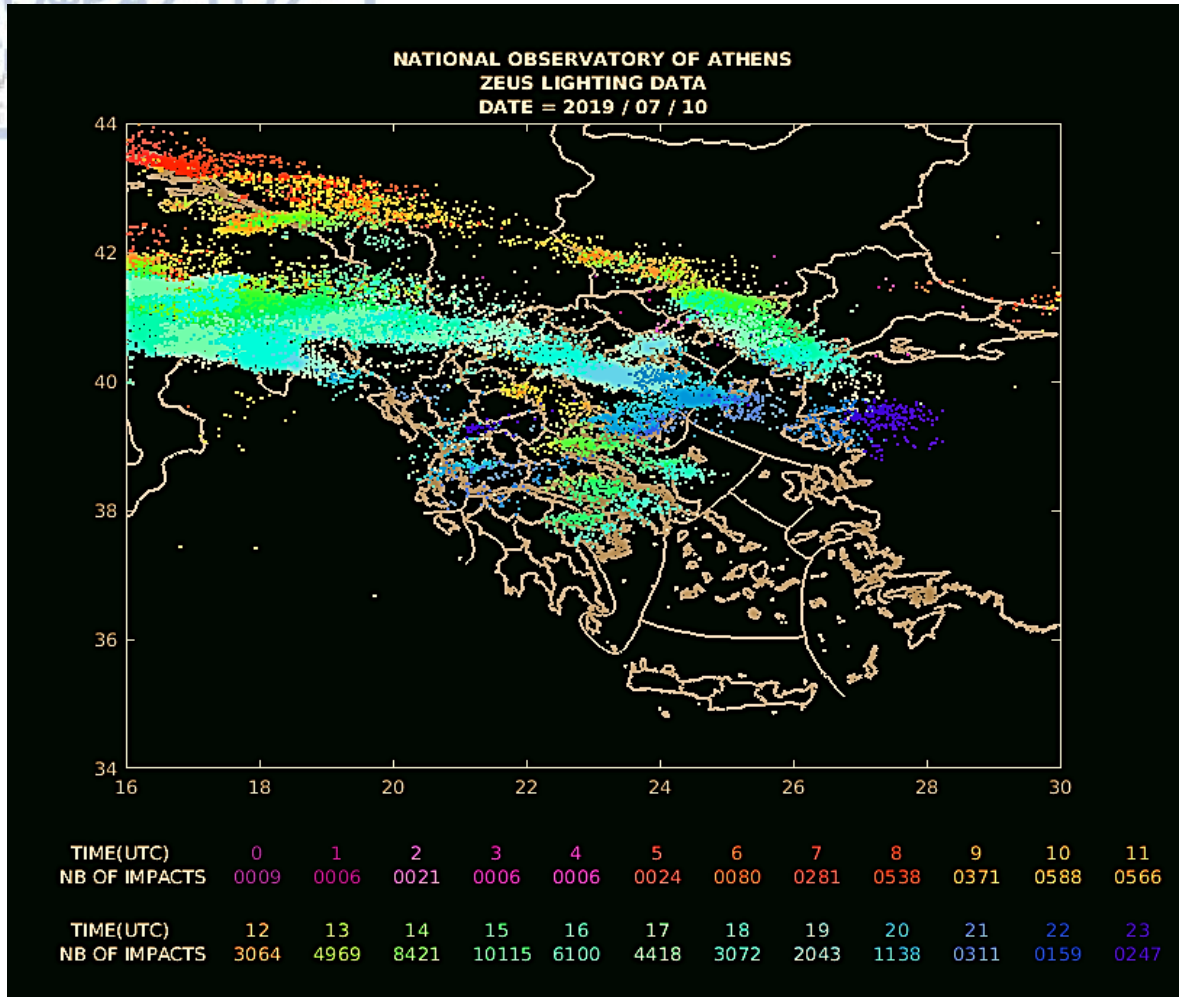
Εικόνα 3.22. Απεικόνιση της πορείας της σχετικής υγρασίας, της θερμοκρασίας και των ριπών του ανέμου (και της διεύθυνσης της μέγιστης ριπής του ανέμου) για τον σταθμό του Πολυγύρου, στις 10 Ιουλίου 2019, το χρονικό διάστημα από τις 20:00 έως τις 23:50.

3.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΚΚΕΝΩΣΕΙΣ

Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 3.23) παρουσιάζεται η έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα που καταγράφηκε από το σύστημα ανίχνευσης ηλεκτρικών εκκενώσεων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α.)/meteo.gr "ZEUS" στις 10 Ιουλίου 2019 (Kotroni & Lagouvardos 2008, 2016). Γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως σημειώθηκε σημαντική ηλεκτρική δραστηριότητα πάνω από τη Β.Ελλάδα και συγκεκριμένα πάνω από την ευρύτερη περιοχή του νομού Χαλκιδικής και Θεσσαλονίκης, περίπου από τις 18:00UTC μέχρι και τις 21:00UTC, κάτι το οποίο αποδεικνύει έμμεσα και την δυναμική της ατμοσφαιρικής διαταραχής, καθώς οι ηλεκτρικές εκκενώσεις συνδέονται σημαντικά με τον υετό των θερμικών καταιγίδων (convective rainfall), που συμβαίνουν κατά την θερινή περίοδο (Ρούπα 2009). Σύμφωνα με το Ε.Α.Α., αθροίζοντας τον αριθμό των ηλεκτρικών εκκενώσεων, τις ώρες που παρατηρήθηκε το υπό μελέτη φαινόμενο, προέκυψαν, κατά προσέγγιση, περισσότερες από 6570 ηλεκτρικές εκκενώσεις (αν λάβουμε υπόψη και ότι το σύστημα ZEUS δεν προσμέτρησε και έναν αριθμό ηλεκτρικών εκκενώσεων που δεν μπόρεσε να καταγράψει).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.23. Καταγραφή ηλεκτρικών εκκενώσεων στις 10 Ιουλίου 2019, (από το σύστημα TALOS) μέσω του επίγειου δικτύου ανίχνευσης αστραπών "ZEUS" του Ε.Α.Α., όπου αυτές οι καταγραφές αφορούν το σύνολο των ηλεκτρικών εκκενώσεων που εντοπίστηκαν ανά ώρα για την Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή της. Οι διάφοροι χρωματισμοί αντιπροσωπεύουν το πλήθος των ηλεκτρικών εκκενώσεων που σημειωθηκαν την αντίστοιχη ώρα της ημέρας (Πηγή: Ε.Α.Α.).

3.7 SENTINEL 2 & SENTINEL 3

Δεδομένα Sentinel 2 και Sentinel 3, της "οικογένειας" δορυφόρων πολικής τροχιάς Sentinel των αποστολών της ESA του προγράμματος Copernicus, χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της νεφικής κατάστασης που επικρατούσε τις πρωινές ώρες της 10^{ης} Ιουλίου 2019. Εξαιτίας της πολικής τροχιάς των δορυφόρων τους, η σάρωση των εικόνων πραγματοποιείται συγκεκριμένες πρωινές ώρες 08:29UTC, 09:05UTC, 09:06UTC. Δευτερεύων σκοπός της χρησιμότητάς τους είναι η πολύ υψηλή χωρική

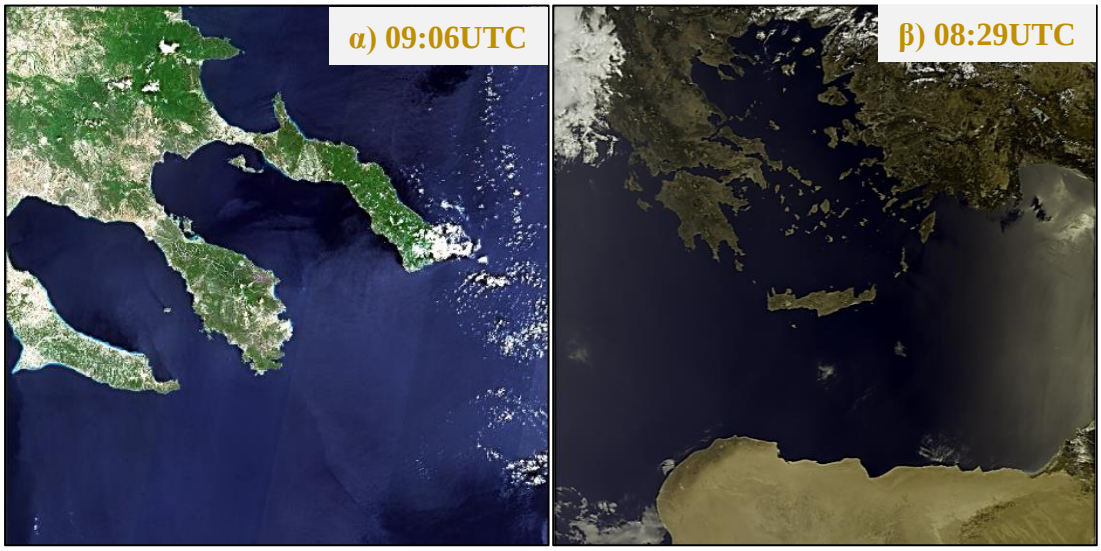
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ανάλυση που διαθέτουν, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο υψηλή ευκρίνεια στην εικόνα.

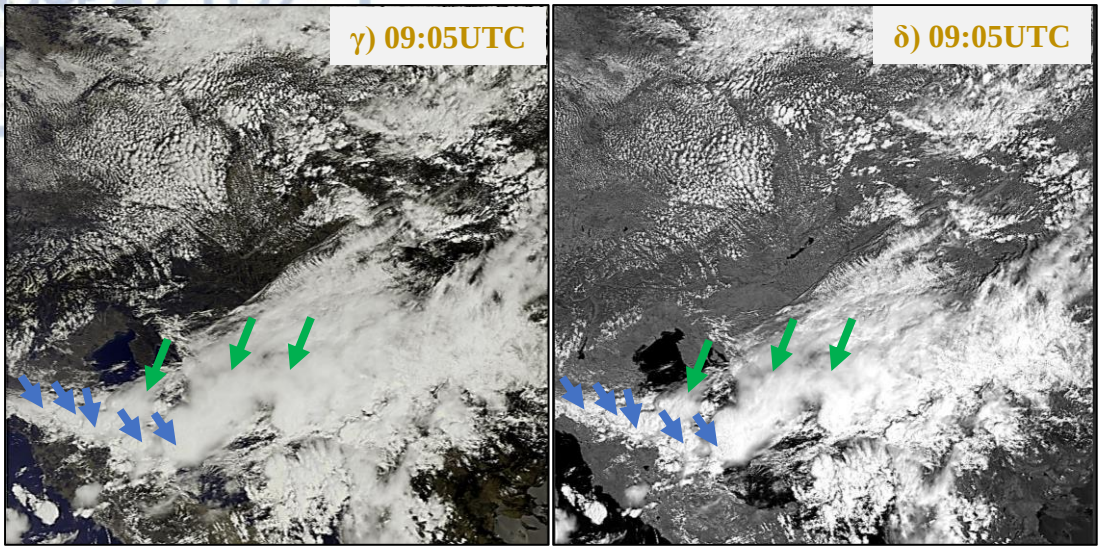
Αυτό που διακρίνεται στην Εικόνα 3.24.α του δορυφόρου Sentinel 2 είναι η γενικότερη απουσία νεφών που επικρατούσε στις 09:06UTC πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της χερσονήσου της Χαλκιδικής, με μόνη εξαίρεση στα νότια του Αγίου Όρους όπου υπάρχουν ελάχιστες νεφώσεις.

Οι επόμενες σαρώσεις που εκτελούνται από τον δορυφόρο Sentinel 3 είναι τις χρονικές στιγμές 08:29UTC (Εικόνα 3.24.β) και 09:05UTC (Εικόνα 3.24.γ και Εικόνα 3.24.δ). Συγκεκριμένα, η χρονική στιγμή 08:29UTC δείχνει την έντονη νέφωση που επικρατεί μεταξύ της Αλβανίας και των νησιών του βόρειου Ιονίου. Ενώ η σάρωση που πραγματοποιείται στις 09:05UTC (Εικόνα 3.24.γ και Εικόνα 3.24.δ) απεικονίζει την πολυκυτταρική δραστηριότητα με τον σχηματισμό των "λοφίων" στους νεφικούς άκμονες (anvil ice plumes) καθώς και τις υπερυψωμένες κορυφές των νεφών (overshooting tops) στην περιοχή της Ιταλίας και της Αδριατικής θάλασσας, από όπου στην συνέχεια θα γεννηθεί και θα ξεκινήσει την πορεία του το αρχικό κύτταρο της υπό μελέτη καταιγίδας που επηρέασε πολύ έντονα την χερσόνησο της Χαλκιδικής.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.24. Δεδομένα των δορυφόρων πολικής τροχιάς Sentinel 2 και Sentinel 3: (α) Sentinel 2 Natural Colors RGB (με το ραδιόμετρο MSI) με χωρική ανάλυση 10m στις 09:06UTC 10/07/2019, (β) Sentinel 3 Tristimulus RGB (με το ραδιόμετρο OLCI) με χωρική ανάλυση 300m στις 08:29UTC 10/07/2019, (γ) Sentinel 3 Tristimulus RGB (με το ραδιόμετρο OLCI) με χωρική ανάλυση 300m στις 09:05UTC 10/07/2019 και (δ) Sentinel 3 (με το ραδιόμετρο OLCI) από το 12^{ο} φασματικό κανάλι του ραδιομέτρου με χωρική ανάλυση 300m στις 09:05UTC 10/07/2019. Πάνω στους άκμονες των νεφών με μπλε τόξα απεικονίζονται οι υπερυψωμένες κορυφές ενώ με πράσινα τα "λοφία" που είναι αποτελούμενα από παγοκρυστάλλους.

3.8 ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΡΑΝΤΑΡ

Διαδοχικές εικόνες των ραντάρ του Φιλύρου Θεσσαλονίκης και του Λιόπρασου Τρικάλων, τύπου C-band και τα δυο, απεικονίζουν την κίνηση και την εξέλιξη της υπό μελέτη καταιγίδας, σε διάφορα στάδια του χρόνου ζωής της. Αυτές οι καταγραφές προσφέρουν μια καλύτερη αποτύπωση της καιρικής κατάστασης της 10^{ης} Ιουλίου 2019 καθώς και την δυνατότητα προσέγγισης των βασικών χαρακτηριστικών της καταιγίδας που επηρέασε σοβαρά, κυρίως, την χερσόνησο της Χαλκιδικής (περισσότερες εικόνες συνδυαστικά των ραντάρ του Φιλύρου και του Λιόπρασου βλέπε 8^{ο} Κεφάλαιο: Παράρτημα).

Το αρχικό κύτταρο του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας "γεννήθηκε" και εξελίχθηκε στην κεντρο-νότια Ιταλία περίπου στις 09:30UTC (βλέπε υποενότητα 3.9.β). Στη συνέχεια, το σύστημα διέσχισε την Αδριατική θάλασσα, επηρέασε την Αλβανία και μετακινούμενο νοτιοανατολικά πέρασε από την περιοχή των Πρεσπών

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

στον Ελλαδικό χώρο, μεταξύ 16:00UTC και 17:00UTC, με τη μορφή μιας συγχωνευμένης ομάδας καταιγίδων ευθείας γραμμής (Γραμμής Λαίλαπας) (Εικόνα 3.25.β έως και Εικόνα 3.25.δ). Εδώ αξίζει να σημειωθεί, πως το κύτταρο της υπό μελέτη καταιγίδας πιθανότατα να δημιουργήθηκε στην περιοχή της Αλβανίας μαζί με τα υπόλοιπα κύτταρα της καταιγίδας ευθείας γραμμής μετά τις 15:00UTC.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τις εικόνες συνδυαστικά των ραντάρ καιρού του Φιλύρου και του Λιόπρασου, περίπου στις 16:08UTC (Εικόνα 3.25.β), στην περιοχή της Αλβανίας, τα κύτταρα της συγχωνευμένης ομάδας καταιγίδων σχημάτισαν μια γραμμή καταιγίδων τοξοειδούς ηχούς. Όπως διατυπώθηκε σε υποενότητα της Εισαγωγής, η τοξοειδής ηχώ δεν είναι ένα είδος καταιγίδας αλλά ένα μη παροδικό χαρακτηριστικό του ραντάρ, σχήματος τόξου, που αποτελεί ένα δείκτη εμφάνισης έντονων ανέμων, και εξαιτίας αυτού του σχηματισμού ηχούς αναμένεται στη συνέχεια να εκδηλωθεί επιδείνωση του καιρού στον Ελλαδικό χώρο. Σε αυτή την γραμμή καταιγίδων τοξοειδούς ηχούς παρατηρήθηκε ότι το βόρειο τμήμα της ήταν το πιο έντονο, λόγω μεγαλύτερης ανακλαστικότητας, όπως φάνηκε και στις επόμενες χρονικές στιγμές 16:28UTC (Εικόνα 3.25.γ) και 16:48UTC (Εικόνα 3.25.δ) (με τιμές μέγιστης ανακλαστικότητας να ξεπερνούν τα 65dBZ).

Αξίζει να αναφερθεί ότι η αιτία σχηματισμού της τοξοειδούς ηχούς ήταν η έντονη οπίσθια εισροή του αεροχειμάρρου (RIJ), η οποία παρατηρήθηκε και στις 16:28UTC και στις 16:48UTC. Όσο το καταιγιδοφόρο σύστημα προχωρούσε προς τον Ελλαδικό χώρο (συγκεκριμένα την Β. Ελλάδα) και ενισχύονταν το βόρειο τμήμα της τοξοειδούς ηχούς, ανάγκαζε την Γραμμή Λαίλαπας να αποκτήσει την εικόνα ενός σχήματος κόμμα στο ραντάρ (σταδίου D σύμφωνα με το σχήμα του Fujita 1978-βλέπε 1ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή), από τις 16:48UTC έως περίπου τις 17:28UTC (Εικόνες 3.25.δ έως στ), με τους ισχυρότερους ανέμους (downbursts) να λαμβάνουν χώρα στην κορυφή του τόξου.

Με βάση τις εικόνες του ραντάρ του Φιλύρου (στο οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο), στις 17:40UTC (Εικόνα 3.26.α) και 17:51UTC (Εικόνα 3.26.β), παρατηρήθηκαν χαρακτηριστικά δομής Υπερκυτταρικής καταιγίδας. Ενδεικτικά, στις 17:40UTC, δυτικά του νομού Πέλλας, μια καλοσχηματισμένη αγκιστροειδής ηχώ (hook echo) εντοπίστηκε στο βόρειο τμήμα του καταιγιδοφόρου συστήματος, με μέγιστη ανακλαστικότητα που έφτανε τα 65dBZ και κορυφή της ηχούς του νέφους περίπου στα 11.5km, όπως επίσης και στις 17:51UTC, μεταξύ των νομών Πέλλας και Ημαθίας, με τη μέγιστη ανακλαστικότητα που προσέγγιζε τα 70dBZ και την κορυφή της ηχούς του νέφους που έφτανε περίπου τα 12.5km (με κριτήρια κατωφλίου μέγιστων

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

τιμών ανακλαστικότητας τα 55dBZ και πάνω). Αυτό το χαρακτηριστικό υποδεικνύει την περιοχή σύγκλισης ανάμεσα στο κύριο ανοδικό ρεύμα και το καθοδικό ρεύμα της πίσω πλευράς όπως και την θέση του μεσοκυκλώνα. Ακόμα, σύμφωνα με τους Browning (1964) και Battan (1959), η αγκιστροειδής ηχώ είναι αποτέλεσμα της έντονης περιστροφής μέσα στο ανοδικό ρεύμα και αναγνωρίζεται ως δείκτης σφοδρότητας και πιθανής εμφάνισης ανεμοστροβίλου. Επιπλέον στις δυο αυτές απεικονίσεις, καθώς το ανοδικό ρεύμα της Υπερκυτταρικής καταιγίδας ενδυναμώνονταν, αποκτούσε μια σχεδόν κάθετη κλίση που αυτό είχε σαν άμεση συνέπεια να δημιουργηθεί μια περιοχή ασθενούς ηχούς (vault ή Weak Echo Region-WER), η οποία εισχωρούσε στην "καρδιά" της καταιγίδας κάτω από την υψηλότερη κορυφή της, περιβαλλόμενη μερικώς από την αγκιστροειδή ηχώ στα χαμηλά επίπεδα. Η περιοχή ασθενούς ηχούς όταν διακρίνεται στις εικόνες του ραντάρ μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη προειδοποίηση εμφάνισης σοβαρού καιρού (Browning & Donaldson 1963). Ταυτόχρονα, με την ενίσχυση των ανοδικών κινήσεων γίνεται φανερό ότι σχηματίστηκε μια περιοχή προεξοχής (overhang region) μπροστά από την καταιγίδα που "πλάγιαζε" προς το έδαφος (προς την αριστερή πλευρά της καταιγίδας), καθώς επίσης και μια περιοχή τείχους (wall) η οποία αποτελούσε το (σχεδόν) όρθιο άκρο με την έντονη ανακλαστικότητα, που επεκτείνονταν μέχρι το έδαφος και βρίσκονταν πίσω από την περιοχή ασθενούς ηχούς.

Τη δημιουργία της Υπερκυτταρικής καταιγίδας, μέσα στον σχηματισμό της τοξοειδούς ηχούς της Γραμμής Λαίλαπας, όπως σχολιάστηκε σε υποενότητα της Εισαγωγής, οι Klimowski et al. (2004) την κατατάσσουν στην δομή του όρου: σύμπλεγμα τοξοειδούς ηχούς (bow-echo complex, BEC). Αυτός ο όρος αναφέρει ότι οι Υπερκυτταρικές καταιγίδες αποτελούν συχνά "συστατικό" του (Klimowski et al. 2004). Το σύμπλεγμα της τοξοειδούς ηχούς άρχισε να διαφαίνεται περίπου από τις 17:28UTC (Εικόνα 3.25.στ), στα όρια των νομών Φλώρινας και Πέλλας, καθώς διακρινόταν το χαρακτηριστικό της οπίσθιας ροής του αεροχειμάρρου στο βόρειο τμήμα της καταιγίδας που ήταν η εσοχή της ροής (inflow notch).

Στη συνέχεια, μεταξύ 17:56UTC (Εικόνα 3.25.ζ) και 18:08UTC, η καταιγίδα, μετακινούμενη ανατολικά-νοτιοανατολικά, παρουσίασε μια νέα, ευδιάκριτη ενίσχυση στο νότιο τμήμα της, πιθανότατα λόγω έντονων ανοδικών κινήσεων. Αυτό έδωσε την δυνατότητα στην ήδη υπάρχουσα Υπερκυτταρική καταιγίδα να ενδυναμωθεί και το σύμπλεγμα τοξοειδούς ηχούς να μετατραπεί για λίγες χρονικές στιγμές σε μια κατηγορία (κατά Klimowski et al. 2004) τοξοειδούς ηχούς Γραμμής Λαίλαπας (squall

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

line bow echo, SLBE ή αλλιώς line echo wave pattern, LEWP), κατά την οποία παρατηρείται ενίσχυση του νότιου άκρου του τόξου καθώς και ύπαρξη πολλών τοξοειδών ηχών σε μια Γραμμή Λαίλαπας. Η ύπαρξη ενός τέτοιου σχηματισμού στο ραντάρ σημαίνει ότι ένα σειριακό derecho[3] έχει αναπτυχθεί ή αναμένεται να αναπτυχθεί σύντομα. Κατά τις επόμενες χρονικές καταγραφές η καταιγίδα, συνεχίζοντας την πορεία της προς τα νοτιοανατολικά, παρουσίασε μια εξασθένιση, όσον αφορά τις τιμές μέγιστης ανακλαστικότητας, μέχρι και την στιγμή που διέσχισε την Θερμαϊκό κόλπο (18:36UTC, Εικόνα 3.25.θ). Από εκεί και έπειτα, φάνηκε να ενισχύθηκε σημαντικά, αποκτώντας ξανά τον σχηματισμό μιας τοξοειδούς ηχούς Γραμμής Λαίλαπας (από τις 18:40UTC, Εικόνα 3.25.ι μέχρι και τις 18:48UTC, Εικόνα 3.25.λ) μέχρι να καταλήξει η Υπερκυτταρική καταιγίδα να ενοποιηθεί με την υπόλοιπη τοξοειδή ηχώ και να ισχυροποιηθεί, καταγράφοντας τιμές μέγιστης ανακλαστικότητας που έφταναν ακόμα και τα 70dBZ (μετά τις 19:00UTC) μαζί με την παρουσία πολύ έντονων ανέμων και δημιουργίας χαλαζιού. Αυτή η ισχυροποίηση της καταιγίδας, από τις 18:36UTC και έπειτα, έρχεται σε συμφωνία με τις δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου MSG-4 (που θα σχολιαστούν στην επόμενη υποενότητα- όπου μεταξύ 18:12UTC και 19:12UTC έχουμε την δημιουργία του χαρακτηριστικού σε σχήματος U/V στην κορυφή του άκμονά της μαζί με τις ενσωματωμένες θερμές περιοχές της και την υπερυψωμένη κορυφή) καθώς και με τα δεδομένα της συνοπτικής κατάστασης της ατμόσφαιρας.

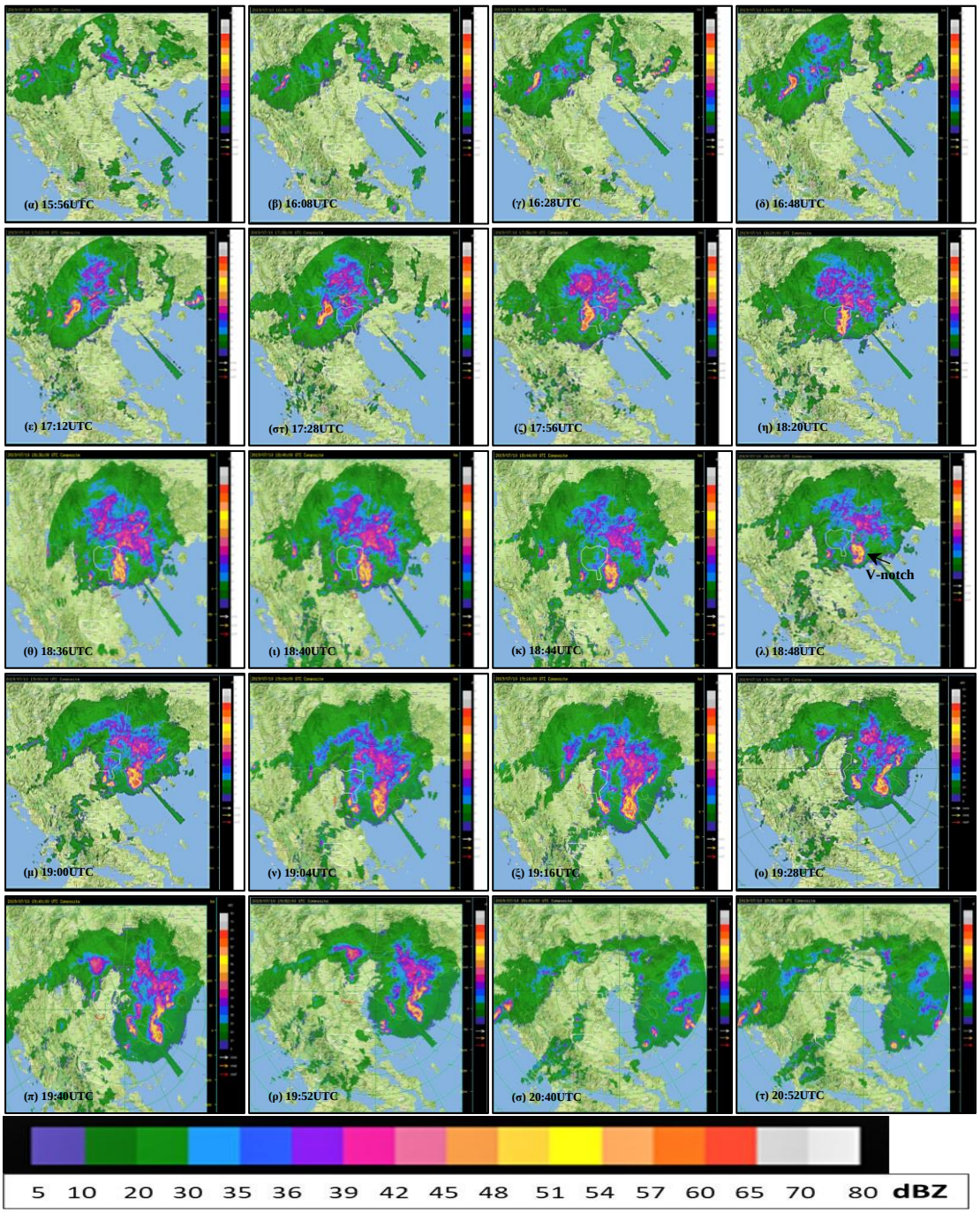
Η Υπερκυτταρική καταιγίδα, αξίζει να αναφερθεί πως κατά την διάρκεια της έντονης δραστηριότητάς της, μεταξύ 18:36UTC και 19:28UTC, εμφάνισε στο ραντάρ τη μορφή της V-εσοχής (V-notch) (το μαύρο βέλος στην Εικόνα 3.25.λ), η οποία χαρακτήριζε το προπορευόμενο άκρο του άκμονα που απομακρύνονταν από το κύριο καθοδικό ρεύμα. Συνεχίζοντας την κίνησή της προς τα νοτιοανατολικά και διασχίζοντας το καθένα άκρο ("πόδι") της χερσονήσου της Χαλκιδικής, προκάλεσε σοβαρότατες καταστροφές ιδιαίτερα στην ανατολική πλευρά της χερσονήσου της Κασσάνδρας, επιφέροντας ακόμα και τον θάνατο σε 7 ανθρώπους. Η διάρκειά ζωής του κυττάρου της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας υπολογίστηκε ότι ήταν περίπου 5-6 ώρες. Ωστόσο, μετά την διάλυσή της παρατηρήθηκε ότι συνεχίστηκε η γέννηση νέων κυττάρων περνώντας από την Θάσο, την Σαμοθράκη και την Λήμνο

[3] Με τον όρο αυτόν εννοείται μια ευρέως διαδεδομένη ανεμοκαταιγίδα που προκλήθηκε από ανέμους ευθείας γραμμής (Glossary of Meteorology 2019 – Ηλεκτρονικές Ιστοσελίδες).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

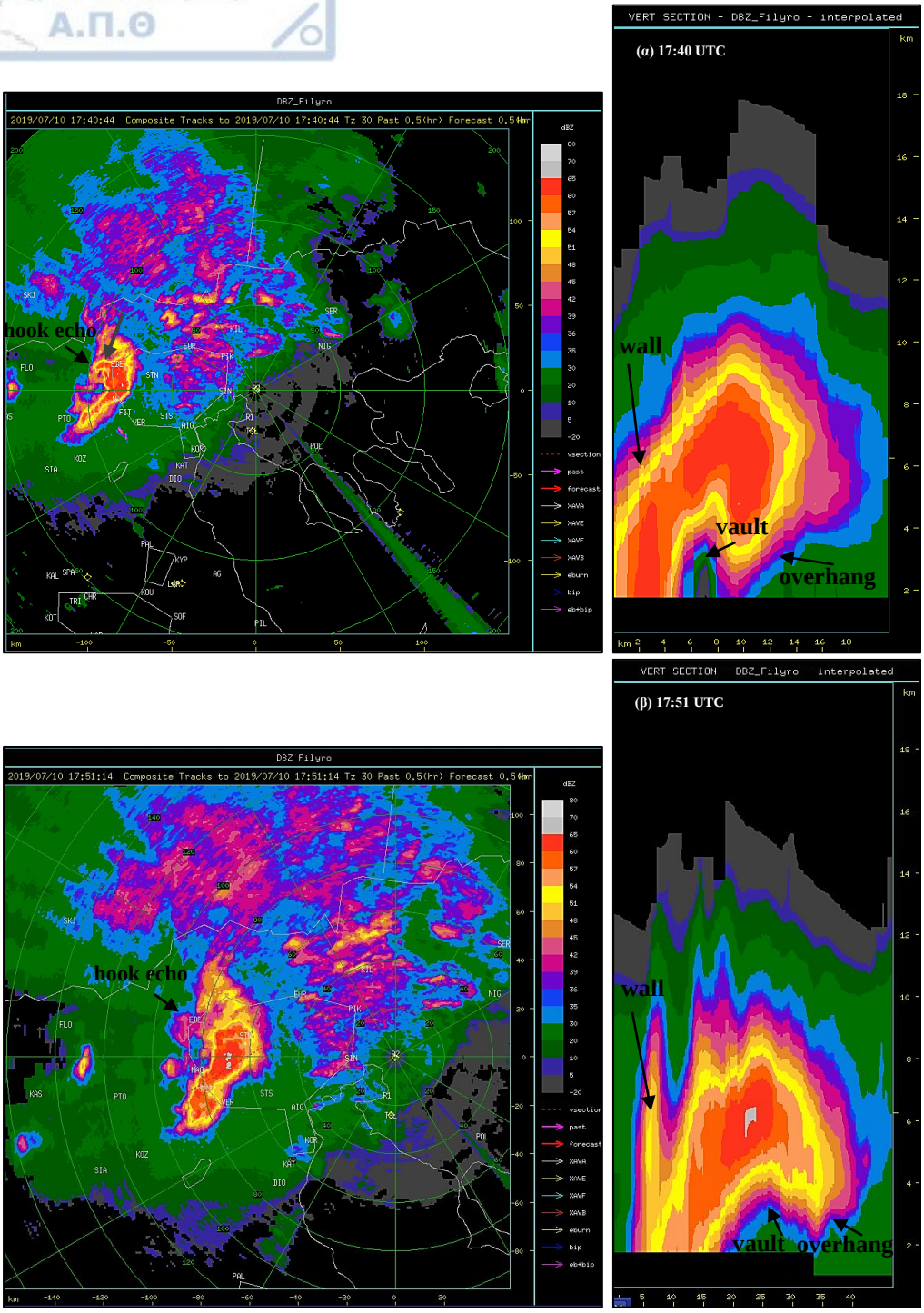
μέχρις ότου "πεθάνει" εξ ολοκλήρου το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (που δημιουργήθηκε στην Ιταλία) πέρα από τα παράλια της Μικράς Ασίας, τα ξημερώματα της 11ης Ιουλίου 2019.



Εικόνα 3.25. Εικόνες μέγιστης ανακλαστικότητας συνδυαστικά και από το ραντάρ του Φιλύρου Θεσσαλονίκης και του Λιόπρασου Τρικάλων, από τις (α) 15:56UTC έως τις (τ) 20:52UTC, όπου παρουσιάζεται η πορεία και η εξέλιξη της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας που επηρέασε την χερσόνησο της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019. Η χρωματική κλίμακα απεικονίζει την μέγιστη ένταση της ανακλαστικότητας της καταιγίδας σε dBZ. Το μαύρο βέλος δείχνει την μορφή V του άκμονα της καταιγίδας (V-notch).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Εικόνα 3.26. Απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών (με μαύρα βέλη) της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019, από τις καταγραφές του ραντάρ του Φιλύρου σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, στις (α) 17:40UTC και (β) 17:51UTC. Η χρωματική κλίμακα απεικονίζει την μέγιστη ένταση της ανακλαστικότητας της καταιγίδας σε dBZ. Το γκρι βέλος δείχνει τον πυρήνα της Υπερκυτταρικής καταιγίδας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΤΟΥ ΓΕΩΣΤΑΣΙΜΟΥ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ METEOSAT-11

Σε αυτή την υποενότητα, αναλύονται και περιγράφονται κυρίως τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά της Υπερκυτταρικής καταιγίδας που εκδηλώθηκε στις 10 Ιουλίου 2019, με την συμβολή δορυφορικών εικόνων από τον γεωστάσιμο δορυφόρο Meteosat-11. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται, σε συνδυασμό με τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά, η δομή της κορυφής του άκμονα του νέφους της καταιγίδας η οποία, όπως περιγράφηκε και παρακάτω, δικαιολογεί την εμφάνιση μιας ισχυρής καταιγίδας.

α. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 9 του θερμικού υπερύθρου - IR10.8μm

Στις παρακάτω ενισχυμένες χρωματικά δορυφορικές εικόνες του καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm), παρουσιάζονται η πορεία και τα στάδια εξέλιξης του καταιγιδοφόρου συστήματος που έπληξε την Χαλκιδική στις 10 Ιουλίου 2019 (περισσότερες δορυφορικές εικόνες βλέπε 8^{ο} Κεφάλαιο: Παράρτημα). Το κανάλι αυτό "εξειδικεύεται" στο να αποδώσει τη θερμοκρασία λαμπρότητας (BT) της κορυφής του νέφους, καθώς θεωρείται ως ένα πολύ αξιόπιστο εργαλείο εκτίμησης του ύψους της. Έτσι οι σκούρες αποχρώσεις του γκρι που αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες λαμπρότητας αναφέρονται σε χαμηλά ή μεσαία νέφη, ενώ οι ανοικτές αποχρώσεις που αντιστοιχούν σε χαμηλές θερμοκρασίες ανήκουν σε υψηλότερα νέφη. Λόγω του ότι καθίσταται δύσκολη η διάκριση των υψηλών νεφών, εξαιτίας του πάχους που μπορεί να παρουσιάζουν, έχει εφαρμοστεί χρωματική διαβάθμιση (ενίσχυση) κυρίως για τις θερμοκρασίες νεφικών κορυφών που είναι ≤ - 43°C.

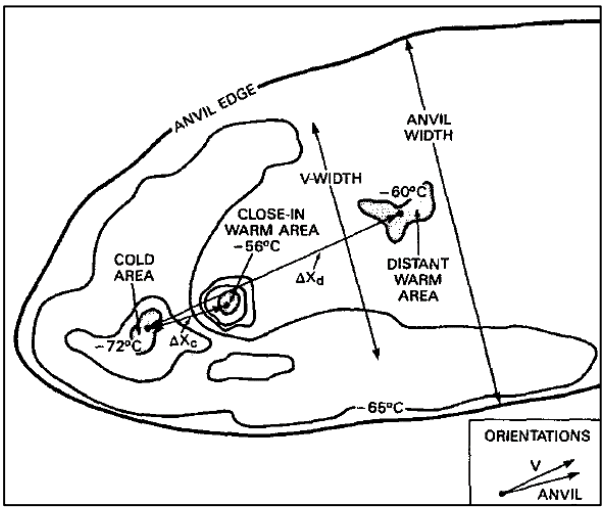
Εκτός από αυτή την λειτουργία, το κανάλι, με τη δυνατότητα της χρωματικής ενίσχυσης, μπορεί να παρουσιάσει αποτελεσματικά τη βασική δομή της κορυφής του νέφους (όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.27), η οποία απαρτίζεται από την υπερυψωμένη κορυφή (overshooting top) της ψυχρής περιοχής (cold area, CA) και το χαρακτηριστικό σχήμα ψυχρού U/V ή ψυχρού δακτυλίου με τις ενσωματωμένες θερμές περιοχές της (the cold U/V or cold ring shaped feature with their embedded warm areas), που είναι η κοντινή θερμή περιοχή η οποία σχηματίζεται στην υπήνεμη πλευρά της υπερυψωμένης κορυφής (close-in warm area, CWA) και η απομακρυσμένη θερμή

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

περιοχή η οποία σχηματίζεται ακόμα πιο υπήνεμα της κορυφής (distant warm area, DWA) (όπως έχουν διατυπώσει στις έρευνές τους οι Negri 1982, Fujita 1982, McCann 1983, Heymsfield et al. 1983a και Heymsfield et al. 1983b, Schlesinger 1984 και Schlesinger 1988, Adler et al. 1985, Adler & Mack 1986, Heymsfield & Blackmer 1988, and Heymsfield et al. 1991).

Οι ενσωματωμένες θερμές περιοχές της κορυφής δημιουργούνται όταν υπάρχουν νέφη σημαντικά μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης, εμφανίζονται στην περιοχή όπου επικρατούν μέσα στο νέφος οι καθοδικές κινήσεις και γενικά είναι ευθυγραμμισμένες κατά μήκος μιας γραμμής που ορίζεται υπήνεμα από την υπερυψωμένη κορυφή του νέφους. Αυτά τα χαρακτηριστικά της δομής της νεφικής ασπίδας του άκμονα θεωρούνται ότι συνδέονται άμεσα με την εμφάνιση ισχυρής καταιγίδας (McCann 1983, Adler et al. 1985) καθώς εμφανίζονται το χρονικό διάστημα που η καταιγίδα βρίσκεται στο μέγιστο της εκδήλωσής της και, τυπικά, βάση των δορυφορικών εικόνων του MSG, η διάρκεια ζωής τους συνήθως κυμαίνεται από δύο έως τρεις 15λεπτες σαρώσεις του γεωστάσιμου δορυφόρου (δηλαδή 30-45 λεπτά) (Setvák et al. 2010) Ακόμα σύμφωνα με τους Heymsfield και Blackmer (1988), ο έντονος καιρός και το χαρακτηριστικό σχήματος U/V αποδεικνύεται να συνδέονται άρρηκτα μεταξύ τους, επειδή και τα δύο συσχετίζονται με έντονες ανοδικές κινήσεις και μεγάλο διατμητικό τροποσφαιρικό άνεμο, παρόλο που το πρώτο έχει ιδιαίτερα έντονη διάτμηση στα χαμηλά με μεσαία επίπεδα ενώ το δεύτερο σχετίζεται με έντονη διάτμηση στο τροποσφαιρικό επίπεδο.



Εικόνα 3.27. Απεικόνιση της ορολογίας των χαρακτηριστικών της βασικής δομής της κορυφής του άκμονα του νέφους. Τα ΔX_c και ΔX_d είναι τα ΔX (κοντινή) ΔX (απομακρυσμένη), αντίστοιχα (Πηγή: Heymsfield & Blackmer 1988).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ο αρχικός νεφικός σχηματισμός του καταιγιδοφόρου συστήματος ξεκίνησε από την κεντρο-νότια Ιταλία, περίπου στις 09:30UTC (η εικόνα παραλείπεται-βλέπε υποενότητα 3.9.β). Η δημιουργία έγινε από δυο μεμονωμένες καταιγίδες μικρής οριζόντιας χωρικής έκτασης (βλέπε υποενότητα 3.9.β). Αυτές, αφού αναπτύχθηκαν παράλληλα σε Πολυκυτταρικές καταιγίδες (με ανατολική-νοτιοανατολική κατεύθυνση προς την Αδριατική θάλασσα μέχρι και τις 11:00UTC περίπου), στη συνέχεια ενοποίησαν τις νεφικές ασπίδες τους (Εικόνα 3.28.α), αύξησαν την οριζόντια χωρική έκτασής τους (> 90km) ενώ ανέπτυσσαν συνεχώς νέα κύτταρα. Τελικά, η (ενιαία) Πολυκυτταρική εξελίχθηκε σε ένα καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (MCS), μεταξύ 11:00UTC και 12:00UTC, του οποίου η νεφική ασπίδα του άκμονά του κατέγραψε θερμοκρασίες λαμπρότητας περίπου έως και -65°C, έχοντας ένα επίμηκες σχήμα (> 120km), που υποδηλώνει την καθ' ύψος παρουσία ισχυρού διατμητικού ανέμου. Για μεγάλο χρονικό διάστημα αυτό το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας αναπτυσσόταν σε οριζόντια και κατακόρυφη έκταση (εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που εμφάνισε στο ενισχυμένο χρωματικά κανάλι 9 του θερμικού υπερύθρου-βλέπε 8ο Κεφάλαιο: Παράρτημα), δημιουργώντας νέους πυρήνες καταιγίδας (βλέπε 8ο Κεφάλαιο: Παράρτημα).

Γενικότερα, η πορεία και η εντυπωσιακή ανάπτυξη του καταιγιδοφόρου συστήματος, από την ώρα της "γέννησης" έως την ώρα που "πεθαίνει" τη συγκεκριμένη ημέρα, οφείλεται, κυρίως, στο ζωνικά διατεταγμένο και αργά κινούμενο μέτωπο της επιφανείας (όπως διατυπώθηκε και στους συνοπτικούς χάρτες επιφανείας), καθώς κατά μήκος αυτού δημιουργήθηκε και εξελίχθηκε το νεφικό σύστημα. Συνεχίζοντας την ανάπτυξή του, κινούμενο ανατολικά-νοτιοανατολικά, διέσχισε την Αδριατική θάλασσα και πέρασε στην Αλβανία (Εικόνα 3.28.β και Εικόνα 3.28.γ). Εκεί θεωρείται πως δημιουργήθηκε το κύτταρο της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας πιθανότατα μαζί με τα υπόλοιπα κύτταρα της καταιγίδας ευθείας γραμμής, όπως διατυπώθηκε και στην υποενότητα του ραντάρ. Έπειτα εισήλθε στον Ελλαδικό χώρο από την περιοχή των Πρεσπών (Εικόνα 3.28.δ), μεταξύ 16:00UTC και 17:00UTC, διατηρώντας τη μεγάλη οριζόντια και κατακόρυφη έκτασή του.

Από τις 18:12UTC (Εικόνα 3.28.ε), που το νεφικό σύστημα προχωρούσε από την περιοχή του Βερμίου και των Πιερίων στην κοιλάδα της Ημαθίας και Πέλλας και είχε ήδη εμφανίσει χαρακτηριστικά Υπερκυτταρικής καταιγίδας (όπως είδαμε στην υποενότητα του ραντάρ), φαίνεται ότι άρχισε να δημιουργείται πάνω από τον άκμονα της καταιγίδας το χαρακτηριστικό σε σχήματος ψυχρού U/V μαζί με τις

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ενσωματωμένες θερμές περιοχές του, και την υπερυψωμένη κορυφή της καταιγίδας να δεσπόζει στην ψυχρή περιοχή του σχήματος που είναι η κορυφή αυτού. Το σχήμα αυτό οφείλεται στους ισχυρούς ανέμους που επικρατούσαν στα μεγάλα ύψη της ατμόσφαιρας και στις έντονες ανοδικές κινήσεις, καθώς συνέβαλαν στην γρήγορη οριζόντια εξάπλωση των υψηλών νεφών Cirrus της νεφικής ασπίδας. Ειδικότερα, αυτό που είναι αξιοσημείωτο, είναι οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λαμπρότητας που απέκτησε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα φτάνοντας ακόμα και τους -70°C, στις 19:12UTC (Εικόνα 3.28.θ), κάτι το οποίο φανερώνει ότι η κορυφή του νέφους (η υπερυψωμένη κορυφή που ανήκει στην ψυχρή περιοχή του άκμονα και είναι οι μπλε βούλες στις Εικόνες 3.28.ε έως 3.28.κ) λόγω πολύ έντονης ανοδικής κίνησης έφτασε το ύψος της τροπόπαυσης, προσεγγίζοντας ακόμα και την στρατόσφαιρα (αυτό θα εξεταστεί σε παρακάτω υποενότητα).

Διασχίζοντας τον Θερμαϊκό κόλπο, κατά τις 18:27UTC (Εικόνα 3.28.στ), η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα εμπλουτίστηκε με αρκετή υγρασία και λόγω της μετωπικής ύφεσης στην στάθμη των 850hPa και των πολύ ισχυρών ανέμων που καταγράφηκαν (η Υπερκυτταρική ήταν ενσωματωμένη σε μια Γραμμή Λαίλαπας-όπως παρουσιάστηκε στην υποενότητα του ραντάρ), είχε σαν συνέπεια να ισχυροποιηθεί ο πυρήνας της καταιγίδας δημιουργώντας την δομή του χαρακτηριστικού σχήματος ψυχρού U/V, που προαναφέρθηκε, με μια μοναδική υπερυψωμένη κορυφή στον άκμονα της Υπερκυτταρικής καταιγίδας.

Κατά το χρονικό διάστημα από τις 18:27UTC-19:12UTC, που ισχυροποιήθηκε η Υπερκυτταρική καταιγίδα σχηματίστηκε η χαρακτηριστική δομή, πάνω από την χερσόνησο της Χαλκιδικής, με την ψυχρή περιοχή να εσωκλείει την υπερυψωμένη κορυφή και να ακολουθεί διατεταγμένα το "ζευγάρι" της κοντινής και απομακρυσμένης θερμής περιοχής (Εικόνες 3.28.ζ, 3.28.η, 3.28.θ), σημειώνοντας οι περιοχές αυτές, προσεγγιστικά, τις θερμοκρασίες -53°C με -54°C και -48°C με -50°C, αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το διάστημα αυτό, η υπερυψωμένη κορυφή (πυρήνας καταιγίδας) της Υπερκυτταρικής καταιγίδας βρίσκονταν κατά μήκος δυτικά της Θεσσαλονίκης - βορειοδυτικά των ακτών της χερσονήσου της Χαλκιδικής - και τέλος, βόρεια της χερσονήσου της Σιθωνίας, γεγονός που πιθανότατα να εξηγεί τον λόγο που συνέβησαν εκεί τα σοβαρά γεγονότα και σημειώθηκαν οι 7 θάνατοι των ανθρώπων. Ακόμα, αυτή η δομή κάλυπτε μια αρκετά μεγάλη οριζόντια διάμετρο της τάξης των 160km, ξεπερνώντας οι ριπές του ανέμου τα 130km/hr (από καταγραφές μετεωρολογικών σταθμών του Ε.Α.Α.) και οι εντάσεις βροχόπτωσης τα 48mm/hr (από

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

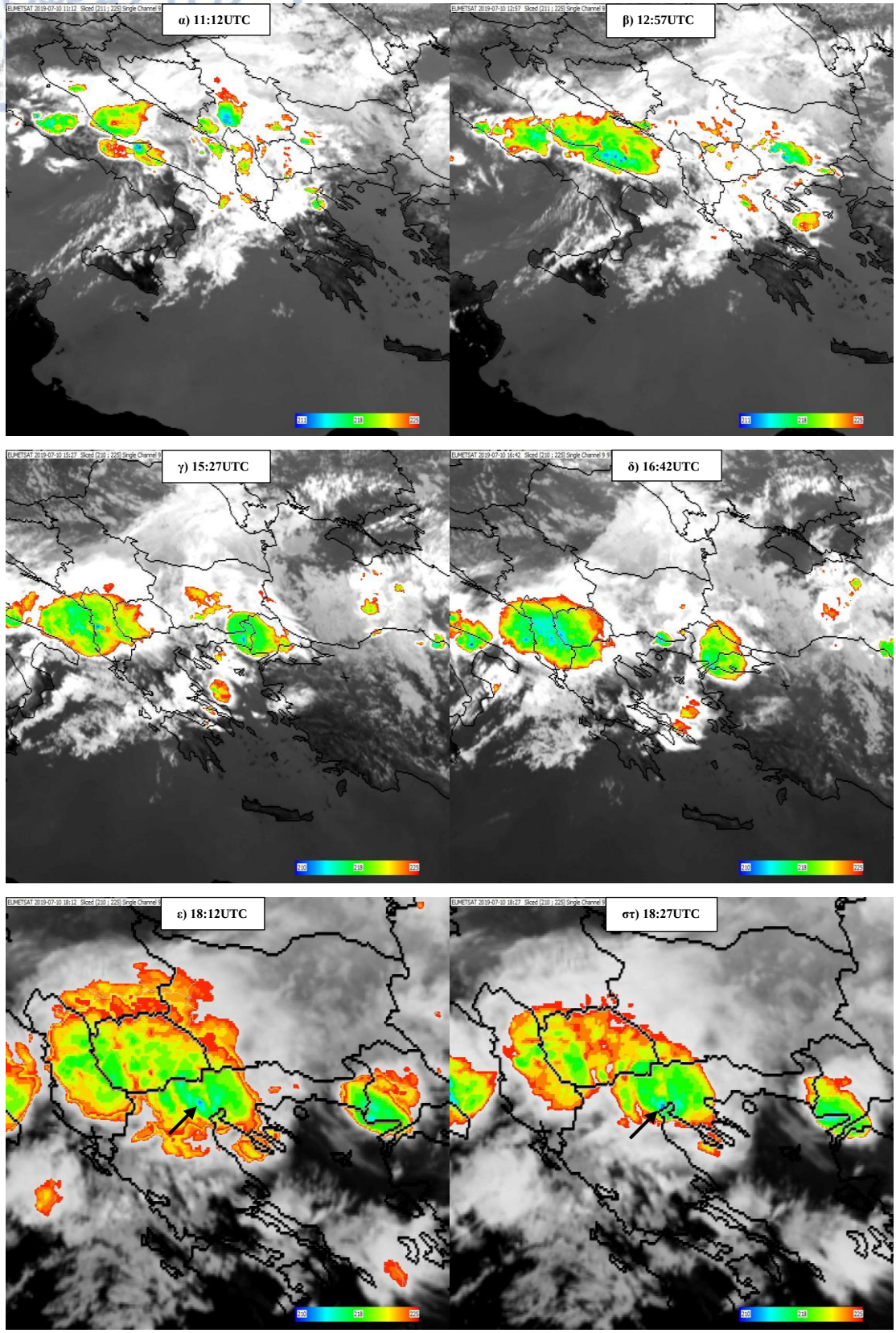
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

GPM δεδομένα). Λόγω της παρουσίας αυτής της δομής, η οποία όταν σχηματίζεται δικαιολογεί την εμφάνιση μιας πολύ έντονης καταιγίδας, είχε σαν αποτέλεσμα να προκληθούν οι τεράστιες καταστροφές στις περιουσίες των ανθρώπων, στο οδικό και ηλεκτρολογικό (ΔΕΗ) δίκτυο καθώς και οι 7 θάνατοι.

Ο πυρήνας της Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 19:27UTC (Εικόνα 3.28.ι), βρισκόταν βόρεια του κόλπου του Αγίου Όρους (διακρίνεται ελάχιστα) και από τις 19:42UTC (Εικόνα 3.28.κ) κατευθύνονταν προς την χερσόνησο του Άθου. Από τις 20:00UTC είχε ξεκινήσει η αποδυνάμωση της Υπερκυτταρικής καταιγίδας μέχρι να "πεθάνει" περίπου στις 21:00UTC, νότια της χερσονήσου του Άθου. Ωστόσο νέα κύτταρα ανέλαβαν την "σκυτάλη" συνέχισης και ανάπτυξης του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας ξεκινώντας από την ευρύτερη περιοχή της Θάσου, περίπου μετά τις 19:27UTC (Εικόνα 3.28.ι), και συνεχίζοντας κατά μήκος της Σαμοθράκης και της Λήμνου (Εικόνα 3.28.λ), έως ότου "εξαφανιστεί" εξ ολοκλήρου πέρα από τα παράλια της Μικράς Ασίας, περίπου στις 03:00UTC (Εικόνα 3.28.ξ). Επομένως, με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τις εικόνες του ραντάρ (από την υποενότητα 3.8) το κύτταρο της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας είχε περίπου 5-6 ώρες διάρκεια ζωής (περίπου από 15-16:00UTC έως τις 21:00UTC).

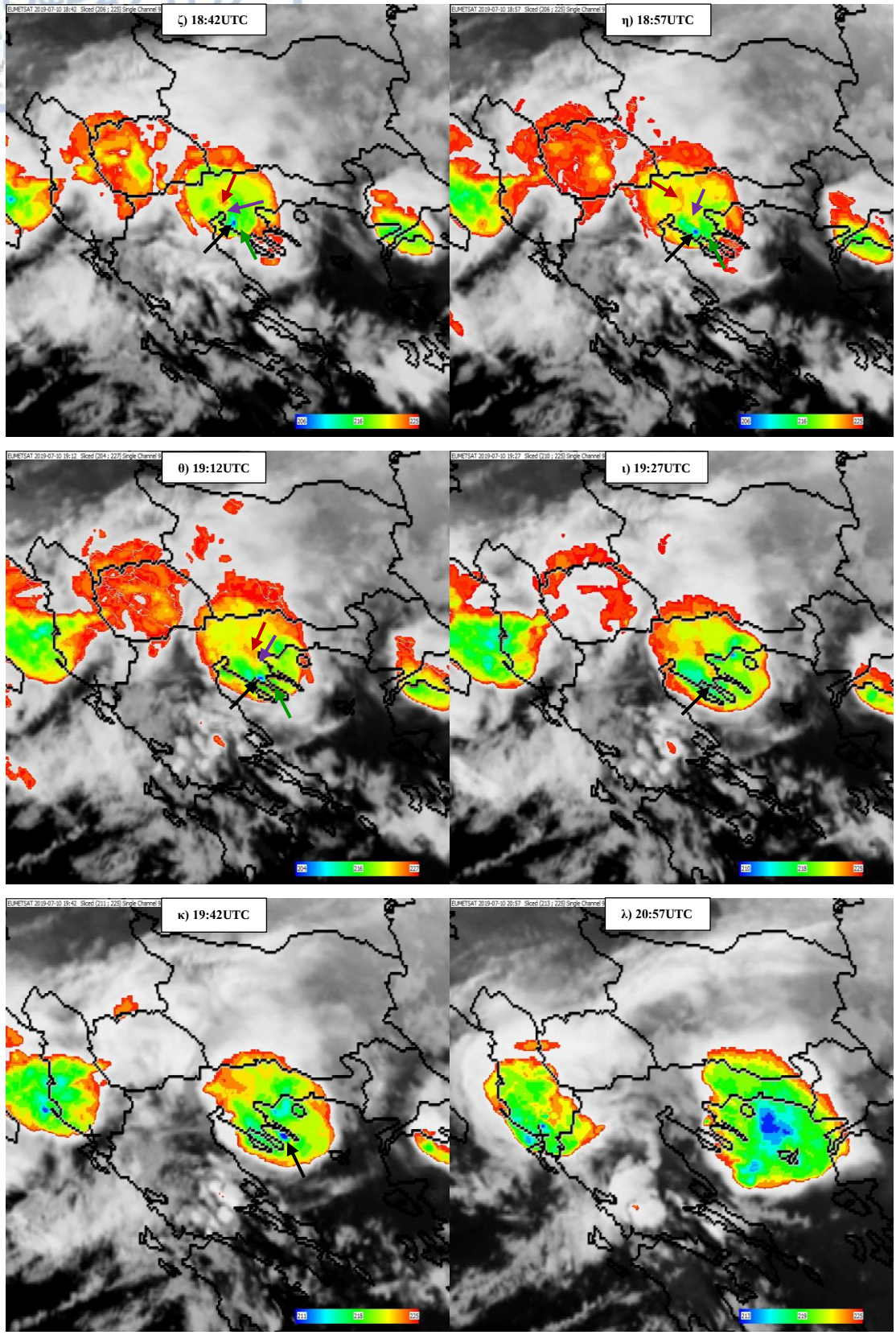
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



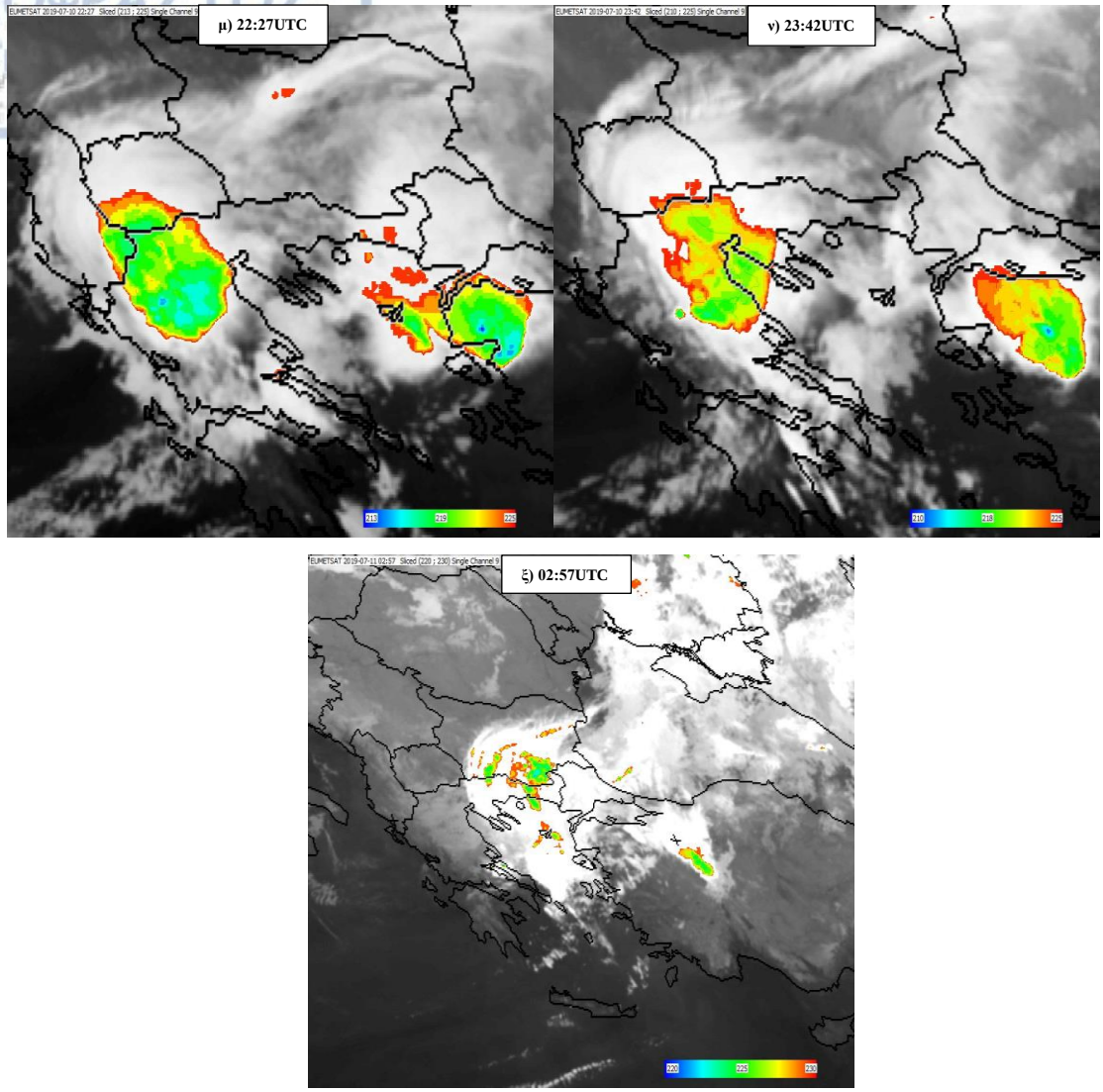
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.28. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 στο κανάλι 9 (IR10.8) του θερμικού υπερύθρου με ενισχυμένη χρωματική διαβάθμιση που είναι ≤ - 43°C, όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης του καταιγιδοφόρου συστήματος, στις 10 Ιουλίου 2019. Η χρωματική κλίμακα σε κάθε εικόνα αντιπροσωπεύει τις θερμοκρασίες λαμπρότητας της κορυφής των νεφών σε βαθμούς Kelvin. Τα μαύρα βέλη απεικονίζουν την υπερυψωμένη κορυφή (πυρήνα), τα πράσινα το ψυχρό χαρακτηριστικό σχήματος U/V, τα μωβ την κοντινή θερμή περιοχή (CWA) και τα κόκκινα την απομακρυσμένη θερμή περιοχή (DWA) της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας.

β. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 12 του ορατού υψηλής ανάλυσης – HRV

Στις ακόλουθες δορυφορικές εικόνες του ορατού υψηλής ανάλυσης (HRV) διακρίνεται η "γέννηση" και η πορεία του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας (όπως διατυπώθηκε και στην υποενότητα 3.9.α) μέχρι να περάσει στον

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ελλαδικό χώρο και να εξελιχθεί σε Υπερκυτταρική καταιγίδα, στις 10 Ιουλίου 2019 (για περισσότερες εικόνες βλέπε 8ο Κεφάλαιο: Παράρτημα). Επίσης, περιγράφονται και τα χαρακτηριστικά της κορυφής του νέφους που είναι δυνατόν να αναγνωριστούν από το φάσμα του ορατού υψηλής ανάλυσης.

Το κανάλι αυτό, όπως και τα υπόλοιπα κανάλια του ορατού φάσματος, είναι ικανό να αποδώσει τιμές (ποσοστά) ανακλαστικότητας (R) των νεφών, λαμβάνοντας υπόψιν τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ανακλαστικότητα και οι οποίοι είναι: κυρίως το οπτικό πάχος των νεφών και το περιεχόμενο τους σε νερό, και δευτερευόντως το μέγεθος των υδροσταγονιδίων και η σύσταση του νέφους (Καρτάλης & Φείδας 2006). Επιπροσθέτως, με την δυνατότητα της υψηλής χωρικής ανάλυσης, το κανάλι 12 (HRV) μπορεί να προσφέρει μια καλύτερη εικόνα των χαρακτηριστικών του καταιγιδοφόρου συστήματος. Ωστόσο, λόγω του ότι οι δορυφορικές λήψεις στο ορατό φάσμα απαιτούν την παρουσία ηλιακού φωτός, δεν είναι εφικτό να περιγραφούν οι εικόνες κατά τη διάρκεια εμφάνισης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας.

Αρχικά, (περίπου) στις 09:27UTC (Εικόνα 3.29.α) φαίνεται να δημιουργήθηκε το κύτταρο του (αρχικού) νεφικού σχηματισμού στην κεντρονότια Ιταλία. Παράλληλα, με αυτό "γεννήθηκε", όπως διακρίνεται, και ένα δεύτερο γειτονικό κύτταρο καταιγίδας, προσεγγιστικά την ίδια χρονική στιγμή (κόκκινος διακεκομμένος κύκλος, Εικόνα 3.29.α). Από εκεί και έπειτα παρατηρείται μια "συγχρονισμένη" κίνηση των δυο αυτών Πολυκυτταρικών (λόγω της έκτασης και της διάρκειάς τους) καταιγίδων με ανατολική-νοτιοανατολική κατεύθυνση προς την Αδριατική θάλασσα μέχρι και τις 11:00UTC (περίπου) (Εικόνα 3.29.ζ). Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν νέοι πυρήνες κυττάρων έμπροσθεν των δυο Πολυκυτταρικών καταιγίδων (Εικόνα 3.29.η) μέχρι που υπήρξε ενοποίηση των νεφικών ασπίδων τους και αυτός ο νεφικός σχηματισμός εξελίχθηκε σε μια ενιαία Πολυκυτταρική καταιγίδα, σημειώνοντας αύξηση της οριζόντιας χωρικής έκτασής της (> 90km). Αυτή η Πολυκυτταρική καταιγίδα συνέχιζε να αναπτύσσεται (κατά μήκος της πορείας της) και να καλύπτει όλο και μεγαλύτερη έκταση, μεταξύ 11:00UTC και 12:00UTC, μέχρι που εξελίχθηκε σε καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (MCS) με > 120km οριζόντια χωρική έκταση (Εικόνα 3.29.κ).

Στο μεταξύ, διασχίζοντας την Αδριατική θάλασσα τις επόμενες χρονικές στιγμές, περίπου μέχρι και τις 15:00UTC, παρατηρείται στις δορυφορικές λήψεις ότι το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας όλο και περισσότερο αναπτυσσόταν τόσο οριζόντια με νέα κύτταρα και συγχωνεύσεις γειτονικών κυττάρων (έμπροσθεν αυτής), όσο και κατακόρυφα (εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που εμφάνισε στο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

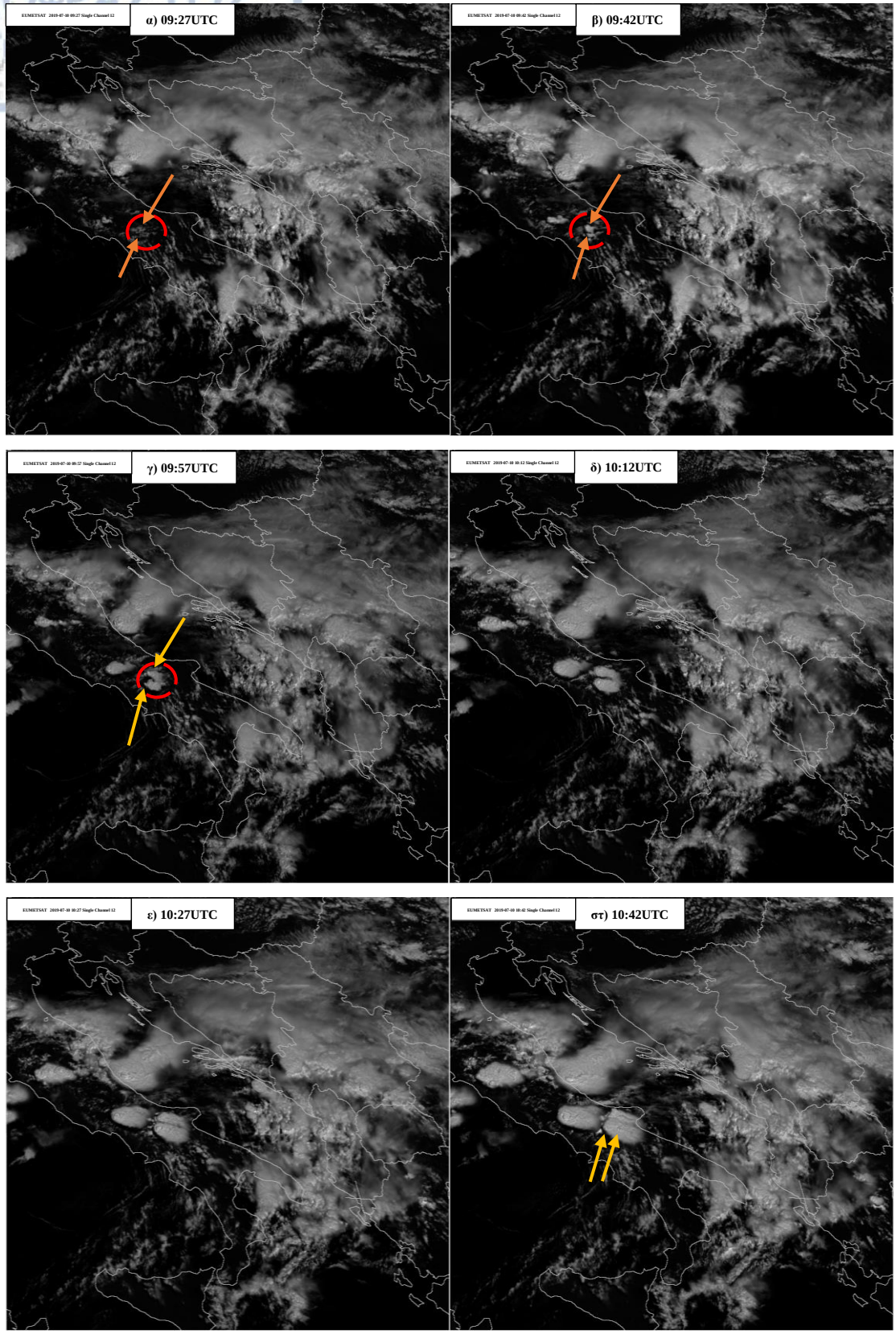
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ενισχυμένο χρωματικά κανάλι 9 του θερμικού υπερύθρου-βλέπε υποενότητα 3.9.α). Μετά τις 15:00UTC το καταιγιδοφόρο σύστημα πέρασε στην Αλβανία, όπου εκεί φαίνεται πως δημιουργήθηκε το κύτταρο της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας (πιθανότατα μαζί με τα υπόλοιπα κύτταρα της καταιγίδας ευθείας γραμμής, όπως διατυπώθηκε και στην υποενότητα του ραντάρ). Τέλος εισήλθε στον Ελλαδικό χώρο από την περιοχή των Πρεσπών (Εικόνα 3.29.δ), μεταξύ 16:00UTC και 17:00UTC, διατηρώντας τη μεγάλη οριζόντια (> 270km) και κατακόρυφη έκτασή του.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως πέρα από την εξέλιξη και πορεία που είχε το καταιγιδοφόρο σύστημα, καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξής του εμφάνισε χαρακτηριστικά τα οποία είναι δυνατό να αναγνωριστούν από το κανάλι 12 του ορατού υψηλής ευκρίνειας. Γενικότερα, επειδή τα νέφη που αναπτύχθηκαν, αποτελούσαν κορυφές υψηλών νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης, εξαιτίας του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας, (οπότε με μεγάλο οπτικό πάχος και περιεχόμενο σε νερό και πάγο), καταγράφηκαν μεγάλα ποσοστά ανακλαστικότητας (~ 90%) για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι έντονες ανοδικές κινήσεις γίνονται αντιληπτές από τις υπερυψωμένες κορυφές που σχηματίζονταν συνεχώς στις κορυφές των ακμόνων των νεφών. Αυτές οι κορυφές, όπως διακρίνονται στις περισσότερες εικόνες, είχαν την δυνατότητα να παραγάγουν κύματα βαρύτητας, αποδεικνύοντας έτσι την ένταση και τις ταλαντώσεις των συνεχών ανοδικών ρευμάτων (ιδιαίτερα μετά τη δημιουργία του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας). Τέλος, στην υπήνεμη πλευρά αυτών των κορυφών και πάνω από την περιοχή των νεφικών ακμόνων τους σχηματίζονταν, επίσης, τα αποτελούμενα από τα λεπτά νέφη Cirrus, "λοφία" του άκμονα (anvil ice plumes), τα οποία υποδήλωναν όχι μόνο την ανατολική-νοτιοανατολική κατεύθυνση του ανέμου αλλά και αποτελούσαν σημαντικό δείκτη εκδήλωσης πολύ έντονου καιρού, κάτι το οποίο διακρίνεται κατά την διάρκεια εντατικοποίησης του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας, ιδιαίτερα μετά τη 13:00UTC.

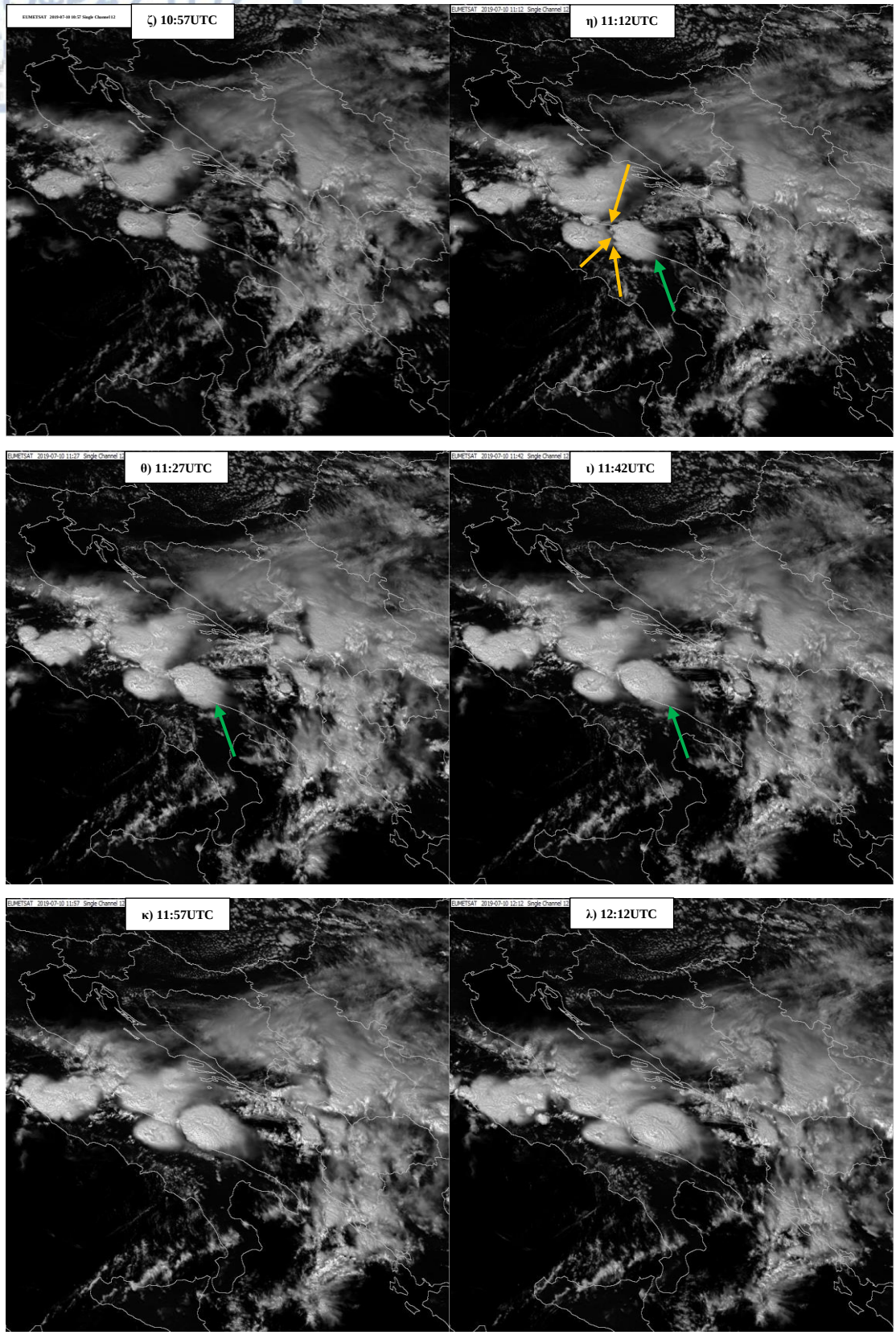
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



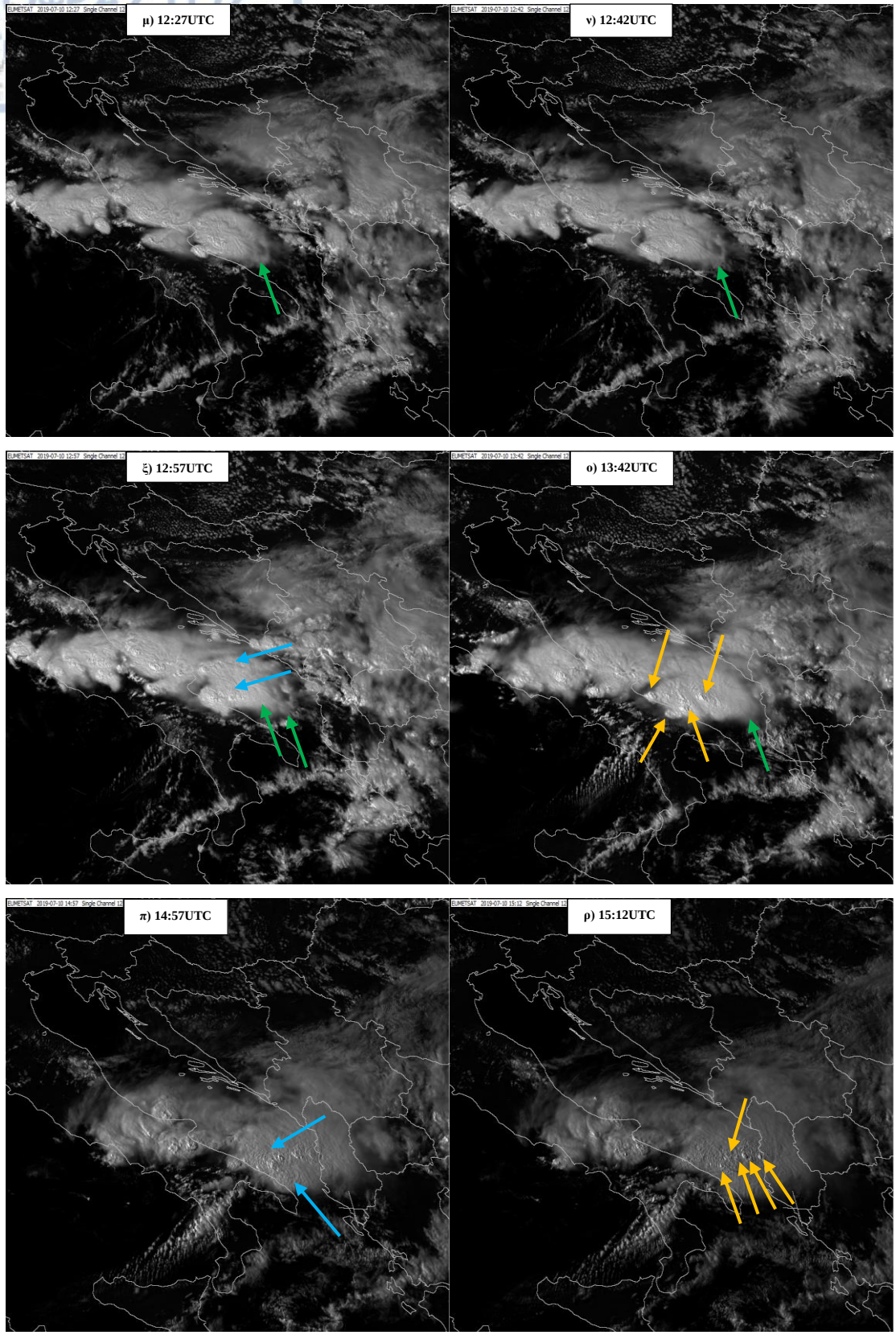
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



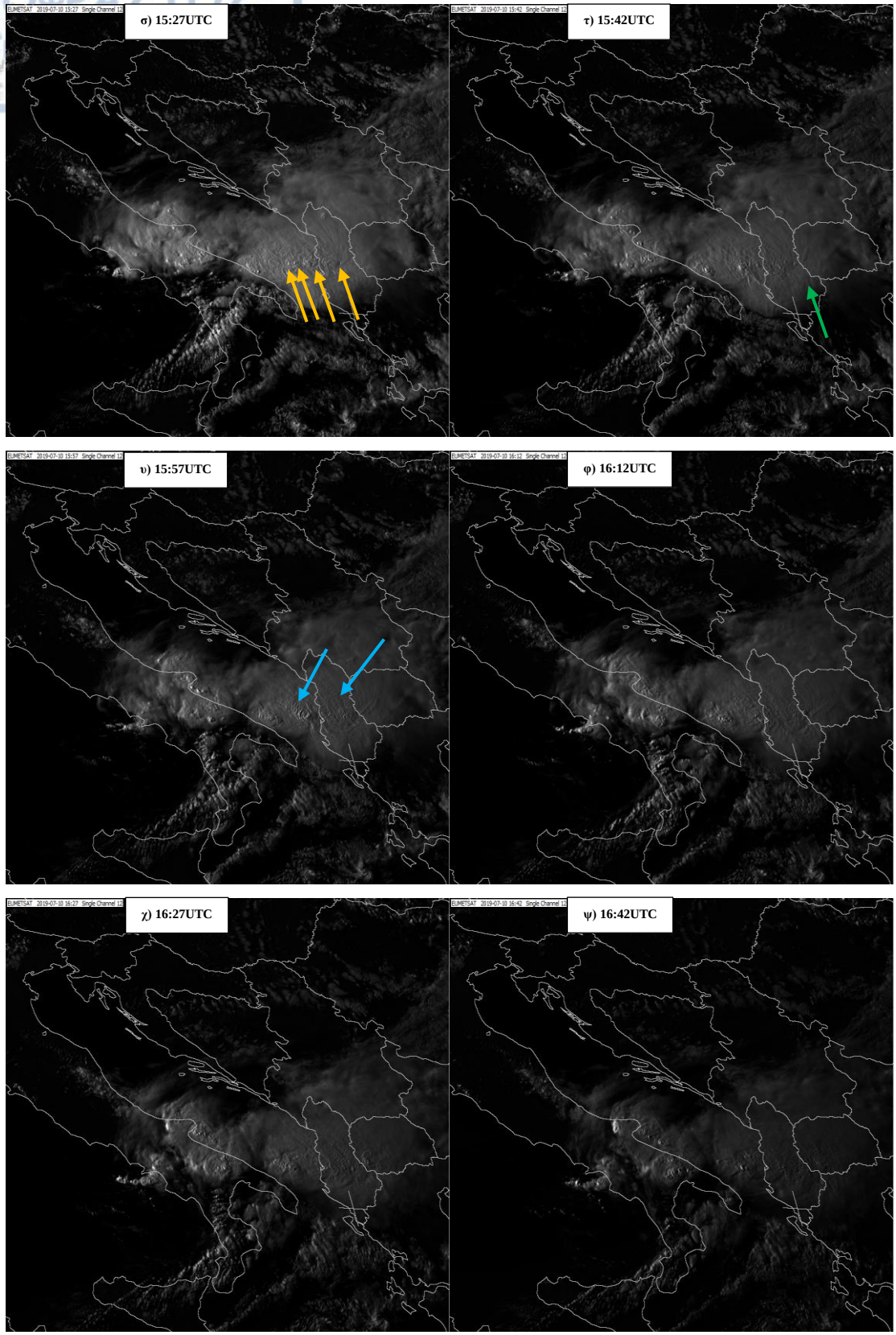
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.29. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 στο κανάλι 12 (HRV) του ορατού υψηλής ανάλυσης, όπου αποτυπώνονται η "γέννηση" και οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας κατά, τη διάρκεια της ημέρας που εκπέμπεται το ηλιακό φως, στις 10 Ιουλίου 2019. Ο κόκκινος διακεκομμένος

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

κύκλος μαζί με τα πορτοκαλί βέλη απεικονίζουν τα αρχικά κύτταρα της καταιγίδας. Τα κίτρινα βέλη απεικονίζουν τις υπερυψωμένες κορυφές (πυρήνες), τα μπλε τα κύματα βαρύτητας και τα πράσινα τα αποτελούμενα από τα λεπτά νέφη Cirrus "λοφία" του άκμονα του καταιγιδοφόρου συστήματος σε διάφορες χρονικές στιγμές.

γ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών

Η ανάλυση των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια (5 & 6) των υδρατμών βασίζεται στην κατανομή των υδρατμών στο στρώμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται περίπου από τα 550hPa έως τα 350hPa, καθώς επίσης και στην αναγνώριση σημαντικών δυναμικών δομών και συνοπτικών διαδικασιών. Η ερμηνεία της παρουσίας υγρασίας σε αυτά τα κανάλια γίνεται ακολουθώντας την ίδια σύμβαση με αυτή που ισχύει στα κανάλια του υπερύθρου. Αυτό σημαίνει πως η υψηλή υγρασία στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα θα εμφανίζεται με ανοικτούς τόνους του γκρι (αφού ισχύει η ίδια σύμβαση με τις εικόνες του υπερύθρου δηλαδή χαμηλή θερμοκρασία λαμπρότητας ⇒ ανοικτοί τόνοι του γκρι), ενώ η χαμηλή υγρασία θα απεικονίζεται με σκούρους τόνους του γκρι (δηλαδή υψηλή θερμοκρασία λαμπρότητας ⇒ σκούροι τόνοι του γκρι) (Καρτάλης & Φείδας 2006).

γ1. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 5 των υδρατμών – WV6.2μm

Στις παρακάτω δορυφορικές εικόνες του καναλιού 5 των υδρατμών (WV6.2μm), μελετάται η παρουσία υγρασίας στα ανώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας, όπου υπάρχει μεγαλύτερη απορρόφηση της ακτινοβολίας από αυτό το κανάλι, για τις σημαντικότερες χρονικές φάσεις της καταιγίδας της 10^{ης} Ιουλίου 2019.

Αυτό που διακρίνονταν σε όλες τις χρονικές στιγμές, από τις 18:12UTC έως τις 20:57UTC, δηλαδή από την στιγμή που η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα πλησίαζε την χερσόνησο της Χαλκιδικής έως τη στιγμή που αποδυναμώθηκε, τελείως, νότια της χερσονήσου του Άθου, ήταν η παρουσία πολύ υψηλής υγρασίας (πολύ ανοικτοί τόνοι του γκρι). Αυτή η έντονη παρουσία υγρασίας έρχεται σε συμφωνία με τη θέση του χαμηλού στα 850hPa και του αυλώνα στα 500hPa, καθώς αναπτύσσονταν έμπροσθεν αυτών (βλέπε υποενότητα 3.2), οπότε και με τη θέση εκδήλωσης της καταιγίδας.

Κατά τη διάρκεια 18:12UTC έως και 20:57UTC (από Εικόνα 3.30.α έως και Εικόνα 3.30.η), βόρεια της υψηλής υγρασίας, μεταξύ των χωρών Ουγγαρίας-Σερβίας-Ρουμανίας-Μολδαβίας-Ουκρανίας, απεικονίζονται οι κλάδοι του πολικού

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

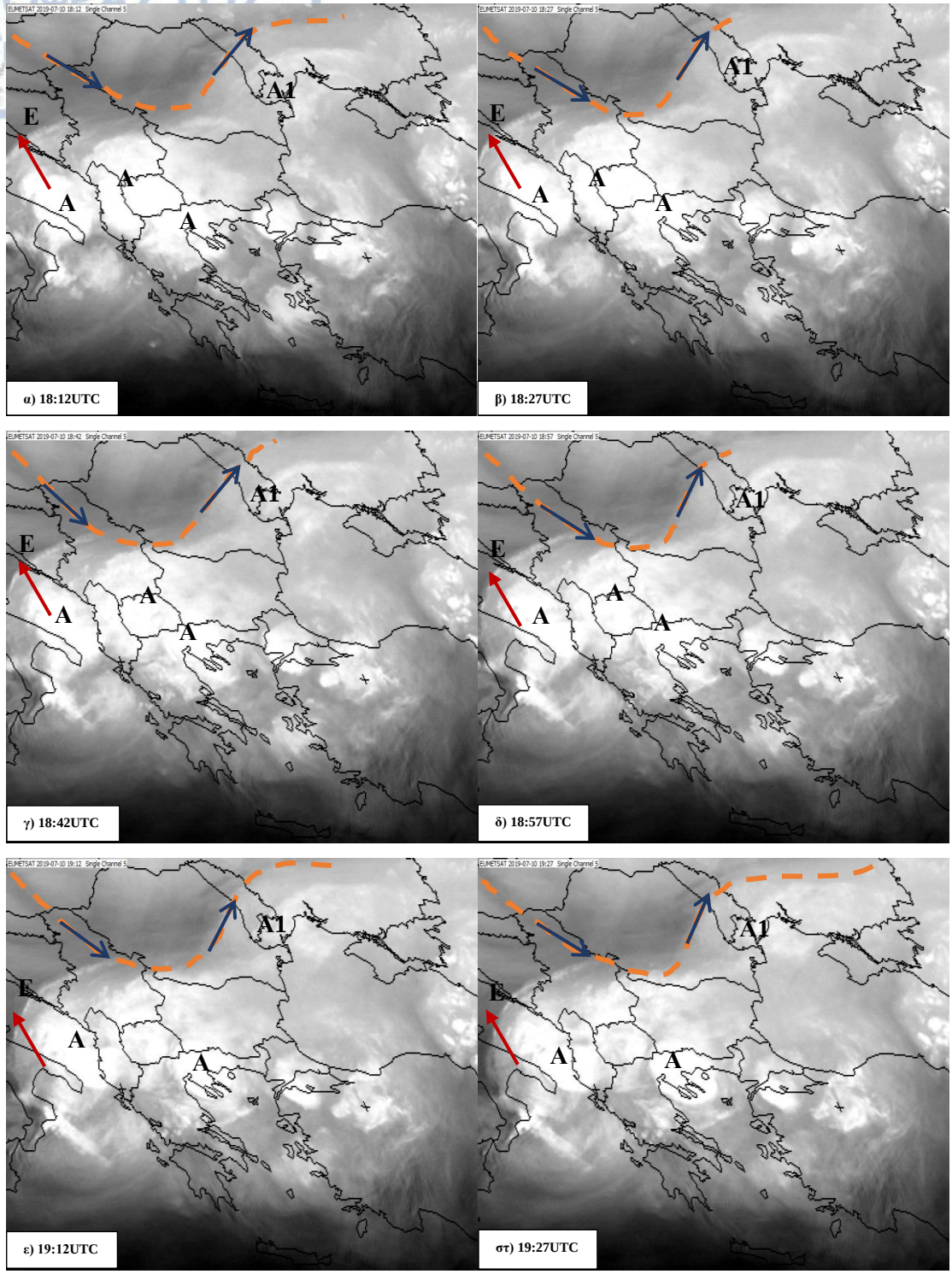
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

αεροχειμάρρου (μπλε βέλη), κάτι το οποίο έρχεται επίσης σε συμφωνία με την θέση του πολικού αεροχειμάρρου στα 300hPa (βλέπε υποενότητα 3.2). Ο πολικός αεροχείμαρρος καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης κατευθύνονταν νοτιοανατολικά πιέζοντας την καταιγίδα να κινηθεί, επίσης, κατά αυτή την κατεύθυνση. Μαζί με τον πολικό αεροχείμαρρο, ένα ξηρό ατμοσφαιρικό ρεύμα (με πολύ χαμηλή ποσότητα υγρασίας) από την Ιταλία (και συγκεκριμένα-ίσως-από την περιοχή των Άλπεων της Ιταλίας, εξαιτίας της χαμηλής ποσότητας υδρατμών) φαίνεται να πίεζε προς τα ανατολικά το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο βρισκόταν η Υπερκυτταρική καταιγίδα), γεγονός που πιθανότατα να οφείλεται στην κυκλωνική κυκλοφορία που επικρατούσε σχεδόν σε όλη την Ευρώπη και τη Μεσόγειο (βλέπε υποενότητα 3.2). Οι σκούρες αποχρώσεις που εμφανίζονται στο σημείο τομής των δυο κλάδων, δηλώνει την περιοχή όπου παρατηρήθηκε χαμηλή υγρασία καθώς και το μικρό ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης (ανωμαλία δυναμικής τροπόπαυσης ή δυναμικού στροβιλισμού), γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις κατακόρυφες τομές (βλέπε υποενότητα 3.3). Η μεγάλη αντίθεση μεταξύ σκούρων και ανοικτών τόνων του γκρι (όρια υγρασίας) που επικρατούσε, υποδήλωνε την ισχυρή βαθμίδα των υψών της δυναμικής τροπόπαυσης και την περιοχή με τις μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου (Καρτάλης & Φείδας 2006).

Γύρω στις 19:12UTC (Εικόνα 3.30.ε) φαίνεται πως το σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο αναπτύσσονταν η Υπερκυτταρική καταιγίδα) αποκόπηκε από τον υπόλοιπο νεφικό σχηματισμό (κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις εικόνες του ενισχυμένου χρωματικά θερμικού υπερύθρου IR10.8μm), με την νεφική του ασπίδα να καλύπτει μετέπειτα όλη την Κεντρική Μακεδονία μαζί με τους νομούς της Δράμας και της Καβάλας. Από εκεί και έπειτα συνέχισε την νοτιοανατολική της πορεία, εμφανίζοντας ακόμα πιο ανοικτούς τόνους του γκρι (και άρα και ακόμα πιο χαμηλές θερμοκρασίες λαμπρότητας) και ξεπερνώντας σε οριζόντια έκταση (ποσότητας υδρατμών) τα 250km.

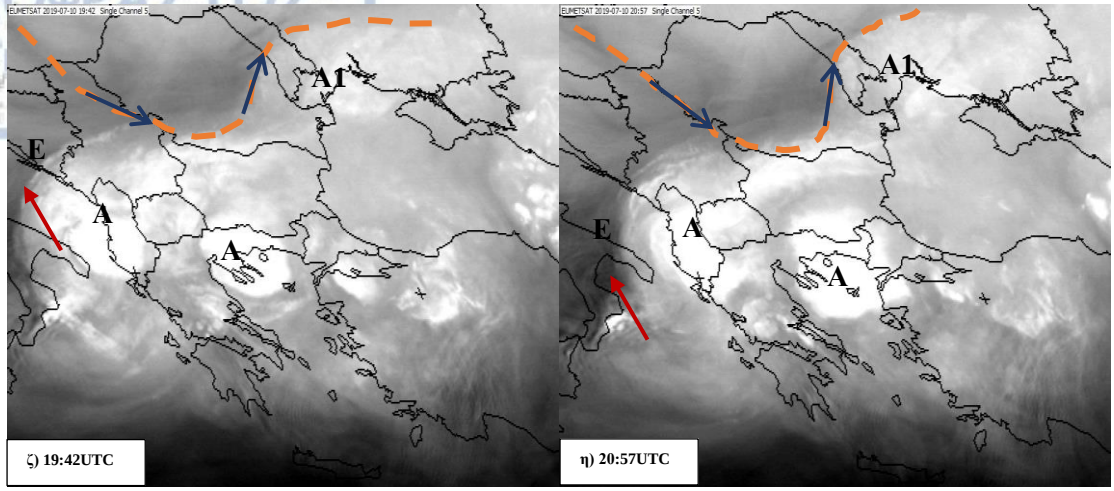
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.30. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 στο κανάλι 5 (WV6.2μm) των υδρατμών, όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Η διακεκομμένη πορτοκαλί γραμμή μαζί με τα μπλε βέλη από πάνω απεικονίζουν τον αεροχείμαρρο και την πορεία που ακολουθεί. Το κόκκινο βέλος δείχνει το ξηρό ατμοσφαιρικό ρεύμα. Τα σύμβολα **A** απεικονίζουν τις περιοχές πολύ υψηλής υγρασίας, τα **A1** τις περιοχές με υψηλή υγρασία και τα **E** τις περιοχές χαμηλής υγρασίας.

γ2. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων στο κανάλι 6 των υδρατμών – WV7.3μm

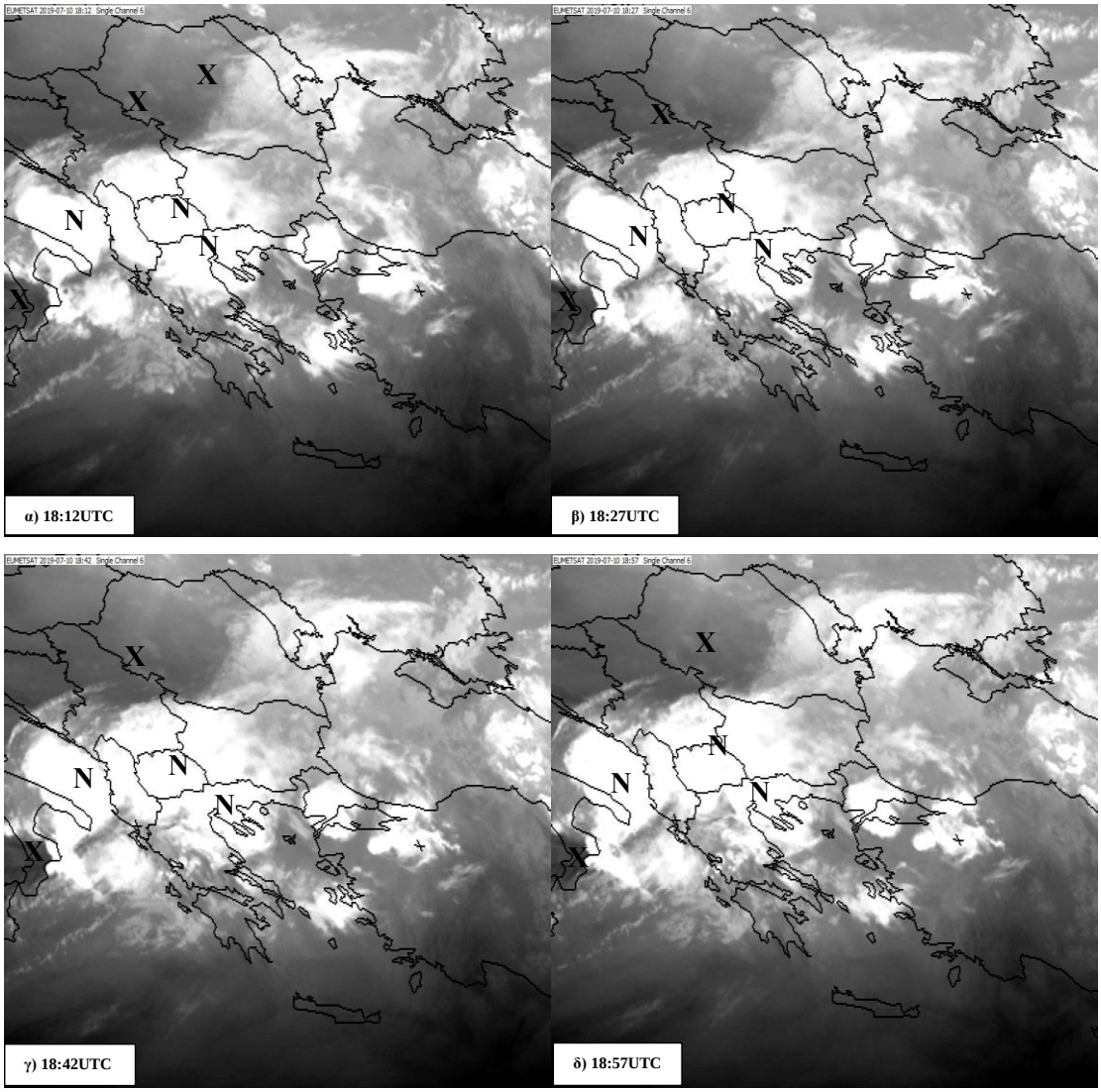
Σε συνδυασμό με τις εικόνες του καναλιού 5, στις ακόλουθες δορυφορικές εικόνες (Εικόνα 3.31) του καναλιού 6 των υδρατμών (WV7.3μm) απεικονίζεται η παρουσία υγρασίας και ανιχνεύονται τα νέφη των μεσαίων επιπέδων της τροπόσφαιρας, για τις σημαντικότερες χρονικές στιγμές εξέλιξης της καταιγίδας στις 10 Ιουλίου 2019.

Όπως στο κανάλι 5, έτσι και στο κανάλι 6 των υδρατμών (WV7.3μm) η υψηλή υγρασία μαζί με την εμφάνιση υψηλών νεφών (πολύ ανοικτοί τόνοι του γκρι ⇒ πολύ υψηλές θερμοκρασίες λαμπρότητας) υποδηλώνει, καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης της καταιγίδας (18:12UTC έως 20:57UTC), τον σχηματισμό έντονων νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στα μεσαία στρώματα της τροπόσφαιρας. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τον αυλώνα που σχηματίστηκε στα 500hPa (βλέπε υποενότητα 3.2), καθώς η εμφάνιση νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης μαζί με τη μεγάλη ποσότητα υδρατμών δημιουργήθηκαν μπροστά από αυτόν. Τέλος, κάτι το οποίο παρατηρήθηκε και στις δορυφορικές εικόνες του καναλιού 6 (αλλά επιβεβαιώνεται και από τις εικόνες του ενισχυμένου χρωματικά θερμικού υπερύθρου IR10.8μm), είναι ότι το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο αναπτύσσονταν η Υπερκυτταρική καταιγίδα) αποκόπηκε από τον ενιαίο νεφικό σχηματισμό, γύρω στις 19:12UTC με τον

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

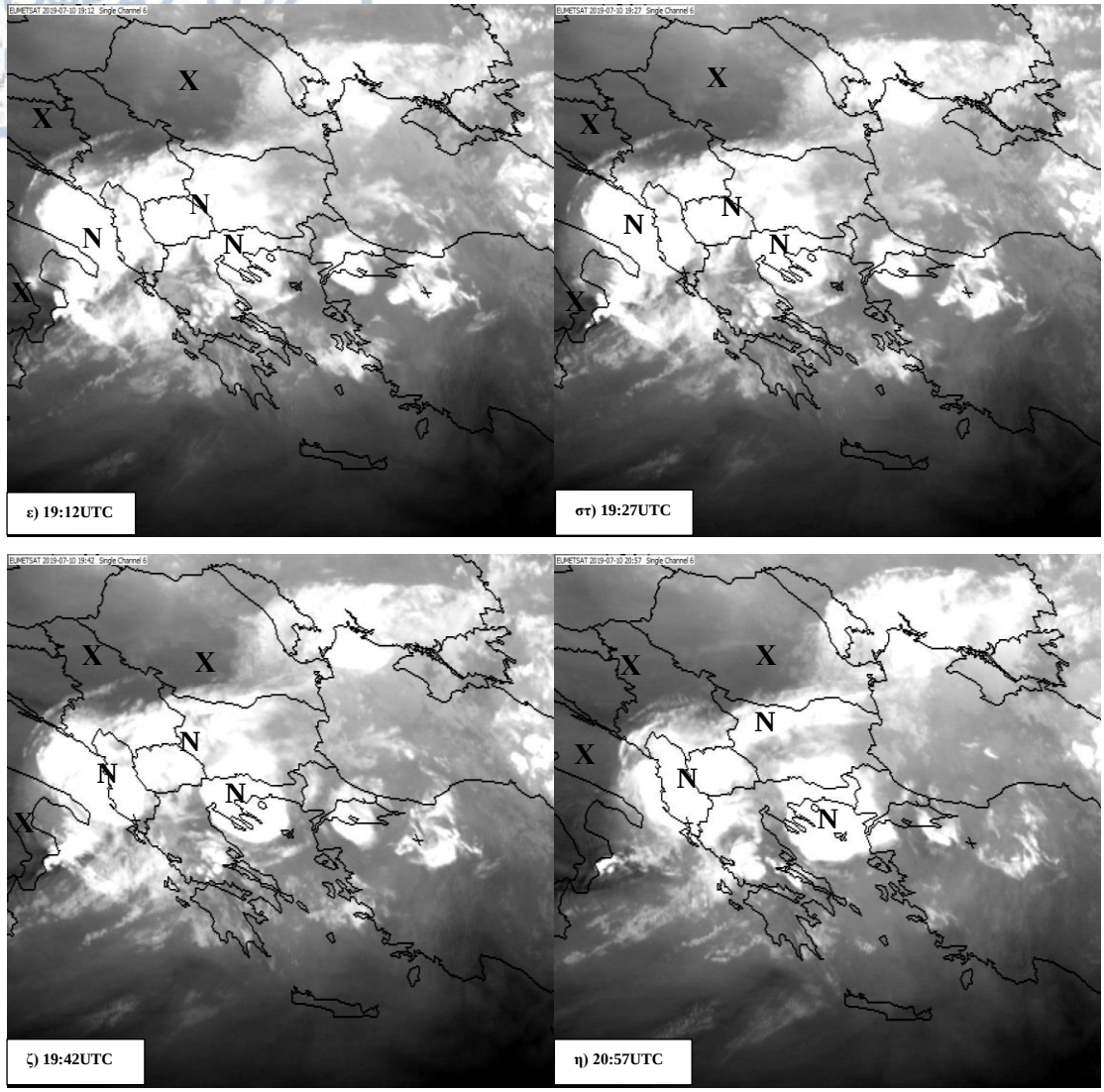
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

οποίο πέρασε στον Ελλαδικό χώρο, και συνέχισε την πορεία του κινούμενο νοτιοανατολικά, διατηρώντας τον υψηλά ανοικτό τόνο του γκρι στα μεσαία στρώματα της τροπόσφαιρας (και άρα και τις χαμηλές θερμοκρασίες λαμπρότητας) (Εικόνα 3.31.ε) και τη μεγάλη οριζόντια έκτασή της, που κάλυπτε όλη την Κεντρική Μακεδονία και τους νομούς της Καβάλας και Δράμας.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.31. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 στο κανάλι 6 (WV7.3μm) των υδρατμών, όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Τα σύμβολα **N** και **X** απεικονίζουν εκείνες τις περιοχές με υψηλά νέφη και πολύ υψηλή υγρασία, καθώς και εκείνες με χαμηλή υγρασία, αντίστοιχα, που συνδέονται με την υπό μελέτη καταιγίδα.

δ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών WV6.2 και WV7.3 ($\mathbf{BTD(T_{6.2} - T_{7.3})}$)

Οι συγκεκριμένες δορυφορικές εικόνες διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας (Brightness Temperature Difference, BTD) μεταξύ των καναλιών 5 & 6 των υδρατμών ($\mathrm{BTD(T_{6.2} - T_{7.3})}$), αποτελούν ένα καλό δείκτη προσδιορισμού του ύψους των νεφών. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία, ώστε να εντοπίσουν τις υπερυψωμένες κορυφές νεφών (overshooting tops) πολύ έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης που βρίσκονται στο ύψος της τροπόπαυσης ή ακόμα και το ξεπερνούν,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

προσεγγίζοντας τα όρια της στρατόσφαιρας. Οι λήψεις που παρουσιάζονται αφορούν τις σημαντικότερες χρονικές στιγμές εξέλιξης της υπό μελέτη καταιγίδας της 10ης Ιουλίου 2019, δηλαδή από τις 18:12UTC έως και τις 20:57UTC. Αυτές έχουν διαμορφωθεί με χρωματική διαβάθμιση ώστε να οπτικοποιούνται οι περιοχές με την υψηλή ή χαμηλή νέφωση.

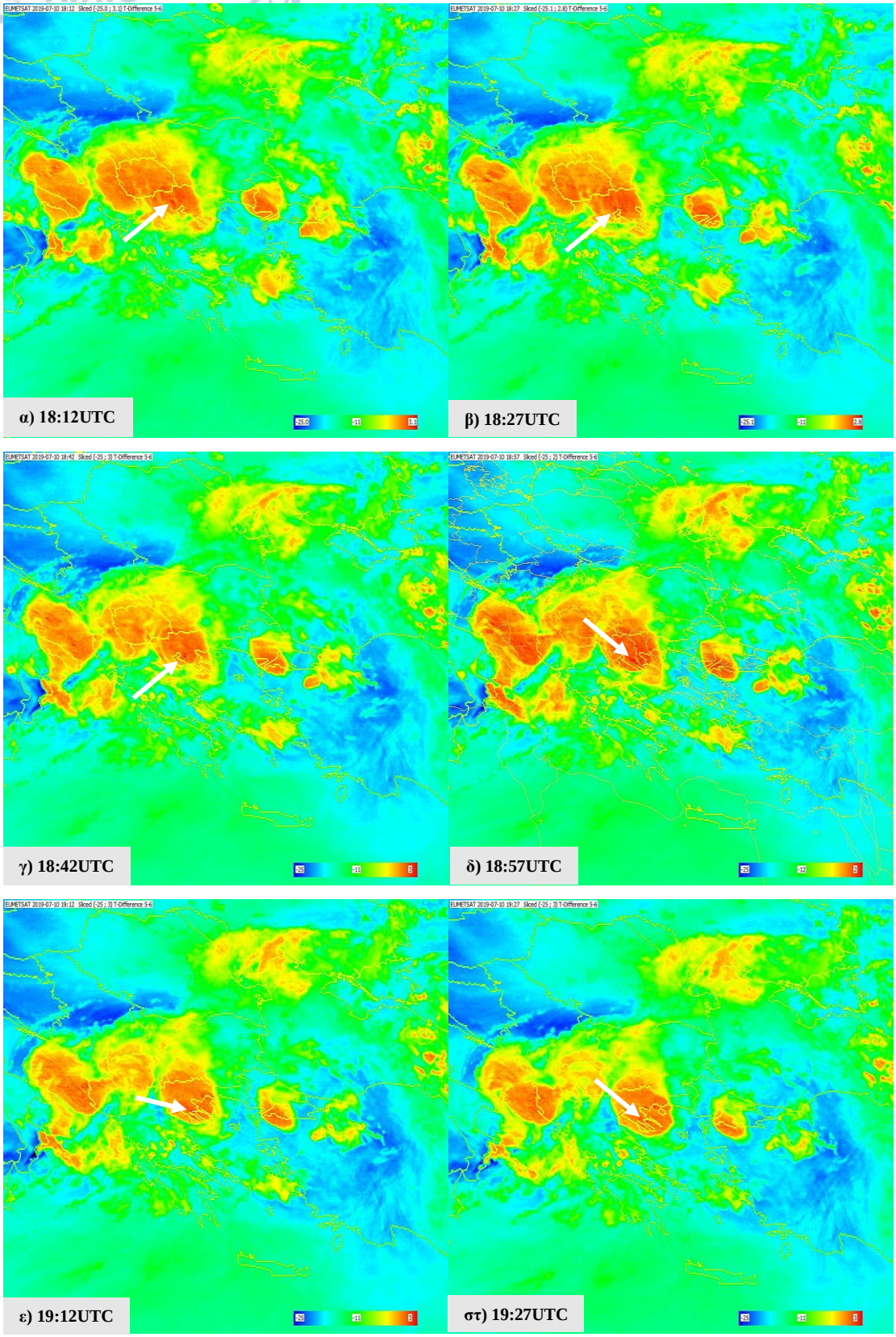
Από τις 18:12UTC έως και τις 20:57UTC (Εικόνα 3.32.α έως και Εικόνα 3.32.η) παρουσιάζεται ο μεγάλος νεφικός σχηματισμός, που προχωρούσε από την περιοχή του Βερμίου και των Πιερίων στην χερσόνησο της Χαλκιδικής και είχε ήδη εμφανίσει χαρακτηριστικά Υπερκυτταρικής καταιγίδας (όπως αναλύθηκε στην υποενότητα του ραντάρ), να εμφανίζει θετικές τιμές διαφοράς κοντά στους 3°C (κόκκινες αποχρώσεις, ενώ η κόκκινη βούλα απεικονίζει την υπερυψωμένη κορυφή), σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια της εξέλιξής του. Ενδιάμεσα, γύρω στις 19:12UTC (Εικόνα 3.32.ε), φαίνεται να αποκόπτεται το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο αναπτύσσονταν η Υπερκυτταρική καταιγίδα) από την υπόλοιπη νεφική μάζα και να συνεχίζει την νοτιοανατολική του πορεία (κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις προηγούμενες δορυφορικές αναλύσεις καναλιών), διατηρώντας τις μεγάλες θετικές τιμές διαφοράς. Αυτές οι τιμές υποδείκνυαν την πολύ έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη που επικρατούσε μέσα στην Υπερκυτταρική καταιγίδα καθώς και την ύπαρξη της υπερυψωμένης κορυφής της καταιγίδας (στα σημεία που εμφανίζονταν οι μεγάλες θετικές τιμές-κόκκινες βούλες), η οποία εξαιτίας αυτών των τιμών σημαίνει ότι ξεπερνούσε το ύψος της τροπόπαυσης (βλέπε υποενότητα 3.8).

Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί πως οι θετικές τιμές της διαφοράς, από τις 18:12UTC έως την στιγμή της "εξαφάνισής" τους και κατά συνέπεια και "λήξης" της Υπερκυτταρικής καταιγίδας γύρω στις 21:00UTC, ακολουθούσαν την πορεία της υπερυψωμένης κορυφής της Υπερκυτταρικής καταιγίδας, (όπως αποτυπώθηκε στις εικόνες του ενισχυμένου χρωματικά θερμικού υπερύθρου (IR10.8)) με κίνηση νοτιοανατολική από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης – βορειοδυτικά των ακτών της χερσονήσου της Χαλκιδικής – βόρεια της χερσονήσου της Σιθωνίας – βόρεια του κόλπου του Αγίου Όρους μέχρι την εξ ολοκλήρου διάλυσή τους νότια της χερσονήσου του Άθου. Τέλος, από τις 19:27UTC (Εικόνα 3.32.στ) διακρίνονται νέες θετικές τιμές διαφοράς από την ευρύτερη περιοχή της Θάσου να κατευθύνονται και να αναπτύσσονται κατά μήκος της Σαμοθράκης και της Λήμνου, καθώς το ήδη υπάρχον καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (που μέσα σε αυτό ήταν ενσωματωμένη η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

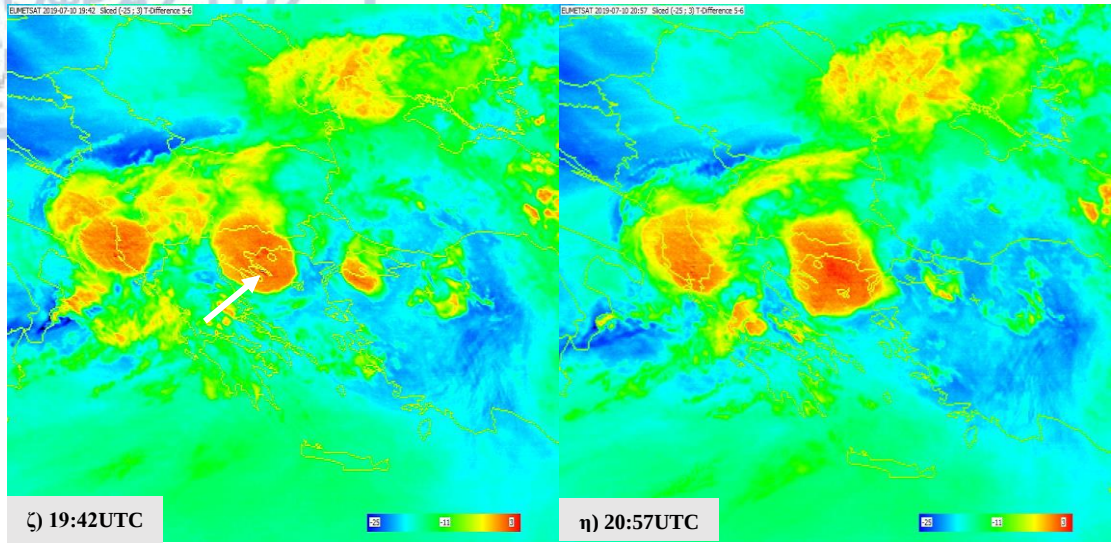
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Υπερκυτταρική καταιγίδα) συνέχιζε να εξελίσσεται και να κινείται ανατολικότερα προς τα παράλια της Μικράς Ασίας.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.32. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών WV6.2 και WV7.3 ($\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{7.3})$), όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Η χρωματική κλίμακα σε κάθε εικόνα αντιπροσωπεύει τις τιμές της διαφοράς θερμοκρασιών λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών WV6.2 και WV7.3 ($\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{7.3})$), σε βαθμούς Kelvin. Τα άσπρα βέλη απεικονίζουν τις υπερυψωμένες κορυφές (κόκκινες βούλες) των νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης της υπό μελέτη καταιγίδας.

ε. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών WV6.2 και IR10.8 ($\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{10.8})$)

Οι δορυφορικές εικόνες διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ του καναλιού 5 των υδρατμών (WV6.2μm) και του καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) ($\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{6.2} - \mathrm{T}_{10.8})$), που παρουσιάζονται παρακάτω και θα αναλυθούν στην συνέχεια, εμφανίζουν μια πολύ καλή συσχέτιση με τις δορυφορικές εικόνες του ενισχυμένου χρωματικά καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) (βλέπε υποενότητα 3.9.α). Αυτή η στενή συσχέτιση αναφέρεται στο γεγονός ότι οι υψηλότερες τιμές διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας εντοπίζονται πάνω από τις ψυχρότερες περιοχές ή σημεία των θερμοκρασιών λαμπρότητας (Schmetz et al., 1997, Setvák et al., 2005). Επίσης, σύμφωνα με τους Setvák και Rabin (2005), αυτή μπορεί να οφείλεται στην παρουσία μιας εκτεταμένης ποσότητας υγρασίας πάνω από την καταιγίδα που είναι ένα στρώμα θερμότερο από την θερμοκρασία της κορυφής του άκμονα του νέφους, παρά στην παρουσία μέγιστης υγρασίας τοπικά πάνω από τα ψυχρότερα σημεία της καταιγίδας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Επιπλέον αυτή η διαφορά εμφανίζει πολλά κοινά σημεία με την διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών ($BTD(T_{6.2} - T_{7.3})$), ως προς τον εντοπισμό νεφών με έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη και τον διαχωρισμό μεταξύ μεσαίου και υψηλού επιπέδου νεφών. Οπότε είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξακρίβωση και ερμηνεία των βασικών χαρακτηριστικών της υπό μελέτη καταιγίδας στις σημαντικότερες χρονικές στιγμές της εξέλιξής της, από τις 18:12UTC έως και τις 20:57UTC, που παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες. Να σημειωθεί ότι έχει εφαρμοσθεί στις εικόνες χρωματική διαβάθμιση, ώστε να οπτικοποιούνται οι περιοχές με την υψηλή ή μεσαία με χαμηλή νέφωση.

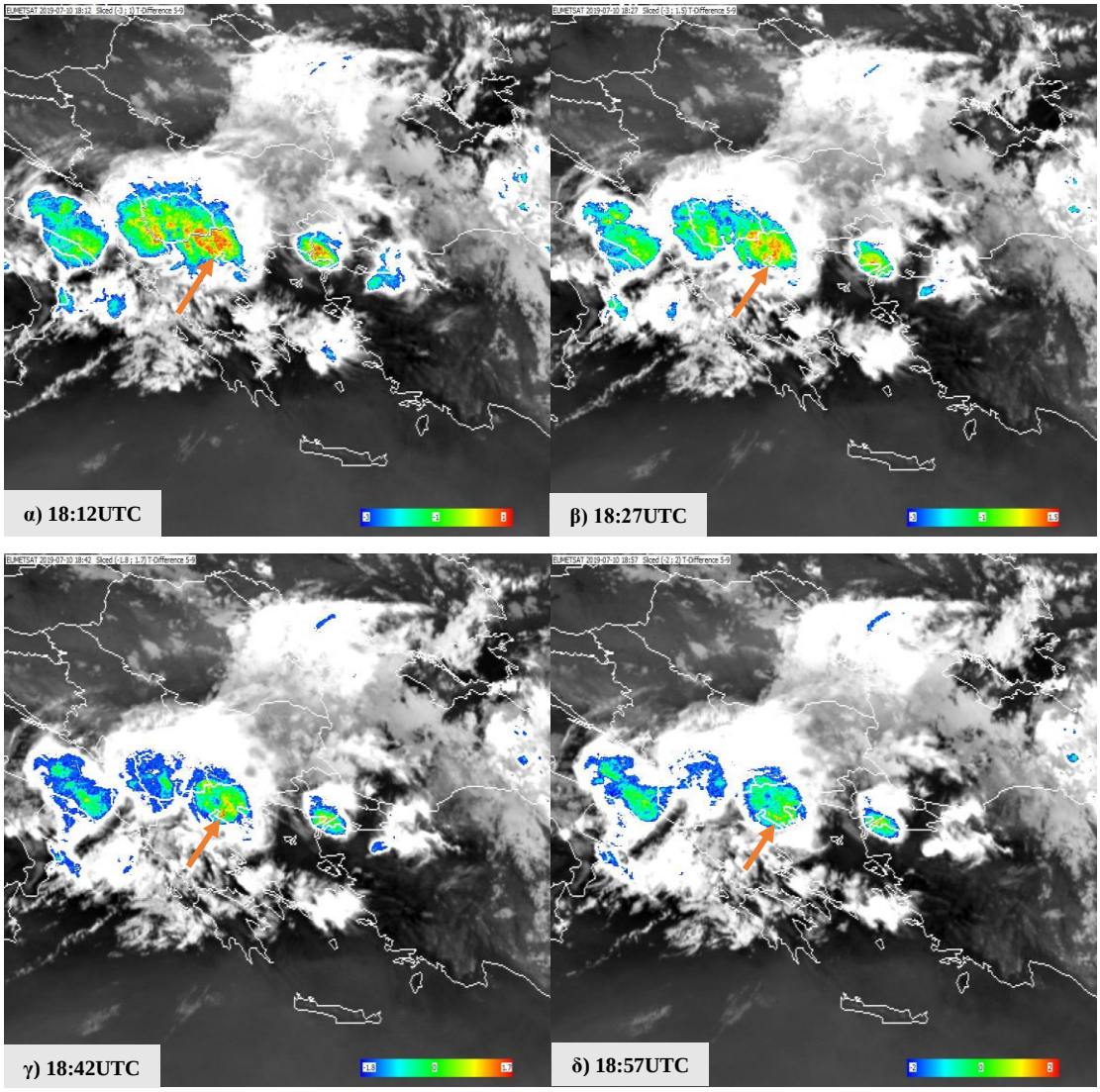
Ήδη από τις 18:12UTC (Εικόνα 3.33.α) η Υπερκυτταρική καταιγίδα, η οποία ήταν ενσωματωμένη στο καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας, (βλέπε υποενότητα του ραντάρ), είχε εμφανίσει θετικές τιμές διαφοράς από 0°C έως 1°C (σκούρες κόκκινες αποχρώσεις), γεγονός που υποδήλωνε την ύπαρξη σημαντικής κατακόρυφης ανάπτυξης. Αυτό επίσης σήμαινε την εμφάνιση μιας υπερυψωμένης κορυφής και άρα ισχυρών ανοδικών κινήσεων στο σημείο που εμφανίστηκε η μεγαλύτερη θετική τιμή διαφοράς τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τις επόμενες χρονικές στιγμές, από τις 18:27UTC έως και τις 19:42UTC, που η καταιγίδα προχωρούσε από την Θεσσαλονίκη, διασχίζοντας τον Θερμαϊκό κόλπο με κατεύθυνση την Χαλκιδική, φαίνεται να συνέχιζε να εμφανίζει θετικές τιμές διαφοράς οι οποίες ξεπερνούσαν ακόμα και τους 3°C (Εικόνα 3.33.ε). Αυτό υποδείκνυε τη μεγάλη επιμονή της καταιγίδας να διατηρεί την αρκετά έντονη κατακόρυφη ανάπτυξή της, με την υπερυψωμένη της κορυφή να προσεγγίζει πιθανότατα και το επίπεδο της στρατόσφαιρας, καθώς και την εκδήλωση πολύ σοβαρών καταστροφών στην ευρύτερη περιοχή εμφάνισης αυτών των τιμών διαφοράς.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να τονιστεί το γεγονός, ότι οι περιοχές όπου σημειώθηκαν οι θετικές τιμές διαφοράς φαίνεται να συμπίπτουν με την πορεία εμφάνισης των υπερυψωμένων κορυφών της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, που αποτυπώθηκαν τόσο στις δορυφορικές εικόνες του ενισχυμένου χρωματικά καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) όσο και στις δορυφορικές εικόνες διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών ($BTD(T_{6.2} - T_{7.3})$). Η κίνηση, που "ακολούθησαν" οι θετικές τιμές διαφοράς (και συνεπώς και η Υπερκυτταρική καταιγίδα) ήταν νοτιοανατολική, από την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης – στη συνέχεια βορειοδυτικά των ακτών της χερσονήσου της Χαλκιδικής – έπειτα βόρεια της χερσονήσου της Σιθωνίας – βόρεια του κόλπου του

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

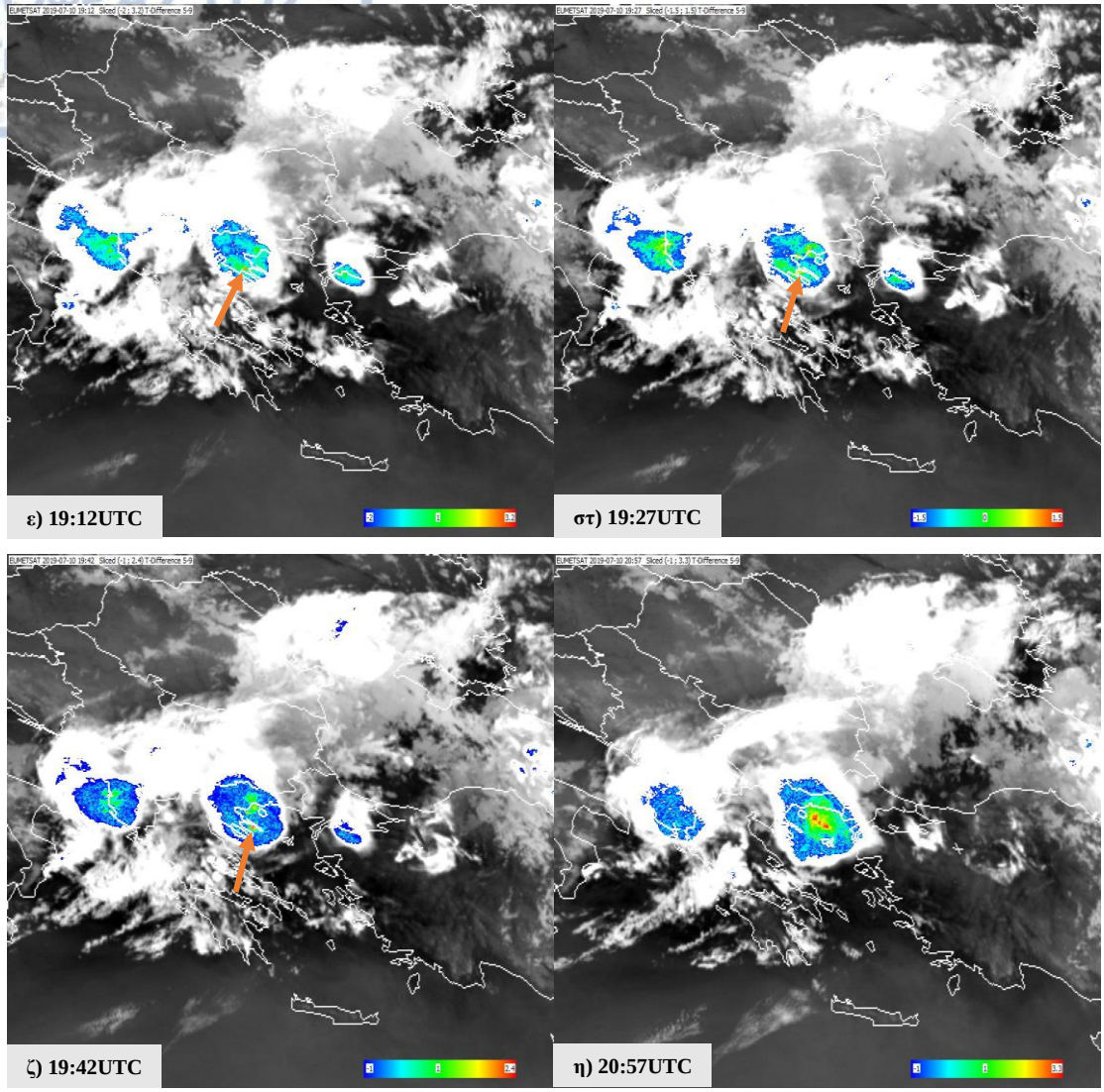
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Αγίου Όρους μέχρι την εξ ολοκλήρου διάλυσή τους νότια της χερσονήσου του Άθου περίπου στις 21:00UTC (Εικόνα 3.33.η). Τέλος, από τις 19:27UTC (Εικόνα 3.33.στ) παρατηρούνται νέες μεγάλες θετικές τιμές διαφοράς (γύρω στους 3.3°C), δηλαδή νέες υπερυψωμένες κορυφές, στην ευρύτερη περιοχή της Θάσου να κατευθύνονται και να αναπτύσσονται κατά μήκος της Σαμοθράκης και της Λήμνου, καθώς, όπως έχει ειπωθεί, το ήδη υπάρχον καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (που μέσα σε αυτό ήταν ενσωματωμένη η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα) συνέχιζε να εξελίσσεται και να κινείται ανατολικότερα προς τα παράλια της Μικράς Ασίας μέχρι και τα ξημερώματα της 11ης Ιουλίου 2019.



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.33. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ του καναλιού 5 των υδρατμών (WV6.2μm) και του καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) ($\mathrm{BTD}(T_{6.2} - T_{10.8})$), όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Η χρωματική κλίμακα σε κάθε εικόνα αντιπροσωπεύει τις τιμές της διαφοράς θερμοκρασιών λαμπρότητας ($\mathrm{BTD}(T_{6.2} - T_{7.3})$), σε βαθμούς Kelvin. Τα πορτοκαλί βέλη απεικονίζουν τις υπερυψωμένες κορυφές (κόκκινες βούλες) των νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης της υπό μελέτη καταιγίδας.

στ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών του θερμικού υπερύθρου IR10.8 και IR12.0 ($\mathrm{BTD}(T_{10.8} - T_{12.0})$)

Οι παρακάτω δορυφορικές εικόνες διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών 9 & 10 του θερμικού υπερύθρου ($\mathrm{BTD}(T_{10.8} - T_{12.0})$) αποτελούν ένα πολύ καλό δείκτη προσδιορισμού του οπτικού πάχους των νεφών, καθώς αυτή η

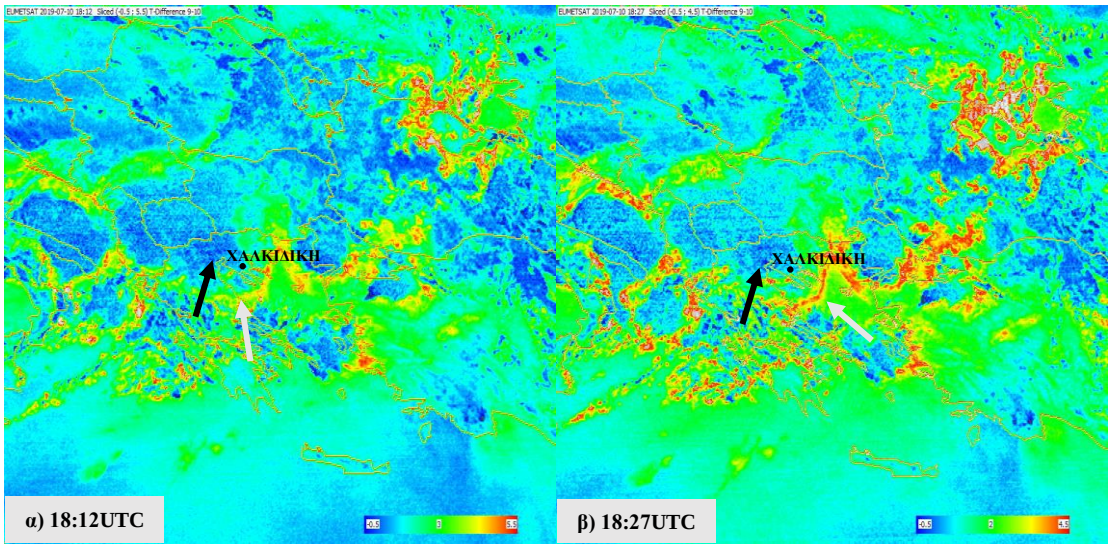
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

διαφορά έχει τη δυνατότητα να διακρίνει τα οπτικώς παχιά σωρειτόμορφα νέφη από τα οπτικώς λεπτά νέφη θυσάνων. Η χρωματική παλέτα που εφαρμόζεται έχει διαμορφωθεί με σκοπό να διαχωρίζει το οπτικό πάχος των νεφών.

Αυτό που διακρίνεται σε όλες τις χρονικές στιγμές εξέλιξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας μέχρι και την διάλυσή της (από τις 18:12UTC έως και τις 20:57UTC), και που συμφωνεί με τις προηγούμενες αναλύσεις δορυφορικών εικόνων και δεδομένων ραντάρ, είναι η εμφάνιση μικρών θετικών τιμών διαφοράς κοντά στους 0°C (μπλε αποχρώσεις), γεγονός που σήμαινε την παρουσία σωρειτόμορφων νεφών με πολύ μεγάλο πάχος. Αυτές παρατηρούνταν και κατά τη διάρκεια που η υπό μελέτη καταιγίδα βρισκόταν κάτω από την ενιαία νεφική μάζα του (αρχικού) καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο "γεννήθηκε" και αναπτύχθηκε η Υπερκυτταρική καταιγίδα) (Εικόνα 3.34.α με Εικόνα 3.34.δ), αλλά και όταν αποκόπηκε το σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο εξακολουθούσε να αναπτύσσεται η Υπερκυτταρική καταιγίδα) και συνέχισε την νοτιοανατολική του πορεία διασχίζοντας την χερσόνησο της Χαλκιδικής μέχρι να αποδυναμωθεί εξ ολοκλήρου (περίπου από τις 19:12UTC, Εικόνα 3.34.ε).

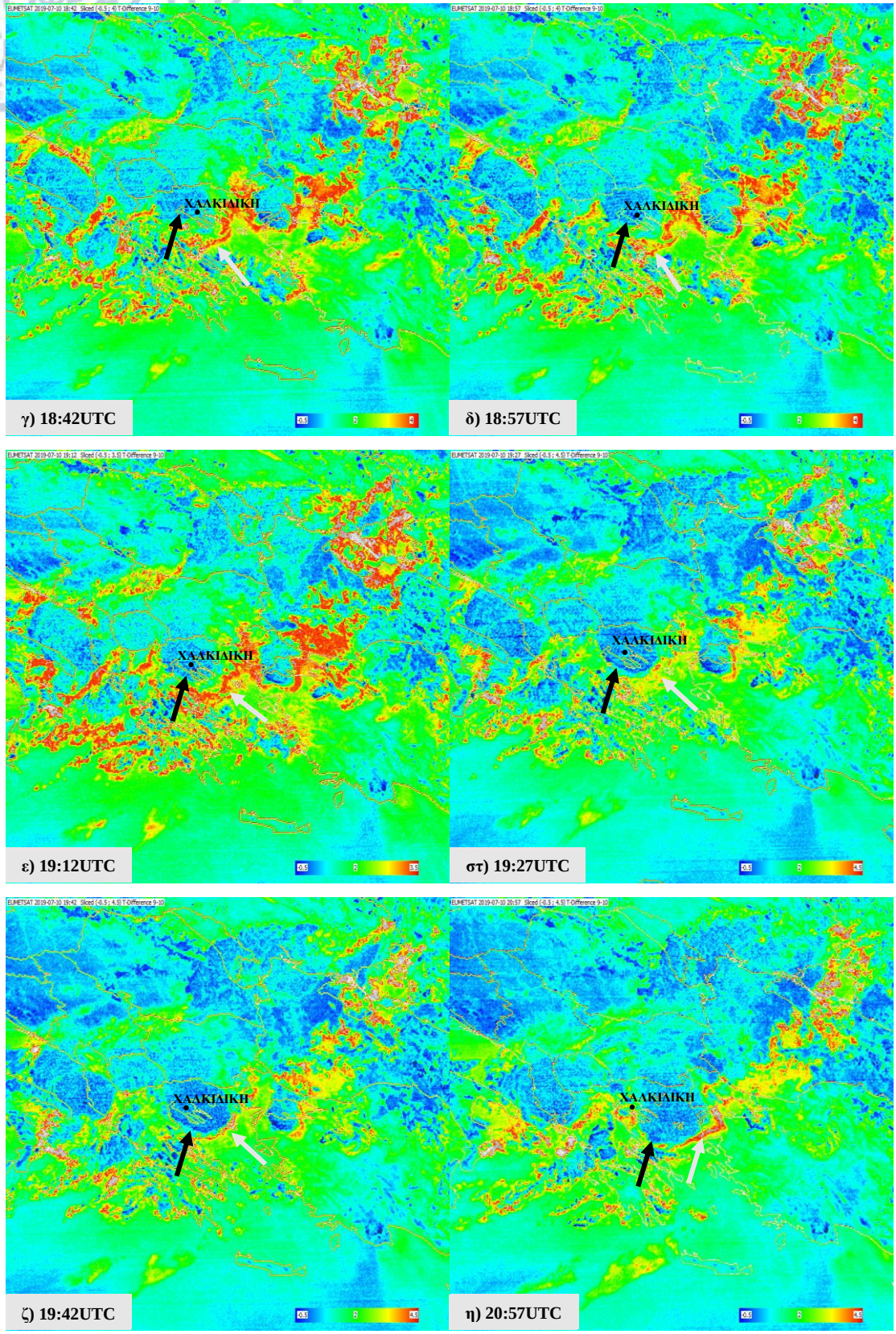
Παράλληλα με την εμφάνιση αυτών των θετικών τιμών διαφοράς, αξίζει να αναφερθεί πως νοτίως περιμετρικά της νεφικής ασπίδας της υπό μελέτη καταιγίδας καταγράφηκαν μεγάλες θετικές τιμές διαφοράς (κιτρινο-κόκκινες αποχρώσεις) που προσέγγιζαν ακόμα και τους 5°C. Αυτό σήμαινε την παρουσία λεπτών νεφών Cirrus, τα οποία σχηματίστηκαν και "απλώθηκαν" γύρω από τις κορυφές των παχιών νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης της Υπερκυτταρικής καταιγίδας.



α) 18:12UTC β) 18:27UTC

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.34. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 διαφοράς θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών του θερμικού υπερύθρου 9 (IR10.8μm) και 10 (IR12.1μm) ($BTD(T_{10.8} - T_{12.1})$), όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Η χρωματική

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

κλίμακα σε κάθε εικόνα αντιπροσωπεύει τις τιμές της διαφοράς θερμοκρασιών λαμπρότητας ($\mathrm{BTD}(\mathrm{T}_{10.8} - \mathrm{T}_{12.1})$), σε βαθμούς Kelvin. Τα μαύρα βέλη απεικονίζουν τα οπτικώς παχιά νέφη έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης ενώ τα λευκά τα λεπτά νέφη Cirrus, της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας.

ζ. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων του συνδυασμού Airmass RGB (5-6, 8-9, 5)

Αυτός ο χρωματικός συνδυασμός RGB ερμηνεύει τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, που σχετίζονται με τις δυναμικές της διαδικασίες, και διαχωρίζει τα είδη των αερίων μαζών της υπό μελέτη καταιγίδας στις 10 Ιουλίου 2019.

Όπως έχει σχολιαστεί και στις δορυφορικές εικόνες των υδρατμών (βλέπε υποενότητα 3.9.γ), ήδη από τις 18:12UTC έως και τη διάλυση της Υπερκυτταρικής καταιγίδας γύρω στις 21:00UTC (Εικόνα 3.35.α έως και Εικόνα 3.35.λ), εντοπίζεται η θέση των κλάδων του πολικού αεροχειμάρρου κατά μήκος των χωρών Ουγγαρίας-Σερβίας-Ρουμανίας-Μολδαβίας-Ουκρανίας, όπου είναι οι κόκκινες-μωβ αποχρώσεις. Το σημείο τομής τους στην περιοχή της Ρουμανίας, με σκούρο κόκκινο χρώμα, δηλώνει την περιοχή της ανωμαλίας της δυναμικής τροπόπαυσης (όπως αποτυπώθηκε και στις κατακόρυφες τομές-βλέπε υποενότητα 3.3). Με μπλε-μωβ αποχρώσεις νοτιοδυτικά του αεροχειμάρρου διακρίνονται οι ψυχρές αέριες μάζες, ενώ με σκούρες πρασινο-καφέ αποχρώσεις απεικονίζονται οι θερμές αέριες μάζες, με χαμηλά επίπεδα υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα, προερχόμενες από τις χώρες της Βορείου Αφρικής. Ο διαχωρισμός μεταξύ ψυχρών και θερμών αερίων μαζών, που παρατηρείται σε όλες τις παρακάτω χρονικές στιγμές, σημειώνεται κατά μήκος της μετωπικής γραμμής όπου επικρατούσαν τα παχιά νέφη μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης, όπως φαίνεται και από το έντονο λευκό χρώμα τους. Στην μετωπική ζώνη βρισκόταν και το εκτεταμένο καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας, που ξεκίνησε από την κεντρο-νότια Ιταλία και το οποίο εντοπίζονταν να καταλαμβάνει, ήδη από τις 18:12UTC έως και τις 18:57UTC (Εικόνα 3.35.α έως και Εικόνα 3.35.δ), τις χώρες Αλβανία- νότια Σερβία-Σκόπια-δυτικοκεντρική Βουλγαρία-κεντροβόρεια Ελλάδα, μέσα στο οποίο σύστημα είχε ήδη αναπτυχθεί και η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα.

Συγχρόνως με τον πολικό αεροχείμαρρο να κινείται νοτιοανατολικότερα, ένα ξηρό ατμοσφαιρικό ρεύμα χαμηλής νέφωσης (με πολύ χαμηλή ποσότητα υγρασίας-βλέπε υποενότητα υδρατμών) από την Ιταλία (και συγκεκριμένα-ίσως-από την περιοχή των Άλπεων της Ιταλίας, εξαιτίας της χαμηλής ποσότητας υδρατμών) φαίνεται να πίεζε προς τα ανατολικά το καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας (μέσα στο οποίο

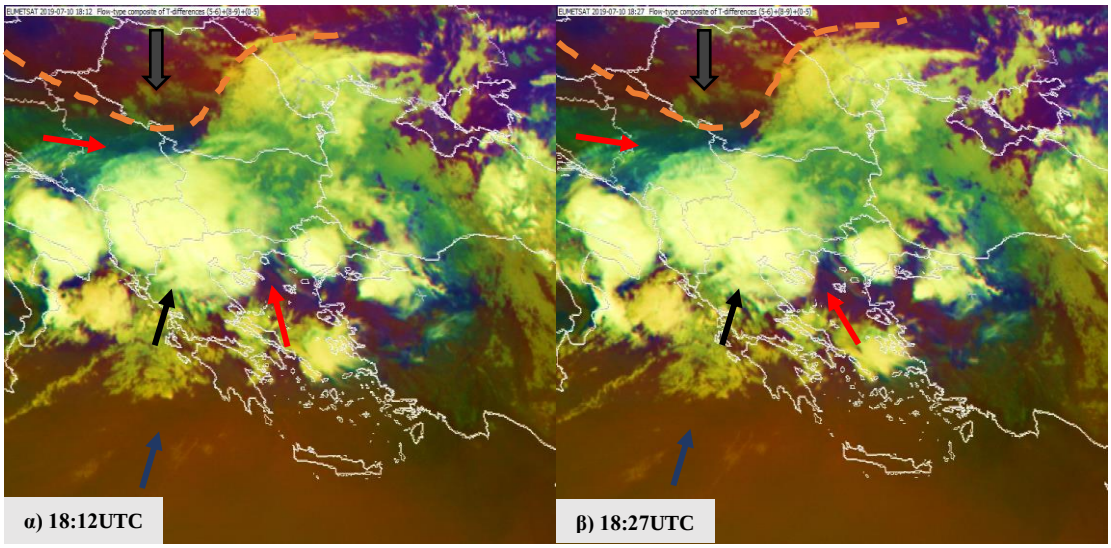
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

βρισκόταν η Υπερκυτταρική καταιγίδα), γεγονός που πιθανότατα να οφείλεται στην κυκλωνική κυκλοφορία που επικρατούσε σχεδόν σε όλη την Ευρώπη και τη Μεσόγειο (βλέπε υποενότητα 3.2)

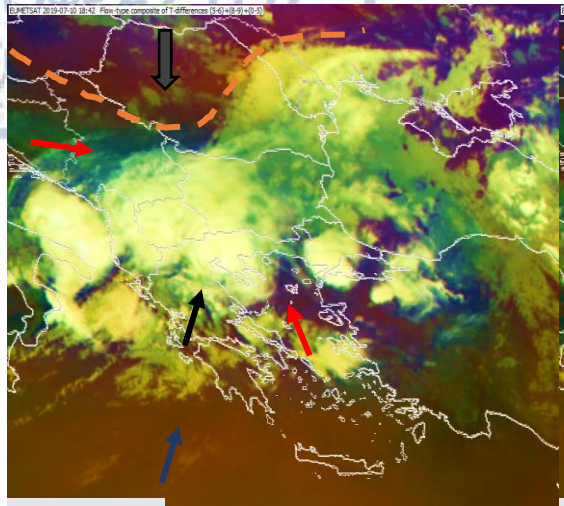
Από τις 19:12UTC (Εικόνα 3.35.ε) που αποκόπτεται το καταιγιδοφόρο σύστημα (μέσα στο οποίο αναπτύσσονταν και επικρατούσε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα) από την ενιαία νεφική ασπίδα και συνεχίζει την νοτιοανατολική του πορεία, διασχίζοντας την χερσόνησο της Χαλκιδικής και ξεπερνώντας σε οριζόντια έκταση τα 250km, διακρίνεται μια μετακίνηση των ψυχρών αερίων μαζών προς τα νότια-νοτιοανατολικά και μια προσέγγιση του θερμότερων μαζών προς τα βόρεια. Οι θερμότερες αυτές αέριες μάζες φαίνεται να ανέρχονται επάνω στις ψυχρές, μεταφέροντας υγρασία στα ανώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας και ενισχύοντας την νέφωση με ακόμα πιο λευκόχρωμες αποχρώσεις, και συνεπώς προσεγγίζοντας μεγάλα ύψη η κορυφή της υπό μελέτη καταιγίδας (βλέπε υποενότητα του ραντάρ). Λόγω της ανύψωσης των θερμότερων αερίων μαζών, τα χαμηλά επίπεδα φαίνεται να καλύπτονται από μπλε-μωβ αποχρώσεις, υποδηλώνοντας έτσι την επικράτηση των ψυχρών αερίων μαζών στα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας.

Γενικότερα, οι δύο αυτές αέριες μάζες, καθόριζαν τα όρια της μετωπικής ζώνης κατά μήκος της οποίας εξελίσσονταν ο έντονος καιρός (βλέπε υποενότητα 3.2.α και 3.2.ε), και οι οποίες ήταν αποτέλεσμα της σχεδόν ταύτισης του χαμηλού στα 850hPa με τη μετωπική ζώνη (από τις 18:00UTC και έπειτα).

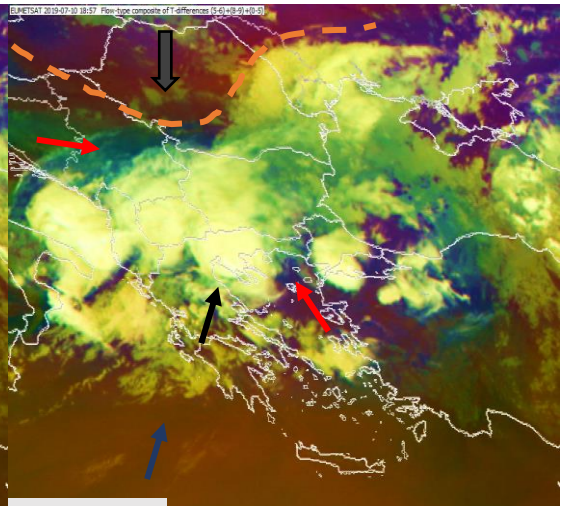


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

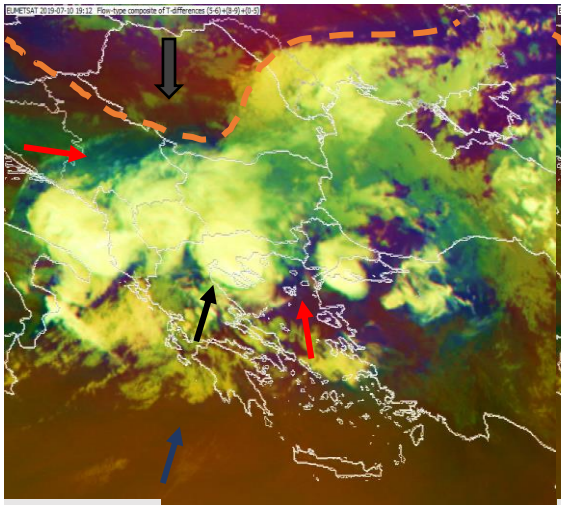
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



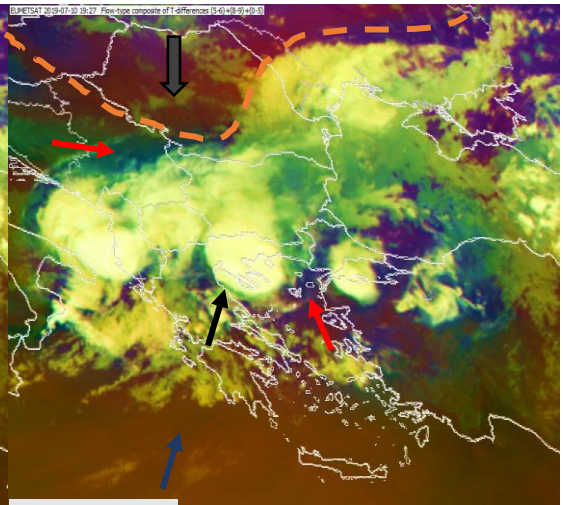
γ) 18:42UTC



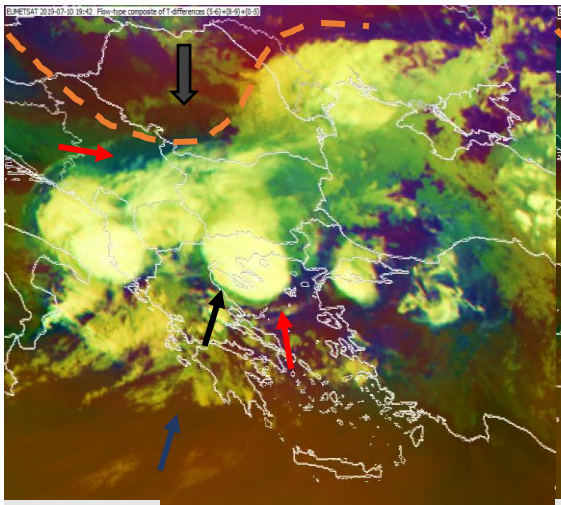
δ) 18:57UTC



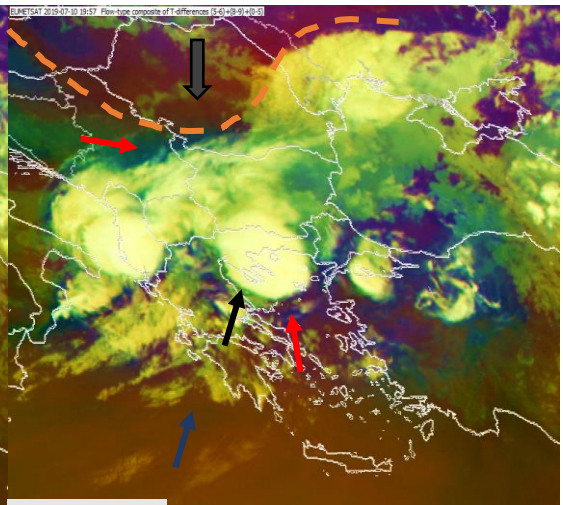
ε) 19:12UTC



στ) 19:27UTC



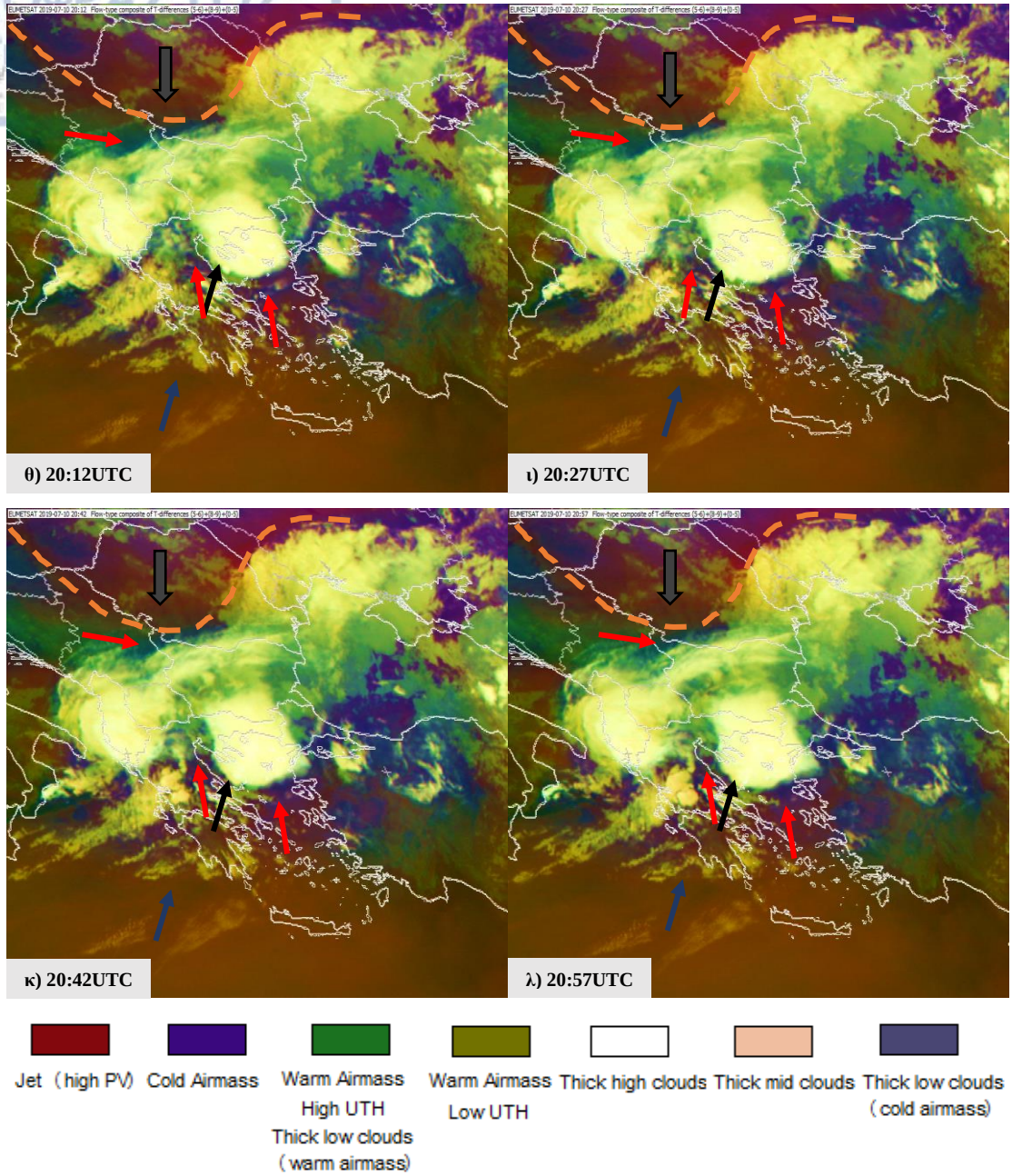
ζ) 19:42UTC



η) 19:57UTC

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.35. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 με τον συνδυασμό Airmass RGB, όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Η διακεκομμένη πορτοκαλί γραμμή επισημαίνει τα όρια του πολικού αεροχειμάρρου, τα μαύρα βέλη απεικονίζουν τα οπτικώς παχιά νέφη έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης, τα γκρι το χαμηλό ύψος της τροπόπαυσης, τα κόκκινα τις ψυχρές αέριες μάζες και τα μπλε τις θερμές αέριες μάζες με την χαμηλή υγρασία στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας της υπό μελέτη καταιγίδας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

η. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων του συνδυασμού Night Microphysics RGB (10-9, 9-4, 9)

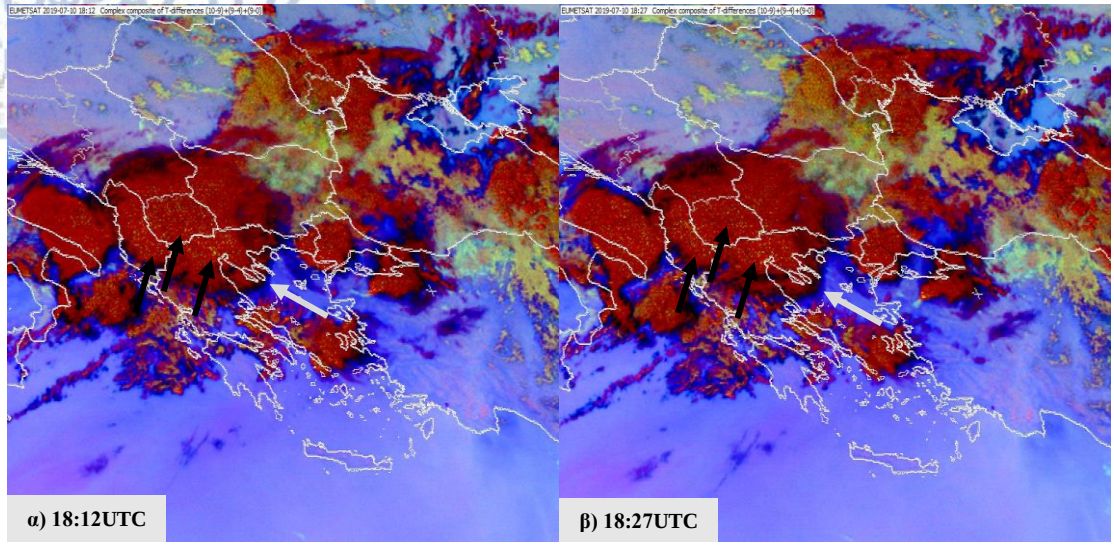
Η δορυφορική ανάλυση του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των εικόνων του χρωματικού συνδυασμού Night Microphysics RGB. Αυτή η χρωματική σύνθεση καναλιών, όπως έχει ειπωθεί και στη ενότητα της εισαγωγής, προσφέρει κατά τη διάρκεια της νύχτας μια πλήρη ανάλυση της νέφωσης και εξειδικεύεται στον εντοπισμό της ομίχλης και των χαμηλών νεφών της ατμόσφαιρας. Δεδομένου ότι η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα αναπτύχθηκε τις νυχτερινές ώρες της 10^{ης} Ιουλίου 2019, η χρήση αυτού του συνδυασμού RGB είναι ιδιαίτερα σημαντική στην παρούσα εργασία.

Ήδη από τις 18:12UTC (Εικόνα 3.36.α) διακρίνονταν νέφη, με πολύ μεγάλο οπτικό πάχος αποτελούμενα από παγοκρυστάλλους (καστανοκόκκινες αποχρώσεις με πράσινες προς κίτρινες βούλες), να συνθέτουν τον νεφικό σχηματισμό του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας (που μέσα σε αυτόν είχε ήδη αναπτυχθεί η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα), ο οποίος κάλυπτε τις χώρες Αλβανία- νότια Σερβία-Σκόπια-δυτικοκεντρική Βουλγαρία- κεντρο-βόρεια Ελλάδα. Επίσης, στα νότια τμήματα του επιμήκους νεφικού σχηματισμού παρατηρήθηκε ότι σχηματίστηκαν, λεπτά νέφη Cirrus (σκούρες μπλε αποχρώσεις), τα λεγόμενα "λοφία" του άκμονα (anvil ice plumes). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι στοιχεία τα οποία έρχονται σε συμφωνία με τις περιγραφές που έχουν ειπωθεί σε προηγούμενες υποενότητες στην δορυφορική ανάλυση του γεωστάσιμου δορυφόρου.

Από τις 19:12UTC (Εικόνα 3.36.ε) που αποκόπηκε το καταιγιδοφόρο σύστημα και μέχρι και τη διάλυση της Υπερκυτταρικής καταιγίδας, περίπου στις 20:57UTC (Εικόνα 3.36.λ), παρατηρούνταν συνεχώς τέτοια σωρειτόμορφα νέφη με μεγάλο κατακόρυφο πάχος, αφού ήταν εμφανείς οι καστανοκόκκινες αποχρώσεις με τις πρασινοκίτρινες βούλες που "ακολουθούσαν" την νοτιοανατολική πορεία της καταιγίδας να διασχίζει την χερσόνησο της Χαλκιδικής και να ξεπερνά σε οριζόντια έκταση τα 250km. Αυτή η διαρκής, ισχυρή κατακόρυφη ανάπτυξη των νεφών υποδήλωνε και το έντονο ανοδικό ρεύμα της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας. Τέλος, παράλληλα, με την έντονη κατακόρυφη νέφωση συνεχίστηκε, από τις 19:12UTC (Εικόνα 3.36.ε) και έπειτα, η εμφάνιση των λεπτών νεφών Cirrus (σκούρες μπλε αποχρώσεις) περιμετρικώς του νοτίου άκρου της νεφικής ασπίδας του αποκομμένου καταιγιδοφόρου νεφικού συστήματος μέσης κλίμακας, επιβεβαιώνοντας έτσι την επικράτηση των "λοφίων" του άκμονα (anvil ice plumes) για αρκετές χρονικές στιγμές την 10^{η} Ιουλίου 2019.

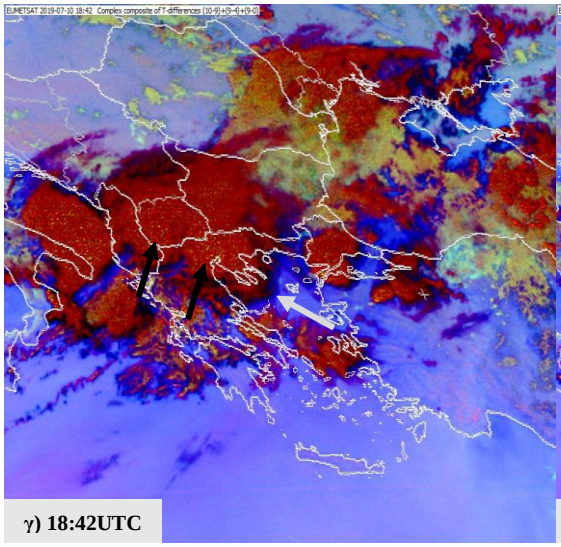
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

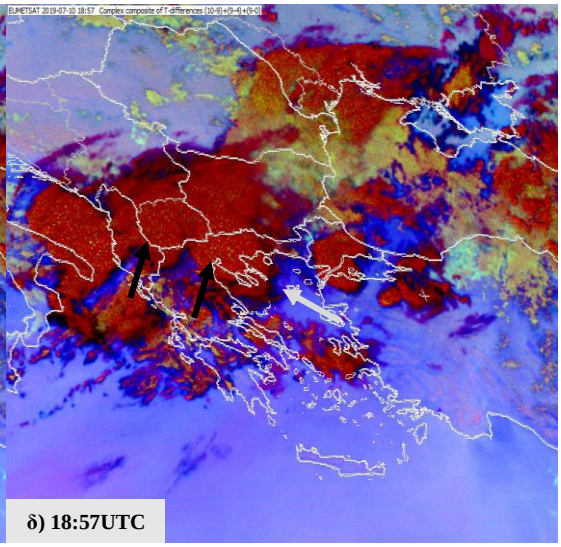


α) 18:12UTC

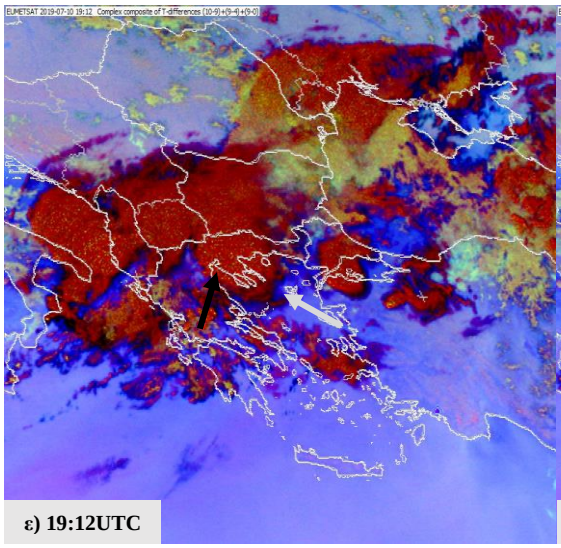
β) 18:27UTC



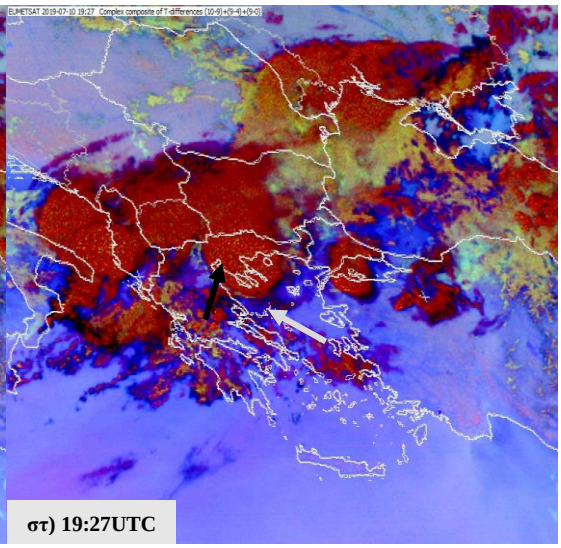
γ) 18:42UTC



δ) 18:57UTC



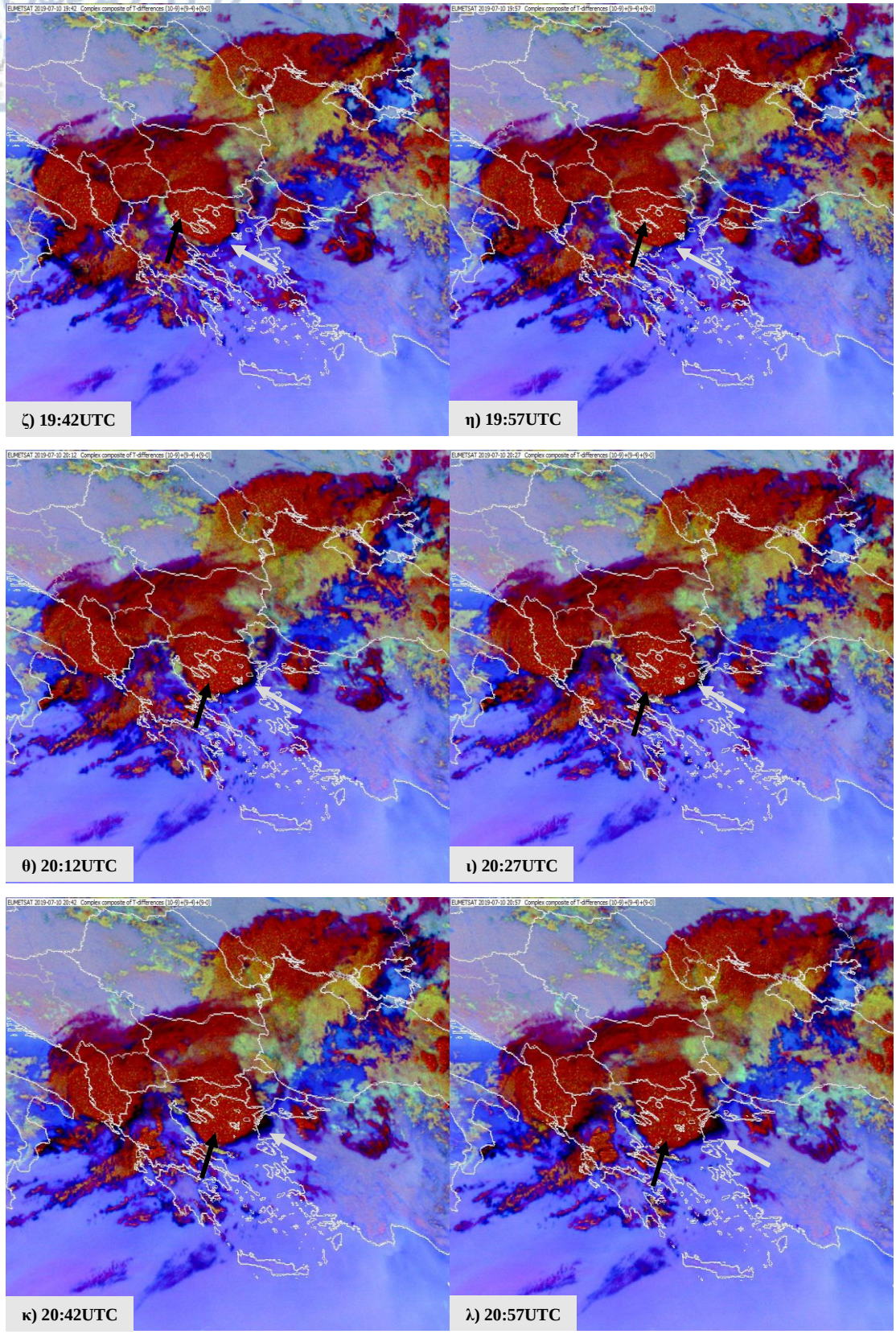
ε) 19:12UTC



στ) 19:27UTC

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Εικόνα 3.36. Δορυφορικές εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 με τον συνδυασμό Night Microphysics RGB, όπου αποτυπώνονται οι πιο σημαντικές φάσεις ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, στις 10 Ιουλίου 2019. Τα μαύρα βέλη απεικονίζουν την επικράτηση των οπτικά παχιών νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης ενώ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

τα άσπρα τα λεπτά νέφη Cirrus που συνέθεταν τα “λοφία” του άκμονα (anvil ice plumes) της υπό μελέτης καταιγίδας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια να αναγνωριστούν και να μελετηθούν, κυρίως από δορυφορικής οπτικής γωνίας, τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά της καταιγίδας που έπληξε την χερσόνησο της Χαλκιδικής στις 10 Ιουλίου 2019. Αξίζει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί πως επικουρικό ρόλο στην διευκρίνιση και αποσαφήνιση της γενικότερης ατμοσφαιρικής κατάστασης και μελέτης της εξεταζόμενης καταιγίδας έπαιξαν οι εργασίες των Christodoulou et al. 2021, Pytharoulis et al. 2021 και Sioutas et al. 2021.

Αρχικά, εξετάστηκαν τα συνοπτικά δεδομένα της ατμόσφαιρας, από τις 9 Ιουλίου 2019, 18:00UTC, έως και τις 11 Ιουλίου 2019, 00:00UTC, με χρονικό βήμα έξι ωρών, ώστε να διερευνηθούν οι παράμετροι που δημιούργησαν ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την εκδήλωση μιας τόσο ισχυρής καταιγίδας καθώς και να σχολιαστεί η γενικότερη "συμπεριφορά" της ατμόσφαιρας εκείνο το χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια, ακολούθησε η παρουσίαση των δεδομένων του δορυφόρου πολικής τροχιάς GPM της βροχόπτωσης της 10^{ης} Ιουλίου 2019. Έπειτα, έγινε παρουσίαση δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς εδάφους (Ε.Α.Α.), από δεδομένα πολικής τροχιάς δορυφόρων Sentinel 2 και Sentinel 3, από επίγεια ραντάρ (ΕΛΓΑ) δίνοντας, τέλος, την "σκυτάλη" στην ερμηνεία των δορυφορικών δεδομένων του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 ώστε να περιγραφούν και να αναλυθούν τα φασματικά και φυσικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη καταιγίδας της 10^{ης} Ιουλίου 2019, που αποτελούσαν και τον πρωταρχικό στόχο της εργασίας.

Παρακάτω διατυπώνονται τα πιο σημαντικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας, ύστερα από την ουσιαστική ανάλυση των δεδομένων που έγινε σε προηγούμενη ενότητα:

- Από τη μελέτη του συνοπτικού περιβάλλοντος της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας της 10^{ης} Ιουλίου 2019, που έγινε με τη βοήθεια τόσο των ισοβαρικών χαρτών, όσο και των κατακόρυφων τομών, και λαμβάνοντας υπόψιν και τις δορυφορικές εικόνες - δεδομένα ραντάρ, προκύπτει ότι το κύριο αίτιο αυτής της καταιγίδας που συντέλεσε σε αυτό το ακραίο καιρικό φαινόμενο, ήταν το έντονο - για την εποχή – ζωνικά διατεταγμένο και αργά κινούμενο anafront και, ειδικά, η αλληλεπίδρασή του με τη διαταραχή της Μεσογείου. Το συμπέρασμα ότι το μέτωπο αυτό ήταν anafront, προκύπτει από το γεγονός ότι στο κατώτερο τροποσφαιρικό

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

στρώμα η μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου αλλάζει και από βόρεια στα ~ 850 hPa γίνεται νότια στα ~700 hPa. Η στροφή του ανέμου καθ' ύψος από βόρειο στη ψυχρή αέρια μάζα σε νότιο στη θερμή φαίνεται στη ζωνική τομή της 11ης Ιουλίου 2019, στις 00:00UTC, στις 23 – 25ºΑ, καθώς η ζωνική τομή της 10ης Ιουλίου 2019, στις 18:00UTC, δε τέμνει τη ψυχρή αέρια μάζα, αφού αυτή τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή βρίσκεται βορειότερα των 40.5ºΒ (από όπου έγινε η ζωνική τομή). Η ανολίσθηση των θερμών και, κυρίως, υγρών αερίων μαζών επάνω στο ζωνικό μέτωπο αποτέλεσε το δυναμικό έναυσμα της υγρής ανωμεταφοράς (αστάθειας). Πράγματι, συμπυκνώσεις και φαινόμενα αστάθειας παρατηρήθηκαν κατά μήκος του anafront, τόσο καθ' όλη τη διάρκεια της 10ης Ιουλίου (όπως φάνηκε και από την ραδιοβόλιση – η εικόνα παραλείπεται - του Bridizi της Ιταλίας στις 12:00UTC όπου καταγράφηκαν πολύ υψηλές τιμές CAPE στα 2936J/kg), όσο και των προηγούμενων ημερών, με σαφή προτίμηση εκεί όπου η απόσταση μεταξύ της διαταραχής στα 500hPa και του μετώπου ήταν ελάχιστη. Συγκεκριμένα, το ευνοϊκό συνοπτικό περιβάλλον της μετωπικής ζώνης του αργά κινούμενου anafront, είχε ήδη αναπτυχθεί από τις 6 Ιουλίου 2019 (οι χάρτες παραλείπονται) στην περιοχή της οροσειράς των Άλπεων και αποτέλεσε το "έναυσμα" της έναρξης των καταιγίδων που συνεχίστηκαν μέχρι και τις 10 Ιουλίου 2019. Για αυτόν τον λόγο, οι μεσημβρινές τομές σκόπιμα τοποθετήθηκαν στο γεωγραφικό μήκος της ελάχιστης μεσημβρινής απόστασης μεταξύ του μετώπου και της περιοχής όπου λαμβάνει χώρα η θερμή μεταφορά στα 850hPa, έμπροσθεν της διαταραχής. Γενικότερα, από θερμο-δυναμικής άποψης, η χρονική στιγμή των 12:00UTC ήταν πολύ ευνοϊκή για το έναυσμα του υπό μελέτη φαινομένου, καθώς είναι η ώρα της μέγιστης θέρμανσης του εδάφους και τότε η απόσταση μεταξύ των δύο συστημάτων (μετώπου και χαμηλού στα 850hPa) ήταν η ελάχιστη (7 μοίρες γεωγραφικού πλάτους), όπως αυτή εκφράστηκε από τη μεσημβρινή απόσταση μεταξύ των δύο αντίστοιχων αεροχειμάρρων, του πολικού (polar jet, PJ) και του υποτροπικού (sub-tropical jet, STJ). Πράγματι, όπως προέκυψε τόσο από την παρουσία σχετικής υγρασίας και ανοδικών κινήσεων (από τις κατακόρυφες τομές των 12:00UTC στις 10 Ιουλίου 2019), όσο και από τις δορυφορικές εικόνες και τα δεδομένα του ραντάρ, έντονες καταιγίδες δημιουργήθηκαν στην περιοχή της Αλβανίας, πολλές μάλιστα από τις οποίες οργανώθηκαν σε συμπλέγματα. Ένα από αυτά πέρασε από την περιοχή των Πρεσπών στον Ελλαδικό χώρο και, όπως εξελίχθηκε τις βραδινές ώρες της 10ης Ιουλίου 2019 επηρέασε τον Θερμαϊκό Κόλπο-Χαλκιδική, ανατροφοδοτούμενο από τις θερμές και υγρές θαλάσσιες αέριες μάζες, που επικρατούσαν εκείνην την ώρα στην περιοχή. Στις

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

18:00UTC (από τις κατακόρυφες τομές) η απότομη κατακόρυφη κλίση του anafront, που αύξησε τόσο την κατακόρυφη προμετωπική αστάθεια, όσο και την οριζόντια σύγκλιση μάζας, αλλά και τον εγκλωβισμό θερμών/υγρών αερίων μαζών προμετωπικά, είχε σαν αποτέλεσμα να εκδηλωθούν, περίπου μισή ώρα μετά, τα έντονα φαινόμενα, επηρεάζοντας και πλήττοντας κυρίως την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και της χερσονήσου της Χαλκιδικής.

- Οι μεγαλύτερες εντάσεις βροχόπτωσης, σύμφωνα με τα δεδομένα του δορυφόρου GPM, έφτασαν έως και 48mm/hr το χρονικό διάστημα της σάρωσης 18:30UTC με 18:59UTC, μεταξύ των νομών Θεσσαλονίκης και βορειοδυτικής Χαλκιδικής και πάνω από τα νοτιοανατολικά του Θερμαϊκού κόλπου.
- Με βάση τα δεδομένα από τους επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς (Ε.Α.Α.) που εξετάστηκαν, συμπεραίνεται ότι καταγράφηκε σημαντική πτώση της θερμοκρασίας σε όλους τους σταθμούς από τις 18:30UTC και έπειτα, με ιδιαίτερη διάκριση στον σταθμό της Κασσάνδρειας όπου σημειώθηκε απότομη πτώση της θερμοκρασίας της τάξης των ~ 7°C μέσα σε μόλις 10 λεπτά. Επιπρόσθετα, οι υπό μελέτη επίγειοι σταθμοί κατέγραψαν τιμές σχετικής υγρασίας που, για αρκετή ώρα, κατά μέσο όρο προσέγγιζαν το 90%, (περίπου) μετά τις 18:30UTC. Στην πραγματικότητα αυτή η σημαντική αύξηση της σχετικής υγρασίας υποδείκνυε την παρουσία της υπό μελέτη καταιγίδας στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η χρονική σειρά κατά την οποία σημειώθηκαν οι μέγιστες ριπές στους 7 μετεωρολογικούς σταθμούς που μελετήθηκαν, έρχεται σε συμφωνία με την χρονική στιγμή παρατήρησης της απότομης πτώσης της θερμοκρασίας που καταγράφηκε σε αυτούς τους σταθμούς (ήδη από τις 18:30UTC), με μια χρονική απόκλιση της τάξης των 10 λεπτών-γεγονός που "μαρτυρά" την παρουσία του gust front αρχικά, και στη συνέχεα την ελάττωση της θερμοκρασίας (ξεκινώντας από την περιοχή της Νέας Μηχανιώνας (~21:40), κατευθυνόμενη προς Κασσάνδρεια και Πολύγυρο (~22:15), Νέο Μαρμαρά και Στρατώνι (~22:30) και πορευμένη προς Βατοπέδι και Μεγίστη Λαύρα (μετά τις 23:00)). Η μέγιστη ριπή που σημειώθηκε ήταν στον σταθμό του Νέου Μαρμαρά και έφτασε τα 132km/hr (> 12Μποφόρ). Ωστόσο, εδώ θα πρέπει να επισημανθεί ότι, λόγω της σφοδρότητας του καταιγιδοφόρου συστήματος, οι καταγραφές της ταχύτητας των ανέμων σε αυτούς τους επίγειους μετεωρολογικούς σταθμούς εμφανίστηκαν να είναι χαμηλότερες, καθώς τα ισχυρότερα φαινόμενα έλαβαν χώρα σε πολύ μικρή έκταση όπου δεν υπάρχει κάλυψη από μετεωρολογικό σταθμό (Lagouvardos et al. 2017). Επομένως, οι μέγιστες ριπές

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

των ανέμων της υπό μελέτη καταιγίδας πιθανότατα να ξεπέρασαν τα 12 Μποφόρ (τη μεγαλύτερη τιμή στην κλίμακα Μποφόρ) για τους περισσότερους σταθμούς που μελετήθηκαν (πλην του Νέου Μαρμαρά), στοιχείο που επιβεβαιώνει την μεγάλη σφοδρότητα που είχε η καταιγίδα όταν ξέσπασε στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής και προκάλεσε τόσο τις υλικές ζημιές όσο και τις 7 ανθρώπινες απώλειες.

- Συμπληρωματικά με τα παραπάνω δεδομένα, είναι ουσιώδες να αναφερθεί η σημαντική κεραυνική δραστηριότητα (περισσότερες από 6570 ηλεκτρικές εκκενώσεις) που σημειώθηκε πάνω από τη Κ. Μακεδονία και το βόρειο Αιγαίο Πέλαγος και συγκεκριμένα πάνω από την ευρύτερη περιοχή του νομού Χαλκιδικής και Θεσσαλονίκης, περίπου από τις 18:00UTC μέχρι και τις 21:00UTC. Αυτός ο πολύ μεγάλος αριθμός που καταγράφηκε, υποδήλωνε έμμεσα το έντονο δυναμικό της ατμοσφαιρικής διαταραχής που υπήρχε στα ανώτερα στρώματα.
- Τα δεδομένα των δορυφόρων Sentinel 2 και Sentinel 3, της "οικογένειας" δορυφόρων πολικής τροχιάς Sentinel, ουσιαστικά δεν έδωσαν στοιχεία χρήσιμα για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, διότι οι σαρώσεις αυτών των δορυφόρων πραγματοποιούνται συγκεκριμένες χρονικές στιγμές μέσα στο 24ωρο. Αυτό είχε σαν συνέπεια να μην έχουμε λήψεις στις σημαντικότερες χρονικές στιγμές της υπό μελέτη καταιγίδας. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί πως, με τη δυνατότητα της πολύ καλής χωρικής ανάλυσης που προσφέρουν αυτοί οι δορυφόροι, γνωστοποιήθηκε η παρουσία έντονης καταιγιδοφόρας νέφωσης που επικρατούσε στην περιοχή της Ιταλίας και της Αδριατικής θάλασσας ήδη, περίπου, από τις 09:00UTC.
- Η συμβολή των δεδομένων ραντάρ ήταν πολύ σημαντική για την αποσαφήνιση του είδους της υπό μελέτη καταιγίδας καθώς και για την εξέλιξη της πορείας της. Παρατηρήθηκε ότι το κύτταρο της υπό μελέτη καταιγίδας, πιθανότατα, να δημιουργήθηκε στην περιοχή της Αλβανίας (μετά τις 15:00UTC) και από εκεί μαζί με άλλα κύτταρα δημιούργησαν μια συγχωνευμένη ομάδα καταιγίδων ευθείας γραμμής τοξοειδούς σχηματισμού που στη συνέχεια πέρασε από την περιοχή των Πρεσπών στον Ελλαδικό χώρο (μεταξύ 16:00UTC 17:00UTC). Αυτή η ομάδα καταιγίδων ευθείας γραμμής τοξοειδούς σχηματισμού εξελίχθηκε σε σύμπλεγμα τοξοειδούς ηχούς (BEC) που μέσα σε αυτό δημιουργήθηκε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα, καθώς εμφανίστηκαν χαρακτηριστικά Υπερκυτταρικής καταιγίδας στο ραντάρ όπως η αγκιστροειδής ηχώ, η περιοχή ασθενούς ηχούς, μεγάλες τιμές ανακλαστικότητας που έφταναν τα 70dBZ και κορυφές ηχούς που έφταναν το επίπεδο της τροπόπαυσης. Όσο ενισχύονταν η οπίσθια εισροή του αεροχειμάρρου (RIJ) τόσο το σύμπλεγμα έπαιρνε το

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

σχήμα κόμματος, μέχρι που γύρω στις 18:00UTC, μετακινούμενο ανατολικά-νοτιοανατολικά, εμφάνισε νέα ανοδική ενίσχυση στο νότιο τμήμα του και για λίγες χρονικές στιγμές μετατράπηκε σε μια κατηγορία τοξοειδούς ηχούς Γραμμής Λαίλαπας (SLBE ή LEWP), με την Υπερκυτταρική καταιγίδα να υπάρχει και να διατηρείται στο βόρειο τμήμα αυτού του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας. Μετά από μια εξασθένιση και διασχίζοντας τον Θερμαϊκό κόλπο (~ 18:30UTC), η καταιγίδα απέκτησε και πάλι σημαντική ενίσχυση και εμφάνισε τον σχηματισμό τοξοειδούς ηχούς Γραμμής Λαίλαπας, μέχρι να καταλήξει η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα να ενοποιηθεί με την υπόλοιπη τοξοειδή ηχώ και να ισχυροποιηθεί τις επόμενες χρονικές στιγμές, εμφανίζοντας και το χαρακτηριστικό με τη μορφή V-εσοχής (V-notch). Η εξ ολοκλήρου εξασθένιση της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας σημειώθηκε γύρω στις 21:00UTC νότια της χερσονήσου του Άθου, έχοντας καταγράψει διάρκεια ζωής το κύτταρό της περίπου 5-6 ώρες. Όμως το υπάρχον καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας, μέσα στο οποίο "γεννήθηκε" και αναπτύχθηκε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα, συνέχισε να εξελίσσεται μέχρις ότου "πεθάνει" πέρα από τα παράλια της Μικράς Ασίας, τα ξημερώματα της 11^{ης} Ιουλίου 2019. Τα χαρακτηριστικά που παρουσίασε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα στο ραντάρ υποδήλωναν την εμφάνιση μιας πολύ καταστροφικής καταιγίδας με πολύ ισχυρό ανοδικό ρεύμα, έντονες χαλαζοπτώσεις (με μέγιστες τιμές ανακλαστικότητας να φτάνουν τα 70dBZ και κορυφές ηχούς να προσεγγίζουν την τροπόπαυση), υψηλές βροχοπτώσεις (βλέπε δεδομένα GPM) και συνοδεία σφοδρών καθοδικών ανέμων (downbursts) (όπως αποδείχθηκε και από τις ριπές των ανέμων στα δεδομένα των σταθμών).

- Οι ενισχυμένες χρωματικά δορυφορικές εικόνες του καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat-11 προσέφεραν πολύ σημαντικές πληροφορίες για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας. Αρχικά, οι τιμές θερμοκρασίας λαμπρότητας που καταγράφηκαν στο καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας, μέσα στο οποίο αναπτύχθηκε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα, (βλέπε δεδομένα ραντάρ) έφταναν τους -68°C. Αυτές οι χαμηλές τιμές δείχνουν και το μεγάλο ύψος που έφτασαν οι κορυφές του άκμονα του νεφικού συστήματος. Σχετικά με την υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα, η δομή του χαρακτηριστικού σχήματος ψυχρού U/V στην κορυφή του νέφους της, που σχηματίστηκε στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής τις ώρες της μέγιστης εκδήλωσής της, περίπου από τις 18:30UTC μέχρι τις 19:30UTC, κάλυπτε μια αρκετά μεγάλη οριζόντια διάμετρο της τάξης των 160km

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

με την ψυχρή περιοχή (υπερυψωμένη κορυφή της Υπερκυτταρικής καταιγίδας) και το "ζευγάρι" των ενσωματωμένων θερμών περιοχών της (κοντινή θερμή περιοχή-CWA και απομακρυσμένη θερμή περιοχή-DWA) να είναι διατεταγμένα όλα μαζί σε μια ευθεία γραμμή. Τόσο ο σχηματισμός όσο και η διάρκεια (~ 45 λεπτά) της δομής της, δικαιολογούν την εμφάνιση μιας πολύ ισχυρής καταιγίδας, καθώς και τη μεγάλη ένταση και σφοδρότητα που είχε το ανοδικό ρεύμα της, προσεγγίζοντας η υπερυψωμένη της κορυφή τους -70°C και υποδηλώνοντας έτσι ότι η τελευταία διαπέρασε το επίπεδο της τροπόπαυσης, φτάνοντας το στρώμα της στρατόσφαιρας, μέχρι να διαλυθεί περίπου στις 21:00UTC νότια της χερσονήσου του Άθου και το μέσης κλίμακας καταιγιδοφόρο σύστημα συνεχίσει, έπειτα, την πορεία του ανατολικά, πέρα από τα παράλια της Μικράς Ασίας, και "πεθάνει" γύρω στις 03:00UTC.

- Οι δορυφορικές λήψεις του καναλιού 12 του ορατού υψηλής ανάλυσης (HRV) παρείχαν βασικά στοιχεία ειδικότερα για τη "γέννηση" και εξέλιξη του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας, αφού οι εικόνες που παρατίθενται από αυτό το κανάλι αφορούν μόνο τις ώρες παρουσίας του ηλιακού φωτός. Διαπιστώθηκε από την ανάλυση ότι το αρχικό κύτταρο του καταιγιδοφόρου συστήματος μέσης κλίμακας δημιουργήθηκε στην κεντρο-νότια Ιταλία περίπου στις 09:30UTC. Έπειτα, αναπτύχθηκε περισσότερο και εμφάνισε μεγάλα ποσοστά ανακλαστικότητας (κοντά στο 90%), καθώς σχηματίστηκαν νέφη πολύ έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης. Αυτά ανατροφοδοτούνταν συνεχώς από νέα κύτταρα (υπερυψωμένες κορυφές), διατηρώντας το έντονο λευκό χρώμα τους, ιδιαίτερα από τις 12:00UTC και μετά, και σχηματίζοντας ταυτόχρονα και τα χαρακτηριστικά "λοφία" (αποτελούμενα από λεπτά νέφη Cirrus), τα οποία αναγνωρίζονται ως δείκτης εμφάνισης πολύ σοβαρού καιρού. Ακόμα, μέσω αυτών των εικόνων, έγινε γνωστό πως όταν το καταιγιδοφόρο σύστημα πέρασε στην Αλβανία, μετά τις 15:00UTC, φαίνεται πως τότε δημιουργήθηκε το κύτταρο της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας.
- Οι δορυφορικές εικόνες από τα κανάλια 5 (WV6.2μm) και 6 (WV7.3μm) των υδρατμών αναγνώρισαν την σημαντική ποσότητα υγρασίας και τα υψηλού επιπέδου νέφη που κάλυπταν ολόκληρη την Κεντρική Μακεδονία μαζί με τους νομούς της Δράμας και της Καβάλας, τις χρονικές στιγμές της εντατικοποίησης της υπό μελέτη καταιγίδας περίπου από τις 18:30UTC μέχρι τις 19:30UTC. Συγκεκριμένα, στις εικόνες του καναλιού 5 (WV6.2μm), μια σκούρη γκρι ζώνη στην ευρύτερη περιοχή της Ρουμανίας δικαιολόγησε την θέση του πολικού αεροχειμάρρου καθώς και την περιοχή των χαμηλών υψών της τροπόπαυσης, κάτι που διαπιστώθηκε και από τις κατακόρυφες

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

τομές. Η παρουσία τους ερμηνεύτηκε ως στοιχείο επιδείνωσης της κατάστασης που επικρατούσε στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα, συμβάλλοντας στο να εκδηλωθούν έντονα καταιγιδοφόρα συστήματα με υψηλά ποσά υγρασίας στις νοτιοανατολικές χώρες της Μεσογείου και συγκεκριμένα στους νομούς της Β. Ελλάδας.

- Η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών 5 (WV6.2μm) & 6 (WV7.3μm) των υδρατμών προσδιόρισε την παρουσία της υπερυψωμένης κορυφής, η οποία λόγω των μεγάλων θετικών της τιμών θεωρήθηκε ότι προσέγγιζε το επίπεδο της στρατόσφαιρας, και των νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, να αναπτύσσονται καθ' όλη τη διάρκεια της εξέλιξής της. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι πως οι θετικές τιμές παρατηρήθηκαν να "ακολουθούν" την πορεία της κορυφής της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας μέχρι η τελευταία να "διαλυθεί" νότια της χερσονήσου του Άθου, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των ενισχυμένων χρωματικά εικόνων του καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm).
- Όπως αποδείχτηκε από τις αναλύσεις των δεδομένων, παρόμοια συμπεράσματα, με την διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών των υδρατμών, παρουσιάζονται και στην διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ του καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm) και του καναλιού 5 των υδρατμών (WV6.2μm). Αυτό σημαίνει πως οι θετικές τιμές συνέπιπταν με την πορεία της υπερυψωμένης κορυφής της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας, που ήταν συνοδευόμενη από την παρουσία νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης τις χρονικές στιγμές της μέγιστης εκδήλωσής της. Τέλος, διαπιστώθηκε πως η μέγιστη θετική τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας αυτής της διαφοράς, εκτός του ότι θεωρήθηκε πως προσέγγισε το στρώμα της στρατόσφαιρας, αποδείχθηκε, επίσης, να συνδέεται άρρηκτα με την ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας λαμπρότητας της δομής του ενισχυμένου χρωματικά καναλιού 9 του θερμικού υπερύθρου (IR10.8μm).
- Η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των καναλιών 9 (IR10.8μm) & 10 (IR12.0μm) του θερμικού υπερύθρου απεικόνισε με σαφήνεια την έντονη σωρειτόμορφη δραστηριότητα που επικρατούσε κατά τη διάρκεια εξέλιξης της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι, η διαφορά αυτή συμφωνεί με τις δορυφορικές αναλύσεις που ερμήνευαν το οπτικό πάχος της νεφικής ασπίδας του καταιγιδοφόρου σχηματισμού. Ακόμα, μέσω αυτής της

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

διαφοράς προσδιορίστηκε και η εμφάνιση των λεπτών νεφών Cirrus νοτίως περιμετρικά της νεφικής ασπίδας.

- Με τον χρωματικό συνδυασμό Airmass RGB εξήχθησαν σημαντικά αποτελέσματα αποσαφήνισης των δυναμικών διαδικασιών και των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας στις 10 Ιουλίου 2019. Αναγνωρίστηκε τόσο η θέση του πολικού αεροχειμάρρου όσο και η παρουσία των χαμηλών υψών της τροπόπαυσης βόρεια της μετωπικής ζώνης, όπου "δέσποζαν" τα παχιά λευκά νέφη μεγάλης κατακόρυφης ανάπτυξης και μέσα στα οποία είχε αναπτυχθεί η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα. Εκατέρωθεν της μετωπικής ζώνης εντοπίστηκαν οι θερμές (νότια) και οι ψυχρές (βόρεια) αέριες μάζες που συνέβαλαν στην ενίσχυση της υπό μελέτη καταιγίδας.
- Τέλος, επειδή η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα εκτυλίχθηκε τις νυχτερινές ώρες της 10^{ης} Ιουλίου 2019, η συμβολή του χρωματικού συνδυασμού Night Microphysics RGB αποτέλεσε σημαντική προσθήκη στην παρούσα εργασία. Οι χρονικές στιγμές που εξετάστηκαν, νέφη με πολύ μεγάλο οπτικό πάχος, αποτελούμενα από παγοκρυστάλλους, αναγνωρίστηκαν να συνθέτουν τον νεφικό σχηματισμό, μέσα στον οποίο εξελίχθηκε η υπό μελέτη Υπερκυτταρική καταιγίδα. Ταυτόχρονα, νότια του επιμήκους νεφικού σχηματισμού εμφανίστηκαν τα "λοφία" του άκμονα του νέφους, τα οποία όπως αποδείχθηκε συνθέτονται από λεπτά νέφη Cirrus. Τα στοιχεία αυτά συμπεραίνεται ότι έρχονται σε συμφωνία με τα παραπάνω αποτελέσματα που περιεγράφηκαν στην δορυφορική ανάλυση της παρούσας εργασίας.

Γενικότερα, το κύτταρο της υπό μελέτη καταιγίδας, που "ξέσπασε" στην χερσόνησο της Χαλκιδικής, μετά τις 18:00UTC, γεννήθηκε και ανέπτυξε χαρακτηριστικά Υπερκυτταρικής καταιγίδας μέσα στο προϋπάρχον καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας, το οποίο ξεκίνησε από την κεντρο-νότια Ιταλία, περίπου στις 09:30UTC 10 Ιουλίου 2019 και αργότερα πέρασε στον Ελλαδικό χώρο. Αυτά τα χαρακτηριστικά (που σχολιάστηκαν στην υποενότητα του ραντάρ) αναπτύχθηκαν μέσα σε ένα σύμπλεγμα καταιγίδων τοξοειδούς σχήματος, μέχρι η υπό μελέτη καταιγίδα χαρακτηριστεί "επίσημα" ως Υπερκυτταρική και αποκτήσει την δομή του χαρακτηριστικού σχήματος ψυχρού U/V στην κορυφή του άκμονά της. Τόσο ο σχηματισμός όσο και η διάρκεια (~45 λεπτά) της δομής της με την συνεχώς ανατροφοδοτούμενη παρουσία πολύ υψηλών νεφών έντονης κατακόρυφης ανάπτυξης, δικαιολογούν την μεγάλη ισχύ και σφοδρότητα που είχε το ανοδικό της ρεύμα, με τον πυρήνα να προσεγγίζει ακόμα και το στρώμα της στρατόσφαιρας (- 70°C).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Επίσης, το γεγονός ότι από τις ανάλογες διαφορές θερμοκρασιών λαμπρότητας προέκυπτε ότι η υπερυψωμένη κορυφή της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας προσέγγιζε το επίπεδο της στρατόσφαιρας, επιβεβαιώνει τόσο την μεγάλη "επιμονή" και ισχύ που είχε το ανοδικό ρεύμα όσο και τις σοβαρές καταστροφές που προκάλεσε στο πέρασμά της. Ακόμα, η νεφική ασπίδα της υπό μελέτη Υπερκυτταρικής καταιγίδας κάλυπτε μια αρκετά μεγάλη οριζόντια διάμετρο της τάξης των 160km. Το ευνοϊκό συνοπτικό περιβάλλον της στάσιμης μετωπικής ζώνης, που είχε αναπτυχθεί ήδη από τις 6 Ιουλίου 2019 στην περιοχή της οροσειράς των Άλπεων, αποτέλεσε το "έναυσμα" της έναρξης των καταιγίδων που συνεχίστηκαν μέχρι και τις 10 Ιουλίου 2019. Μαζί με τη μεγάλη ποσότητα υγρασίας, με την οποία εμπλουτίστηκε ο νεφικός σχηματισμός, από τον πολύ θερμό και αβαθή Θερμαϊκό κόλπο, συνέβαλε ώστε η Υπερκυτταρική καταιγίδα να προκαλέσει (με βάση τις πηγές των μέσων ενημέρωσης) 7 θανάτους, τραυματισμούς σε περισσότερους από 100 ανθρώπους, ανυπολόγιστες καταστροφές στις περιουσίες των κατοίκων του νομού Χαλκιδικής, τρομερές ζημιές στο οδικό και ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και αρκετές ξεριζώσεις δέντρων.

Αξίζει να τονιστεί ότι η υπερυψωμένη κορυφή της Υπερκυτταρικής καταιγίδας, κατά το διάστημα της μέγιστης εκδήλωσής περίπου από τις 18:30UTC μέχρι τις 19:30UTC, βρίσκονταν κατά μήκος δυτικά της Θεσσαλονίκης- στη συνέχεια βορειοδυτικά των ακτών της χερσονήσου της Χαλκιδικής-και τέλος, βόρεια της χερσονήσου της Σιθωνίας, γεγονός που πιθανότατα να εξηγεί τον λόγο που συνέβησαν εκεί τα σοβαρά γεγονότα και σημειώθηκαν οι 7 θάνατοι των ανθρώπων. Στο μεταξύ ο πυρήνας της, από τις 19:27UTC, εντοπίζονταν βόρεια του κόλπου του Αγίου Όρους και από τις 19:42UTC κατευθύνονταν προς την χερσόνησο του Άθου, μέχρι που γύρω στις 20:00UTC ξεκίνησε η αποδυνάμωσή της Υπερκυτταρικής καταιγίδας και διαλύθηκε περίπου στις 21:00UTC, νότια της χερσονήσου του Άθου. Μαρτυρίες κατοίκων ανέφεραν το γεγονός ως κάτι το πρωτόγνωρο που είχαν ζήσει και που το οποίο προκάλεσε αυτές τις τόσο σοβαρές και ακραίες καταστροφές. Περισσότερες από 6570 ηλεκτρικές εκκενώσεις και αρκετά ισχυρούς ανέμους σαν ανεμοστρόβιλο, αντίκρυσαν οι κάτοικοι (σύμφωνα με μαρτυρίες τους) οι οποίοι προκάλεσαν τη μεγαλύτερη βλάβη δικτύου στην ιστορία της ΔΕΗ και τις τεράστιες καταστροφές στις περιουσίες των ανθρώπων και στην γεωργία, με την Πυροσβεστική της περιφέρειας της Κεντρικής Μακεδονίας να καταγράφει συνολικά 1045 κλήσεις (Ε.Α.Α.).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος της εργασίας αποτελεί η αναγνώριση και η μελέτη των φασματικών και φυσικών χαρακτηριστικών της καταιγίδας που έπληξε την Χαλκιδική την 10η Ιουλίου 2019 με τη χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα γεωστάσιμων και πολικής τροχιάς δορυφόρων (MSG-SEVIRI, Sentinel 2 και 3, GPM) σε συνδυασμό με καταγραφές επίγειων ραντάρ για να μελετηθούν και να καθοριστούν τα φασματικά χαρακτηριστικά του καταιγιδοφόρου νεφικού συστήματος βάσει των οποίων εξήχθησαν πληροφορίες για τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτού (ύψος, μορφή, τοπογραφία κορυφής, κατανομή βροχής κ.α.) και της χρονικής τους εξέλιξης. Τα φυσικά χαρακτηριστικά της καταιγίδας αποτέλεσαν τη βάση για τη διερεύνηση του είδους της καταιγίδας (MCS, πολυκυτταρικής ή υπερκυτταρικής). Αυτά τα ευρήματα, στη συνέχεια, ερμηνεύτηκαν σε σχέση και με τα συνοπτικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Σχετικά με την εφαρμογή των δορυφορικών προϊόντων, η συγκεκριμένη μελέτη επικεντρώθηκε στην ανάλυση των καναλιών του ορατού, του υπερύθρου και των υδρατμών είτε μεμονωμένα, είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους, είτε από διαφορές αυτών των καναλιών. Σημαντικό ρόλο έπαιξε η παρουσία του ορατού καναλιού υψηλής ευκρίνειας (HRV) και η χρωματική σύνθεση καναλιών RGB με σκοπό την αποτύπωση και την ερμηνεία των χαρακτηριστικών της περιοχής με την έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη. Αυτή η υπό μελέτη καταιγίδα αποδείχθηκε ότι ανέπτυξε χαρακτηριστικά υπερκυτταρικής καταιγίδας μέσα σε ένα καταιγιδοφόρο σύστημα μέσης κλίμακας, το οποίο είχε δημιουργηθεί λόγω του ευνοϊκού συνοπτικού περιβάλλοντος που επικρατούσε στη νότια Ευρώπη, και προκάλεσε τις σφοδρές καταστροφές και τις 7 απώλειες κυρίως στην χερσόνησο της Χαλκιδικής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

6. ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Title

A case study of a supercell on the 10th July, 2019 based on satellite data.

Author: Eleni Angelidou

Abstract

The aim of this study is to identify and examine the spectral and physical characteristics of the storm that hit Chalkidiki, Greece, on July 10, 2019 using remote sensing data. Geostationary and Polar Orbiting Satellite Data (MSG-SEVIRI, Sentinel 2 and 3, GPM) were used in conjunction with ground radar recordings to study and determine the spectral characteristics of the thunderstorm cloud system, based on which, information was extracted for its physical characteristics (height, shape, topography of the top, rainfall distribution, etc.) and their temporal evolution. Storm's physical characteristics were the basis for investigating the type of the storm (MCS, multicell or supercell). These findings were, subsequently, interpreted in relation to the synoptic characteristics of the atmosphere, as well. Regarding the implementation of the satellite products, this specific study was focused on the analysis of the channels of visible, infrared and water vapor either individually, or in combination with each other, or by differences in these channels. The presence of the visible channel of high resolution (HRV) and the color channels RGB composition played an important role in capturing and interpreting the features of the region with intense convective development. This case study storm proved to have developed supercell characteristics in a mesoscale convective system, which was created because of the favorable environment in southern Europe, and caused severe damages and 7 fatalities mainly in the Chalkidiki peninsula.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adler, R.F., Fenn, D.D., 1979. Thunderstorm intensity as determined from satellite imagery. J. Appl. Meteorol. 18, 502–517.

Adler, R.F., Markus, M.J., Fenn, D.D., 1985. Detection of severe Midwest thunderstorms using geosynchronous satellite data. Mon. Weather Rev. 113, 769–781.

Adler, R.F., Mack, R.A., 1986. Thunderstorm cloud top dynamics as inferred from satellite observations and a cloud top parcel model. J. Atmos. Sci. 43, 1945–1960.

Alliss, R., and Hoffman, M., 2010: Quasi-Linear Convective System Mesovorticies and Tornadoes. Meteorology Program, Iowa State University, Ames.

Battan LJ, 1959: Radar meteorology. Chicago, University of Chicago Press, 161 pp.

Braun, S. A., , and Monteverdi J. P. , 1991: An analysis of a mesocyclone-induced tornado occurrence in northern California. Wea. Forecasting, **6 ,** 13–31.

Browning, K. A. and R. J. Donaldson Jr., 1963: Airflow and structure of a tornadic storm. J. Atmos. Sci.,**20,** 533–545.

Browning, K. A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. J. Atmos. Sci., 21, 634-639.

Browning, K. A., 1965: The evolution of tornadic storms. J. Atmos. Sci., 22, 664-668.

Burgess, D. W., Wood V. T., and Brown R. A., 1982: Mesocyclone evolution statistics (1982). Preprints, 12th Conf. on Severe Local Storms, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., 422–424.

Byers, H. R., and R. R. Braham, 1949: The Thunderstorm. Washington, D. C., U. S. Gov't Printing Office, 287pp.

Christodoulou M, Sioutas M (2014) Supercell storms in Northern and Central Greece. In: Proceedings of twelfth Panhellenic conference of meteorology, climatology and atmospheric physics. Heraklion, Greece, vol 1, pp 186-191.

Christodoulou M., Pytharoulis I., Karacostas T. (2021) The July 10, 2019 Catastrophic Supercell over Northern Greece. Part I: Observational Analyses. In: Proceedings of fifteen Panhellenic Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Ioannina, Greece, pp 898-907.

Conover J. H., 1962 "The interpretation of cloud pictures from TIROS meteorological satellites", Jour. SMPTE, vol. 71, pp. 21-25.

EUMETSAT, 2007. A planned change to the MSG Level 1.5 image product radiance definition, Rep. EUM/OPS-MSG/TEN/06/0519, EUMETSAT, Darmstadt, Germany

Feidas H, Giannakos A (2011) Identifying precipitating clouds in Greece using multispectral infrared Meteosat Second Generation satellite data. Theor Appl Climatol. doi:10.1007/s00704-010-0316-5

Fritz S, Laszlo I (1993) Detection of water vapor in the stratosphere over very high clouds in the tropics. J Geophys Res 98 (D12):22959–22967.

Fujita, T. T., 1978: Manual of downburst identification for Project Nimrod. Department of Geophysical Sciences, University of Chicago Satellite and Mesometeorology Research Paper No.156, 104 pp.

Fujita, T. T., 1979: Objective, operation, and results of Project NIMROD. Preprints, 11th Conf. on Severe Local Storms, Kansas City, MO, Amer. Meteor. Soc., 259–266.

Fujita, T.T., 1982. Principle of stereoscopic height computations and their applications to stratospheric cirrus over severe thunderstorms. J. Meteorol. Soc. Jpn. 60, 355–368.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Georgiev, C.G., Santurette, P. (2005). INTERPRETATION GUIDE TO MSG WATER VAPOUR CHANNELS. Academic Press. Copyright © 2005, Elsevier Inc.

Heymsfield, G.M., Blackmer Jr., R.H., Schotz, S., 1983a. Upper level structure of Oklahoma tornadic storms on 2 May 1979, Pt. 1 radar and satellite observations. J. Atmos. Sci. 40, 1740–1755.

Heymsfield, G.M., Szejwach, G., Schotz, S., Blackmer Jr., R.H., 1983b. Upper level structure of Oklahoma tornadic storms on 2 May 1979, Pt. 2 Proposed explanation of "V" pattern and internal warm region in infrared observations. J. Atmos. Sci. 40, 1756–1767.

Heymsfield, G.M., Blackmer Jr., R.H., 1988. Satellite-observed characteristics of Midwest severe thunderstorm anvils. Mon. Weather Rev. 116, 2200–2224.

Heymsfield, G.M., Fulton, R., Spinhirne, J.D., 1991. Aircraft overflight measurements of Midwest severe storms: Implications on geosynchronous satellite interpretations. Mon. Weather Rev. 119, 436–456.

Inoue T (1985) On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus clouds by bi-spectral measurements in the 10-mm window region. J Meteor Soc Japan 63:88–99.

Inoue T (1987a) A cloud type classification with NOAA-7 split window measurements. J Geophys Res 92:3991–4000.

Inoue T (1987b) An instantaneous delineation of convective rainfall areas using split window data of NOAA-7 AVHRR. J Meteor Soc Japan 65:469–481.

Inoue T, Wu X, Bessho K (2001) Life cycle of convective activity in terms of cloud type observed by split window. 11th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, Madison, WI, USA.

Johns, R. H., and W. D. Hirt, 1987: Derechos: Widespread convectively induced windstorms. Wea. Forecasting, **2,** 32–49.

Klemp, J. B., and R. Wilhelmson, 1978: Simulations of right- and left-moving storms produced through storm splitting. J. Atmos. Sci., 35, 1097–1110.

Klimowski, B. A., R. W. Przybylinski, G. Schmocker, and M. R. Hjelmfelt, 2000: Observations of the formation and early evolution of bow echoes. Preprints, 20th Conf. on Severe Local Storms, Orlando, FL, Amer. Meteor. Soc., 44–47.

Klimowski, B. A., Hjelmfelt M. R. , , and Bunkers M. J. , 2004: Radar observations of the early evolution of bow echoes. Wea. Forecasting, **19 ,** 727–734.

Kotroni V, Lagouvardos K (2008) Lightning occurrence in relation with elevation, terrain slope and vegetation cover in the Mediterranean. J Geophys Res 113:D21118.

Kotroni V, Lagouvardos K (2016) Lightning in the Mediterranean and its relation with sea surface temperature.Environ Res Lett 11:034006.

Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., Mazarakis, N., Papagiannaki, K., and Vougioukas, S. 2017: The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database, Geosci. Data J., 4, 4–16, https://doi.org/10.1002/gdj3.44, .

Lee, W.-C., R. E. Carbone, and R. M. Wakimoto, 1992: The evolution and structure of a ''bow-echo–microburst'' event. Part II: The bow echo. Mon. Wea. Rev., **120,** 2211–2225.

Lin, Y.-L., 2007: Mesoscale Dynamics, Chapter 8-Isolated convective storms 272-318 Cambridge University Press,630pp.

Lutz, H-J., Inoue, T., Schmetz, J. 2003 NOTES AND CORRESPONDENCE Comparison of a Splitwindow and a Multi-spectral Cloud Classification for MODIS Observations. Journal of Meteorological Society of Japan, 81, 3, pp 623-631.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

McCann, D.W., 1983. The enhanced-V: a satellite observable severe storm signature. Mon. Weather Rev. 111, 887–894.

McCaul, E. W., Jr., 1991: Buoyancy and shear characteristics of hurricane–tornado environments. Mon. Wea. Rev.,**119,** 1954–1978.

Maddox, R. A., 1976: An evaluation of tornado proximity wind and stability data. Mon. Wea. Rev., **104 ,** 133–142.

Maddox R. A. (1980**):** Mesoscale convective complexes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 61, 1374–1387

Moller, A. R., C. A. Doswell III, M. P. Foster, and G. R. Woodall, 1994: The operational recognition of supercell thunderstorm environments and storm structure. Wea. Forecasting, **9,** 327–347.

Negri, A.J., 1982. Cloud-top structure of tornadic storms on 10 April 1979 from rapid scan and stereo satellite observations. Bull. Am. Meteorol. Soc.63, 1151–1159.

Nolen, R. H., 1959: A radar pattern associated with tornadoes. Bull. Amer. Meteor. Soc., **40,** 277–279.

Przybylinski, R. W, and D. M. DeCaire, 1985: Radar signatures associated with the derecho. One type of mesoscale convective system. Preprints, 14th Conf. on Severe Local Storms, Indianapolis, IN, Amer. Meteor. Soc., 228–231.

Purdom, J.F.W., 1976. Some uses of high-resolution GOES imagery in the mesoscale forecasting of convection and its behavior. Mon. Weather Rev. 104, 1474–1483.

Pytharoulis I., Karacostas T., Christodoulou M., Matsangouras I. (2021) The July 10, 2019 Catastrophic Supercell over Northern Greece. Part II: Numerical modelling. In: Proceedings of fifteen Panhellenic Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Ioannina, Greece, pp 1032-1037.

Rodwell, M. J. & Hoskins, B. J. (1996) Monsoons and the dynamics of deserts. Q. J. R. Meteorol. Soc. **122**, 1385–1404.

Rotunno, R., and J. B. Klemp, 1982: The influence of the shear-induced pressure gradient on thunderstorm motion. Mon. Wea.Rev.,110,136–151

Schlesinger, R.E., 1984. Mature thunderstorm cloud-top structure and dynamics: a three-dimensional numerical simulation study. J. Atmos. Sci. 41, 1551–1570.

Schlesinger,R.E.,1988. Effects of stratospheric lapse rate on thunderstorm cloud top structure in a three-dimensional numerical simulation. Part I: some basic results of comparative experiments. J. Atmos. Sci. 45, 1555–1570.

Schmetz, J., Tjemkes, S.A., Gube, M., van de Berg, L. 1997 Monitoring deep convection and convective overshooting with METEOSAT. Advances in Space Research, 19, pp 433–441.

Setvák, M., , and Rabin R. M. , 2005: MSG observations of deep convective storms. 2005 EUMETSAT Meteorological Satellite Conf., Dubrovnik, Croatia, EUMETSAT P.46, 460–466.

Setvák, M., R.M. Rabin, P.K. Wang, (2005): Contribution of MODIS instrument to the observations of deep convective storms and stratospheric moisture detection in GOES and MSG imagery. Atmos. Research (submitted in March 2005; accepted for press in September 2005).

Setvák,M.,D.T. Lindsey, P. Novák, P.K. Wang, M. Radová, J. Kerkmann, L. Grasso, S.-H. Su, R.M. Rabin, J. Šťástka, Z. Charvát. (2010) Satellite-observed cold-ring-shaped features atop deep convective clouds. Atmos. Res., 97, pp. 80-96.

Setvák,M., K. Bedka, D.T. Lindsey, A. Sokol, Z. Charvát, J. Šťástka, P.K. Wang, (2013) Academic Press. A-Train observations of deep convective storm tops. Atmos. Res., 123, pp. 229-248.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Sioutas M., Chatzi H., Tegoulias I. (2021) The severe weather outbreak in northern Greece on 10 July 2019: Atmospheric environment and storm characteristics. In: Proceedings of fifteen Panhellenic Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics. Ioannina, Greece, pp 1038-1043.

Weisman, M. L., 1993: The genesis of severe, long-lived bow echoes. J. Atmos. Sci., **50,** 645–670.

Weisman, M. L., 2001: Bow echoes: A tribute to T. T. Fujita. Bull. Amer. Meteor. Soc., **82,** 97–116.

Weisman, M. L., and J. B. Klemp. 1982. The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. Mon. Wea. Rev. 110:504–520.

Weisman, M. L., and J. B. Klemp, 1986: Characteristics of isolated convective storms. Mesoscale Meteorology and Forecasting, P. S. Ray, Ed., Amer. Meteor. Soc., 331-358.

Weisman, M.L., and R.J. Trapp, 2003: Low-Level Mesovortices within Squall Lines and Bow Echoes. Part I: Overview and Dependence on Environmental Shear. Mon. Wea. Rev., **131**, 2779–2803.

Ελληνική Βιβλιογραφία:

Καρτάλης, Κ., & Φείδας, Χ. (2006). Αρχές και εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης (1η). Αθήνα: Γκιούρδας Β.

Ρούπα Π, 2009: Χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών εκκενώσεων στον Ελλαδικό χώρο και σχέση αυτών με τον υετό. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 118.

Ηλεκτρονικές ιστοσελίδες:

Educational Website:

https://glossary.ametsoc.org/wiki/Welcome

http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/svr/type/home.rxml

http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/svr/type/mline/home.rxml

https://www.weather.gov/lmk/supercell/dynamics

https://www.weather.gov/ama/supercell

https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell

https://en.wikipedia.org/wiki/Mesoscale_convective_system

https://www.eoas.ubc.ca/courses/atsc113/flying/met_concepts/04-met_concepts/04a-Tstorm_types/index-basic.html

https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/prmet102/Ch14-Tstorms-v102b.pdf

https://mrcc.illinois.edu/living_wx/thunderstorms/index.html

https://climate.ncsu.edu/edu/StormClassification

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

https://www.cambridge.org/core/books/mesoscale-dynamics/mesoscale-convective-systems/65DC94BBCFA7C57209A330AA2795F8BB
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4
https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2+Products+Specification+Document+%28PSD%29/0f7bedeb-9fbb-4b60-91aa-809162de456c
https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Facts_and_figures
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Facts_and_figures
https://cimss.ssec.wisc.edu/itwg/itsc/itsc21/program/posters/14p.02_klaes.pdf
METEO: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gdj3.44/full
http://eumetrain.org/rgb_quick_guides/index.html
http://photodentro.edu.gr/photodentro/d-balkan_geo_map_v1.6_pidx0014032/story_html5.html

Ηλεκτρονικές σημειώσεις:

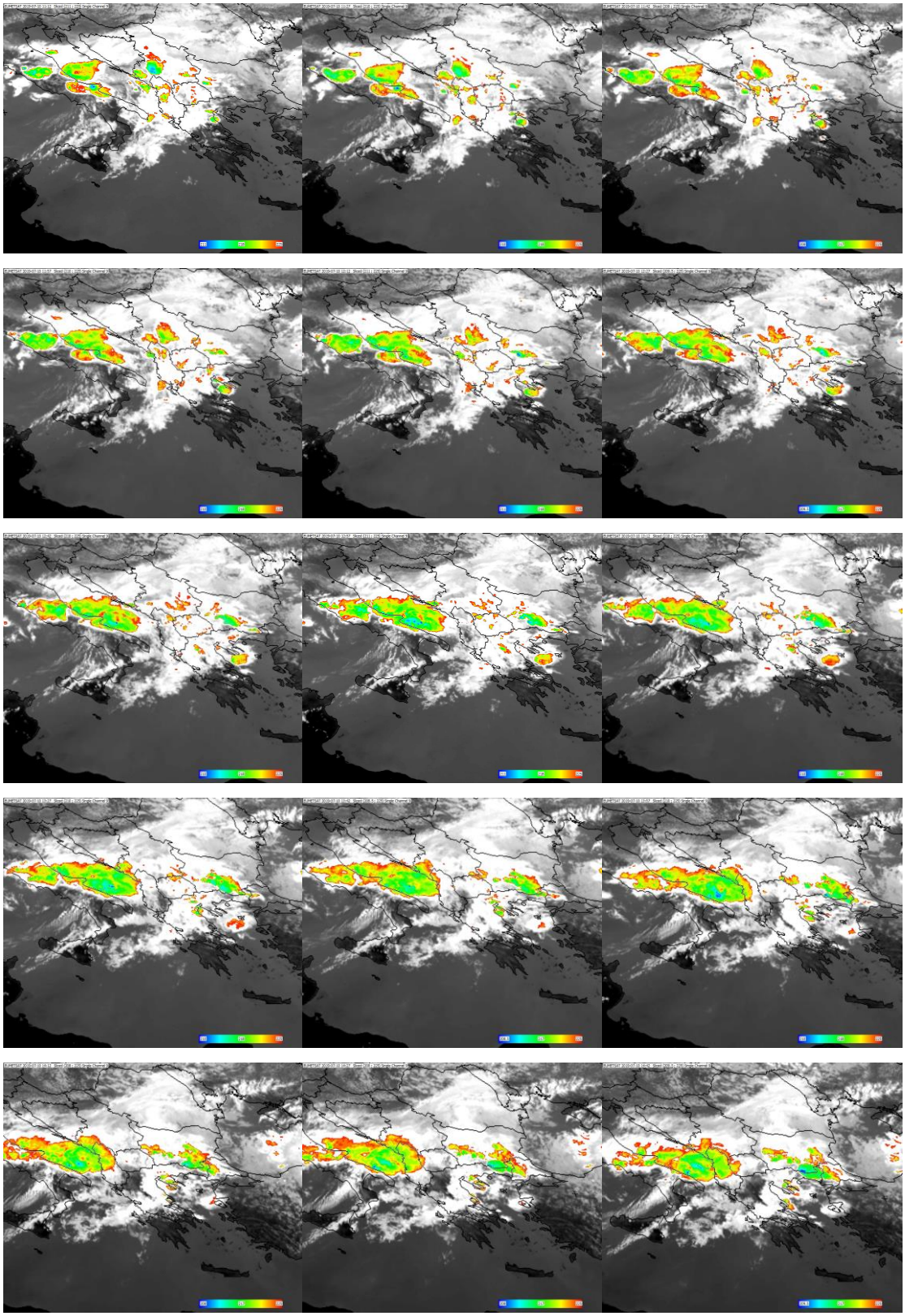
Παρουσιάσεις του κ. Φείδα Χαράλαμπου (2019) στα πλαίσια του μαθήματος Δορυφορικής Μετεωρολογίας του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ.
PowerPoint του κ. Φείδα Χαράλαμπου (2019), Feidas_spectral.
PowerPoint του κ. Φείδα Χαράλαμπου (2019), Mesoscale Convective Systems (MCS) (2019).
Παρουσιάσεις του κ. Πυθαρούλη Ιωάννη (2019) στα πλαίσια του μαθήματος Συνοπτικής Μετεωρολογίας του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ.
Σημειώσεις του κ. Καρακώστα Θεόδωρου (2019) στα πλαίσια του μαθήματος Δυναμικής Μετεωρολογίας του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ.
PowerPoint : Introduction to RGB image composites (2002) , Author : HansPeter Roesli, Meteo Swiss Locarno and Contributors: Jochen Kerkmann (EUM), Daniel Rosenfeld (HUJ), Marianne König (EUM), NWC SAF.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

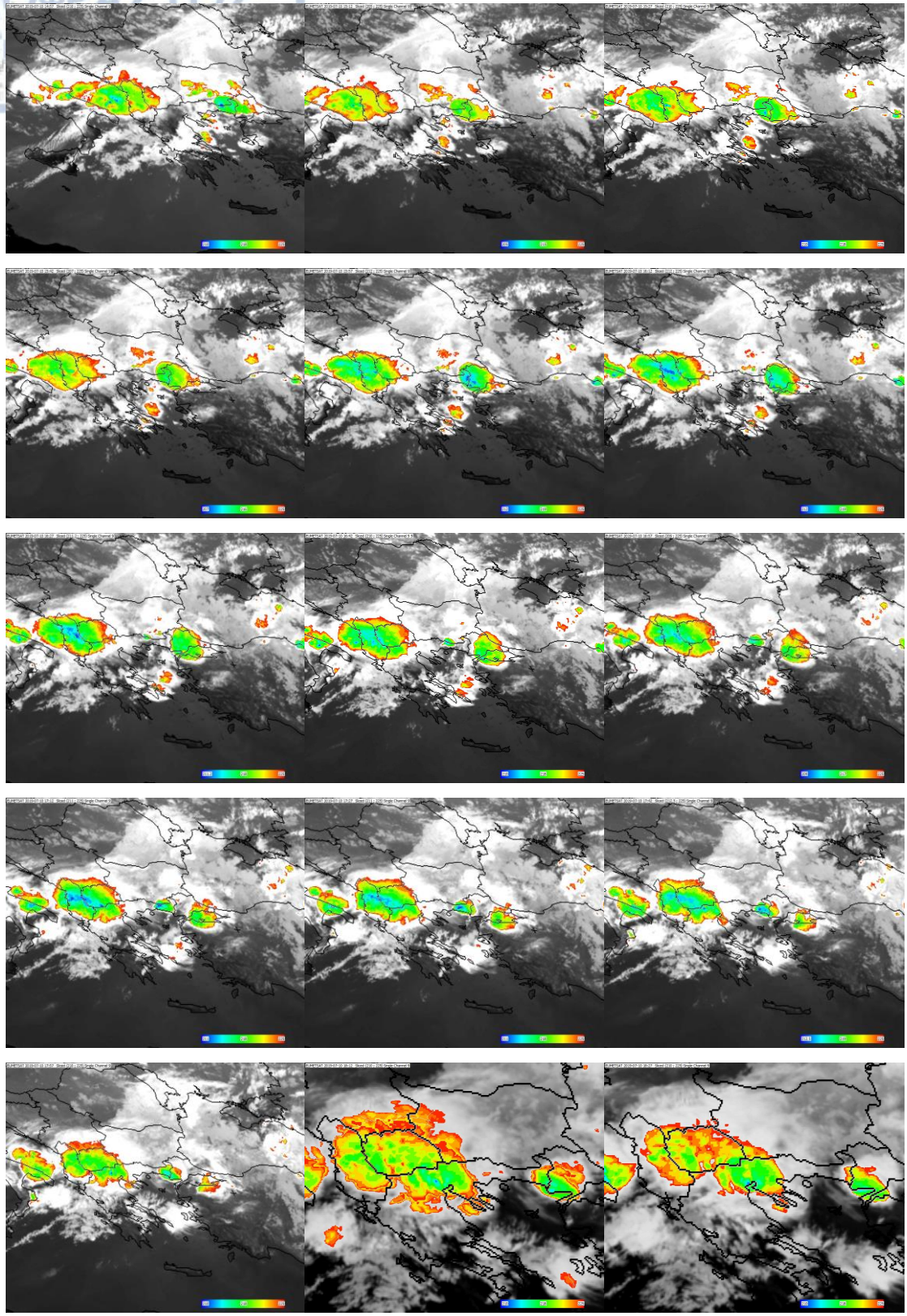
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

IR 10.8μm ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



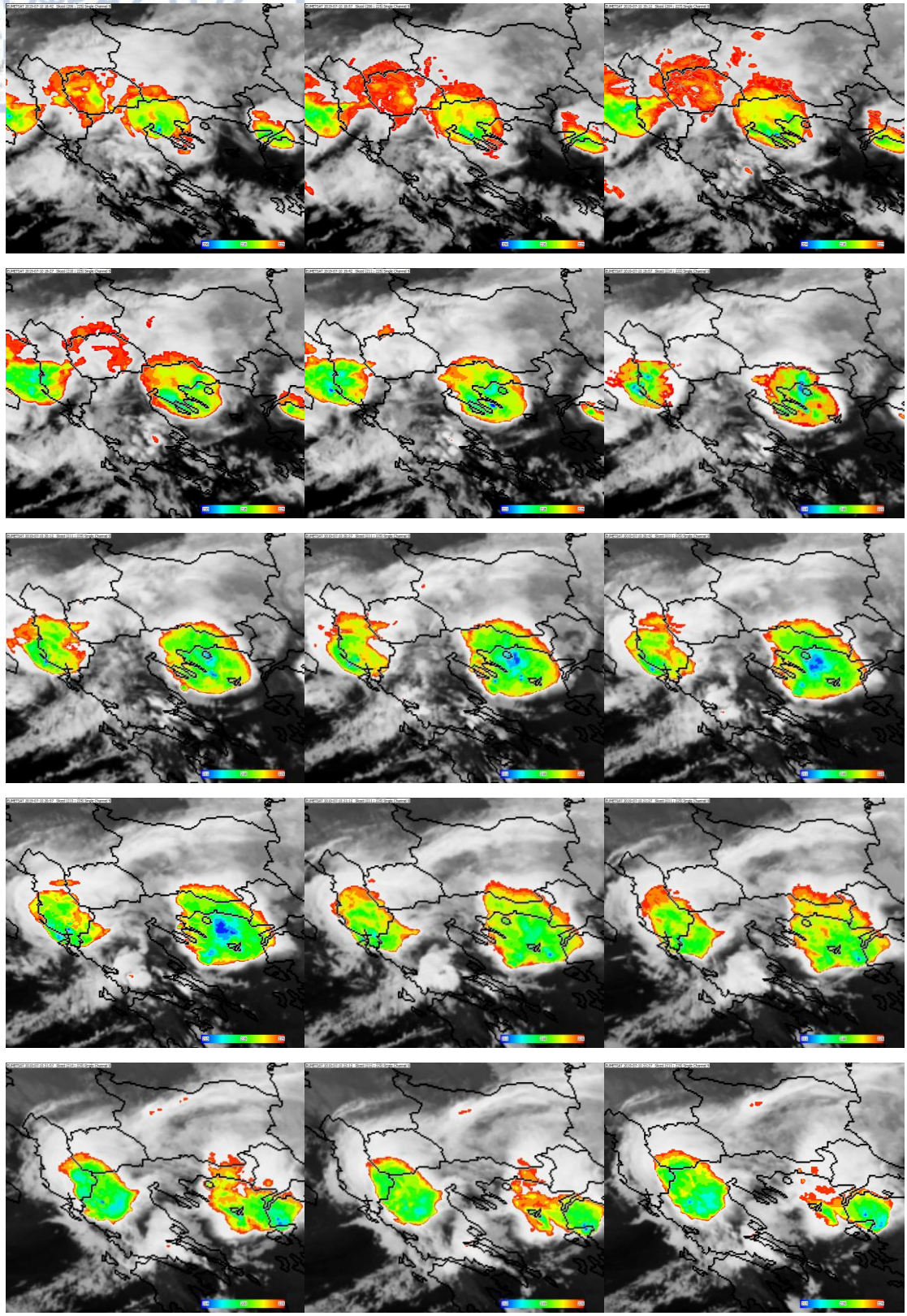
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



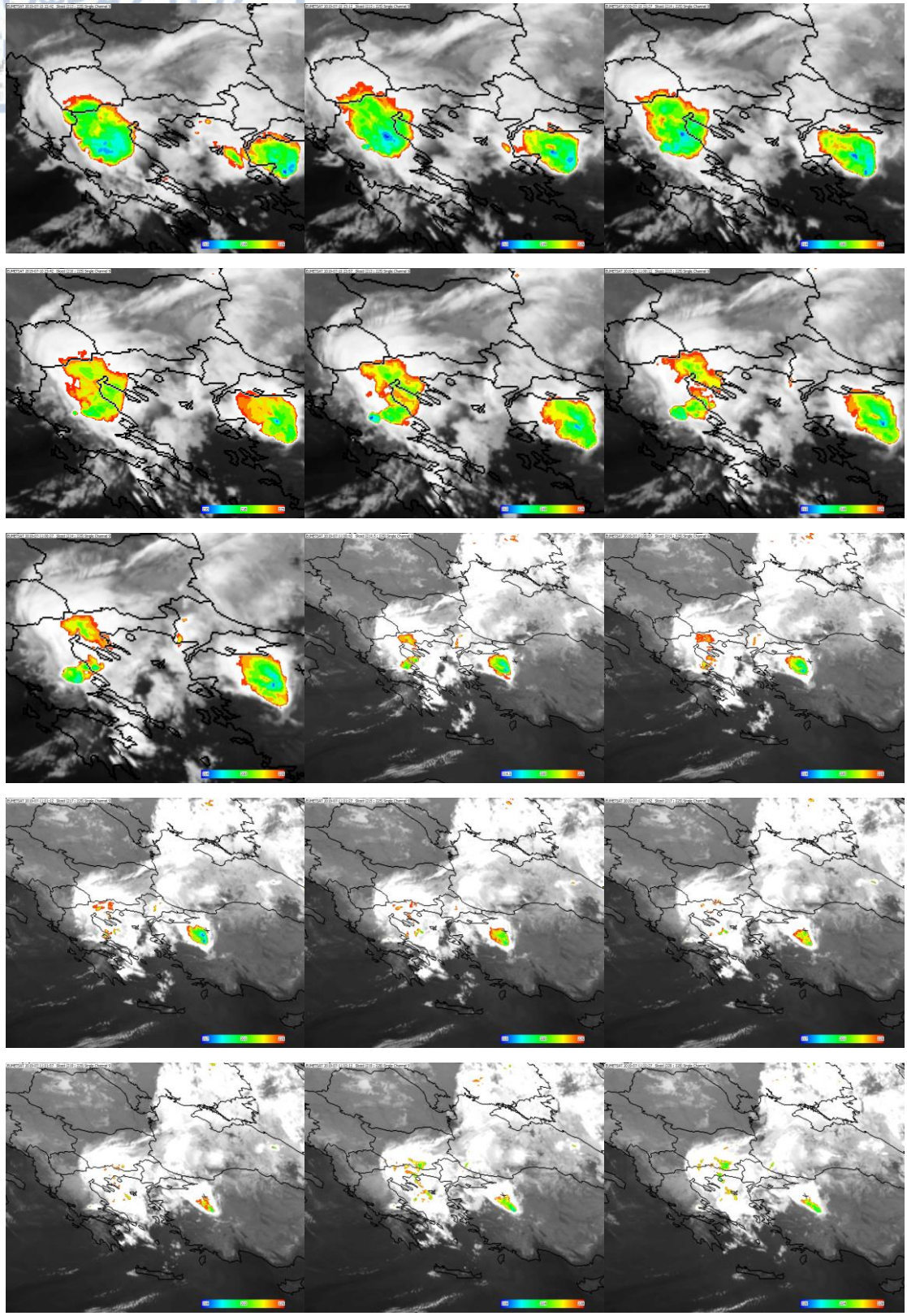
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



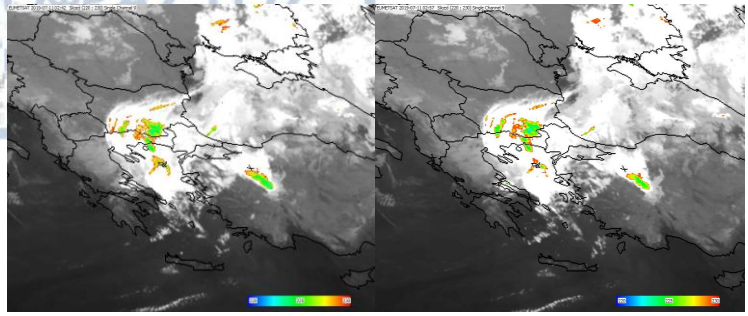
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

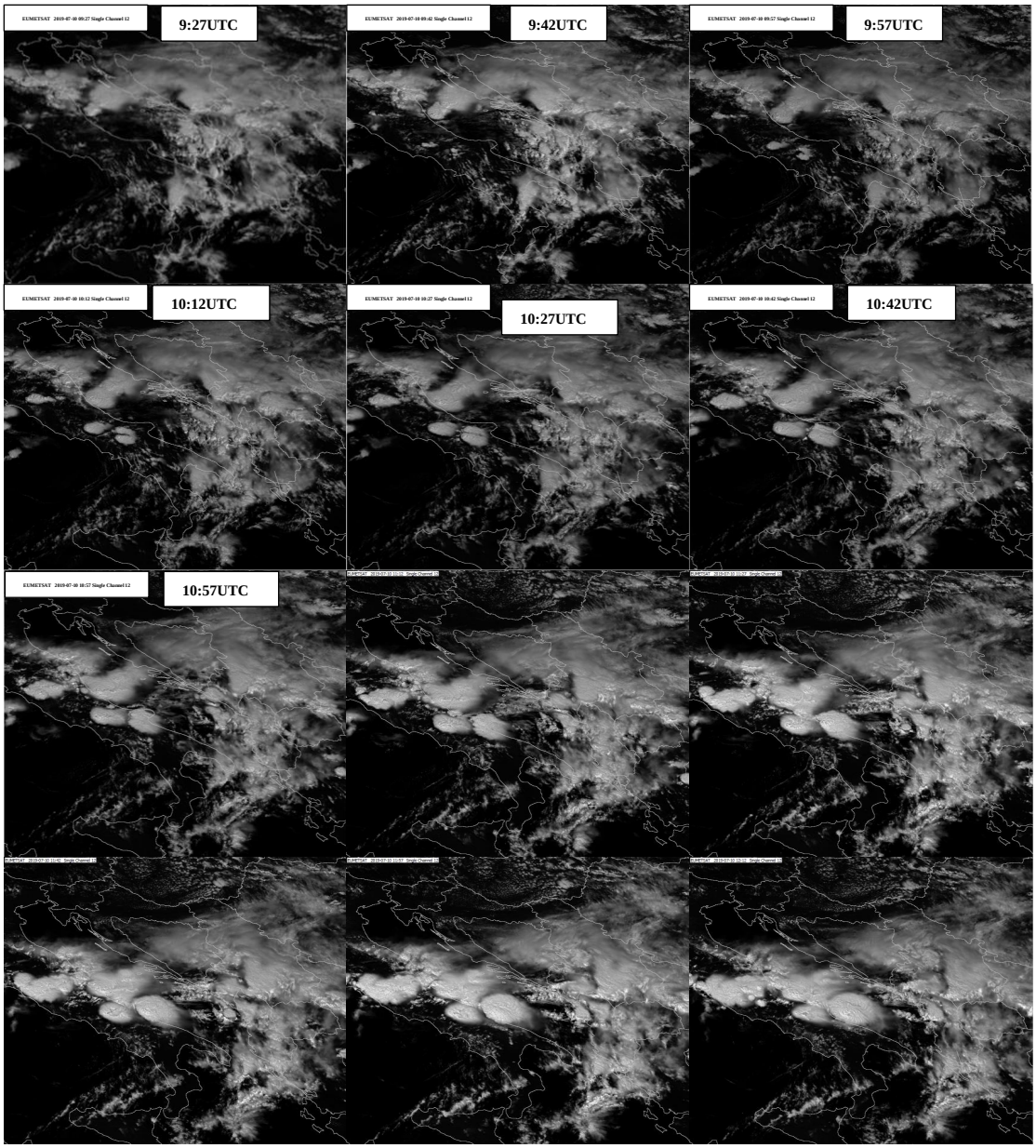


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

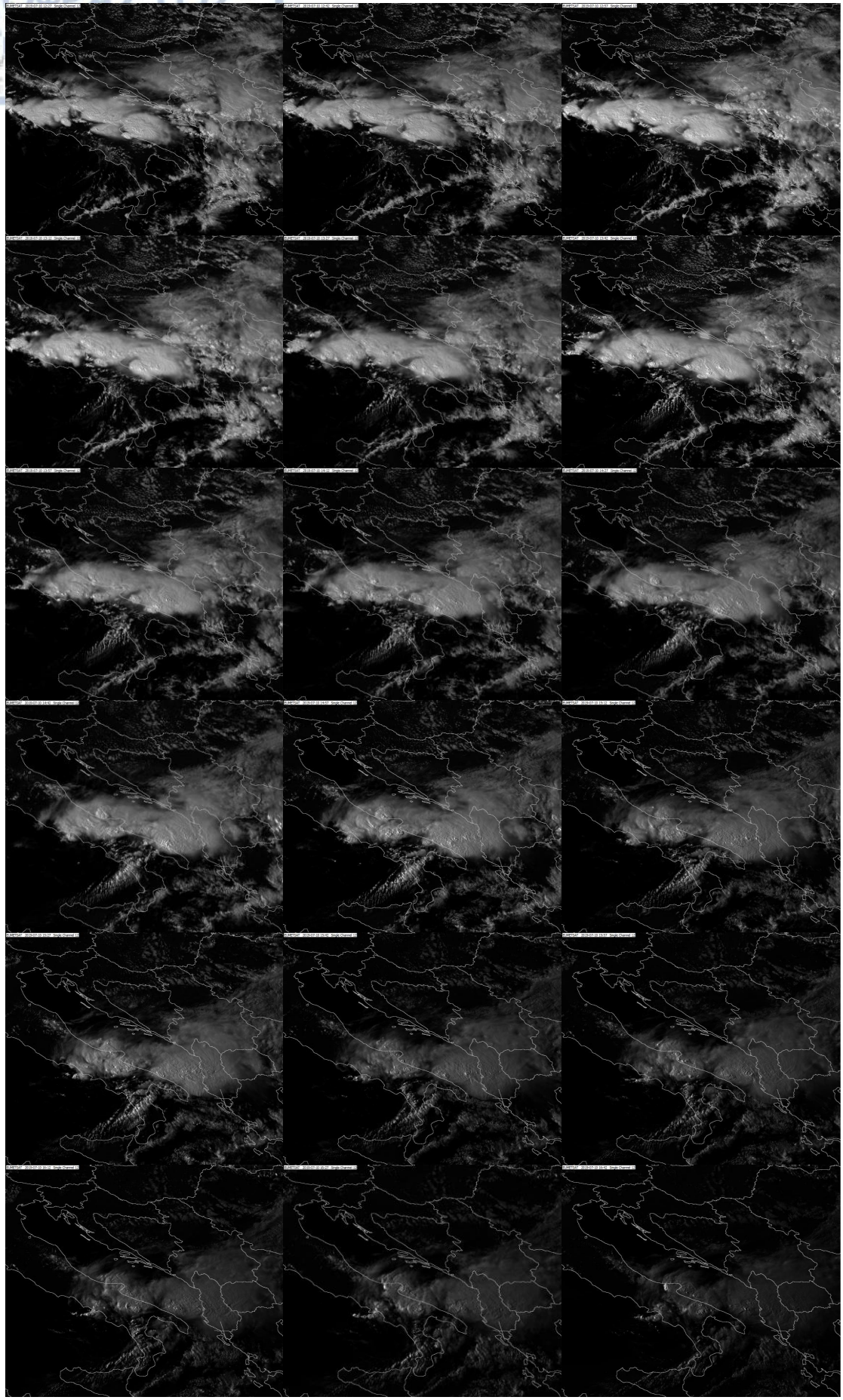


HRV ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



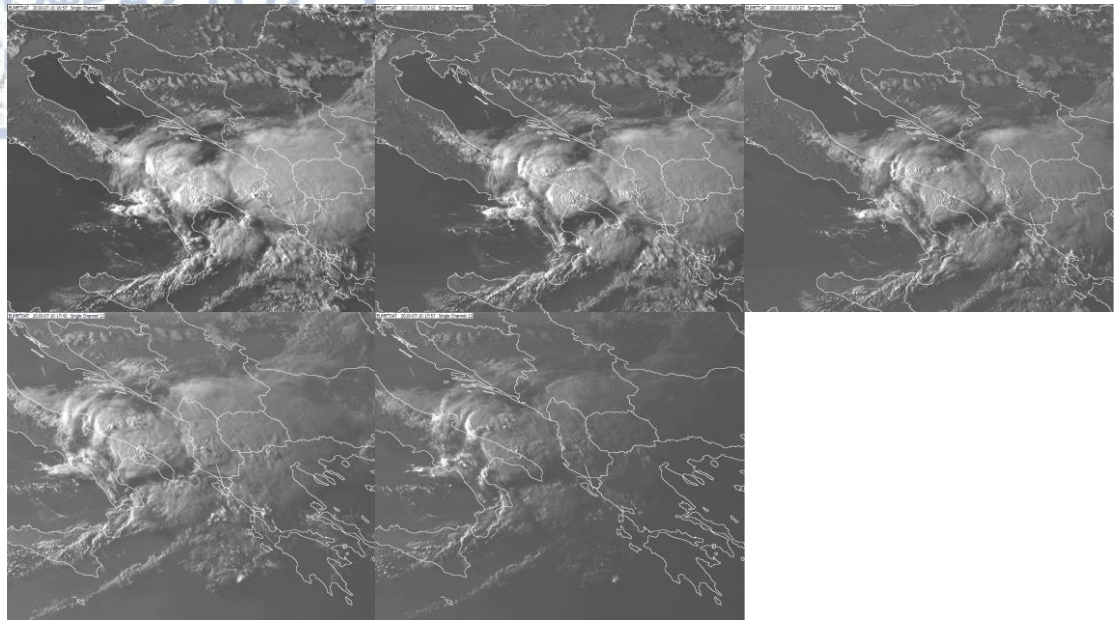
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

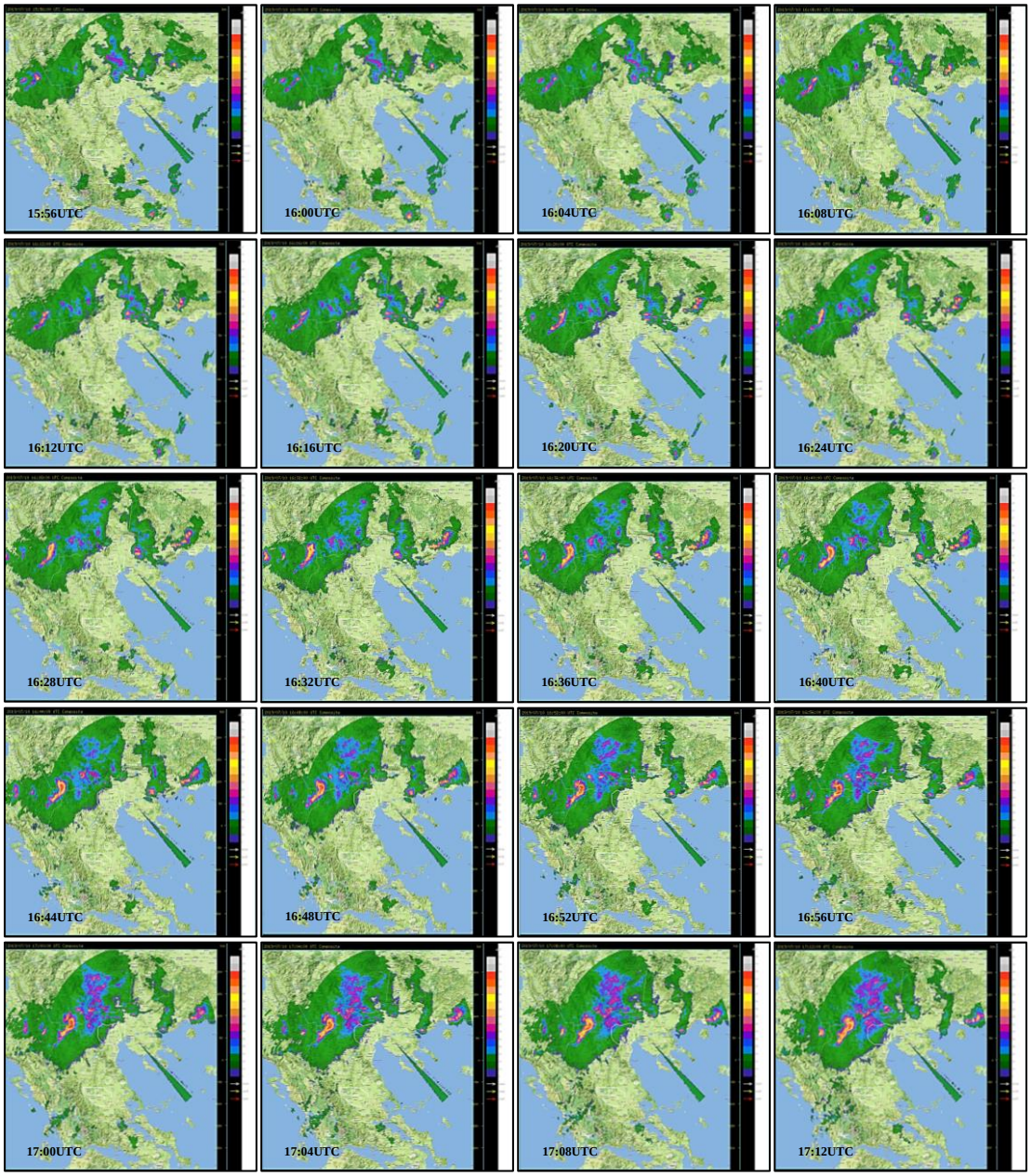
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

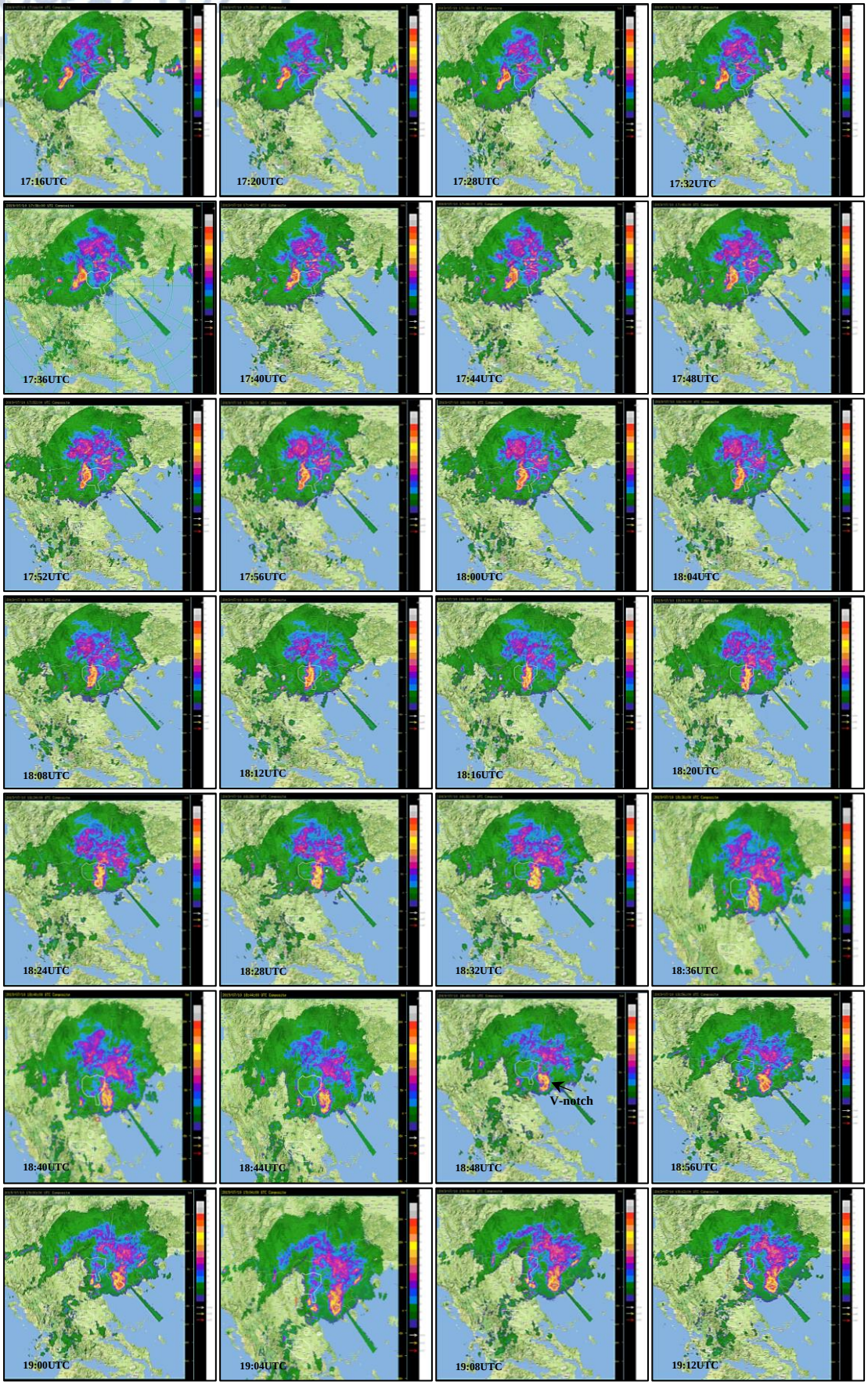
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΡΑΝΤΑΡ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



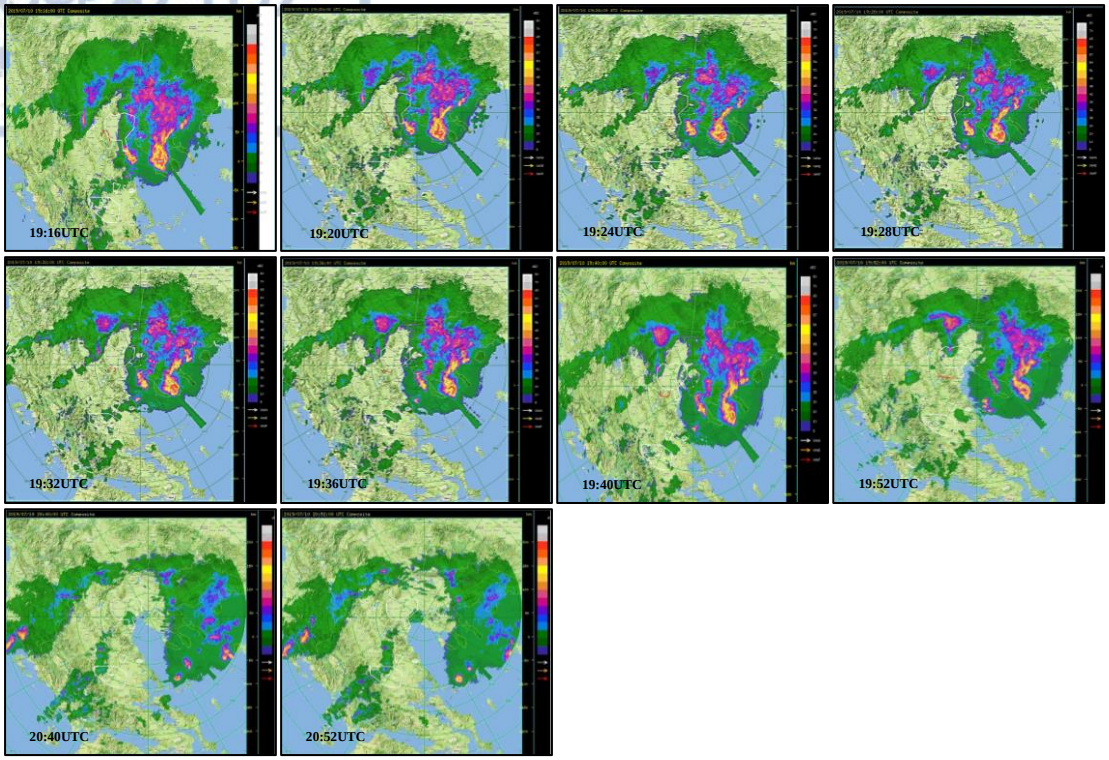
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης