



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΛΑΜΠΡΟΣ ΚΟΥΤΣΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ
ΤΟΥ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2021





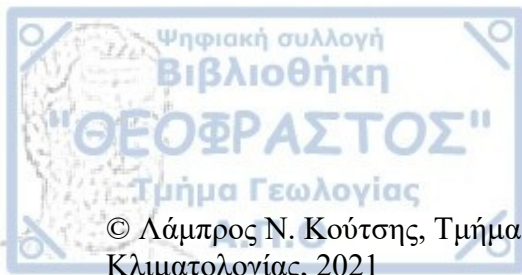
Λάμπρος Ν. Κούτσης
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5734

Ανάλυση του μεσογειακού χαμηλού με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα του Νοεμβρίου 2017

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Αναπληρωτής Καθηγητής Πυθαρούλης Ιωάννης



© Λάμπρος Ν. Κούτσης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017 – *Διπλωματική Εργασία*

© Lampros N. Koutsis, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2021

All rights reserved.

ANALYSIS OF THE MEDITERRANEAN TROPICAL-LIKE CYCLONE OF NOVEMBER 2017- *Bachelor Thesis*

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: Ο μεσογειακός κυκλώνας Numa (πηγή: <https://www.severe-weather.eu/>)



Πηγή εικόνας: <https://www.madalvee.com/>

"Unlike history, meteorology does repeat itself"

Mel Goldstein



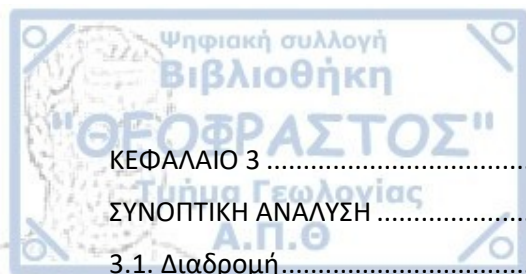
Η παρούσα πτυχιακή εργασία ,αφιερώνεται στους αγαπημένους μου παππούδες Λάμπρο και Δημήτριο και τις αγαπημένες μου γιαγιάδες Βασιλική και Φωτούλα.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	10
ABSTRACT	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Ορισμός μεσογειακών κυκλώνων	12
1.2 Χωρική και χρονική κατανομή στον χώρο της Μεσογείου	13
1.3 Τροπικοί κυκλώνες	16
1.4 Πολικά χαμηλά	18
1.5 Φαινόμενα και επιπτώσεις των μεσογειακών κυκλώνων	19
1.6 Ο ρόλος των ροών θερμότητας	21
1.7 Σύγκριση Μεσογειακών κυκλώνων με τους τροπικούς κυκλώνες και τα πολικά χαμηλά	22
1.8 Ο ρόλος του δυναμικού στροβιλισμού	23
1.9 Θεωρίες δημιουργίας	23
1.9.1 Θεωρία αστάθειας υπό συνθήκες, του δεύτερου είδους (Conditional Instability of the Second Kind - CISK)	23
1.9.2 Ανταλλαγή θερμότητας με την επιφάνεια λόγω του ανέμου (WISHE Theory: Wind-induced surface heat exchange)	24
1.9.3 Βαροκλινική θεωρία	25
1.10 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	27
ΔΕΔΟΜΕΝΑ	27
2.1 Συνοπτικοί χάρτες επιφανείας και πλεγματικά δεδομένα	27
2.2 Δορυφορικά δεδομένα	28
2.3 Δεδομένα SYNOP	29
2.4 Δεδομένα θερμοκρασιών στην επιφάνεια της θάλασσας	30
2.5 Ηλεκτρικές εκκενώσεις	31



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	32
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	32
3.1. Διαδρομή.....	32
3.2 Χρονική εξέλιξη της πίεσης	39
3.3 Κεραυνική δραστηριότητα	40
3.4 Συνοπτικοί χάρτες επιφανείας	43
3.5 Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας και θερμοκρασιακές ανωμαλίες.....	50
3.5.1 Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας	50
3.5.2 Θερμοκρασιακές ανωμαλίες.....	53
3.6 Γεωδυναμικά ύψη και θερμοκρασίες στα 500 hPa	55
3.7 Δυναμική τροπόπαυση	61
3.8 Εκτίμηση βροχόπτωσης με τα δεδομένα του δορυφόρου GPM-IMERG.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	68
ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	68
4.1 15 Νοεμβρίου.....	68
4.2 16 Νοεμβρίου.....	70
4.3 17 Νοεμβρίου.....	72
4.4 18 Νοεμβρίου.....	75
4.5 19 Νοεμβρίου.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	79
ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
Βιβλιογραφία	81
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	81
Ελληνική βιβλιογραφία.....	83
Διαδίκτυο	84



ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα από μικρό παιδί μου τραβούσαν την προσοχή, καθώς υπενθύμιζαν στην ανθρωπότητα πόσο αδύναμη είναι μπροστά στις δυνάμεις της φύσης. Οι εικόνες των καταστροφών που προκαλούσαν οι τροπικοί κυκλώνες και οι δορυφορικές τους εικόνες, μου προκαλούσαν δέος. Οι μεσογειακοί κυκλώνες, έχοντας στενή σχέση με τους τροπικούς κυκλώνες, ήταν επόμενο να μου κεντρίσουν το ενδιαφέρον, ιδιαίτερα μετά τις καταστροφές που προκάλεσε ο κυκλώνας Ιανός τον Σεπτέμβριο του 2020.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Πυθαρούλη για την ανάθεση της παρούσας εργασίας και την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε για την εκπόνηση της εργασίας. Μου παρείχε πλήρη υποστήριξη σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας και έλυσε κάθε πιθανή απορία. Όλα αυτά έγιναν μάλιστα, μέσα στην δύσκολη περίοδο της πανδημίας με αποκλειστικά εξ' αποστάσεως επικοινωνία. Η βοήθειά του υπήρξε καθοριστική καθώς μου έδωσε αρκετή βιβλιογραφία για να την μελετήσω καθώς και τα εργαλεία ώστε να επεξεργαστώ τα δεδομένα που ήταν απαραίτητα ώστε να γίνει μια όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη ανάλυση του συστήματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους καρδιάς, τους γονείς μου Νικόλαο και Φωτεινή και τον αδερφό μου Δημήτρη για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξη κατά την εκπόνηση της εργασίας. Τους είμαι ευγνώμων για την ενθάρρυνση στις δύσκολες στιγμές. Επιπλέον, τους ευχαριστώ για την πλήρη υποστήριξη σε κάθε μου βήμα από μικρό παιδί και την παροχή όλων των εφοδίων για να φτάσω εδώ όπου βρίσκομαι σήμερα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρουσία συστημάτων με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στην Μεσόγειο έγινε γνωστή μόλις τις τελευταίες δεκαετίες. Τα συστήματα αυτά ονομάστηκαν μεσογειακοί κυκλώνες, γνωστοί και ως *medicanes* από την σύνθεση των λέξεων **Mediterranean Hurricanes**. Αποτελούν πολύ επικίνδυνα φαινόμενα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές με την μορφή κατακλυσμιαίων βροχοπτώσεων, πλημμυρών, ισχυρών ανέμων και ανεμοστρόβιλων. Σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν προκαλέσει εκατοντάδες θανάτους ενώ και το οικονομικό τους αποτύπωμα είναι τεράστιο. Οποιαδήποτε περιοχή της Μεσογείου μπορεί να επηρεαστεί. Οι επικρατέστερες περιοχές σχηματισμού είναι η δυτική Μεσόγειος και η λεκάνη του Ιονίου πελάγους.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάλυση ενός βαρομετρικού χαμηλού την περίοδο 15-19 Νοεμβρίου 2017, το οποίο στην πορεία του απέκτησε χαρακτηριστικά μεσογειακού κυκλώνα. Στο χαμηλό δόθηκαν οι ονομασίες *Medicane Numa* από το *Free University of Berlin* και μεσογειακός κυκλώνας *Ζήνων* από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Η ανάλυση του συστήματος βασίστηκε σε επιχειρησιακές πλεγματικές αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού, χάρτες καιρού της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου, μετεωρολογικές παρατηρήσεις, δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα ηλεκτρικών εκκενώσεων.

Το μητρικό χαμηλό προήλθε από την ηπειρωτική Ιταλία το οποίο κινούμενο δυτικά βρέθηκε πάνω από την Τυρρηνική θάλασσα στις 15 Νοεμβρίου. Στη συνέχεια, το χαμηλό κινήθηκε νότια και ανατολικά περνώντας νότια της Σικελίας και της Μάλτας στις 16 Νοεμβρίου. Τις βραδινές ώρες της 16^{ης} Νοεμβρίου απέκτησε βόρεια τροχιά κινούμενο προς το βόρειο Ιόνιο όπου και παρέμεινε μέχρι τις απογευματινές ώρες της 18^{ης} Νοεμβρίου, έχοντας αποκτήσει χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα για το χρονικό διάστημα 17/11/2017 12UTC - 18/11/2017 12UTC. Τέλος, έκανε μετάβαση πάνω από την Ελλάδα προτού διαλυθεί στις ακτές της Μικράς Ασίας. Το σύστημα εμφάνισε δομή θερμού πυρήνα που αποτυπώθηκε τόσο στο πεδίο της θερμοκρασίας όσο και στο ανεμολογικό πεδίο και τον σχετικό στροβιλισμό και ξεκάθαρα χαρακτηριστικά τροπικών κυκλώνων όπως το μάτι και το τοίχωμα του ματιού. Το σύστημα παρουσίασε ελάχιστη πίεση 1002 hPa στο κέντρο του ενώ η πιο ακραία τιμή του ανέμου ήταν 33.5 Km/hr. Η πιο ακραία τιμή υετού σε μετεωρολογικό σταθμό ήταν 84 mm ενώ σύμφωνα με τα δορυφορικά δεδομένα ήταν 220 mm.

Το σύστημα δημιουργήθηκε σε μία περιοχή με θερμές θερμοκρασιακές ανωμαλίες στην επιφάνεια της θάλασσας σε σχέση με την κλιματολογία. Σημαντική επίσης ήταν η συμβολή του κλειστού χαμηλού των υψών στη μέση τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με την ανωμαλία της δυναμικής τροπόπαυσης πριν την απόκτηση τροπικών χαρακτηριστικών.

ABSTRACT

The presence of systems with tropical cyclone characteristics in the Mediterranean became known only in recent decades. These systems were called Mediterranean cyclones, also known as medicanes from the composition of the words Mediterranean Hurricanes. They are very dangerous phenomena that can cause extensive damage in the form of torrential rainfall, floods, strong winds and tornadoes. In some cases they have caused hundreds of deaths and their economic impact is huge. Any region of the Mediterranean can be affected. The predominant areas of formation are the western Mediterranean and the Basin of the Ionian Sea.

The purpose of this work was to analyze a barometric low in the period 15-19 November 2017 which in its lifetime acquired the characteristics of a medican. At the low were given the names Medicane Numa from the Free University of Berlin and Mediterranean cyclone Zenon from the National Observatory of Athens. The analysis of the system was based on operational gridded analyses by the European Centre for Medium-range Weather Forecasts, weather maps of the UK Meteorological Service, meteorological observations, satellite data and lightning data.

The parent low came from mainland Italy, moved westwards and was located over the Tyrrhenian Sea on November 15. Then the low moved south and east passing south of Sicily and Malta on November 16. In the evening hours of November 16, it acquired a northern track moving towards the northern Ionian Sea where it remained until the afternoon hours of November 18. It acquired the characteristics of a tropical-like cyclone in the period 17/11/2017 12UTC - 18/11/2017 12UTC. Finally, it made landfall over Greece before dissolving on the shores of Asia Minor. The most extreme precipitation value in a weather station was 84 mm while according to satellite data it was estimated at 220 mm.

The system developed in an area with warm sea surface temperature anomalies relative to the climatology. Also important was the contribution of the closed low of geopotential heights in the middle troposphere in combination with the intrusions of the dynamic tropopause before the acquisition of tropical characteristics.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός μεσογειακών κυκλώνων

Οι Μεσογειακοί Κυκλώνες είναι συστήματα τα οποία προσομοιάζουν στους τροπικούς κυκλώνες, αλλά αναπτύσσονται στον χώρο της Μεσογείου. Τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους είναι το ανέφελο μάτι, οι δυνατοί άνεμοι κοντά στο κέντρο, η σπειροειδής ανάπτυξη των νεφών περιμετρικά του κέντρου, η χαμηλή κατακόρυφη διάτμηση του ανέμου, καθώς και θερμή ανωμαλία (Marra et al. 2019). Αξίζει να σημειωθεί, πως οι μεσογειακοί κυκλώνες αποκτούν τροπικά χαρακτηριστικά για λίγες ώρες, ενώ η διάρκεια ζωής τους είναι αρκετές ημέρες (Marra et al. 2019). Στην διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστοί με τον όρο *Medicane* ο οποίος προέρχεται από την σύντμηση των λέξεων *MEDiterranean* και *hurriCANE*. Στον εντοπισμό και την αναγνώριση του τροπικού κυκλώνα καθοριστικό ρόλο διαδραμάτισε η δορυφορική μετεωρολογία στην δεκαετία του 1960 (Michaelides et al. 2018). Παράμετροι σημαντικοί για την ανάπτυξή τους, είναι οι ροές λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας οι οποίες συμβάλλουν καθοριστικά στον σχηματισμό ενός Μεσογειακού κυκλώνα (Lagouvardos et al. 1999, Pytharoulis et al. 2000, Homar et al. 2003, Miglietta et al. 2011, Tous and Romero 2013). Εκτός από την ύπαρξη επιφανειακών θερμοκρασιών της θάλασσας, αναγκαία προϋπόθεση αποτελεί και η παρουσία ενός χαμηλού με κρύο πυρήνα στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα (Michaelides et al. 2018).

Στο σχήμα 1.1.1 απεικονίζεται ο μεσογειακός κυκλώνας ο οποίος χτύπησε την Μεσόγειο και κυρίως την Μάλτα και την Σικελία το Νοέμβριο του 2014. Η εικόνα προέρχεται από τον δορυφόρο METEOSAT. Στην εικόνα εμφανίζεται ένας πλήρως ανεπτυγμένος κυκλώνας με σπειροειδείς μπάντες νεφών και ένα ανέφελο μάτι.

Αξίζει να σημειωθεί πως δεν υπάρχει ξεκάθαρη διάκριση μεταξύ των Μεσογειακών κυκλώνων και των υπόλοιπων βαρομετρικών χαμηλών στον χώρο της Μεσογείου. Μάλιστα, πολλές φορές αυτά τα βαρομετρικά χαμηλά εμφανίζουν συνδυασμό ιδιοτήτων των κλασικών εξωτροπικών διαταραχών όπως η παρουσία μετώπου και ιδιοτήτων οι οποίες παραπέμπουν σε τροπικές καταιγίδες (Michaelides et al. 2018).

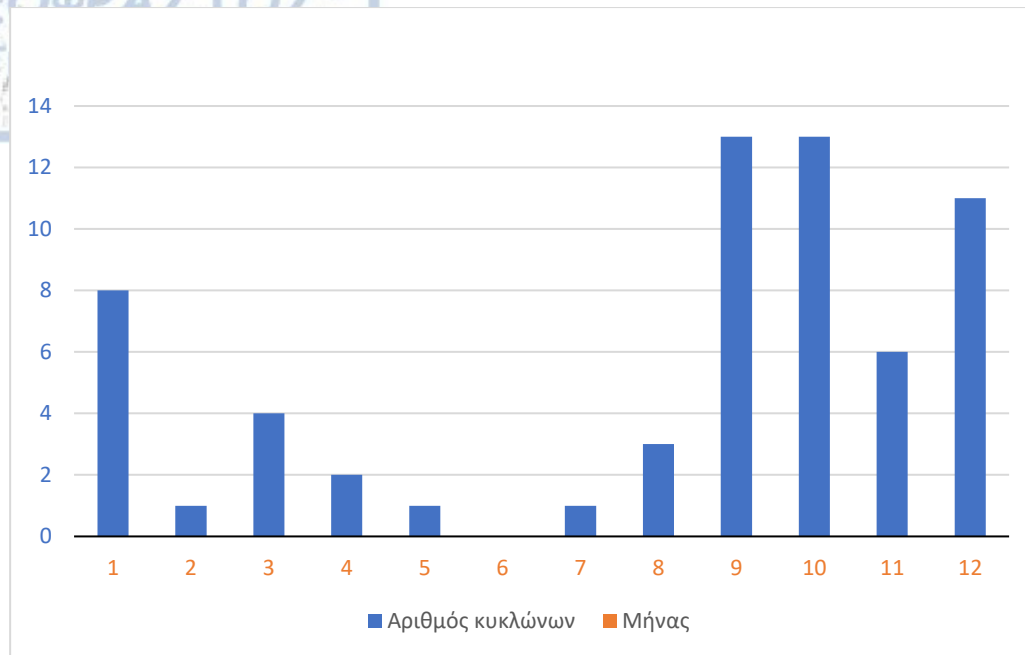
Παρόλη την γενικότερη ανησυχία πως η κλιματική αλλαγή θα αυξήσει τους μεσογειακούς κυκλώνες λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, κάτι τέτοιο δεν αναμένεται να συμβεί. Ο αριθμός των μεσογειακών κυκλώνων αναμένεται να μειωθεί κατά 10-40%, όμως η ένταση και η βιαιότητα των φαινομένων θα αυξηθούν μέχρι το τέλος του παρόντος αιώνα (Romero and Emanuel 2013, Nastos et al. 2018).



Σχήμα 1.1.1: Εικόνα του μεσογειακού κυκλώνα που επηρέασε την Μεσόγειο το Νοέμβριο του 2014 από τον δορυφόρο METEOSAT (Nastos et al. 2018).

1.2 Χωρική και χρονική κατανομή στον χώρο της Μεσογείου

Η Μεσόγειος θάλασσα, φαίνεται να αποτελεί μια περιοχή ευνοϊκή για κυκλογένεση (Petterssen, 1956). Οι μεσογειακοί κυκλώνες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τον καιρό και το κλίμα της περιοχής της Μεσογείου (Michaelides et al. 2018). Οι οροσειρές των Άλπεων, των Πυρηναίων και του Άτλαντα είναι πολύ πιθανό να προκαλούν ατμοσφαιρική ροή υπό μορφή δίνης (Nastos et al. 2018). Παρουσιάζουν μέγιστο της συχνότητας δημιουργίας στον χώρο της δυτικής Μεσογείου και την περιοχή του Ιονίου με ορισμένες εμφανίσεις στο Αιγαίο και την Ανατολική Μεσόγειο (Nastos et al. 2018). Πιο πιθανός είναι ο σχηματισμός τους στα τέλη του καλοκαιριού και στις αρχές του φθινοπώρου εξαιτίας του συνδυασμού υψηλής επιφανειακής θερμοκρασίας του νερού και εισβολής ψυχρών αερίων μαζών λόγω της εξασθένισης της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην Ευρώπη (Miglietta et al. 2011). Στο σχήμα 1.2.1 παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρατηρείται τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο τους οποίους ακολουθούν ο Δεκέμβριος και ο Ιανουάριος. Το καλοκαίρι η συχνότητα εμφάνισης ελαχιστοποιείται, ενώ μηδενίζεται τον Ιούνιο.

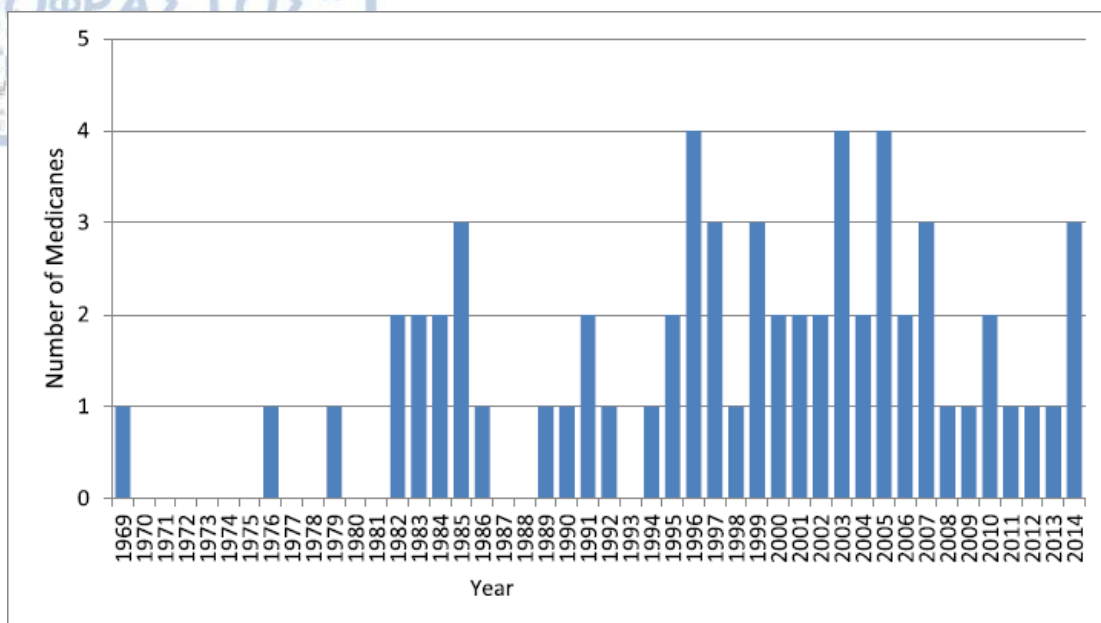


Σχήμα 1.2.1: Ενδοετήσια κατανομή εμφάνισης μεσογειακών κυκλώνων για την περίοδο 1969-2014 (Nastos et al. 2018).

Διάφοροι ερευνητές έχουν κατά καιρούς υπολογίσει διαφορετικές συχνότητες εμφάνισης των μεσογειακών κυκλώνων. Ενδεικτικά, έχουν προταθεί συχνότητες 1.1 ανά έτος (Miglietta et al. 2013), 1.4 ± 1.3 ανά έτος (Nastos et al. 2018), 1.5 ± 0.9 (Romero and Emanuel 2013), 1.6 ± 1.3 (Cavichia et al. 2014).

Στο σχήμα 1.2.2 υπάρχει η ετήσια συχνότητα εμφάνισης μεσογειακών κυκλώνων ανά έτος με περίοδο αναφοράς 1969-2014. Με βάση το διάγραμμα, τρεις χρονιές εμφανίστηκαν συνολικά 4 κυκλώνες (1996, 2003, 2005), ενώ 5 χρονιές παρατηρήθηκε συχνότητα 3 κυκλώνων ανά έτος (1985, 1997, 1999, 2007, 2014). Στο σχήμα διαφαίνεται μία τάση αύξησης σε σχέση με τον χρόνο η οποία όμως δεν είναι απόλυτη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δορυφορική μετεωρολογία αναπτύχθηκε κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Συνεπώς, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν διαθέσιμα περισσότερα δορυφορικά δεδομένα. Μέχρι πριν από 20-30 χρόνια, τα δορυφορικά δεδομένα ήταν ελάχιστα οπότε είναι λογικό να παρατηρούνταν και να αναγνωρίζονταν λιγότερες περιπτώσεις μεσογειακών κυκλώνων.

Στον πίνακα 1.2.1 δίνονται κάποια στοιχεία για 12 περιπτώσεις μεσογειακών κυκλώνων από το 1983 μέχρι το 2003. Προκύπτει πως οι περισσότεροι από τους συγκεκριμένους μεσογειακούς κυκλώνες εμφανίστηκαν τους φθινοπωρινούς και τους χειμερινούς μήνες στοιχείο το οποίο συμφωνεί με τα δεδομένα του σχήματος 1.2.2. Η μέγιστη διάμετρος των συστημάτων ήταν κατά μέσο όρο 240 χιλιόμετρα. Σημαντική διακύμανση παρουσιάζει η διάρκεια ζωής της ώριμης φάσης η οποία σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά τις δύο μέρες, ενώ αγγίζει ακόμα και τις 4 ημέρες. Τέλος, οι θέσεις στις οποίες τα συστήματα αυτά έγιναν μεσογειακοί κυκλώνες μοιράζονται ανάμεσα στη δυτική Μεσόγειο και το Ιόνιο πέλαγος.



Σχήμα 1.2.2: Αριθμός μεσογειακών κυκλώνων ανά έτος για την περίοδο 1969-2014 (Nastos et al. 2018).

Ημερομηνία	Ώρα	Γεωγραφικό πλάτος (B)	Γεωγραφικό μήκος (A)	Μέγιστη διάμετρος (χμ)	Διάρκεια ζωής (ώρες)
29/9/1983	12	41.1	6.8	220	90
7/4/1984	06	36.4	19.2	230	36
29/12/1984	06	35.4	11.6	220	60
14/12/1985	12	35.5	17.6	290	54
5/12/1991	12	36.2	16.7	320	30
15/1/1995	18	36.4	19.1	200	78
12/9/1996	12	39.4	2.8	170	12
6/10/1996	18	37.2	3.9	240	90
10/12/1996	00	40.3	3.7	230	48
26/1/1998	12	36.7	17.9	250	30
19/3/1999	06	38.5	19.6	250	30
27/5/2003	00	40.1	2.8	280	42

Πίνακας 1.2.1: Ημερομηνία, ώρα (ανά εξάωρο) που έγινε μεσογειακός κυκλώνας, γεωγραφικές συντεταγμένες, μέγιστη διάμετρος και διάρκεια ζωής της ώριμης φάσης (Tous and Romero 2013).

1.3 Τροπικοί κυκλώνες

Ο όρος τροπικός κυκλώνας αποτελεί έναν γενικό όρο για ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων το οποίο έχει καταιγιδοφόρο δράση κοντά στο κέντρο του και κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία. Σχηματίζονται στην περιοχή των τροπικών γεωγραφικών πλατών (5° μέχρι 25° βόρεια και νότια). Η ενέργειά τους πηγάζει από τις επιφανειακές ροές θερμότητας λανθάνουσας θερμότητας, δηλαδή από την εξάτμιση της θάλασσας. Είναι συμμετρικοί και διαθέτουν θερμό πυρήνα. Το κέντρο τους ονομάζεται μάτι και επικρατούν αίθριες καιρικές συνθήκες. Στην περιοχή του ματιού εντοπίζεται η χαμηλότερη τιμή της πίεσης στην επιφάνεια. Η διάμετρος του ματιού συνήθως έχει ένα εύρος 32-64 Km ενώ οι πιο ακραίες τιμές είναι τα 8 Km και τα 193 Km αντίστοιχα. Η διάμετρος των τροπικών κυκλώνων μπορεί να φτάσει τα 500 χιλιόμετρα, ενώ απουσιάζουν τα μέτωπα (Δημητριάδου 2017, National Hurricane Center NOAA). Το τοίχωμα του ματιού, δηλαδή η περιοχή η οποία περικλείει το μάτι, παρουσιάζει σφοδρότατες καταιγίδες και ισχυρότατους ανέμους που δύνανται να ξεπεράσουν τα 55 m/s (Shea and Gray 1973).

Για να σχηματιστούν οι τροπικοί κυκλώνες απαιτούνται θερμοκρασίες στην επιφάνεια του ωκεανού μεγαλύτερες των 26°C και θερμά νερά μέχρι τα 45 μέτρα βάθος (Gray 1979). Επιπλέον χρειάζεται και υψηλή σχετική υγρασία στην μέση τροπόσφαιρα διότι ο ξηρός αέρας οδηγεί σε μείωση της αστάθειας λόγω των καθοδικών ρευμάτων των καταιγίδων του χαμηλού που μεταφέρουν χαμηλές τιμές ισοδύναμης δυναμικής θερμοκρασίας στο οριακό στρώμα (Shea and Grey 1973). Η θέση σχηματισμού διαδραματίζει εξίσου σημαντικό ρόλο διότι η δύναμη Coriolis καθορίζει την περιστροφική κίνηση. Έτσι, ο τροπικός κυκλώνας θα πρέπει να απέχει τουλάχιστον 480 Km από τον ισημερινό (Δημητριάδου 2017). Η δύναμη Coriolis οδηγεί στην αριστερόστροφη περιστροφή των συστημάτων στο βόρειο ημισφαίριο και την δεξιόστροφη αντίστοιχα στο νότιο. Η χαμηλή κατακόρυφη διάτμηση του ανέμου ανάμεσα στην επιφάνεια και την ανώτερη ατμόσφαιρα ευνοεί και αυτή με την σειρά της την τροπική κυκλογένεση (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory NOAA, Landsea et al. 1998).

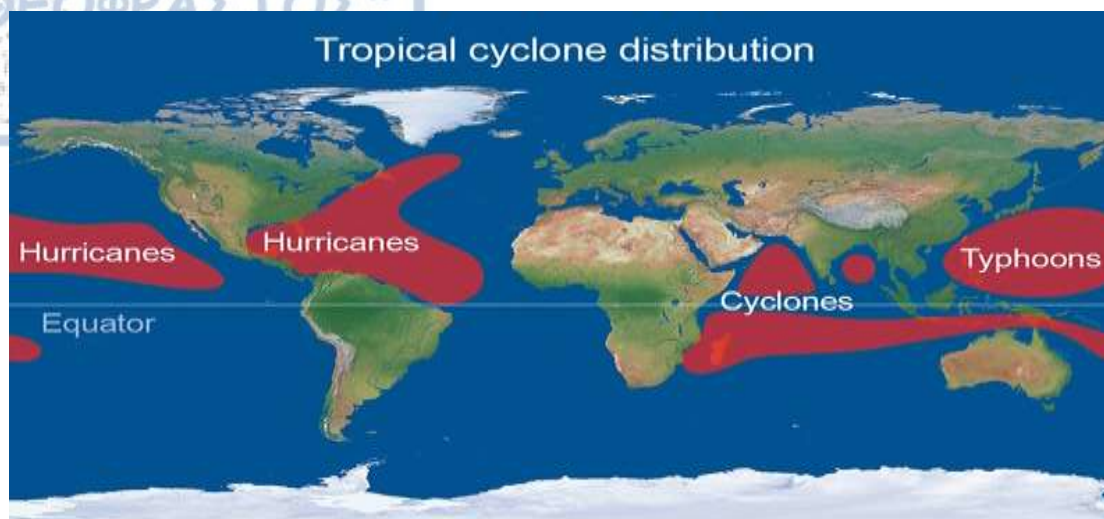
Σαφώς, σε τέτοια συστήματα έχουν καταγραφεί ακραίες τιμές με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τον τυφώνα Tip το 1979 στον βορειοανατολικό Ειρηνικό ωκεανό όπου η βαρομετρική πίεση έπεσε στα 870 hPa, αποτελώντας ρεκόρ όλων των εποχών καθώς και ο τυφώνας Wilma το 2005 στην θάλασσα της Καραϊβικής όπου η χαμηλότερη τιμή της πίεσης έφτασε τα 882 hPa. Στο σχήμα 1.3.1 παρατίθεται δορυφορική εικόνα του τυφώνα Wilma. Η μεγαλύτερη τιμή ριπαίου ανέμου που έχει σημειωθεί ποτέ είναι τα 407 Km/hr το 1996 στον τροπικό κυκλώνα Olivia (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory NOAA). Ο τυφώνας John το 1994 αποτελεί τον μακροβιότερο τροπικό κυκλώνα του Ειρηνικού όντας

πάνω από τον ωκεανό για 30 ημέρες (Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory NOAA).



Σχήμα 1.3.1: Δορυφορική εικόνα του κυκλώνα Wilma του 2005 από τον δορυφόρο AQUA MODIS της NASA (πηγή: <https://earthobservatory.nasa.gov/>).

Οι κυκλώνες αποκτούν ποικίλες ονομασίες ανάλογα με την περιοχή στην οποία σχηματίζονται και επηρεάζουν (Δημητριάδου, 2017). Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3.2, στον Ατλαντικό και τον βορειοανατολικό Ειρηνικό ωκεανό χαρακτηρίζονται ως hurricanes. Αντιθέτως, αποκαλούνται typhoons στον βορειοδυτικό Ειρηνικό ωκεανό και tropical cyclones στην περιοχή του Ινδικού ωκεανού.



Σχήμα 1.3.2: Ονομασία των κυκλώνων ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή που σχηματίζονται (πηγή: <https://www.metoffice.gov.uk/>).

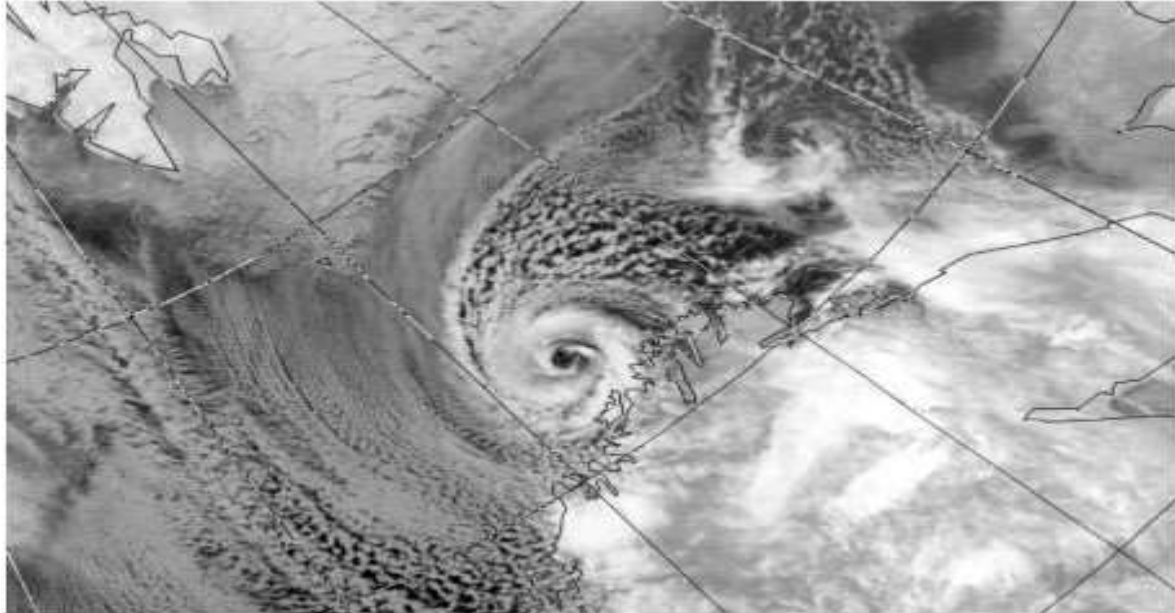
1.4 Πολικά χαμηλά

Στην διάρκεια της χειμερινής περιόδου, σε περιοχές των μεγάλων γεωγραφικών πλατών, προκύπτουν ευνοϊκές συνθήκες για κυκλογένεση πάνω από θερμά ύδατα (Δημητριάδου, 2017). Πρώτος ασχολήθηκε ο Bergeron το 1954. Μελετώντας τους κυκλώνες, παρατήρησε πως κατά την διέλευση τους από την Βόρεια και την Βαλτική θάλασσα, αυτοί ενδυναμώνονταν (Παρανός, 2016). Αυτά τα κυκλωνικά συστήματα, ονομάστηκαν πολικά χαμηλά. Είναι θαλάσσιας προέλευσης κακοκαιρίες οι οποίες είναι μέσης κλίμακας και επηρεάζουν τις υποπολικές περιοχές (Zahn and Storch 2008).

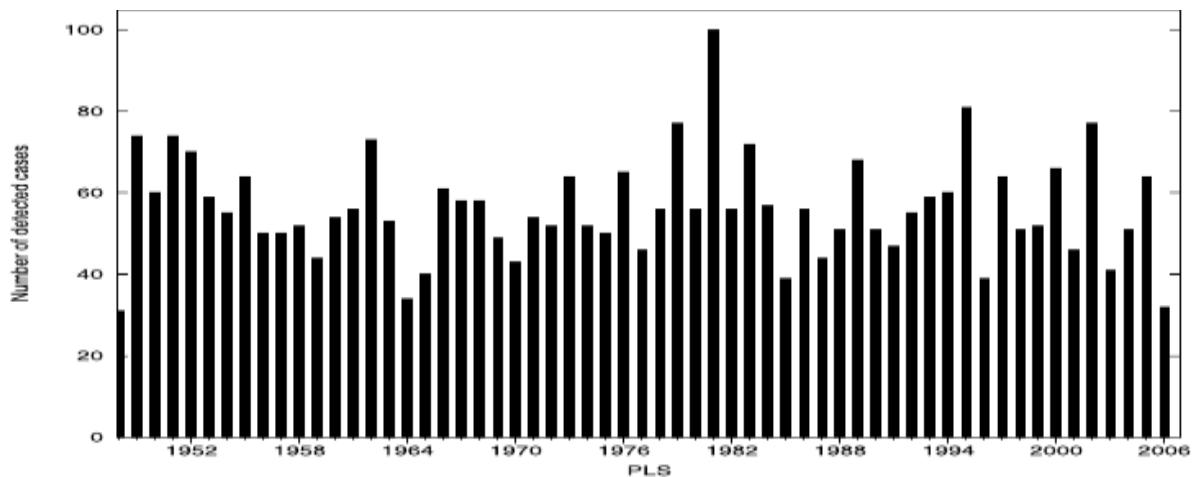
Τα περισσότερα πολικά χαμηλά σχηματίζονται κατά την χειμερινή περίοδο, ενώ σπανίζουν τους θερινούς μήνες. Συνήθως, έχουν διάμετρο η οποία αγγίζει τα 400-600 Km. Ανήκουν στην κατηγορία διαταραχών γνωστή ως πολικοί μεσοκυκλώνες. Οι ταχύτητες του ανέμου ξεπερνούν τα 17m/s (ECMWF).

Σχηματίζονται κατά μήκος του πολικού μετώπου στο βόρειο Ειρηνικό ωκεανό, στην βόρεια θάλασσα και στον βόρειο Ατλαντικό, ιδίως πάνω από την Ισλανδία (Δημητριάδου, 2017). Χαρακτηρίζονται από ισχυρούς επιφανειακούς ανέμους, βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Παρουσιάζουν παρόμοια ροή με τους τροπικούς κυκλώνες με κυκλωνική ροή στην επιφάνεια η οποία γίνεται αντικυκλωνική στην ανώτερη τροπόσφαιρα (Παρανός, 2016). Στο σχήμα 1.4.1 απεικονίζεται μια δορυφορική εικόνα ενός πολικού χαμηλού που επηρέασε τις βόρειες ακτές της Νορβηγίας το 1987. Διακρίνεται η κλειστή κυκλωνική κυκλοφορία, οι σπειροειδείς μπάντες νεφών και το ανέφελο μάτι τα οποία υποδεικνύουν την ομοιότητα με τους τροπικούς κυκλώνες. Η κλιματική αλλαγή και η επακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη δεν αναμένεται να αυξήσουν την συχνότητα των πολικών χαμηλών. Αντίθετα, θα μειωθεί ο αριθμός τους και η περιοχή δημιουργίας τους θα μετατοπιστεί βορειότερα. Αυτή η αλλαγή ενδέχεται να οφείλεται σε αλλαγές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της

θάλασσας στον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό και της θερμοκρασίας στην μέση τροπόσφαιρα (Zahn and Storch, 2010). Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.4.2, ο αριθμός των πολικών χαμηλών παρουσιάζει τάση μείωσης παρά το γεγονός της υπερθέρμανσης του πλανήτη.



Σχήμα 1.4.1: Εικόνα πολικού χαμηλού στις βόρειες ακτές της Νορβηγίας στις 27 Φεβρουαρίου 1987 (πηγή: <https://www.ecmwf.int/>).



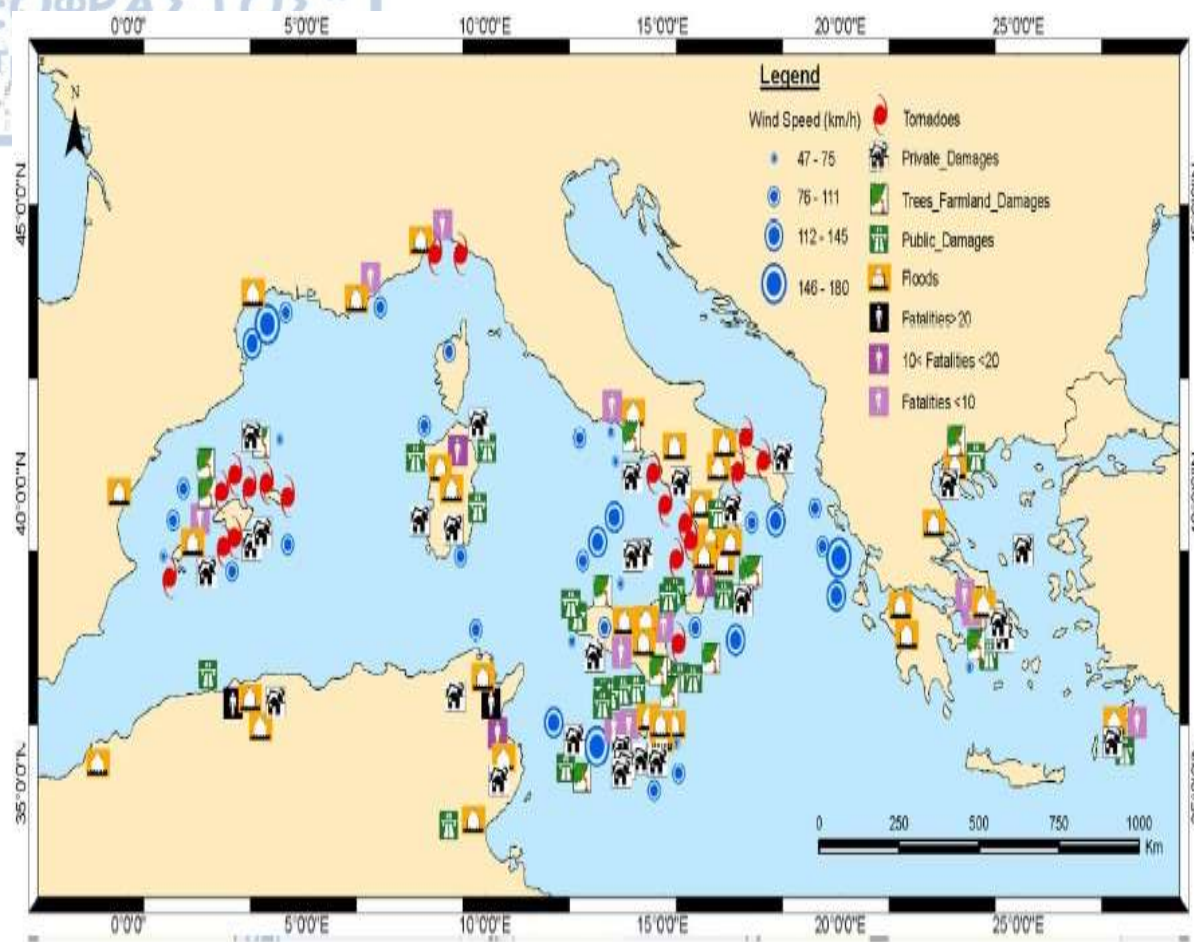
Σχήμα 1.4.2: Αριθμός πολικών χαμηλών ανά περίοδο πολικών χαμηλών. Μία περίοδος πολικών χαμηλών ξεκινά από 1 Ιουλίου και ολοκληρώνεται στις 30 Ιουνίου του επόμενου έτους. Τα έτη στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχούν στα έτη λήξης της εκάστοτε περιόδου (Zahn and Storch, 2008).

1.5 Φαινόμενα και επιπτώσεις των μεσογειακών κυκλώνων

Οι μεσογειακοί κυκλώνες συνοδεύονται από επικίνδυνα φαινόμενα όπως πλημμύρες, ισχυρούς ανέμους και ανεμοστρόβιλους. Η πλειοψηφία των επιπτώσεων αφορά συγκεκριμένες περιοχές. Αυτές είναι οι Βαlearίδες Νήσοι, η Σαρδηνία, η Σικελία καθώς και

τα νότια τμήματα της Ιταλίας (Nastos et al. 2018). Αντίθετα, τις λιγότερες επιπτώσεις αντιμετωπίζει η Ανατολική Μεσόγειος. Αυτό συμβαίνει διότι οι μεσογειακοί κυκλώνες αναπτύσσονται ως επί το πλείστον στην Δυτική και Κεντρική Μεσόγειο (Nastos et al. 2018).

Όπως διαπιστώνεται με βάση το σχήμα 1.5.1, το μεγαλύτερο ποσοστό ανεμοστρόβιλων εμφανίζεται στην περιοχή των Βαλεαρίδων Νήσων, ενώ από κοντά βρίσκονται οι περιοχές που βρέχονται από την Τυρρηνική θάλασσα. Ανεμοστρόβιλοι έχουν επίσης παρουσιαστεί στον κόλπο της Γένοβας και στη νοτιοανατολική Ιταλία. Όσον αφορά τις πλημμύρες, έχουν λάβει χώρα πλημμυρικά φαινόμενα σε όλες τις χώρες της Μεσογείου με τα περισσότερα να έχουν συμβεί στην κεντρική και νότια Ιταλία, στην Σικελία και την Σαρδηνία. Το ίδιο μοτίβο ισχύει και για τις καταστροφές ιδιωτικής περιουσίας καθώς και των δημόσιων υποδομών. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η ζημιά στην ιδιωτική περιουσία εκτιμήθηκε στα 100.000.000 € στις Βαλεαρίδες Νήσους εξαιτίας των ισχυρών ανέμων και των μεγάλων σε διάρκεια βροχοπτώσεων που χτύπησαν την περιοχή στις 11 Νοεμβρίου 2001 (Nastos et al. 2018, Kerkmann and Bachmeier, 2011). Ισχυροί άνεμοι έχουν επηρεάσει τον κόλπο της Μασσαλίας, τη θαλάσσια περιοχή νότια της Σικελίας και το Ιόνιο Πέλαγος. Το πιο σοβαρό περιστατικό συνέβη στις 7 Νοεμβρίου 2014 όπου σημειώθηκαν αρκετά δυνατές ριπές ανέμου αγγίζοντας τα 135 Km/hr στο νησί Λαμπεντούζα και τα 154 Km/hr στην Μάλτα, σύμφωνα με το EUMETEOSAT (Nastos et al. 2018). Ο μεσογειακός κυκλώνας της 7^{ης} Νοεμβρίου 2014 που προκάλεσε τους πολύ ισχυρούς ανέμους, παρουσίασε ελάχιστη πίεση 984 hPa (Pytharoulis 2018). Τέλος, έχουν σημειωθεί και απώλειες ανθρώπινων ζωών με περισσότερους από 600 θανάτους στην Αλγερία το Νοέμβριο του 2001 (Nastos et al. 2018).



Σχήμα 1.5.1: Επιπτώσεις των μεσογειακών κυκλώνων και θέσεις στις οποίες έχουν παρατηρηθεί (Nastos et al. 2018).

1.6 Ο ρόλος των ρών θερμότητας

Οι ροές θερμότητας διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των τροπικών κυκλώνων, των πολικών χαμηλών και φυσικά των μεσογειακών κυκλώνων. Οι τροπικοί κυκλώνες βασίζονται κυρίως στις ροές λανθάνουσας θερμότητας, ενώ οι μεσογειακοί κυκλώνες και τα πολικά χαμηλά βασίζονται και στις ροές αισθητής θερμότητας (Rasmussen 1979, Pytharoulis et al. 2000).

Κατά την εξέλιξη της αλλαγής φάσης του νερού, συμβαίνει απελευθέρωση και δέσμευση λανθάνουσας θερμότητας. Δέσμευση λανθάνουσας θερμότητας γίνεται με την αλλαγή της φάσης του νερού από σταθερότερες μορφές σε λιγότερο σταθερή όπως συμβαίνει με την τήξη του πάγου και την εξάτμιση του νερού. Όταν πραγματοποιείται το αντίθετο, δηλαδή μεταβολή από ασταθή σε μία πιο σταθερή μορφή τότε λαμβάνει χώρα μια διαδικασία η οποία είναι γνωστή ως απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας. Η πήξη, η συμπύκνωση και η απόθεση δίνουν ενέργεια στο περιβάλλον. Η συμπύκνωση οδηγεί σε μεγαλύτερη θερμοκρασία των νεφών σε σχέση με το περιβάλλον. Όπως είναι γνωστό, ο θερμός αέρας είναι ελαφρύτερος από τον ψυχρό και για αυτό τον λόγο ανεβαίνει υψηλότερα. Ανερχόμενος ο αέρας, ψύχεται και συμπυκνώνονται οι υδρατμοί με αποτέλεσμα την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας. Χάρη στην αισθητή θερμότητα, καθίσταται

δυνατή η μεταβολή της θερμοκρασίας χωρίς την αλλαγή της φάσης του νερού. Μεταφορά αισθητής θερμότητας μπορεί να γίνει με επαφή με θερμότερο σώμα ή με απορρόφηση ενέργειας από τον ήλιο, τον αέρα και τη γήινη επιφάνεια. Για να γίνει κατανοητή η σημασία των ροών θερμότητας, ενδεικτικά αναφέρεται η συμβολή τους στις πολικές υφέσεις. Πιο συγκεκριμένα, καθώς μία ψυχρή αέρια μάζα μεταφέρεται πάνω από μία υδάτινη επιφάνεια, μεταφέρονται από την θάλασσα, αισθητή θερμότητα και υγρασία προς την ατμόσφαιρα με επακόλουθη ελάττωση της ευστάθειας. Αφού ολοκληρωθεί η διαδρομή πάνω από την θάλασσα και κυρίως σε ανοδικές κινήσεις, γίνεται απελευθέρωση λανθάνουσας εξαιτίας της συμπύκνωσης των υδρατμών και εμφανίζονται νέφη (Δημητριάδου 2017, Παρανός 2016).

1.7 Σύγκριση Μεσογειακών κυκλώνων με τους τροπικούς κυκλώνες και τα πολικά χαμηλά

Οι μεσογειακοί κυκλώνες εμφανίζονται στην διεθνή βιβλιογραφία και με τον όρο Tropical like cyclones (TLC) καθώς μοιράζονται ορισμένα χαρακτηριστικά με τους τροπικούς κυκλώνες. Αυτά είναι το ανέφελο μάτι, ο θερμός πυρήνας, η σπειροειδής ανάπτυξη των νεφών, η απουσία μετώπων, η έντονη κατακόρυφη μεταφορά, οι ισχυροί επιφανειακοί άνεμοι και η δορυφορική εικόνα τους. Επιπλέον, η ύπαρξη θερμών νερών αποτελεί ικανή αλλά όχι αναγκαία συνθήκη για τον σχηματισμό μεσογειακών κυκλώνων οι οποίοι δύνανται να σχηματιστούν ακόμα και όταν η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας είναι κάτω από 26°C , σε αντίθεση με τους τροπικούς κυκλώνες οι οποίοι χρειάζονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 26°C (Miglietta et al. 2011, Palmen 1948). Δηλαδή, οι μεσογειακοί κυκλώνες μπορούν να σχηματιστούν ακόμα και πάνω από ψυχρά ύδατα. Αυτό συμβαίνει διότι η εισχώρηση ψυχρών αερίων μαζών στις εξωτροπικές περιοχές ενδέχεται να οδηγήσει σε άνοδο την απόδοση της μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανική (Miglietta et al. 2019). Η διάρκεια ζωής αυτών των συστημάτων περιορίζεται σε λίγες μέρες εξαιτίας της μικρής έκτασης της Μεσογείου σε σχέση με τον ανοιχτό ωκεανό (Miglietta et al. 2019). Επιπλέον, αποκτούν χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα για μικρό χρονικό διάστημα της ζωής τους, συνεπώς τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους συμπεριφέρονται σαν εξωτροπικές υφέσεις (Miglietta et al. 2011, 2013).

Για τον σχηματισμό των μεσογειακών κυκλώνων σημαντικό ρόλο επιτελούν τόσο οι ροές αισθητής θερμότητας όσο και οι ροές λανθάνουσας θερμότητας, γεγονός που υποδεικνύει ομοιότητες με τα πολικά χαμηλά για τα οποία ισχύει το ίδιο. Αντίθετα, στους τροπικούς κυκλώνες κυριαρχούν οι ροές λανθάνουσας θερμότητας (Pytharoulis et al. 2000). Εν ολίγοις, οι μεσογειακοί κυκλώνες παρουσιάζουν χαρακτηριστικά των τροπικών κυκλώνων και των πολικών χαμηλών.

1.8 Ο ρόλος του δυναμικού στροβιλισμού

Εκτός από τον κλασικό τρόπο διαχωρισμού τροπόσφαιρας-στρατόσφαιρας, εφαρμόζεται επιπλέον μια διαφορετική οριοθέτηση η οποία βασίζεται στον δυναμικό στροβιλισμό. Πιο συγκεκριμένα, η επιφάνεια με τιμή 2 PVU διαχωρίζει τον τροποσφαιρικό από τον στρατοσφαιρικό αέρα και ονομάζεται δυναμική τροπόπαυση. Ο στρατοσφαιρικός αέρας αναγνωρίζεται από τιμές >2 PVU και χαμηλή σχετική υγρασία (Miglietta et al. 2017). Συνεπώς, όταν εντοπίζονται τιμές δυναμικού στροβιλισμού μεγαλύτερες από 2 PVU στην τροπόσφαιρα, αυτό συνεπάγεται διείσδυση στρατοσφαιρικού αέρα. Δεν αποκλείεται όμως, τιμές μεγαλύτερες από 2 PVU να οφείλονται σε διαβατικούς μηχανισμούς αποκλειστικά ή σε συνδυασμό διείσδυσης στρατοσφαιρικού αέρα και διαβατικών μηχανισμούς παραγωγής δυναμικού στροβιλισμού (Miglietta et al 2017).

Έχειδειχθεί πως για έναν μικρού μεγέθους εν δυνάμει κυκλώνα με τροπικά χαρακτηριστικά στον χώρο της δυτικής Μεσογείου πως η ανωμαλία δυναμικού στροβιλισμού στην ανώτερη τροπόσφαιρα ενδυνάμωσε την κυκλοφορία στα χαμηλά επίπεδα, η οποία στην συνέχεια αύξησε τις ροές λανθάνουσας θερμότητας από την θάλασσα (Homar et al. 2003, Miglietta et al. 2017). Στο ίδιο πλαίσιο, έχει αποδειχθεί πως μια λωρίδα δυναμικού στροβιλισμού από την στρατόσφαιρα προηγείται του σχηματισμού ενός ισχυρού μεσογειακού κυκλώνα (Nastos et al. 2018, Flaounas et al. 2015). Η ροή δυναμικού στροβιλισμού αποδεικνύεται καθοριστική για την ενίσχυση ενός μεσογειακού κυκλώνα στα πρώιμα στάδια της ανάπτυξής του (Cioni et al. 2016, Miglietta et al. 2017, Pytharoulis 2018).

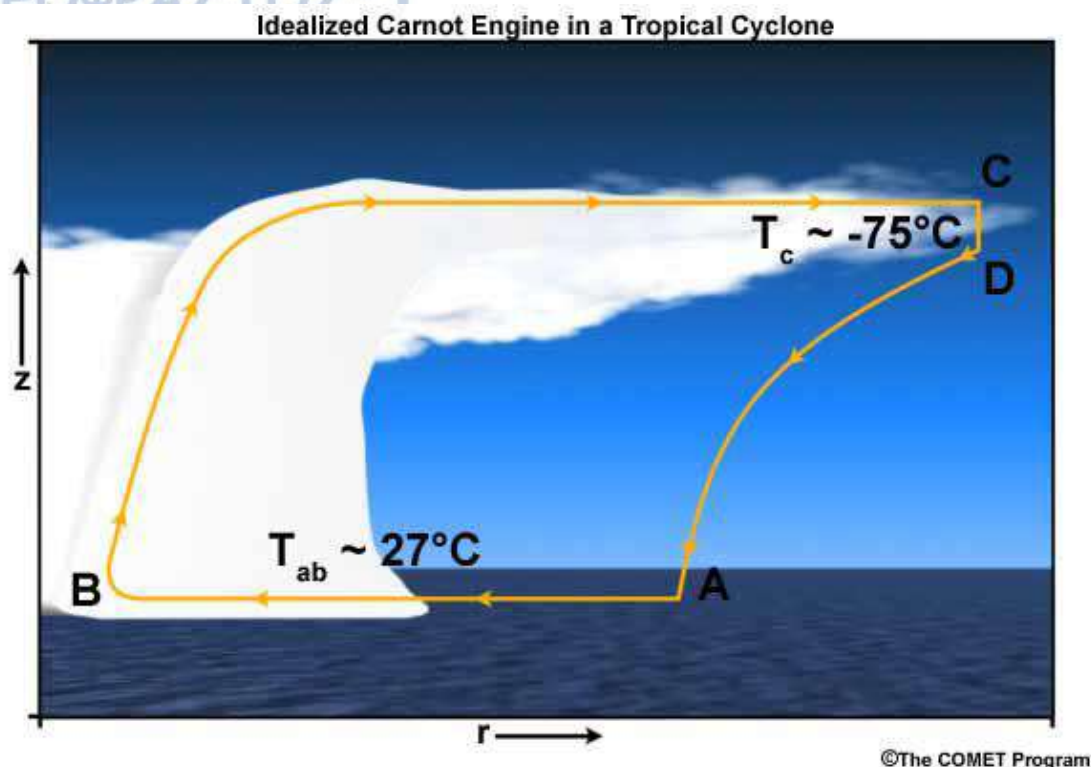
1.9 Θεωρίες δημιουργίας

1.9.1 Θεωρία αστάθειας υπό συνθήκες, του δεύτερου είδους (Conditional Instability of the Second Kind - CISK)

Οι Charney and Eliassen (1964) διατύπωσαν μία θεωρία η οποία αφορούσε την σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και ενός στροβίλου ο οποίος βρίσκεται στα πρώιμα στάδια ανάπτυξης (Δημητριάδου, 2017). Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ατμόσφαιρα να είναι ακόρεστη και ασταθής και ταυτόχρονα η ύπαρξη μιας μικρής διαταραχής η οποία να συνδέεται με θετικό στροβιλισμό στα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας. Αυτές οι συνθήκες αστάθειας δημιουργούν ανοδικές κινήσεις οι οποίες με την σειρά τους διαθέτουν την ικανότητα να συνεισφέρουν στον σχηματισμό και την ισχυροποίηση μιας δίνης. Η θεωρία αυτή εισάγει έναν αυτοτροφοδοτούμενο μηχανισμό. Σύμφωνα όμως με νεότερες έρευνες, αυτή η θεωρία δεν επαρκεί για να εξηγήσει τον σχηματισμό των τροπικών κυκλώνων (Emanuel 1994, Craig and Gray 1996, Δημητριάδου 2017).

1.9.2 Ανταλλαγή θερμότητας με την επιφάνεια λόγω του ανέμου (WISHE Theory: Wind-induced surface heat exchange)

Εισήχθη από τους Rotunno and Emanuel το 1987. Η θεωρία αυτή υποστηρίζει πως εκτός από τις ροές λανθάνουσας θερμότητας που οφείλονται στην εξάτμιση των ωκεάνιων νερών και ενισχύουν έναν τροπικό κυκλώνα, οφείλει να ενυπάρχει και θερμοδυναμική αστάθεια στο οριακό στρώμα (Craig and Grey 1996, Δημητριάδου 2017). Η καθίζηση του αέρα στο μάτι έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του και την ελάττωση της πίεσης. Εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας αποκαλούνται συστήματα θερμού πυρήνα. Η ελάττωση της πίεσης ενισχύει την οριζόντια βαροβαθμίδα και προκαλεί τον αέρα να κινηθεί να κινηθεί προς το κέντρο με συνεχώς αυξανόμενη ταχύτητα (Δημητριάδου 2017). Έπειτα, ο αέρας κινείται στα τοιχώματα γύρω από το μάτι και εξέρχεται κοντά στην τροπόπαυση. Στο σχήμα 1.9.2 απεικονίζεται η θεωρία. Όπως φαίνεται, η αέρια μάζα από το σημείο A (οριακό στρώμα) μετακινείται μέσω ισόθερμων επιφανειών στο σημείο B. Στην συνέχεια, ανέρχεται και υφίσταται αδιαβατική ψύξη σχηματίζοντας νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης (B προς C). Τέλος εξέρχεται κοντά στην τροπόπαυση και κατέρχεται μακριά από το σύστημα (C προς A). Τονίζεται ότι το πιο σημαντικό στοιχείο αυτής της θεωρίας είναι ο μηχανισμός ανατροφοδότησης μεταξύ των ισχυρών επιφανειακών ανέμων και των ροών λανθάνουσας θερμότητας από την θάλασσα προς την ατμόσφαιρα.



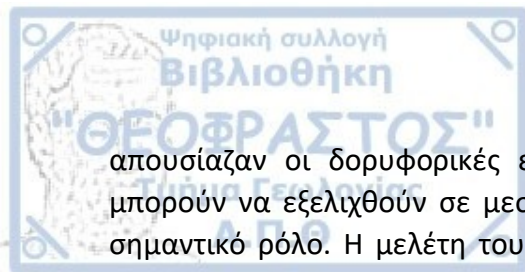
Σχήμα 1.9.1: Σχηματική απεικόνιση των ροών θερμότητας σε έναν τροπικό κυκλώνα σε μία ιδανική μηχανή Carnot με βάση τον Emanuel 1987 (The COMET program).

1.9.3 Βαροκλινική θεωρία

Ως βαροκλινική θεωρείται η ατμόσφαιρα η πυκνότητα της οποίας εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία (Holton 1972). Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, όταν παρουσιάζεται μια ύφεση, οι θερμές αέριες εκτοπίζονται προς τα βόρεια και μπροστά από αυτή ενώ ταυτόχρονα ανέρχονται. Οι ψυχρές αέριες μάζες ακολουθούν από πίσω. Βαροκλινική αστάθεια υπάρχει, εφόσον αυτή η κίνηση των αερίων μαζών γίνεται ανεμπόδιστα και επαναλαμβάνεται. Στο πλαίσιο της κυκλογένεσης, υπάρχει ενίσχυση της θερμής μεταφοράς και συνεπώς μεγαλύτερη ποσότητα μεταφερόμενης ενέργειας η οποία ανατροφοδοτεί το σύστημα. Τα συστήματα των μέσων γεωγραφικών πλατών, δηλαδή οι αντικυκλώνες και οι υφέσεις, οφείλουν τον σχηματισμό τους και την ανάπτυξή τους στον μηχανισμό της βαροκλινικής αστάθειας (Δημητριάδου, 2017). Χάρη και σε αυτά τα συστήματα, επιτυγχάνεται διατήρηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με μεταφορά θερμών αερίων μαζών στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και τη μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη (Δημητριάδου, 2017).

1.10 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση ενός βαρομετρικού χαμηλού το οποίο στην πορεία του απέκτησε χαρακτηριστικά μεσογειακού κυκλώνα την περίοδο 15-19 Νοεμβρίου με τις ονομασίες Medicane Numa από το Free University of Berlin και μεσογειακός κυκλώνας Ζήνων από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ). Χαρακτηριστικά μεσογειακού κυκλώνα διατήρησε για ένα 24ώρο (17/11 12UTC-18/11 12UTC). Μέχρι πριν λίγες δεκαετίες η αναγνώριση μεσογειακών κυκλώνων ήταν εξαιρετικά δύσκολη καθώς



απουσίαζαν οι δορυφορικές εικόνες. Σήμερα για την αναγνώριση χαμηλών τα οποία μπορούν να εξελιχθούν σε μεσογειακό κυκλώνα οι δορυφορικές εικόνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Η μελέτη του συστήματος εστιάζει στην συνοπτική ανάλυση του και τη διερεύνηση της κατακόρυφης δομής του. Χρησιμοποιούνται κυρίως επιχειρησιακές πλεγματικές αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού, μετεωρολογικές παρατηρήσεις και δορυφορικές εικόνες για την παρακολούθηση της δομής του χαμηλού καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του και ιδιαίτερα για την περίοδο της ώριμης φάσης για την δομή του ματιού.

Στο πλαίσιο της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επιχειρησιακών πλεγματικών αναλύσεων από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (European Center for Medium range Weather Forecasts). Τα δεδομένα αφορούσαν αναλύσεις επιφανείας, αναλύσεις ισοβαρικών επιπέδων και αναλύσεις δυναμικής τροπόπαυσης. Αντλήθηκαν συνοπτικοί χάρτες ανάλυσης επιφανείας για την κατανόηση της συνοπτικής κατάστασης στον χώρο της Ευρώπης και της περιοχής της Μεσογείου (<http://www1.wetter3.de/>). Επιπροσθέτως, έγινε χρήση δορυφορικών δεδομένων (MSG, Terra/Modis, GPM, Sentinel-2). Συγκεντρώθηκαν δεδομένα από επίγειες παρατηρήσεις από μηνύματα SYNOP. Εξήχθησαν δεδομένα τα οποία αφορούν την θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας από την ιστοσελίδα του NOAA (<https://psl.noaa.gov/>). Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το σύστημα ZEUS του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ).

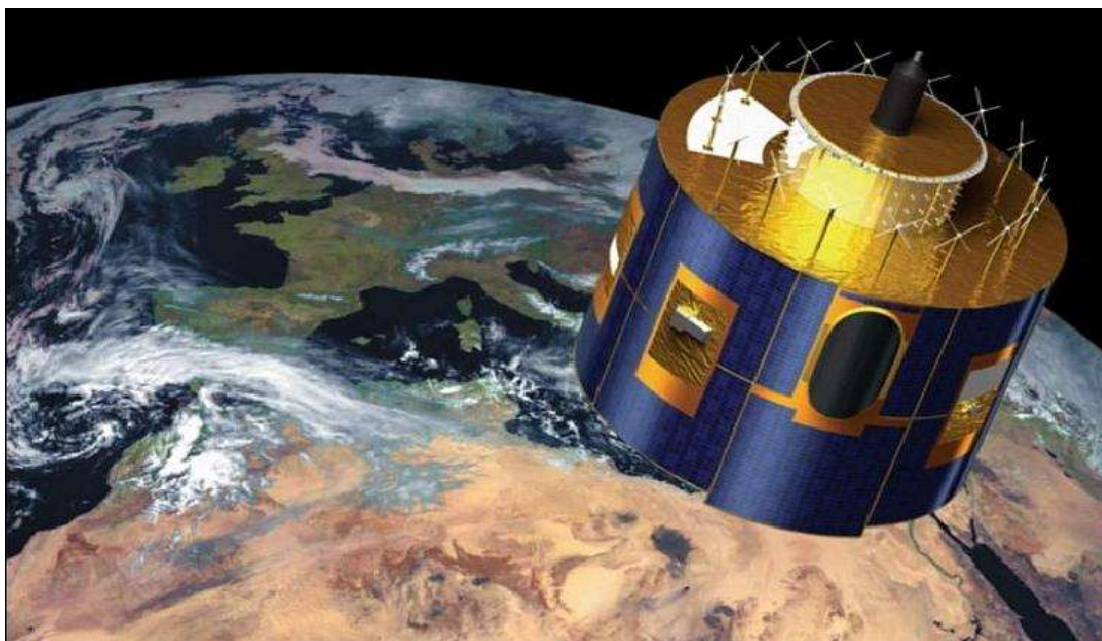
2.1 Συνοπτικοί χάρτες επιφανείας και πλεγματικά δεδομένα

Σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες συνοπτικής ανάλυσης οι οποίοι εκδόθηκαν από τη Μετεωρολογική υπηρεσία της Αγγλίας (UK Met Office). Κυρία χρήση η μετωπική ανάλυση ωστόσο, χρησιμοποιήθηκαν και οι τιμές της πίεσης ώστε να γίνει σύγκριση με τις τιμές του ECMWF. Παρόλα αυτά, οι τιμές της πίεσης του συστήματος οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω, προέρχονται από τις αναλύσεις του ECMWF. Οι συνοπτικοί χάρτες αφορούσαν την περίοδο 15/11/2017 (0 UTC) -19/11/2017 (18 UTC), το χρονικό διάστημα δηλαδή της δραστηριοποίησης του συστήματος.

Οι αναλύσεις ECMWF, χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό της ακριβούς θέσεως του συστήματος καθώς και της ελάχιστης πίεσης στο κέντρο του. Η χωρική ανάλυση, δηλαδή η απόσταση μεταξύ των σημείων του πλέγματος ήταν $0,1^\circ$. Επιπλέον, έγινε χρήση των δεδομένων σχετικών με ορισμένα γεωδυναμικά ύψη ώστε να κατανοηθεί η κατάσταση στην ανώτερη τροπόσφαιρα και η ύπαρξη ενός ψυχρού χαμηλού, το οποίο όπως προαναφέρθηκε είναι απαραίτητο για τον σχηματισμό ενός μεσογειακού κυκλώνα. Η επιφάνεια 1000-300hPa χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό κατακόρυφων τομών του συστήματος οι οποίες αφορούν κρίσιμες παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, ο σχετικός στροβιλισμός και ο ζωνικός άνεμος. Τέλος, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα για την δυναμική τροπόπαυση ώστε να εντοπιστούν ανωμαλίες στον δυναμικό στροβιλισμό ο οποίος συμβάλλει στην ενίσχυση ενός μεσογειακού κυκλώνα στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό οπτικοποίησης GRADS (<http://cola.gmu.edu/grads/>).

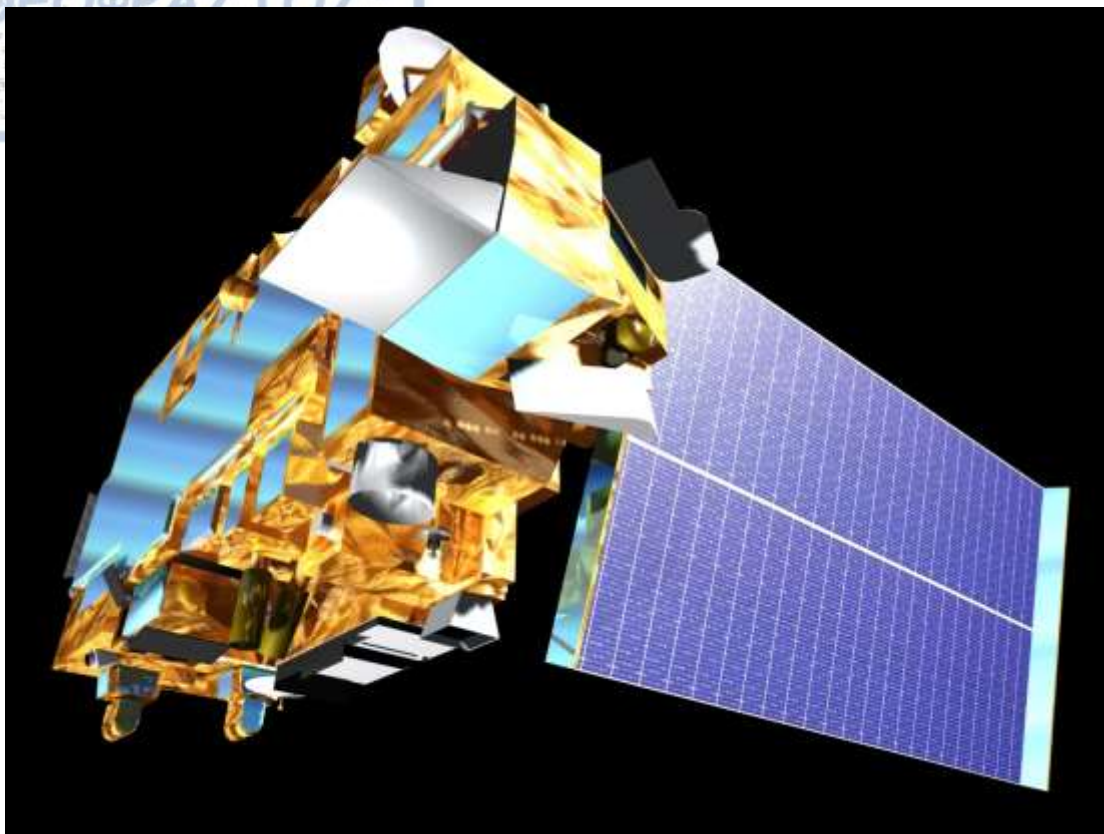
2.2 Δορυφορικά δεδομένα

Οι δορυφόροι MSG αποτελούν την δεύτερη γενιά δορυφόρων Meteosat. Οι δύο δορυφόροι δεύτερης γενιάς είναι οι Meteosat-8 (σχήμα 2.1.1) και Meteosat-9. Ο Meteosat-8 τέθηκε σε τροχιά το 2002, ενώ ο Meteosat-9 το 2005. Οι δορυφόροι της σειράς Meteosat είναι γεωστάσιμοι. Αυτό σημαίνει ότι περιστρέφονται σε τροχιά ύψους 35800 Km με την συχνότητα περιστροφής της Γης (Καρτάλης και Φείδας 2012). Το σημαντικότερο όργανο που διαθέτουν οι δορυφόροι δεύτερης γενιάς είναι το SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-red Imager). Χάρη στο όργανο αυτό, η Γη καταγράφεται σε 12 διαφορετικές φασματικές περιοχές οι οποίες ανήκουν στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα μεταξύ των οποίων και το 10.8 μm το οποίο ανήκει στο θερμικό υπέρυθρο. Από αυτές τις φασματικές περιοχές μία ανήκει στο ορατό φάσμα υψηλής ανάλυσης ή αλλιώς HRV (High Resolution Visible). Οι 8 από τις υπόλοιπες φασματικές περιοχές ανήκουν στο θερμικό υπέρυθρο (<https://www.eumetsat.int/>). Η τιμή των 10.8 μm χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία για την εξαγωγή των δορυφορικών εικόνων του κυκλώνα.



Σχήμα 2.1.1: Το δορυφορικό σύστημα Meteosat-8 (πηγή: <https://earth.esa.int/>).

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν βοηθητικά εικόνες από τον δορυφόρο Terra/Modis. Ο δορυφόρος Terra (σχήμα 2.1.2) αποτέλεσε το σύμβολο του συστήματος EOS (Earth Observation System). Τέθηκε σε τροχιά τον Δεκέμβριο του 1999. Διαθέτει πέντε αισθητήρες οι οποίοι είναι οι ASTER, CERES, MISR, MOPITT και MODIS. Βρίσκεται σε ύψος 750 Km. Το σύστημα MODIS διαθέτει εύρος θέασης 2330 Km και σαρώνει κάθε περιοχή του πλανήτη κάθε 1-2 ημέρες. Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε 36 φασματικές ζώνες (<https://terra.nasa.gov/>).



Σχήμα 2.1.2: Ο δορυφόρος Terra (πηγή: <https://www.eumetsat.int/>)

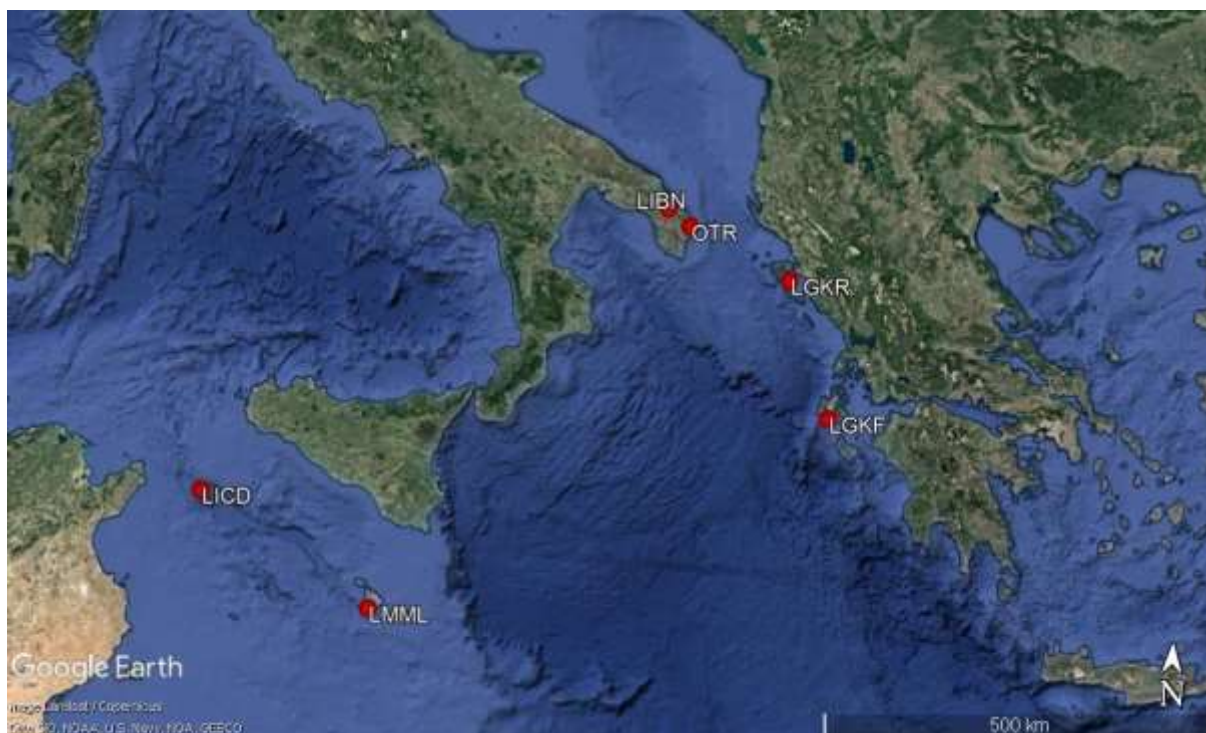
Επικουρικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα και από την συστοιχία δορυφόρων GPM. Ο δορυφόρος GPM αποτελεί κοινή αποστολή της NASA (National Aeronautics and Space Administration) και της JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) η οποία τέθηκε σε τροχιά το 2014. Διαθέτει ένα προχωρημένης τεχνολογίας ραντάρ/ραδιόμετρο με σκοπό να μετράει τον υετό από το διάστημα (Huffman et al. 2019). Χάρη στο εξελιγμένο ραντάρ, έχει βελτιώσει τις μετρήσεις των βροχοπτώσεων παγκοσμίως (<https://gpm.nasa.gov/>). Τα δεδομένα εξήχθησαν μέσω της πλατφόρμας Giovanni της NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>). Η αποστολή Sentinel 2 αποτελείται από δύο δορυφόρους (Sentinel-2A και Sentinel-2B). Έχουν πολική τροχιά, χωρική ανάλυση 10 m και δίνουν πολυφασματικές υψηλής ανάλυσης εικόνες για την βλάστηση, το έδαφος και τα υδάτινα συστήματα (<https://www.esa.int/>).

2.3 Δεδομένα SYNOP

Η λέξη SYNOP προέρχεται από την αγγλική λέξη synoptic και αναφέρεται στην συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας. Επί της ουσίας, αποτελεί ένα τηλεγράφημα το οποίο εκδίδεται κάθε τρεις ώρες με κύριες ώρες τις 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC και δευτερεύουσες ώρες τις 03:00, 09:00, 15:00 και 21:00 UTC. Έχει πολύ μεγάλη συμβολή στην σύνταξη χαρτών επιφανείας και την ανάλυση του καιρού. Παρέχουν πλήθος δεδομένων που αφορούν πλήθος παραμέτρων μεταξύ των οποίων την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, την παρουσία ή όχι φαινομένων, την ορατότητα, νέφωση του ουρανού, το ύψος των νεφών, την ποσότητα του υετού (εφόσον υπάρχει), την θερμοκρασία και το σημείο δρόσου (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου 2004). Συντάσσεται ως ένα

σύνολο 5ψήφίων αριθμών. Αποτελείται αποκλειστικά από αριθμούς ενώ σε περίπτωση έλλειψης δεδομένων τοποθετείται το σύμβολο της καθέτου (/).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα SYNOP τα οποία ήταν αποκωδικοποιημένα και αφορούσαν σταθμούς της ευρύτερης Ευρωπαϊκής ηπείρου. Με βάση την τροχιά του κυκλώνα, αντλήθηκαν δεδομένα από επιλεγμένους σταθμούς της Ιταλίας, της Μάλτας και της Ελλάδας. Ως επί το πλείστον, τα δεδομένα σχετίζονταν με βροχόπτωση και τιμές της βαρομετρικής πίεσης. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι επόμενοι: LMML (Luqa, Μάλτα), LICD (Pantelleria, Ιταλία), LGKF (Κεφαλλονιά, Ελλάδα), LGKR (Κέρκυρα, Ελλάδα), OTR (Otranto, Ιταλία), LIBN (Lecce, Ιταλία). Τα δεδομένα για τον σταθμό Otranto αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα <http://www.meteomanz.com/>.



Σχήμα 2.2.1: Θέσεις των σταθμών από τους οποίους αντλήθηκαν δεδομένα SYNOP.

2.4 Δεδομένα θερμοκρασιών στην επιφάνεια της θάλασσας

Από ιστοσελίδα του NOAA (Physical Sciences Laboratory - National Oceanic and Atmospheric Administration), χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ώστε να διαπιστωθούν οι θερμοκρασίες που επικρατούσαν στην επιφάνεια της θάλασσας. Με αυτό τον τρόπο, θα βγει συμπέρασμα για το αν η γένεση και η μετέπειτα πορεία του κυκλώνα, προκάλεσε μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία για την ανωμαλία της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, καθώς οι θετικές τιμές ανωμαλίας ευνοούν τον σχηματισμό μεσογειακών κυκλώνων (Nastos et al. 2018).

2.5 Ηλεκτρικές εκκενώσεις

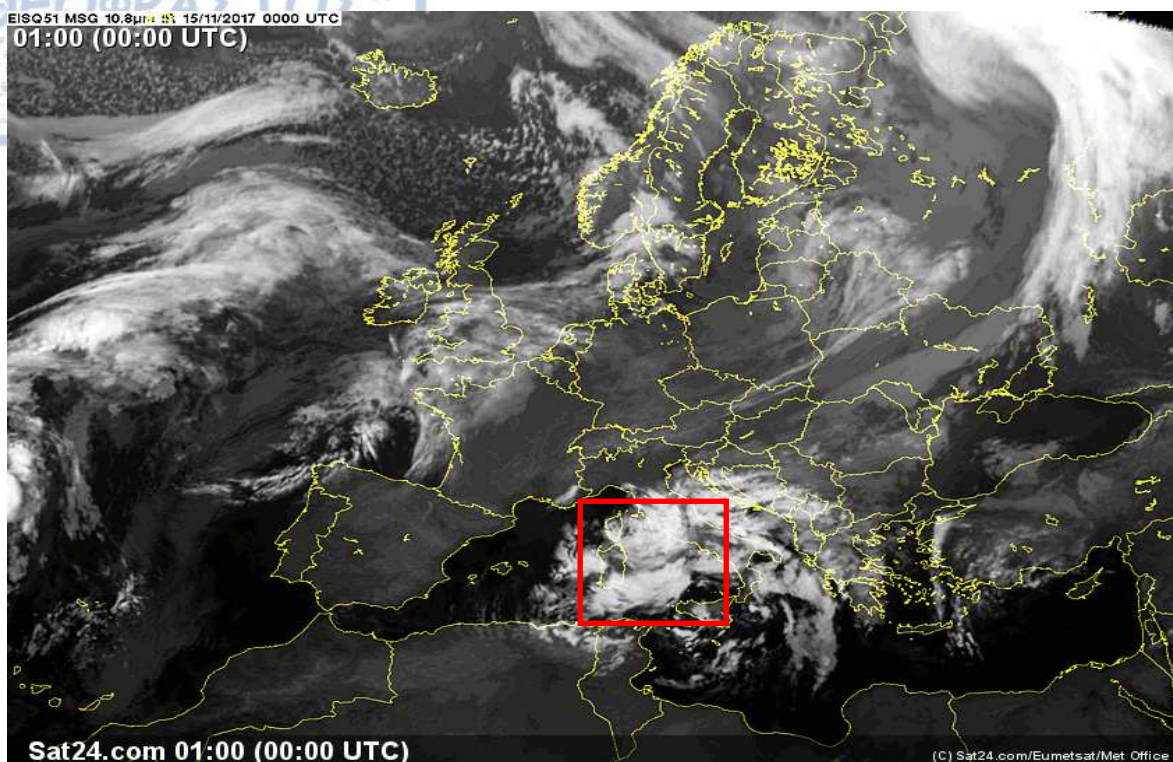
Τα δεδομένα ηλεκτρικών εκκενώσεων αντλήθηκαν από το σύστημα ZEUS του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) για την περίοδο 14/11/2017-19/11/2017. Το ZEUS αποτελεί ένα σύστημα πολύ χαμηλής συχνότητας με στόχο την ανίχνευση ηλεκτρικών εκκενώσεων. Διαθέτει την δυνατότητα να ανιχνεύει τόσο ηλεκτρικές εκκενώσεις από τα νέφη στο έδαφος όσο και μεταξύ νεφών (Pytharoulis 2018, Lagouvardos et al. 2009, Yair et al. 2010). Έχει αποδειχθεί ότι το σύστημα ανιχνεύει με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα τις ηλεκτρικές εκκενώσεις από τα νέφη προς το έδαφος από ό,τι ανιχνεύει τις ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ νεφών (Lagouvardos et al. 2009).

Η συνοπτική ανάλυση του κυκλώνα του Νοεμβρίου του 2017, περιλαμβάνει 6 ημέρες. Στις 14 Νοεμβρίου 2017, περιγράφονται οι συνοπτικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή πριν την γένεση του μητρικού χαμηλού. Στις 15 Νοεμβρίου το μητρικό χαμηλό προερχόμενο από την ηπειρωτική Ιταλία βρισκόταν στον χώρο της Τυρρηνικής θάλασσας. Μέχρι τις 19 Νοεμβρίου επηρέασε διαδοχικά την Μάλτα, την Ιταλία και την Ελλάδα. Στις 19 Νοεμβρίου το σύστημα κατέρρευσε πλήρως στο χώρο του Αιγαίου. Χρήσιμα αποδείχθηκαν τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων από μετεωρολογικούς σταθμούς, τα δεδομένα ηλεκτρικών εκκενώσεων, δεδομένα θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, συνοπτικοί χάρτες επιφανείας καθώς και χάρτες γεωδυναμικών υψών. Τέλος, εξετάστηκαν τα δεδομένα για τη δυναμική κατάσταση της ατμόσφαιρας.

3.1. Διαδρομή

Για τον καθορισμό της διαδρομής του κυκλώνα καθώς και των θέσεων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πλεγματικών αναλύσεων του ECMWF για την περίοδο 15/11/2017 00 UTC - 19/11/2017 18UTC. Το μητρικό σύστημα άρχισε να αναπτύσσεται στην Τυρρηνική Θάλασσα στις 15/11/2017 (σχήμα 3.1.1). Κατά την διάρκεια της ημέρας, κινήθηκε προς τα νότια και μέχρι το τέλος της ημέρας, έφτασε στα δυτικά της Μάλτας, επηρεάζοντας το σύμπλεγμα των Αιολίδων Νήσων. Ενδεικτικά, στο νησί Pantelleria μετρήθηκαν 26mm βροχόπτωσης σε διάστημα 6 ωρών από τις 12UTC μέχρι τις 18UTC. Σε αυτό το διάστημα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1.2, η διαταραχή κινήθηκε από τα δυτικά της Σικελίας, προς το νησί Pantelleria. Η κίνηση αυτή προκάλεσε πτώση της πίεσης με την ελάχιστη τιμή των 1005.6 hPa να σημειώνεται στις 18UTC. Αξιοσημείωτη είναι η ενίσχυση των ανέμων νοτιοδυτικής συνιστώσας κατά το πέρασμα του κυκλώνα. Η μέγιστη ταχύτητα άγγιξε τα 33.5 Km/hr δηλαδή τα πέντε μποφόρ, ενώ τις πρωινές ώρες ήταν μόλις 11.3 Km/hr. Αυτά τα δεδομένα αφορούν τον σταθμό στο νησί Pantelleria (σχήμα 3.1.3).

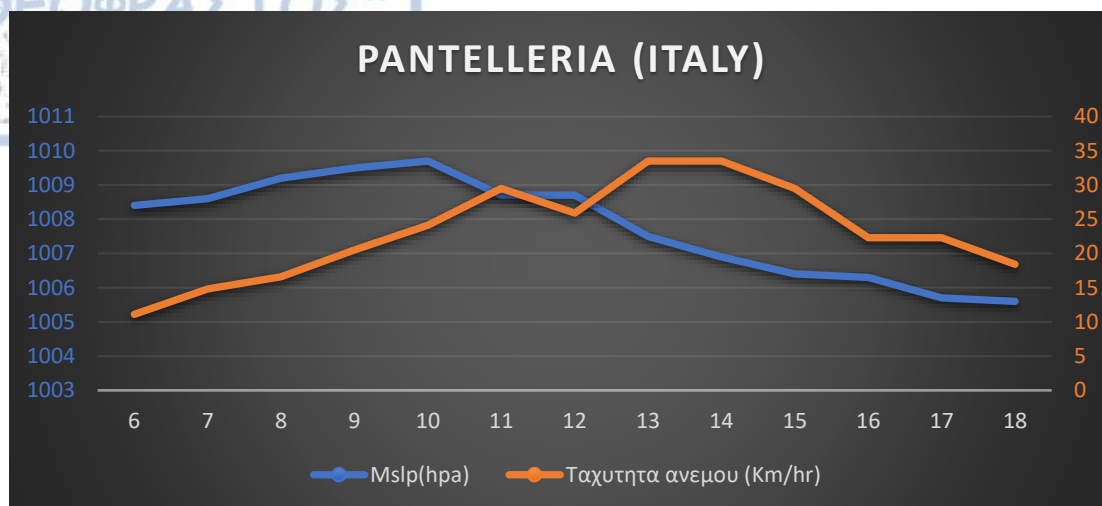
EISQ51 MSG 10.8μm 15/11/2017 0000 UTC
01:00 (00:00 UTC)



Σχήμα 3.1.1: Δορυφορική εικόνα του συστήματος πάνω από την Τυρρηνική θάλασσα στις 15/11/2017 00UTC. Η εικόνα προέρχεται από τον δορυφόρο METEOSAT στα 10.8 μm.

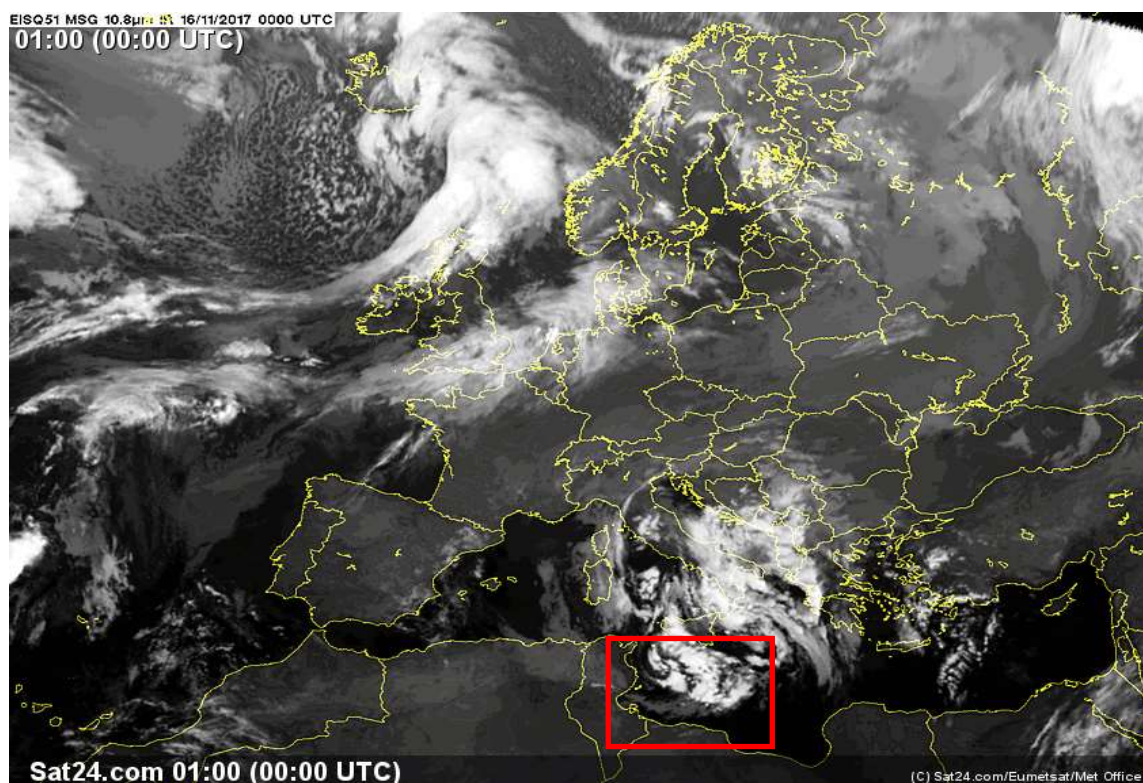


Σχήμα 3.1.2: Η διαδρομή του κυκλώνα στις 15-16/11/2017. Με κόκκινη τελεία συμβολίζονται οι θέσεις στις οποίες το σύστημα αποτελούσε μεσογειακό κυκλώνα.

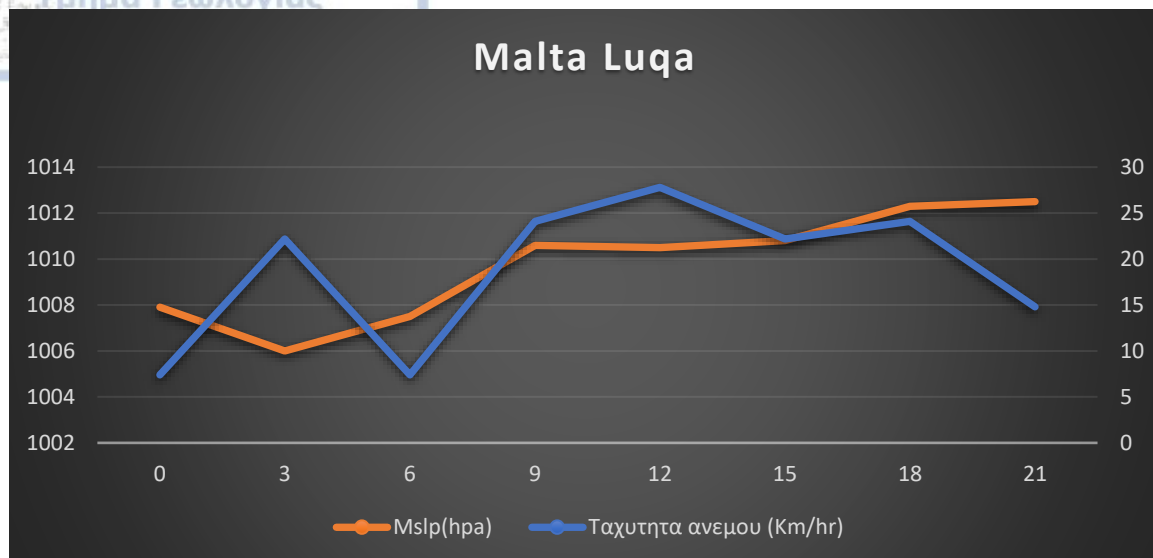


Σχήμα 3.1.3: Οι διακυμάνσεις της βαρομετρικής πίεσης και της ταχύτητας του ανέμου στον σταθμό Pantelleria στις 15/11/2017. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην παγκόσμια ώρα UTC.

Στις 16/11/2017, το σύστημα πέρασε νότια της Μάλτας (σχήμα 3.1.4), επηρεάζοντας την και γρήγορα κινήθηκε προς τα βόρεια προς την περιοχή του Ιονίου μέχρι το τέλος της ημέρας. Στον σταθμό Luqa (LMML) στην Μάλτα, καταγράφηκε ελάχιστη πίεση 1006 hPa στις 03UTC. Η βαρομετρική πίεση ξεκίνησε να αυξάνεται τις επόμενες ώρες εφόσον απομακρυνόταν η διαταραχή. Μεγάλες ταχύτητες ανέμου παρατηρήθηκαν σε όλη την διάρκεια της ημέρας με μέγιστη τιμή 27.8 Km/hr, ενώ η διεύθυνση των ανέμων ήταν βορειοδυτική (σχήμα 3.1.5).



Σχήμα 3.1.4: Δορυφορική εικόνα του συστήματος πλησίον της Μάλτας στις 16/11/2017 00UTC. Η εικόνα προέρχεται από τον δορυφόρο METEOSAT στα 10.8 μm.

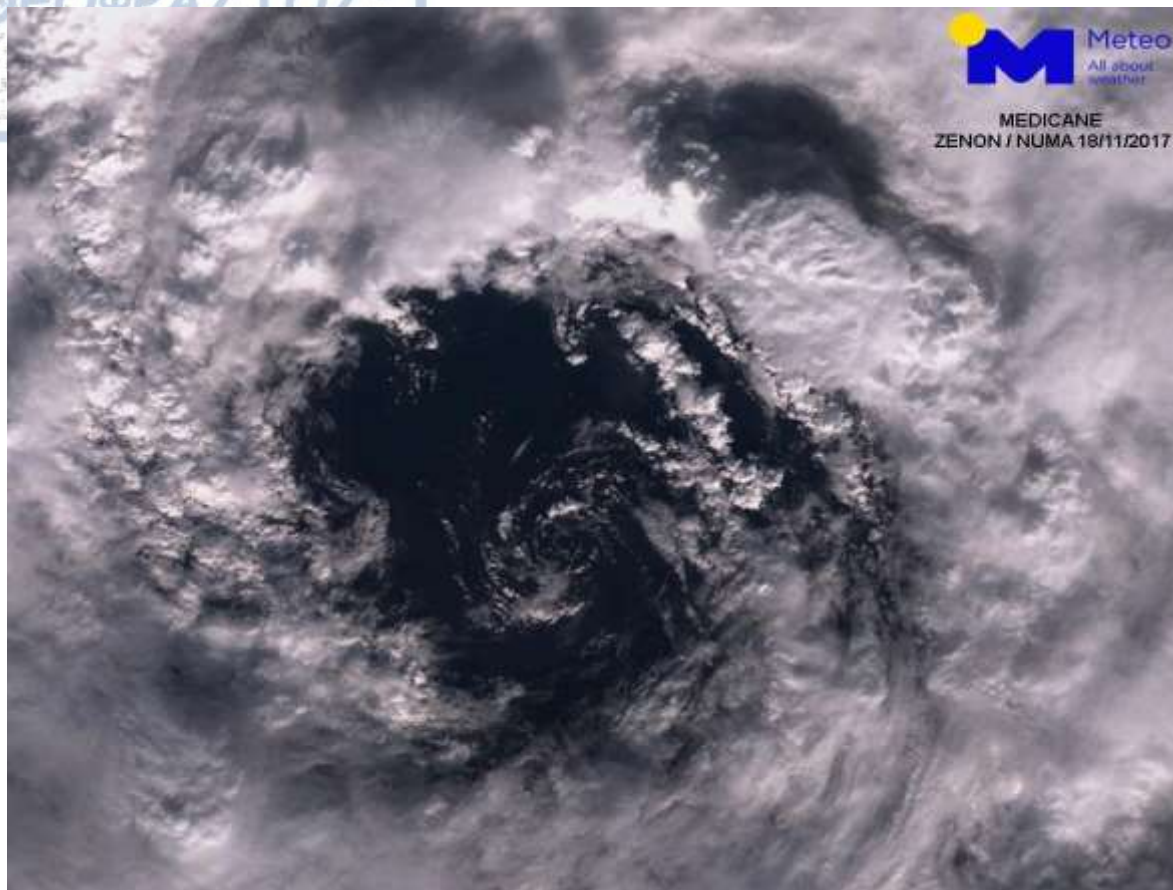


Σχήμα 3.1.5: Τιμές πίεσης και ανέμου στον σταθμό Luqa (LMML) στην Μάλτα στις 16/11/2017. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στην παγκόσμια ώρα UTC.

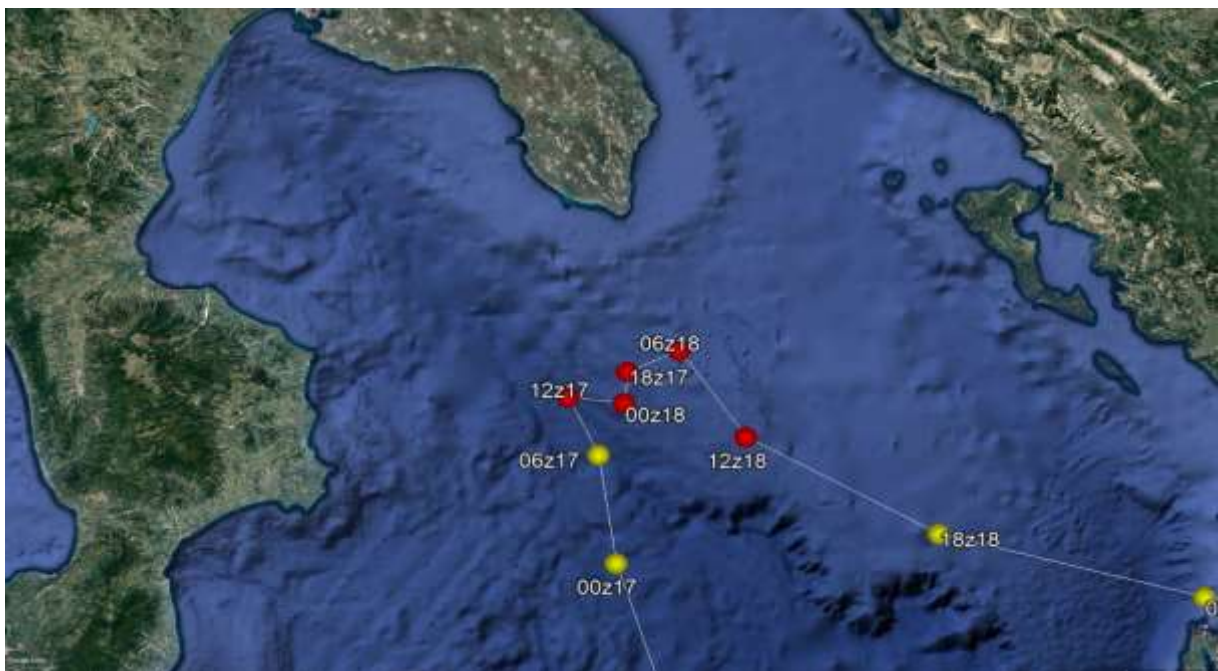
Στις 17/11 ο κυκλώνας έχει προσεγγίσει την περιοχή του Ιονίου πελάγους βρισκόμενος κοντά στην Απουλία (σχήματα 3.1.2, 3.1.6). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το σύστημα θα ενισχυθεί περαιτέρω και θα αρχίσει να εμφανίζει χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα για 24 ώρες και πιο συγκεκριμένα από τις 17/11 12UTC έως 18/11 12UTC. Στις 17/11 είχε ξεκινήσει και ο σχηματισμός του ματιού όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.1.6. Την επόμενη μέρα, γίνεται εμφανές το μάτι του κυκλώνα, επιβεβαιώνοντας την απόκτηση τροπικών χαρακτηριστικών (σχήμα 3.1.7). Σε αυτό το 24ωρο ο κυκλώνας θα παραμείνει σχεδόν στάσιμος νότια της Απουλίας (σχήμα 3.1.8). Στο διάστημα αυτό θα επηρεάσει με ραγδαίες βροχοπτώσεις και ισχυρούς ανέμους τα παράλια της Απουλίας καθώς και την Κέρκυρα και την Κεφαλλονιά. Στην ιταλική πόλη Lecce από τις 17/11 00UTC -18/11 18UTC έπεσαν συνολικά 37.2 mm βροχόπτωσης. Η ταχύτητα του ανέμου ήταν κοντά στα 20 Km/hr καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας με την μέγιστη τιμή να αγγίζει τα 30 Km/hr. Για το ίδιο χρονικό διάστημα, στην πόλη Otranto καταγράφηκαν 84 mm υετού. Από την άλλη πλευρά του Ιονίου, στην Κεφαλλονιά σε χρονικό διάστημα μιας ημέρας σημειώθηκαν 66mm. Η Κέρκυρα επηρεάστηκε από δυνατούς ανέμους στις 17/11 μέγιστη τιμή τα 33.5 Km/hr (σχήμα 3.1.9).



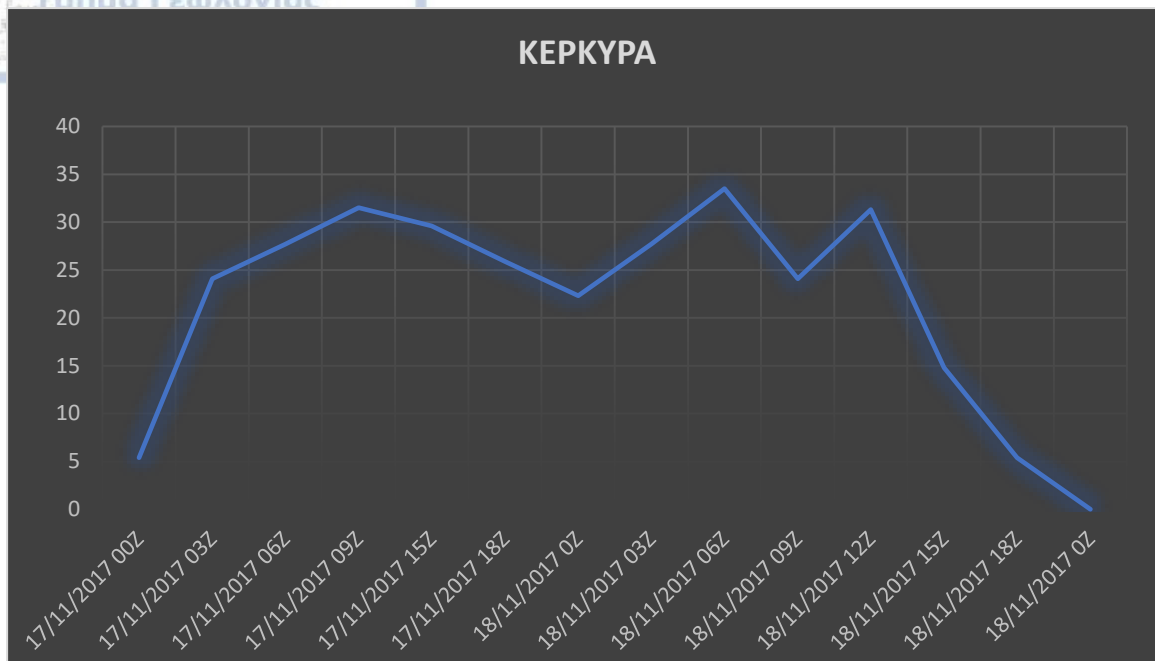
Σχήμα 3.1.6: Δορυφορική εικόνα στις 17/11 00UTC από τον δορυφόρο AQUA/MODIS της Nasa (πηγή: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).



Σχήμα 3.1.7: Δορυφορική εικόνα του ματιού του κυκλώνα στις 18/11 από τον δορυφόρο πολικής τροχιάς Sentinel-2 (πηγή: <https://www.meteo.gr/>).

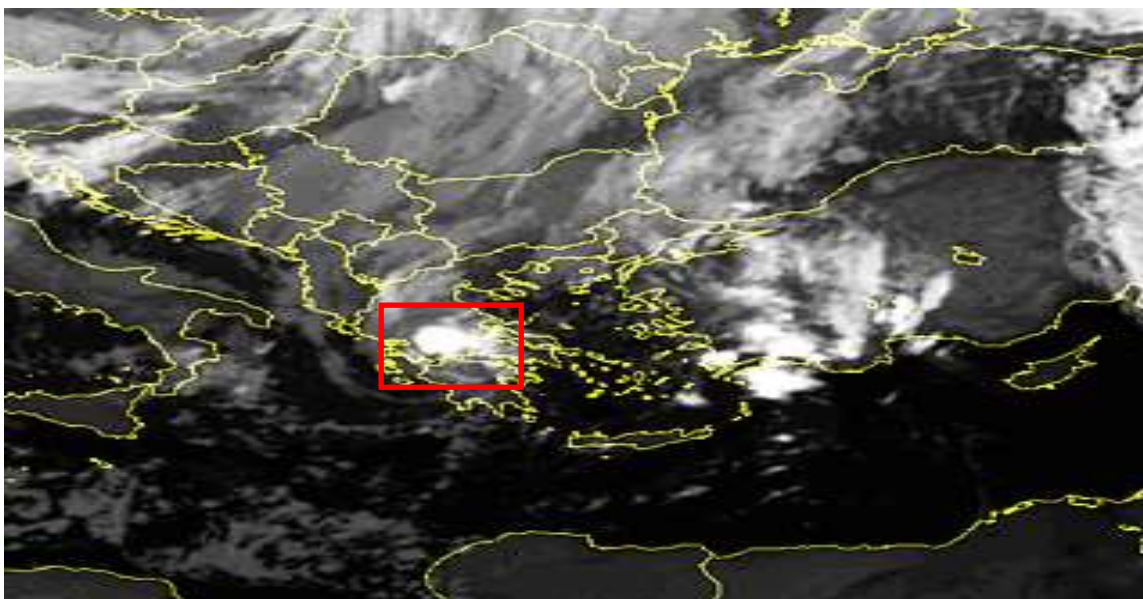


Σχήμα 3.1.8: Η διαδρομή του κυκλώνα στις 17-18/11. Με κόκκινο σημειώνονται οι θέσεις κατά τις οποίες είχε χαρακτήρα μεσογειακού κυκλώνα.

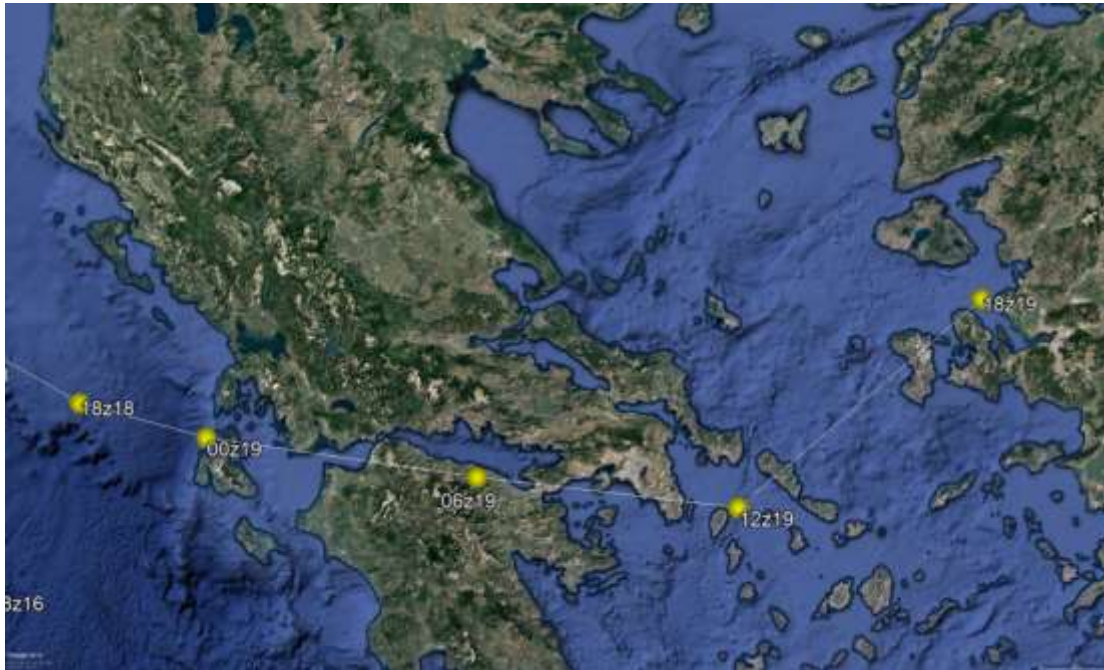


Σχήμα 3.1.9: Η ημερήσια διακύμανση του ανέμου σε Km/hr στις 17/11 στην Κέρκυρα.

Από το απόγευμα της 18/11/2017 άρχισε την πορεία του προς την Ελλάδα όντας όμως εξασθενημένος (σχήματα 3.1.10, 3.1.11). Είναι εμφανής η απουσία του ματιού δείγμα ότι το χαμηλό έχει απωλέσει πλέον τα τροπικά του χαρακτηριστικά. Διερχόμενος πάνω από Κεφαλλονιά και βόρεια Πελοπόννησο, εξασθένησε περαιτέρω, συνέχισε την πορεία του μέχρι τις ακτές της Μικράς Ασίας, όπου και διαλύθηκε.



Σχήμα 3.1.10: Δορυφορική εικόνα του συστήματος πάνω από την Ελλάδα στις 19/11/2017 00UTC. Η εικόνα προέρχεται από τον δορυφόρο METEOSAT στα 10.8 μm.

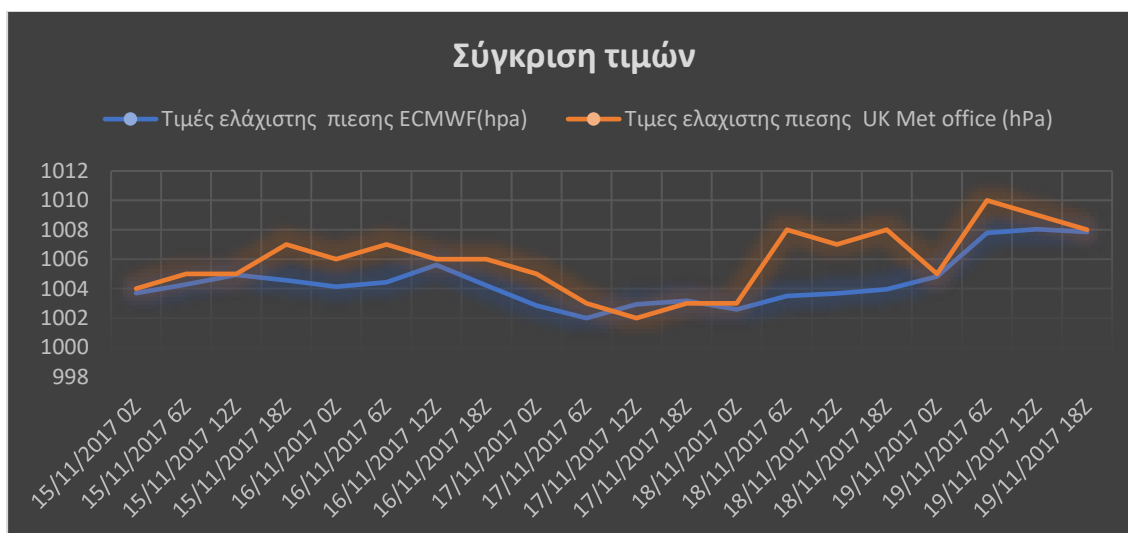


Σχήμα 3.1.11: Η πορεία του κυκλώνα μέχρι την πλήρη διάλυση του

3.2 Χρονική εξέλιξη της πίεσης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η εξέλιξη της ελάχιστης πίεσης του χαμηλού με βάση τα δεδομένα των αναλύσεων από το ECMWF. Παράλληλα, γίνεται σύγκριση των τιμών ελάχιστης πίεσης του συστήματος του ECMWF και του Met Office (σχήμα 3.2.1). Με βάση τα δεδομένα του ECMWF, η διακύμανση της πίεσης ήταν 6 hPa. Ξεκίνησε από 1003.7 hPa στην Τυρρηνική θάλασσα και συνέχισε με μικρές αυξομειώσεις μέχρι να φθάσει στο νότιο Ιόνιο. Πιο συγκεκριμένα, από τις 16/11 18UTC, η πίεση ελαττώνεται με σχετικά γρήγορους ρυθμούς την ώρα που το σύστημα αποκτά χαρακτήρα μεσογειακού κυκλώνα. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι το Ιόνιο αποτελεί μια από τις περιοχές συχνής κυκλογένεσης (Nastos et al. 2018). Η τιμή της ελάχιστης πίεσης ήταν 1002 hPa στις 17/11/2017 06UTC ενώ η μέγιστη πίεση 1008.04 hPa. Η χαμηλότερη τιμή της πίεσης σημειώθηκε όταν το σύστημα ξεκίνησε να αποκτά χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στην ευρύτερη περιοχή του Ιονίου πελάγους. Κατά την κίνηση και την μετάβαση του πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα έπαψε να αποτελεί μεσογειακό κυκλώνα, εξασθένησε και η πίεση παρουσίασε αξιόλογη άνοδο. Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε λίγες ώρες πριν την διάλυση του συστήματος στις ακτές της Μικράς Ασίας.

Εφαρμόζοντας στρογγυλοποίηση στις δεκαδικές τιμές της πίεσης από το ECMWF και συγκρίνοντας τις με τις τιμές του Met Office προκύπτουν κάποια συμπεράσματα. Τα δεδομένα των δύο κέντρων ταυτίζονται σε ποσοστό 35%, γεγονός που υποδεικνύει σημαντικές επιμέρους διαφοροποιήσεις. Πιο συγκεκριμένα, στο υπόλοιπο 65% των μετρήσεων όπου υπάρχουν διαφοροποιήσεις, το Met Office εμφανίζεται να υπερεκτιμά την πίεση στη συντριπτική πλειοψηφία των 6-ωρων χρονικών στιγμών με μόλις μια περίπτωση υποεκτίμησης. Τα δύο κέντρα παρουσιάζουν διαφορά 6 ωρών στην ώρα ελάχιστης πίεσης με το ECMWF να δίνει την ελάχιστη πίεση στις 17/11 06UTC και το Met Office 17/11 12UTC. Στο πλαίσιο αυτό διαφωνία υπάρχει και ως προς το διάστημα ενίσχυσης του συστήματος η οποία σύμφωνα με το ECMWF διήρκεσε από τις 16/11 12UTC έως τις 17/11 06UTC, ενώ σύμφωνα με το Met Office από τις 16/11 18UTC έως τις 17/11 12UTC. Όσον αφορά την φάση αποδυνάμωσης για το ECMWF ξεκινάει από τις 18/11 00UTC και συνεχίζει μέχρι την πλήρη διάλυση του συστήματος. Αντίθετα, για το Met Office η φάση αποδυνάμωσης ξεκινάει την ίδια ώρα με το ECMWF, εντούτοις υπάρχει ένα μικρό χρονικό διάστημα (18/11 18UTC- 19/11 00UTC) στο οποίο δίνει μία πρόσκαιρη ενίσχυση (σχήμα 3.2.1).

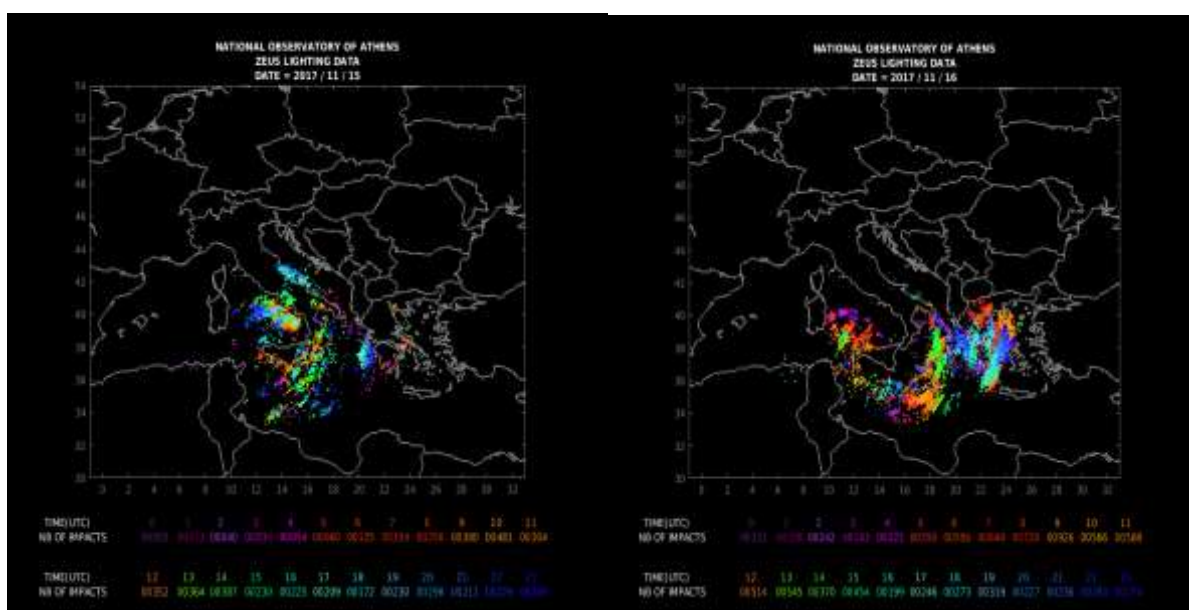


Σχήμα 3.2.1: Σύγκριση των τιμών της ελάχιστης πίεσης του βαρομετρικού χαμηλού (πριν, κατά την διάρκεια και μετά την εμφάνιση τροπικών χαρακτηριστικών) μεταξύ ECMWF και UK Met Office.

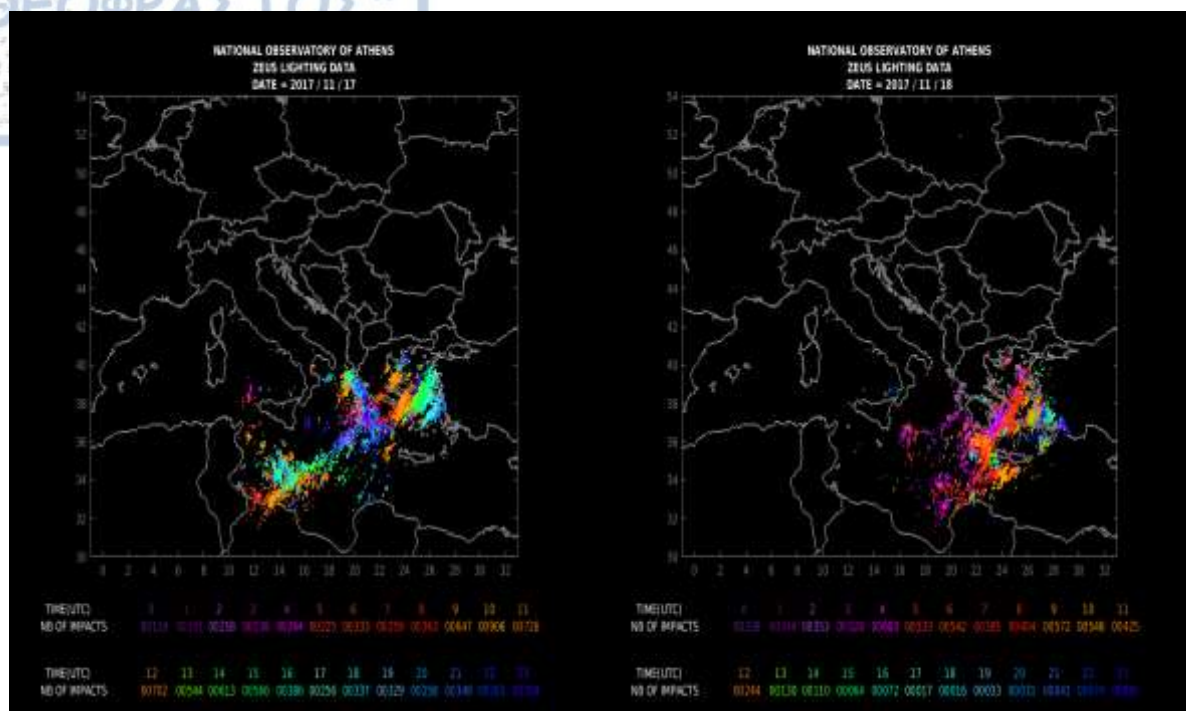
3.3 Κεραυνική δραστηριότητα

Για την διερεύνηση της κεραυνικής δραστηριότητας, αντλήθηκαν δεδομένα από την πλατφόρμα ZEUS του ΕΑΑ. Όπως φαίνεται, στις 15 Νοεμβρίου παρουσιάστηκε μέτριος αριθμός ηλεκτρικών εκκενώσεων οι οποίες ακολουθούσαν την κίνηση του κέντρου του συστήματος (σχήμα 3.3.1). Δηλαδή, η κεραυνική δραστηριότητα κατανέμεται περιμετρικά του κέντρου του κυκλώνα. Το ίδιο μοτίβο συνεχίζεται και στις 16 Νοεμβρίου με μεγαλύτερο πλήθος όμως σε σχέση με την πρώτη μέρα (σχήμα 3.3.1). Μάλιστα παρουσιάζεται έξαρση στις 16/11 09UTC με 926 καταγεγραμμένους κεραυνούς. Από τις βραδινές ώρες της 16^{ης} Νοεμβρίου παρατηρείται μετατόπιση της κεραυνικής δραστηριότητας στα εξωτερικά

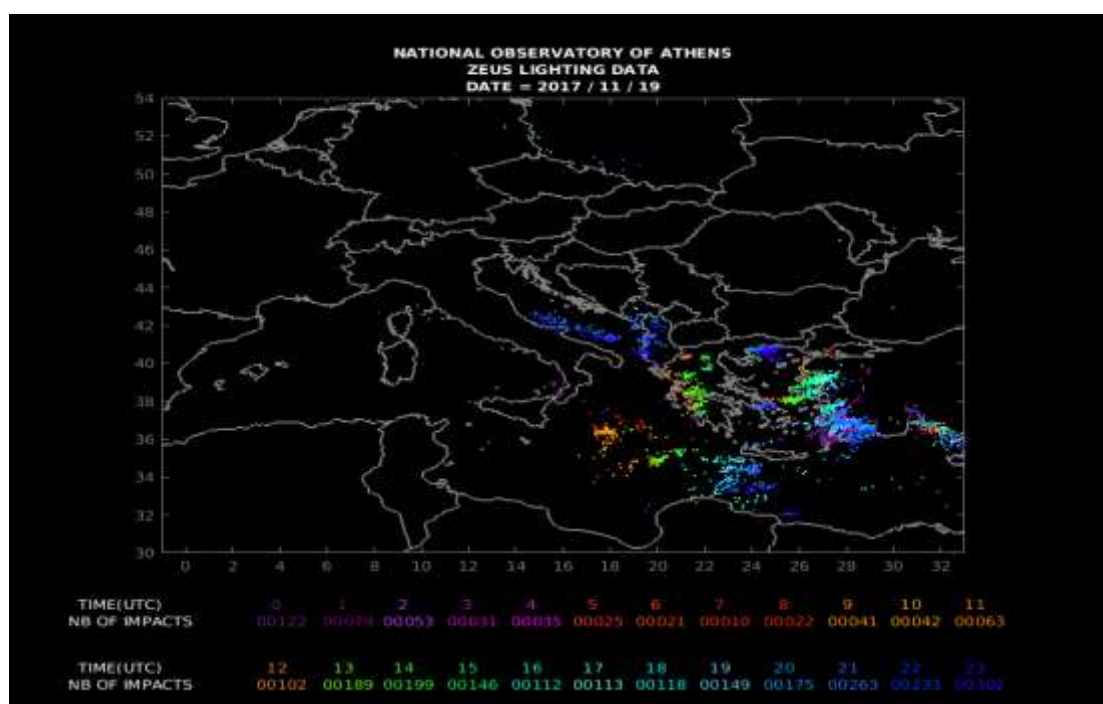
τμήματα του κυκλώνα στην περιοχή του Ιονίου. Στις 17 Νοεμβρίου η κεραυνική δραστηριότητα παρουσιάζει μέγιστο 906 ηλεκτρικών εκκενώσεων στις 10UTC και στην συνέχεια παρουσιάζει σημαντική εξασθένηση (σχήμα 3.3.2). Αυτή η διαπίστωση βρίσκεται σε συμφωνία με δύο μελέτες που αφορούσαν τους μεσογειακούς κυκλώνες του Νοεμβρίου 2011 και του Νοεμβρίου 2014, σύμφωνα με την οποία η δραστηριότητα των ηλεκτρικών εκκενώσεων μεγιστοποιείται πριν την απόκτηση τροπικών χαρακτηριστικών (Miglietta et al. 2013, Pytharoulis 2018). Τις επόμενες δύο ημέρες, ο αριθμός των ηλεκτρικών εκκενώσεων συνέχισε να ελαχιστοποιείται (σχήματα 3.3.2, 3.3.3). Τα δεδομένα ηλεκτρικών εκκενώσεων παρουσιάζονται στα σχήματα 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 όπως αυτές σχεδιάστηκαν από το ΕΑΑ.



Σχήμα 3.3.1: Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που καταγράφηκαν στις 15 (αριστερή εικόνα) και 16 Νοεμβρίου (δεξιά εικόνα από το σύστημα ZEYS του ΕΑΑ (πηγή: <https://www.meteo.gr/talos>).



Σχήμα 3.3.2: Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που καταγράφηκαν στις 17 (αριστερή εικόνα) και 18 Νοεμβρίου (δεξιά εικόνα) από το σύστημα ZEYΣ του ΕΑΑ (πηγή: <https://www.meteo.gr/talos>).



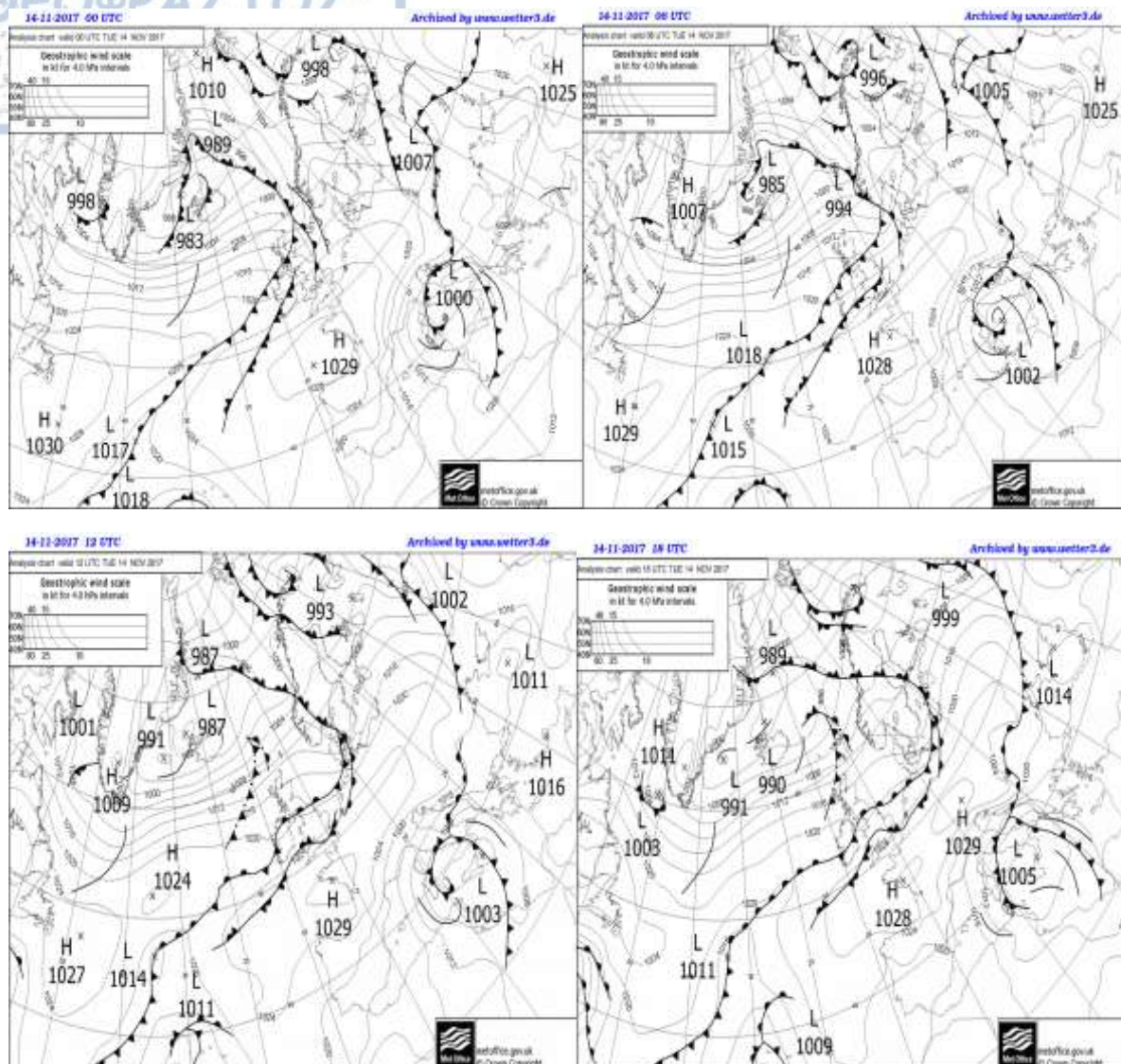
Σχήμα 3.3.3: Οι ηλεκτρικές εκκενώσεις που καταγράφηκαν στις 19 Νοεμβρίου από το σύστημα ZEYΣ του ΕΑΑ (πηγή: <https://www.meteo.gr/talos>).

3.4 Συνοπτικοί χάρτες επιφανείας

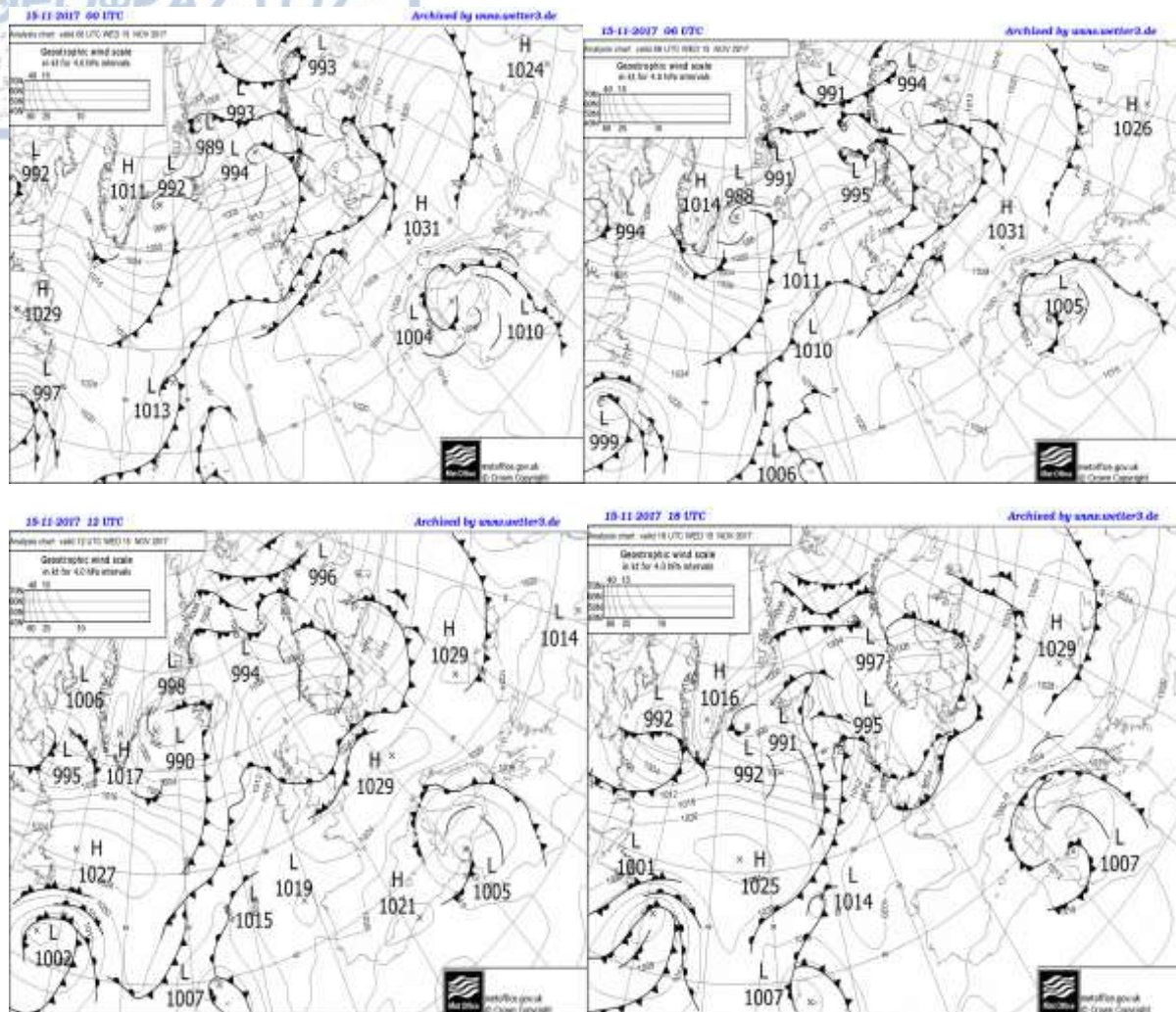
Βλέποντας τους χάρτες επιφανείας στις 14/11 (σχήμα 3.4.1) του Met Office, παρατηρείται η ύπαρξη συνεσφιγμένου μετώπου στην Τυρρηνική θάλασσα και μία μετωπική γραμμή με εναλλαγές θερμών και ψυχρών μετώπων η οποία στη διάρκεια της ημέρας διασπάται σε επιμέρους θερμά και ψυχρά μέτωπα. Η μετωπική γραμμή εκτείνεται από την Ρωσία, την Κεντρική-Ανατολική Ευρώπη, μέχρι την Ιταλία και τις ακτές της Τυνησίας. Στην περιοχή του συνεσφιγμένου μετώπου οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για κυκλογένεση και όπως φαίνεται στους χάρτες της ημέρας, έχει σχηματιστεί χαμηλό το οποίο στη διάρκεια της ημέρας κινήθηκε προς τα ανατολικά.

Στις 15/11 00UTC, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4.2, το μητρικό χαμηλό βρίσκεται στον χώρο της Τυρρηνικής θάλασσας. Στις επόμενες ώρες της ημέρας γίνεται πιο έντονη η κυκλογένεση, ενώ συνεχίζεται η πορεία προς τα νότια. Στις 15/11 06UTC το κέντρο εντοπίζεται δυτικά της Σικελίας. Στις 15/11 12UTC το κέντρο, έχοντας μετατοπιστεί προς τα νότια, εξακολουθεί να βρίσκεται δυτικά της Σικελίας. Τις βραδινές ώρες της ημέρας, το κέντρο χαμηλών πιέσεων εντοπίζεται νότια της Σικελίας (σχήμα 3.4.2). Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, παρατηρείται μετωπική δραστηριότητα. Το σύστημα, αφού περάσει την Μάλτα τις πρωινές ώρες της 16/11 αποκτά BBA τροχιά κινούμενο μέχρι το τέλος της ημέρας στα ανοιχτά της Απουλίας. Στην διάρκεια της 16^{ης} Νοεμβρίου η πίεση παρέμεινε σχεδόν σταθερή με μια μικρή αυξομείωση μέχρι τις απογευματινές ώρες, ενώ στις 17/11 00UTC άρχισε να μειώνεται πλησιάζοντας στο Ιόνιο πέλαγος (σχήμα 3.4.3).

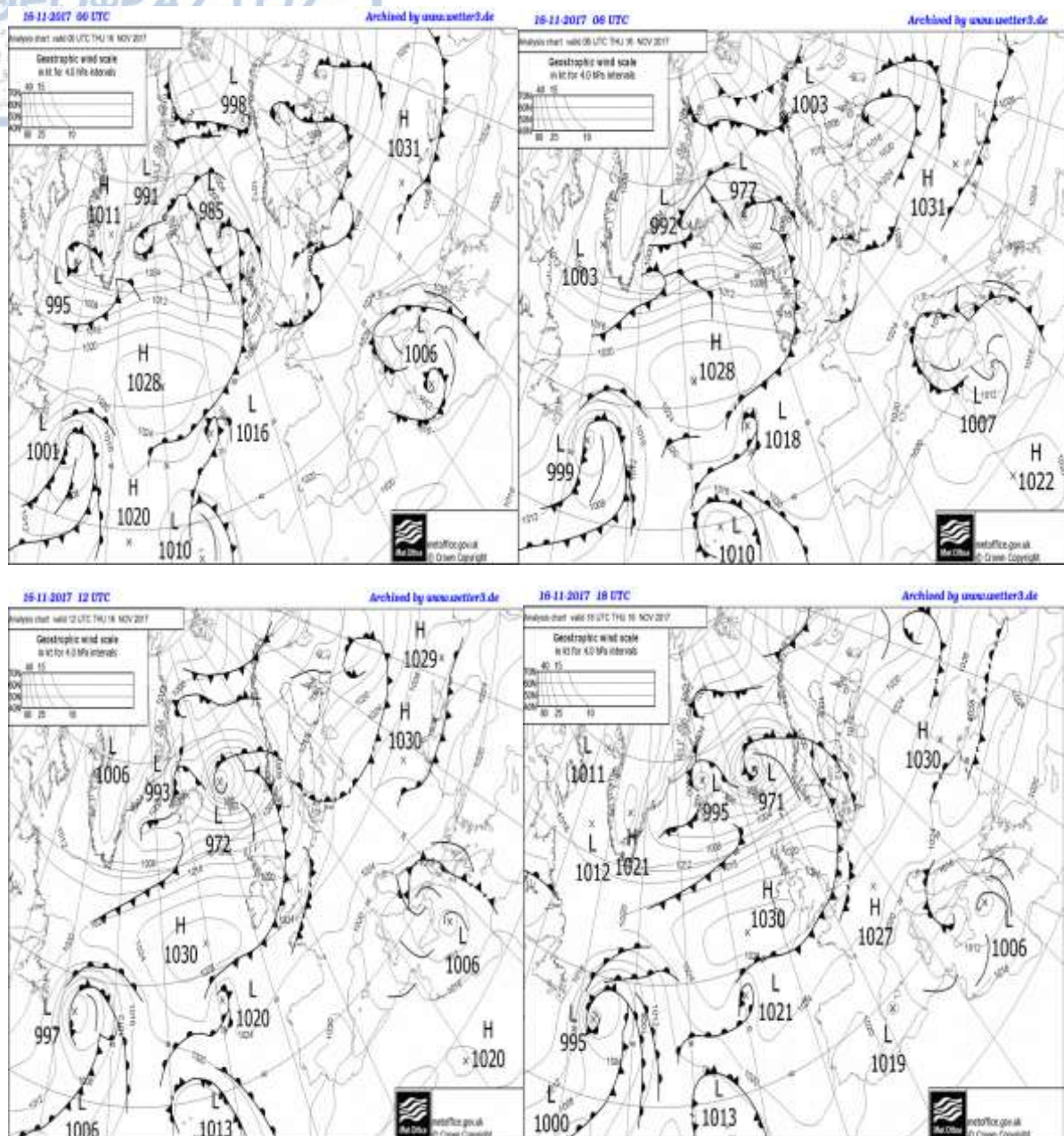
Στις 17 Νοεμβρίου, ο κυκλώνας έχει εισέλθει στην φάση ενίσχυσης ώστε να αποκτήσει χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα τις μεσημβρινές ώρες (12 UTC) στις 17/11. Πλησιάζοντας, την ώριμη φάση, η μετωπική δραστηριότητα έχει εκλείψει, επιβεβαιώνοντας ότι απουσιάζουν τα μέτωπα στους μεσογειακούς κυκλώνες (Miglietta et al. 2013). Στην διάρκεια της 17^{ης} Νοεμβρίου, σημειώνεται βάθυνση του χαμηλού με πτώση της πίεσης (σχήμα 3.4.4). Εδώ ο κυκλώνας έχει εισέλθει στην ώριμη φάση του. Η ώριμη φάση διαρκεί μέχρι τις 18/11 (12 UTC). Η έναρξη της ώριμης φάσης έγινε αντιληπτή από τις δορυφορικές εικόνες στις οποίες διακρίνεται ξεκάθαρα το μάτι. Αντίστοιχα, το τέλος της ώριμης φάσης σηματοδοτείται από την απώλεια της δομής του ματιού. Τις μεσημβρινές ώρες της 18^{ης} Νοεμβρίου, ο κυκλώνας εξασθενεί κινούμενος προς την Ελλάδα (σχήμα 3.4.5) και στις 19 Νοεμβρίου κάνει μετάβαση στην ηπειρωτική Ελλάδα και εξασθενεί στα παράλια της Μ. Ασίας (σχήμα 3.4.6).



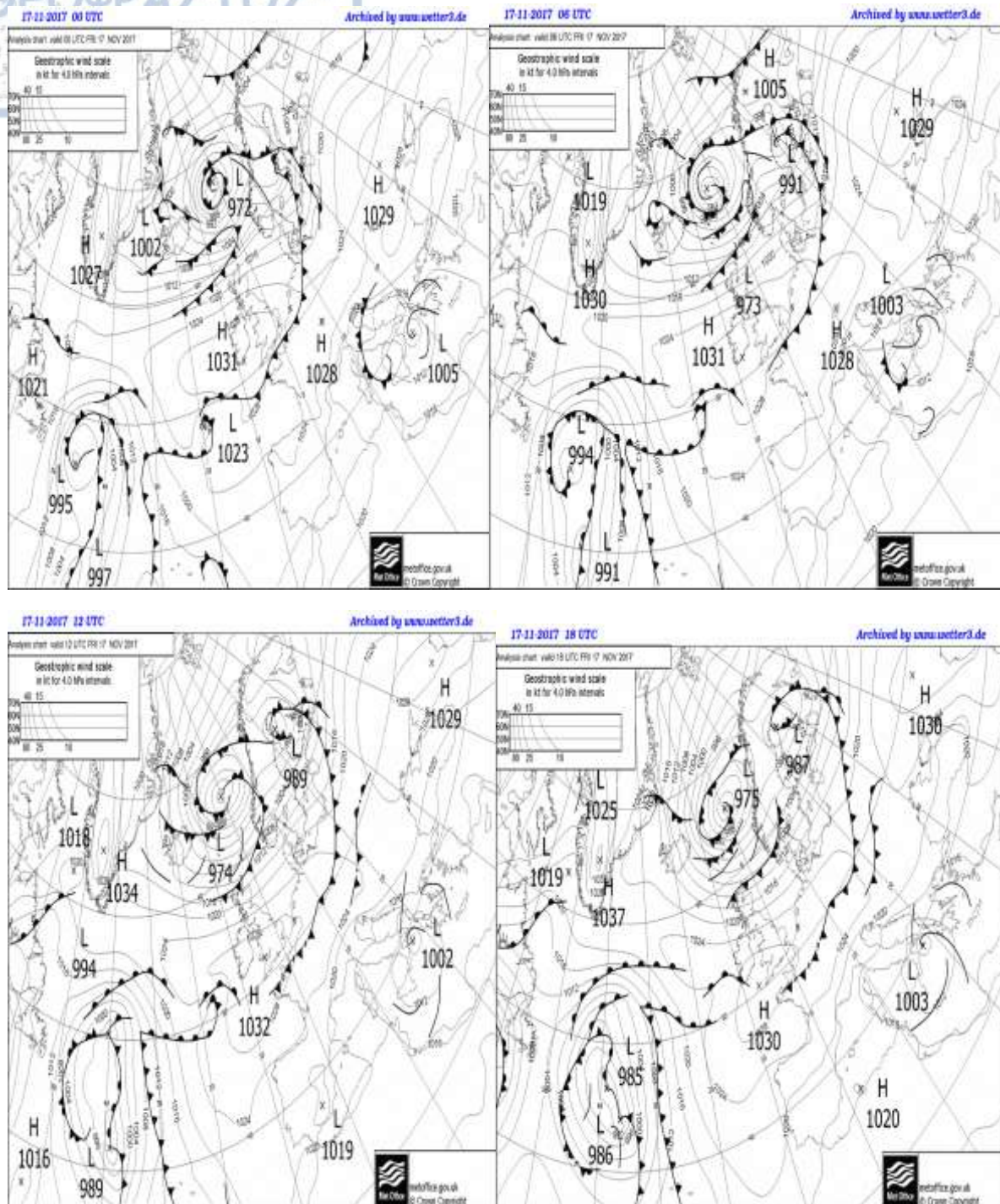
Σχήμα 3.4.1: Συνοπτικοί χάρτες επιφάνειας στις 14 Νοεμβρίου του UK Met Office (<http://www1.wetter3.de/>).



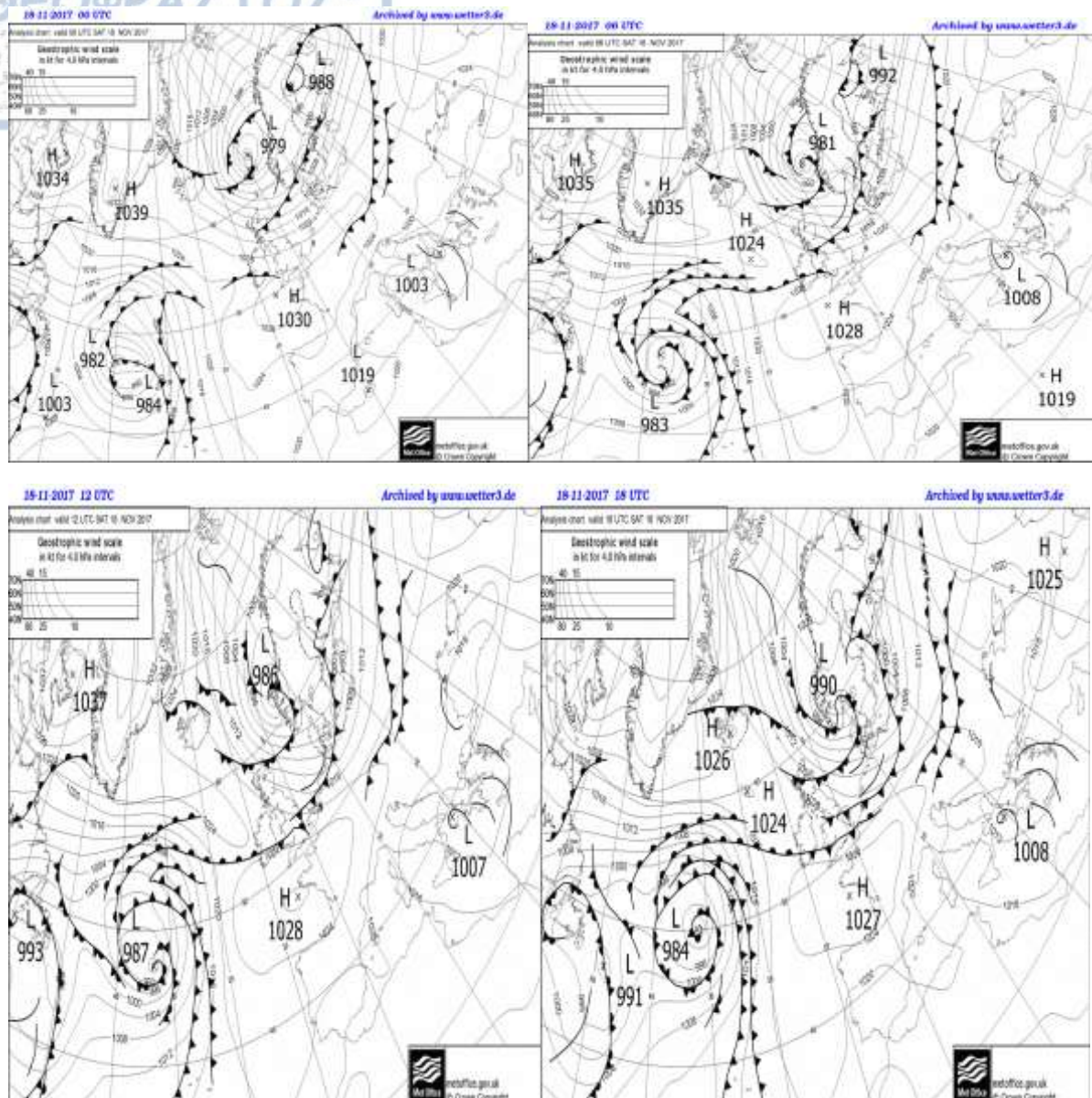
Σχήμα 3.4.2: Συνοπτικοί χάρτες επιφάνειας στις 15 Νοεμβρίου του UK Met Office (<http://www1.wetter3.de/>).

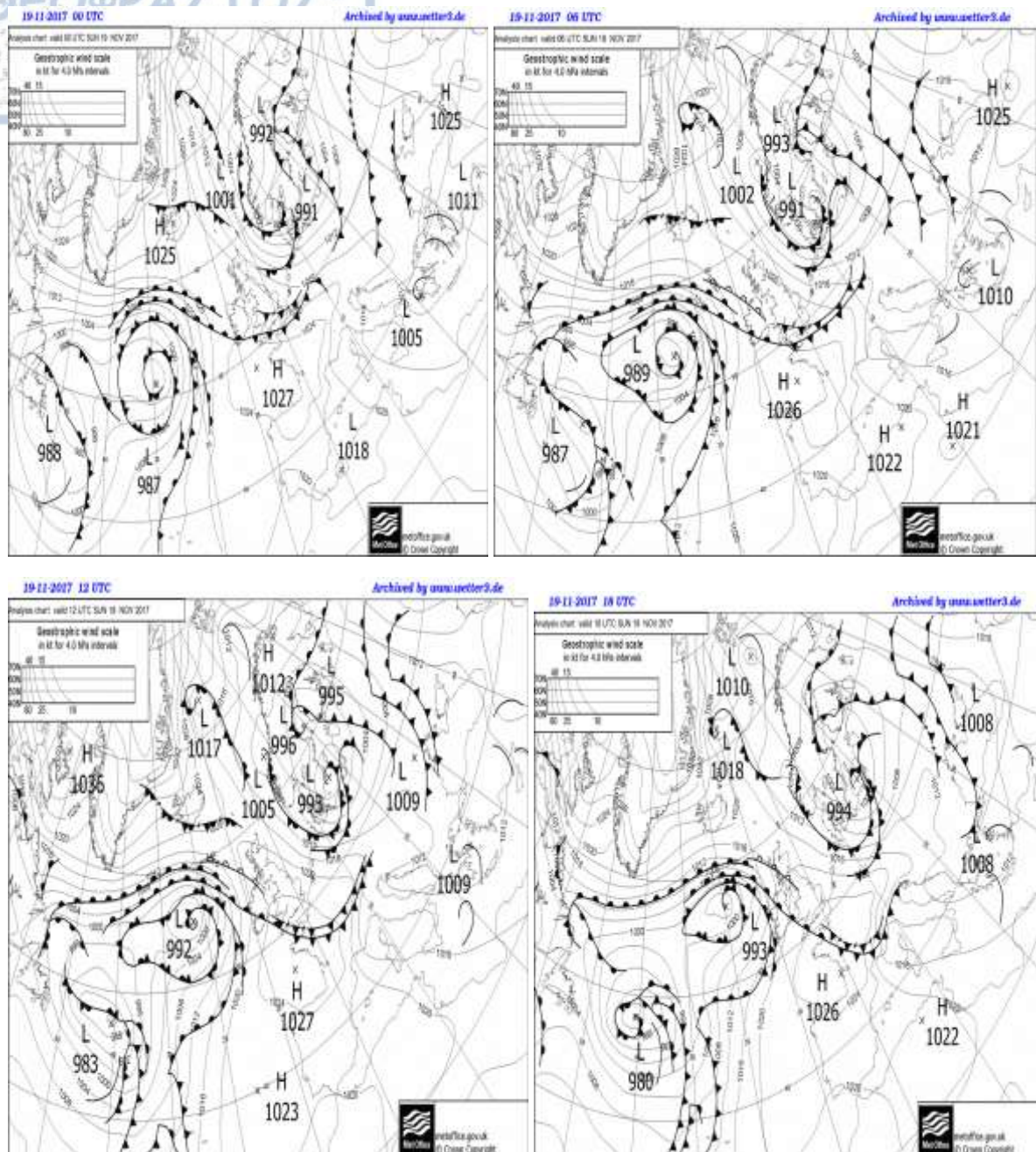


Σχήμα 3.4.3: Συνοπτικοί χάρτες επιφάνειας στις 16 Νοεμβρίου του UK Met Office (<http://www1.wetter3.de/>).



Σχήμα 3.4.4: Συνοπτικοί χάρτες επιφάνειας στις 17 Νοεμβρίου του UK Met Office (<http://www1.wetter3.de/>).





Σχήμα 3.4.6: Συνοπτικοί χάρτες επιφάνειας στις 19 Νοεμβρίου του UK Met Office (<http://www1.wetter3.de/>).

3.5 Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας και θερμοκρασιακές ανωμαλίες

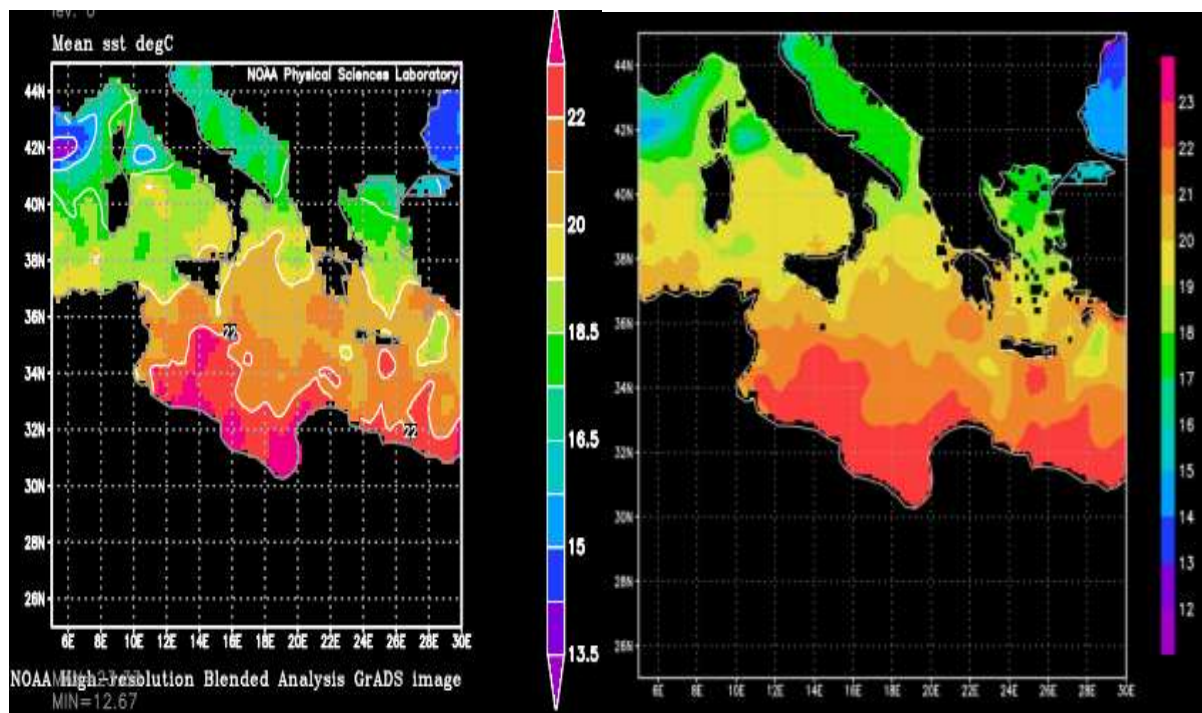
3.5.1 Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας

Στην ενότητα αυτή, αναλύεται η θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας την περίοδο σχηματισμού και ανάπτυξης του μεσογειακού κυκλώνα στην περιοχή της Μεσογείου. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την σελίδα του NOAA (NOAA High Resolution SST data, ιστοσελίδα <https://psl.noaa.gov/data/>) καθώς και από τα δεδομένα του ECMWF. Τα δεδομένα του NOAA έχουν χωρική ανάλυση 0.25° . Έγινε σύγκριση των δεδομένων ώστε να διαπιστωθεί τυχόν συμφωνία ή διαφωνία στις τιμές των θερμοκρασιών. Επίσης, από τις τιμές των θερμοκρασιών δύναται να εξετασθεί ψύξη των νερών εξαιτίας του φαινομένου. Οι τιμές του NOAA ήταν ημερήσιες ενώ για τα δεδομένα του ECMWF εφαρμόστηκε μεσοποίηση από 6ωρες αναλύσεις. Τέλος, εξήχθησαν δεδομένα για την ανωμαλία στην θερμοκρασία στις θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας σε σχέση με την κλιματολογία 1971-2000. Τα δεδομένα αφορούν την περίοδο 14/11/2017-19/11/2017.

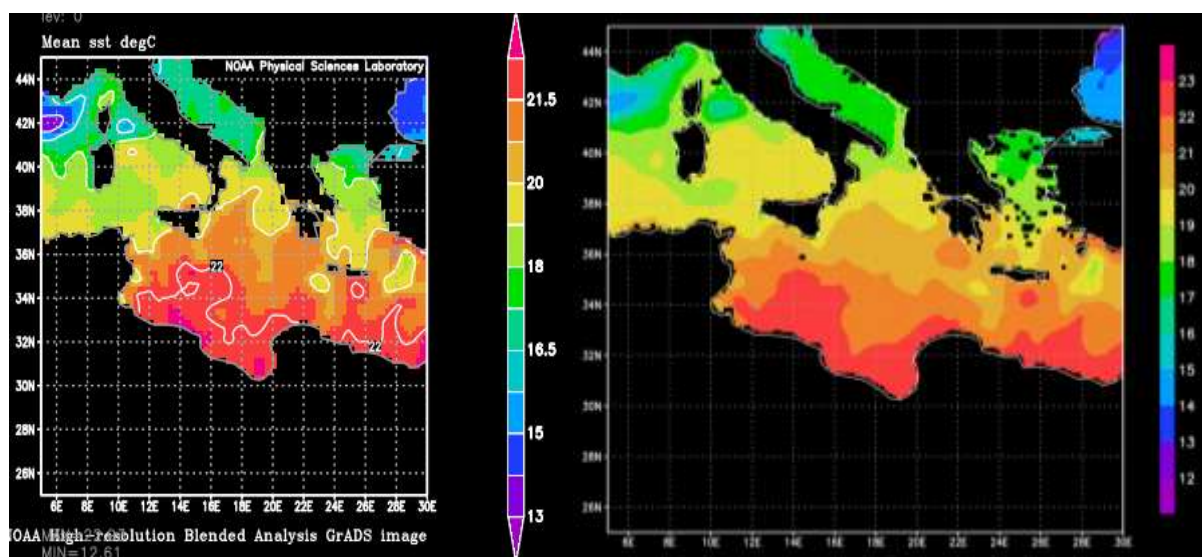
Στις 14/11 στην περιοχή σχηματισμού του μητρικού χαμηλού, στον χώρο της Τυρρηνικής θάλασσας σύμφωνα με το NOAA η θερμοκρασία είναι στους $17.2-19.2^\circ\text{C}$. Αντίθετα, το ECMWF δίνει τιμές $18-20^\circ\text{C}$, ελαφρώς υψηλότερες (σχήμα 3.5.1.1). Στις 15/11, στα δεδομένα του NOAA η θερμοκρασία ήταν $18-20^\circ\text{C}$, τιμές με τις οποίες συμφωνεί το ECMWF (σχήμα 3.5.1.2). Συμπερασματικά, την πρώτη ημέρα, σημειώθηκε μια μικρή διαφωνία στις τιμές και τη δεύτερη σημειώθηκε απόλυτη ταύτιση. Κινούμενος νότια της Σικελίας, ο κυκλώνας εισέρχεται σε θερμότερα νερά όπως φαίνεται από τους σχετικούς χάρτες της 16^{ης} Νοεμβρίου. Αυτή την ημέρα, το σύστημα διήλθε από θαλάσσιες περιοχές με θερμοκρασίες $20-22^\circ\text{C}$ σύμφωνα και με τα δύο κέντρα με τα θερμότερα νερά να βρίσκονται νότια της Μάλτας. Ταυτόχρονα, στη θαλάσσια περιοχή δυτικά της Σικελίας και την Τυρρηνική θάλασσα σημειώθηκε πτώση της θερμοκρασίας κατά $0,5-1^\circ\text{C}$ η οποία οφείλεται στο σύστημα (σχήμα 3.5.1.3).

Στις 17/11 η επιφανειακή θερμοκρασία, σύμφωνα με τα στοιχεία από το NOAA ήταν $19-20^\circ\text{C}$ στο Ιόνιο πέλαγος, ενώ στην περιοχή βόρεια του κέντρου του κυκλώνα στην περιοχή της Απουλίας το θερμοκρασιακό εύρος τιμών ήταν $18-19^\circ\text{C}$. Από την άλλη, το ECMWF δίνει εύρος τιμών $18-21^\circ\text{C}$ με τα ψυχρότερα νερά να βρίσκονται στο βόρειο Ιόνιο, σε συμφωνία με τα στοιχεία του NOAA. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπήρξε πτώση της θερμοκρασίας στην θαλάσσια περιοχή νότια της Μάλτας περίπου κατά 1°C σύμφωνα με τα στοιχεία του NOAA. Το ECMWF δεν δείχνει κάποια διαφοροποίηση στις θερμοκρασίες (σχήμα 3.5.1.4). Την επόμενη ημέρα, στις 18/11, ο κυκλώνας κινούμενος ανατολικά προς τις δυτικές ακτές του Ιονίου, συνάντησε θερμοκρασίες $18-20^\circ\text{C}$ σύμφωνα με το NOAA, ενώ σύμφωνα με το ECMWF $18-21^\circ\text{C}$, με τα θερμότερα επιφανειακά ύδατα στα νησιά του Ιονίου. Τα επιφανειακά ύδατα στο κεντρικό και βόρειο Ιόνιο υπέστησαν ψύξη 1°C . Ψύξη των επιφανειακών νερών έχει παρατηρηθεί και σε άλλους μεσογειακούς κυκλώνες όπως, για παράδειγμα, στον μεσογειακό κυκλώνα του Νοεμβρίου 2014 με μέσο όρο -0.5°C (Bouin and Brossier 2020). Και σε αυτή την περίπτωση το ECMWF δεν επεσήμανε κάποια αξιολογη μεταβολή (σχήμα 3.5.1.5). Την τελευταία ημέρα του συστήματος, στις 19/11, συνεχίστηκε η ψύξη στο

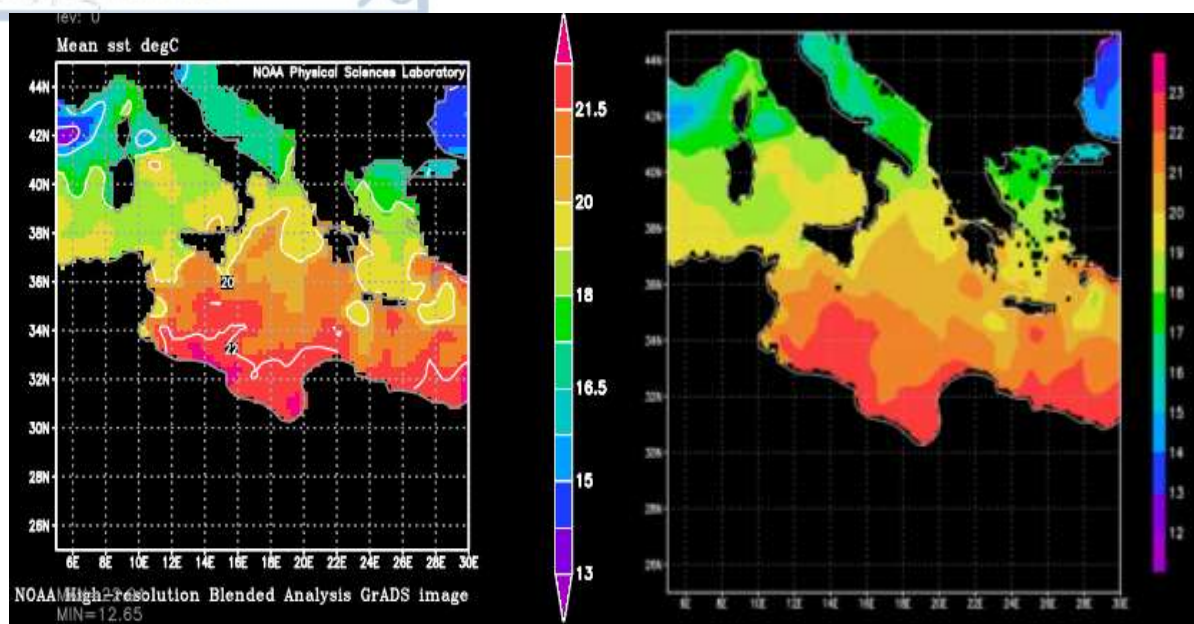
κεντρικό Ιόνιο πέφτοντας στους 18-19°C (NOAA) επεκτεινόμενη προς τα νότια. Τα δεδομένα αυτά βρίσκονται σε μερική αντιστοιχία με αυτά του ECMWF. Στην διάρκεια αυτής της ημέρας, το εξασθενημένο πλέον χαμηλό κινήθηκε πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα και συνέχισε την διαδρομή του προς το Αιγαίο συναντώντας χαμηλές θερμοκρασίες της τάξης των 16.5-19°C σύμφωνα με NOAA. Το ECMWF δίνει θερμοκρασίες 17-19°C. Οι χαμηλές προυπάρχουσες θερμοκρασίες οφείλονται στις διαδοχικές κακοκαιρίες οι οποίες επηρέασαν την Ελλάδα πριν την έλευση του κυκλώνα.



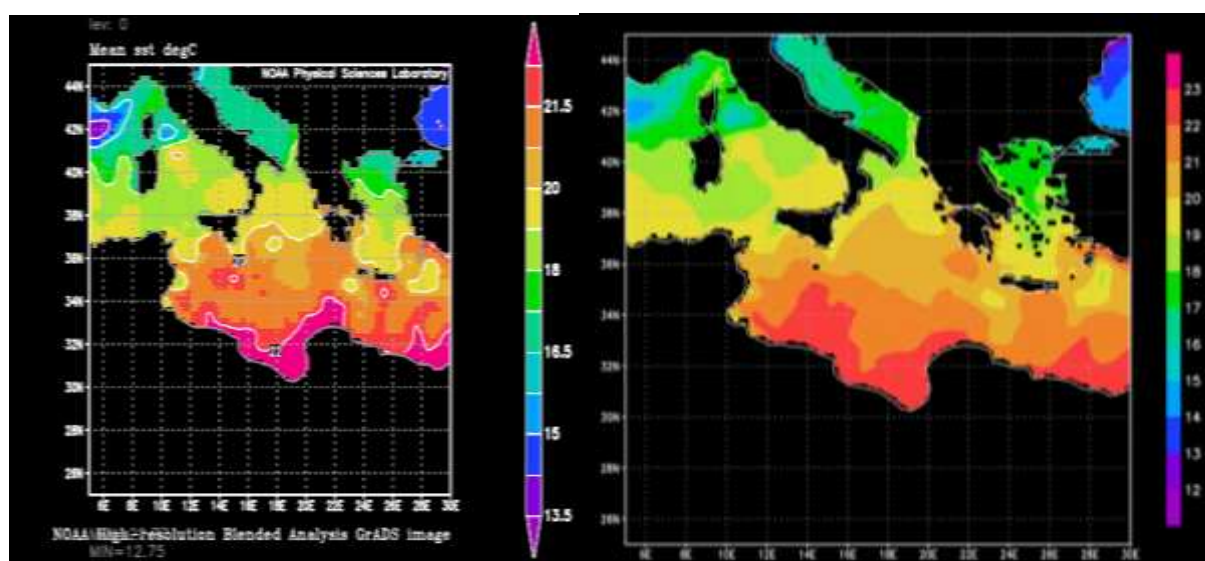
Σχήμα 3.5.1.1: Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας (°C) στις 14 Νοεμβρίου σύμφωνα με NOAA (αριστερή εικόνα) και ECMWF (δεξιά εικόνα).



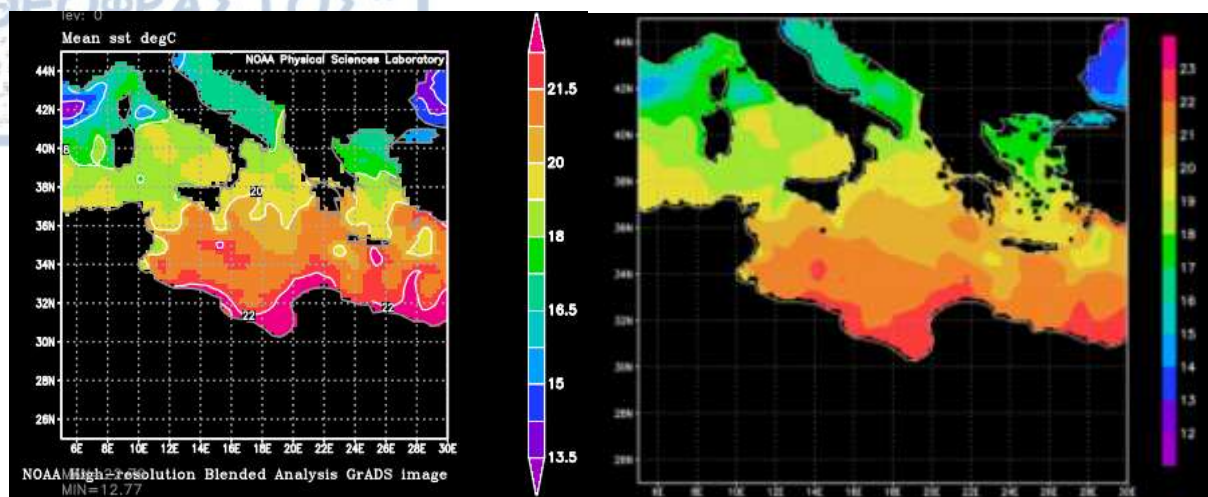
Σχήμα 3.5.1.2: Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας (°C) στις 15 Νοεμβρίου σύμφωνα με NOAA (αριστερή εικόνα) και ECMWF (δεξιά εικόνα).



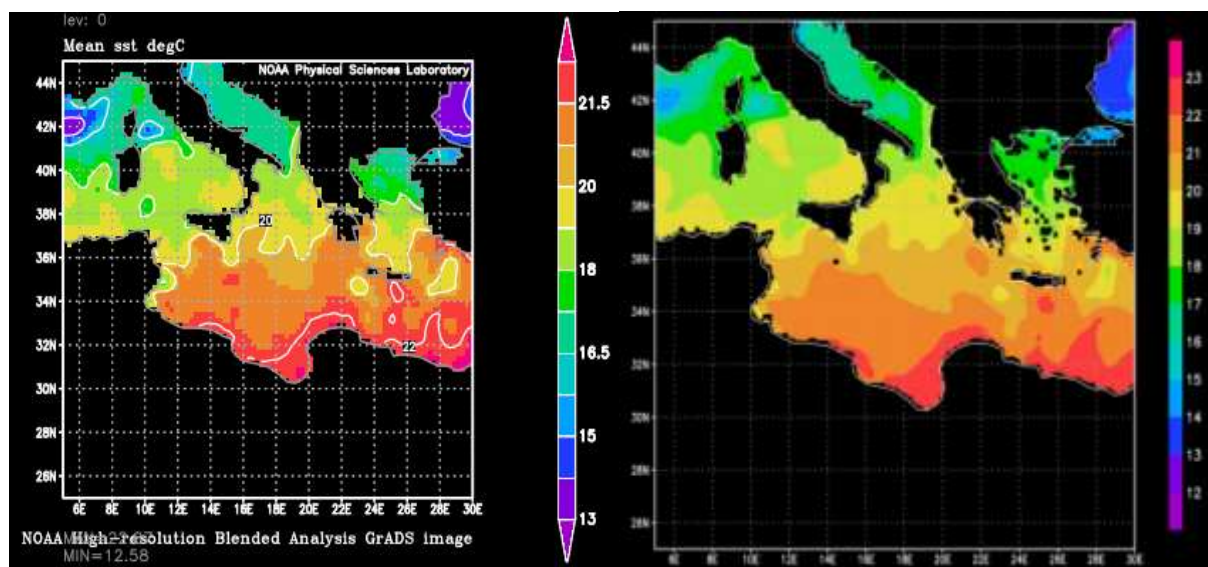
Σχήμα 3.5.1.3: Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας (°C) στις 16 Νοεμβρίου σύμφωνα με NOAA (αριστερή εικόνα) και ECMWF (δεξιά εικόνα).



Σχήμα 3.5.1.4: Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας (°C) στις 17 Νοεμβρίου σύμφωνα με NOAA (αριστερή εικόνα) και ECMWF (δεξιά εικόνα).



Σχήμα 3.5.1.5: Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας (°C) στις 18 Νοεμβρίου σύμφωνα με NOAA (αριστερή εικόνα) και ECMWF (δεξιά εικόνα).

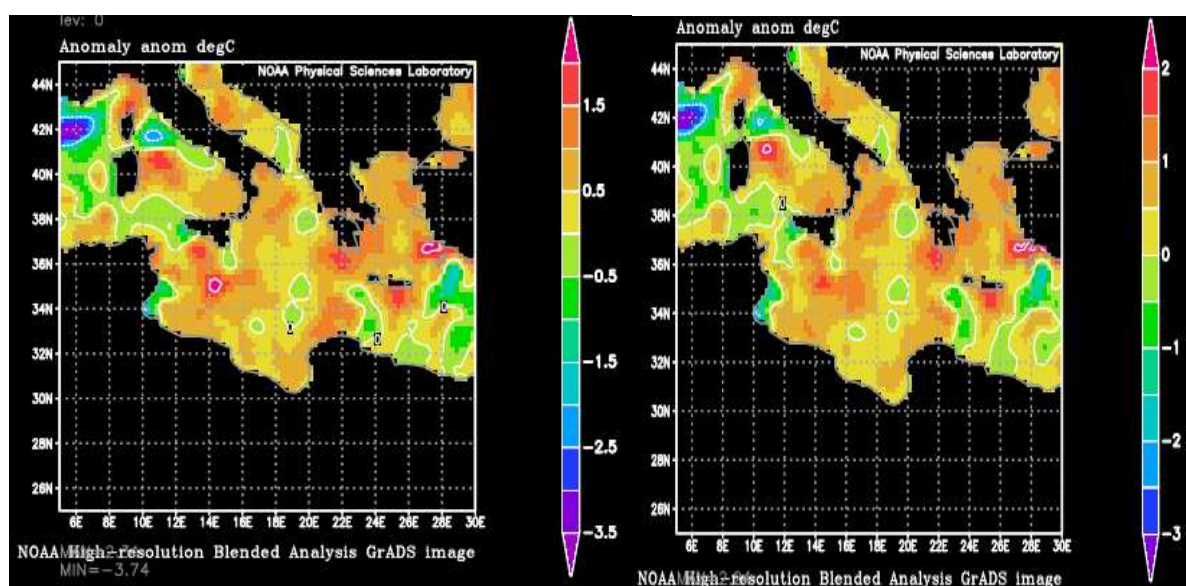


Σχήμα 3.5.1.6: Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας (°C) στις 19 Νοεμβρίου σύμφωνα με NOAA (αριστερή εικόνα) και ECMWF (δεξιά εικόνα).

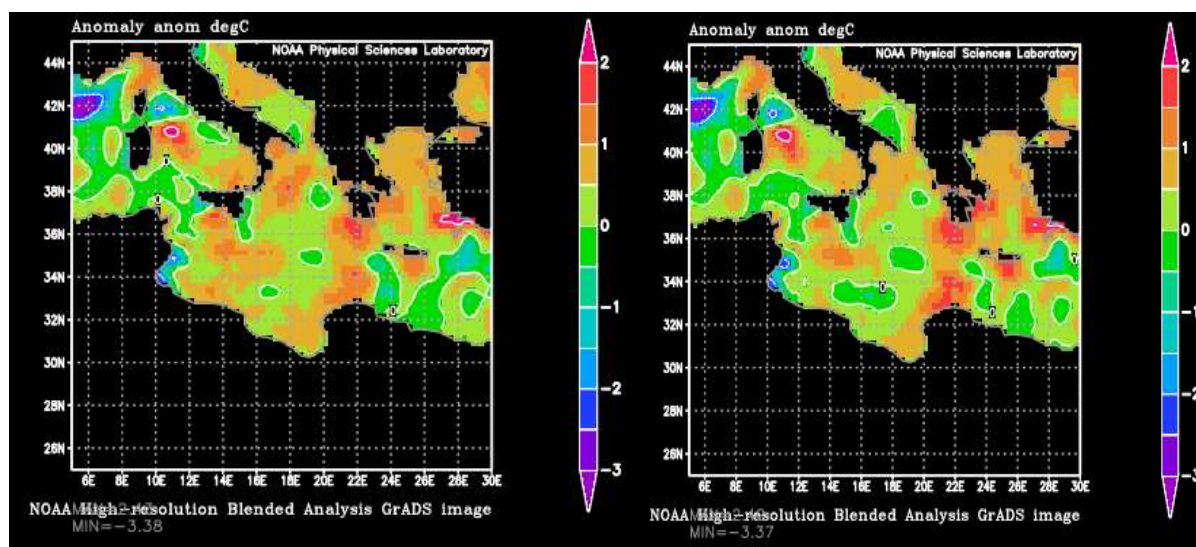
3.5.2 Θερμοκρασιακές ανωμαλίες

Έχει δειχτεί ότι ο σχηματισμός και η ανάπτυξη μεσογειακών κυκλώνων ευνοείται από οριακά θετικές ανωμαλίες στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας (Nastos et al. 2018). Οι θερμοκρασιακές ανωμαλίες εξετάστηκαν με βάση την κλιματολογία της περιόδου 1971-2000. Στις 14/11 στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Σαρδηνίας-ηπειρωτικής Ιταλίας παρατηρούνται τοπικά υψηλές τιμές θετικής ανωμαλίας ($>1,5^{\circ}\text{C}$) ανατολικά της Σαρδηνίας (Σχήμα 3.5.2.1). Κατά μέσο όρο όμως, οι θερμοκρασιακές ανωμαλίες παρουσιάζουν μικρές θετικές τιμές ($-0,5$ έως $+0,5^{\circ}\text{C}$). Στις 15/11 η Τυρρηνική θάλασσα παρουσιάζει τις ίδιες θερμοκρασιακές ανωμαλίες με τις 14/11. Στα νότια της Μάλτας υπάρχει μεγάλη θετική ανωμαλία ($>1-1,5^{\circ}\text{C}$) όπως δείχνεται στο σχήμα 3.5.2.1. Στις 16/11 στο Ιόνιο φαίνεται να

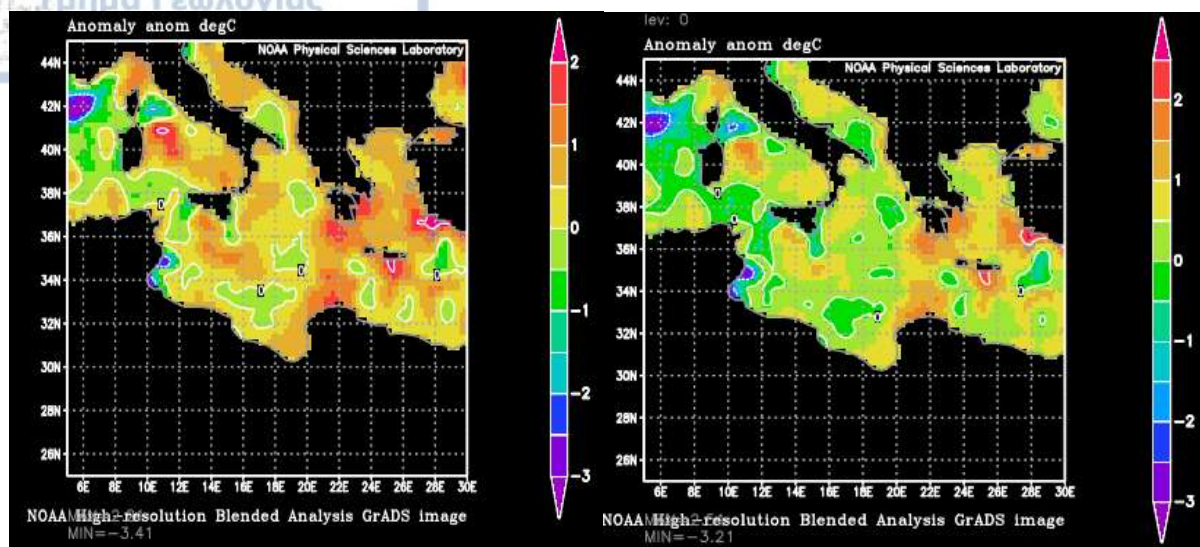
υπάρχουν σχετικά μεγάλες τιμές ($>+0.5^{\circ}\text{C}$) με ένα επίκεντρο υψηλών τιμών ($>+1.5^{\circ}\text{C}$) ανατολικά της Ιταλίας στο κεντρικό Ιόνιο ενώ ανατολικά της Μάλτας απαντούν θετικές τιμές (0.5°C - 1.5°C) με βάση το σχήμα 3.5.2.2. Στις 17/11, ακολουθώντας την πορεία του χαμηλού, από τα νότια της Μάλτας μέχρι την περιοχή του βορείου Ιονίου, ανατολικά της Απουλίας όπου μένει στάσιμο παρατηρούνται τιμές θετικής ανωμαλίας με ένα εύρος τιμών 0 - 1°C (σχήμα 3.5.2.2). Στις 18/11 η θαλάσσια περιοχή του Ιονίου παρουσιάζει χαμηλές τιμές θετικής ανωμαλίας όντας σε ένα εύρος 0 - 0.5°C . Στο Αιγαίο, παρατηρούνται τιμές θετικής ανωμαλίας πάνω από 0.5°C (σχήμα 3.5.2.3). Στις 19/11, διερχόμενο πάνω από το Αιγαίο το χαμηλό βρίσκει θετικές τιμές ανωμαλίας (0.5 - 1°C , σχήμα 3.5.2.3).



Σχήμα 3.5.2.1: Οι ανωμαλίες στην θερμοκρασία επιφανείας θάλασσας ($^{\circ}\text{C}$) στις 14 (αριστερή εικόνα) και 15 Νοεμβρίου (δεξιά εικόνα).



Σχήμα 3.5.2.2: Οι ανωμαλίες στην θερμοκρασία επιφανείας θάλασσας ($^{\circ}\text{C}$) στις 16 (αριστερή εικόνα) και 17 Νοεμβρίου (δεξιά εικόνα).



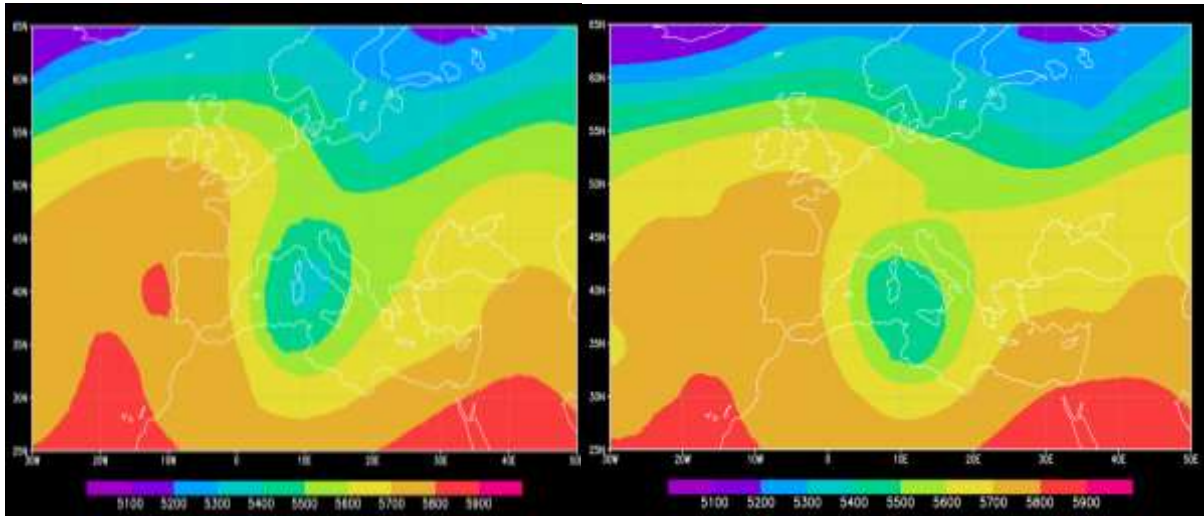
Σχήμα 3.5.2.3: Οι ανωμαλίες στην θερμοκρασία επιφανείας θάλασσας (°C) στις 18 (αριστερή εικόνα) και 19 Νοεμβρίου (δεξιά εικόνα).

3.6 Γεωδυναμικά ύψη και θερμοκρασίες στα 500 hPa

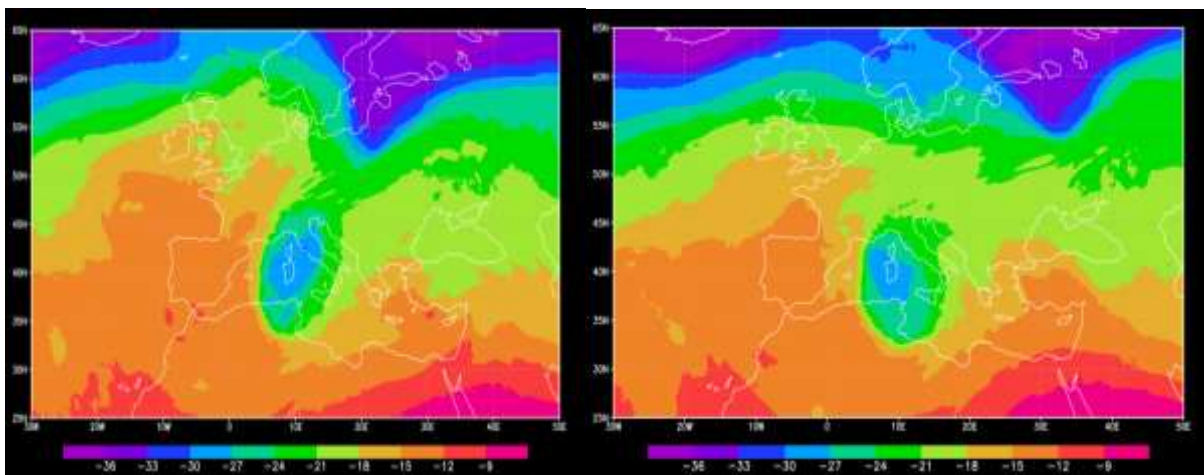
Στις 14 Νοεμβρίου η περιοχή της Μεσογείου βρίσκεται υπό την επίδραση ενός αυλώνα, όπως φαίνεται στους χάρτες ανάλυσης του ECMWF. Στην περιοχή του Ατλαντικού εντοπίζεται μία ράχη. Ο αυλώνας εκτείνεται έως την βόρεια Αφρική. Στην διάρκεια της ημέρας ο αυλώνας κινείται προς τα νότια στην περιοχή της Τυρρηνικής θάλασσα και σχηματίζεται ένα κλειστό χαμηλό των υψών. Ο αυλώνας στα 500 hPa, στην κεντρική του περιοχή παρουσιάζει θερμοκρασίες κοντά στους -30°C και γεωδυναμικά ύψη κοντά στα 5300-5400 grm (σχήματα 3.6.1, 3.6.2). Η ύπαρξη ενός χαμηλού στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα αποτελεί δυναμικό αίτιο γένεσης ενός κυκλώνα, τροφοδοτώντας τον τόσο στην γένεση όσο και στην εξέλιξη του.

Στις 15 Νοεμβρίου, ο αυλώνας τροφοδοτεί το σύστημα. Αυτή την ημέρα, στην στάθμη των 500 hPa έχει θερμοκρασίες οι οποίες προσεγγίζουν τους -27°C και γεωδυναμικά ύψη 5400 grm στην κεντρική του περιοχή (σχήματα 3.6.3, 3.6.4). Στις 16 Νοεμβρίου ο αυλώνας εξακολουθεί να τροφοδοτεί το σύστημα ακολουθώντας την τροχιά, διατηρώντας θερμοκρασίες -25°C και γεωδυναμικά ύψη λίγο πάνω από 5490-5550 grm (σχήματα 3.6.5, 3.6.6). Στις 17 Νοεμβρίου ημέρα απόκτησης τροπικών χαρακτηριστικών από το σύστημα, ο αυλώνας εξακολουθεί να τροφοδοτεί το σύστημα με θερμοκρασίες από -22°C μέχρι -20°C και γεωδυναμικά ύψη κοντά στα 5520-5550 grm στα 500 hPa (σχήματα 3.6.7, 3.6.8). Στις 18 Νοεμβρίου ο αυλώνας μέχρι τις απογευματινές ώρες (18 UTC) συνεχίζει να ακολουθεί την πορεία του συστήματος τροφοδοτώντας το, έχοντας θερμοκρασίες -19°C και γεωδυναμικά ύψη κοντά στα 5560 grm στα 500 hPa (σχήματα 3.6.9, 3.6.10). Από τις απογευματινές ώρες, ο αυλώνας κινείται βορειότερα απομακρυνόμενος από τον κυκλώνα. Αυτό, θα έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή εξασθένηση του συστήματος το οποίο θα μετατραπεί σε κλασικό βαρομετρικό χαμηλό, χάνοντας τον χαρακτήρα μεσογειακού κυκλώνα. Στις 19 Νοεμβρίου ο αυλώνας συνεχίζει να υποχωρεί βορειότερα, ενώ και οι θερμοκρασίες στην

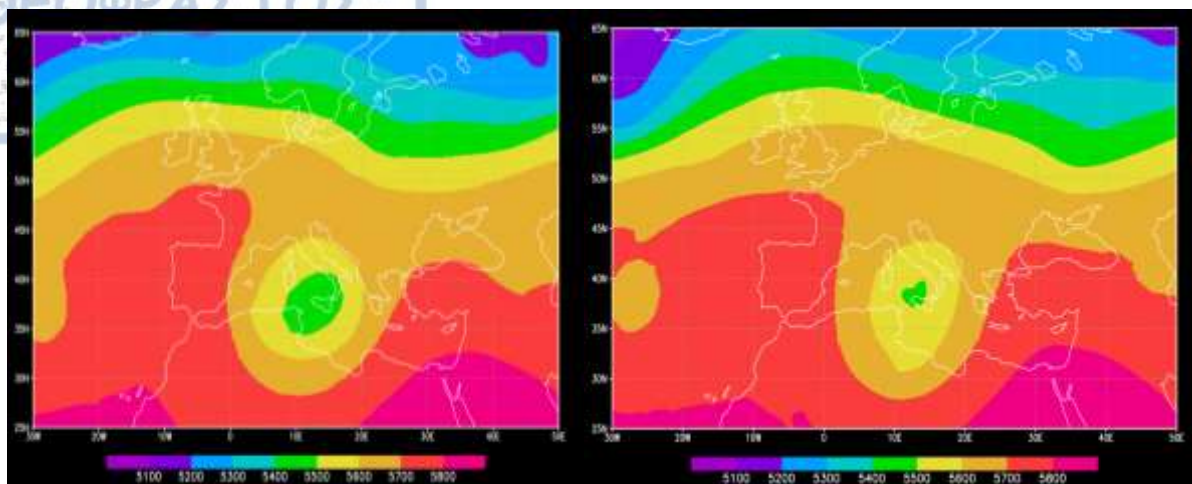
επιφάνεια των 500 hPa παρουσιάζουν μικρή αύξηση. Στον χώρο της Ελλάδας παραμένουν κοντά στους -23°C (σχήματα 3.6.11, 3.6.12).



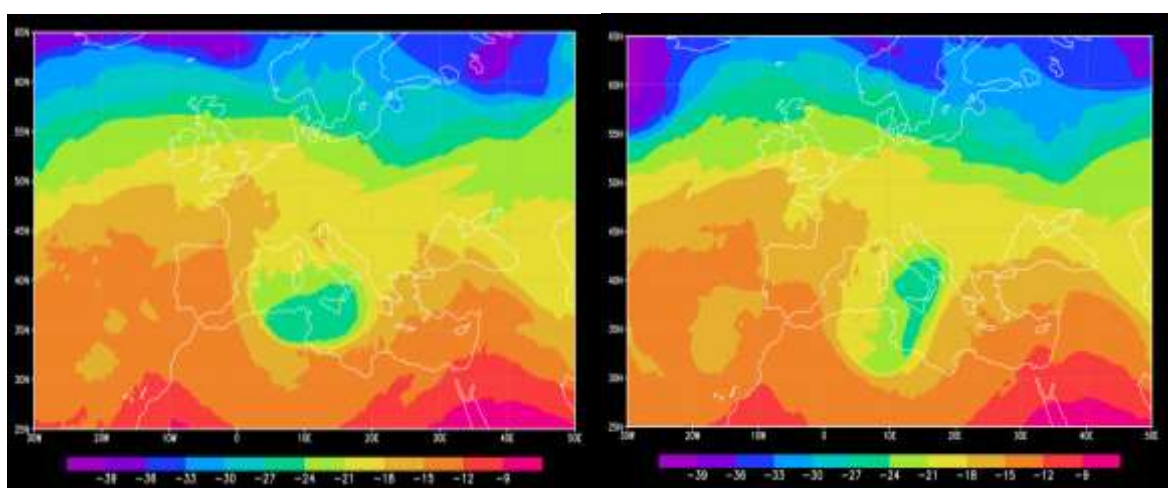
Σχήμα 3.6.1: Γεωδυναμικά ύψη των επιφανείας των 500 hPa (gpm) στις 14 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



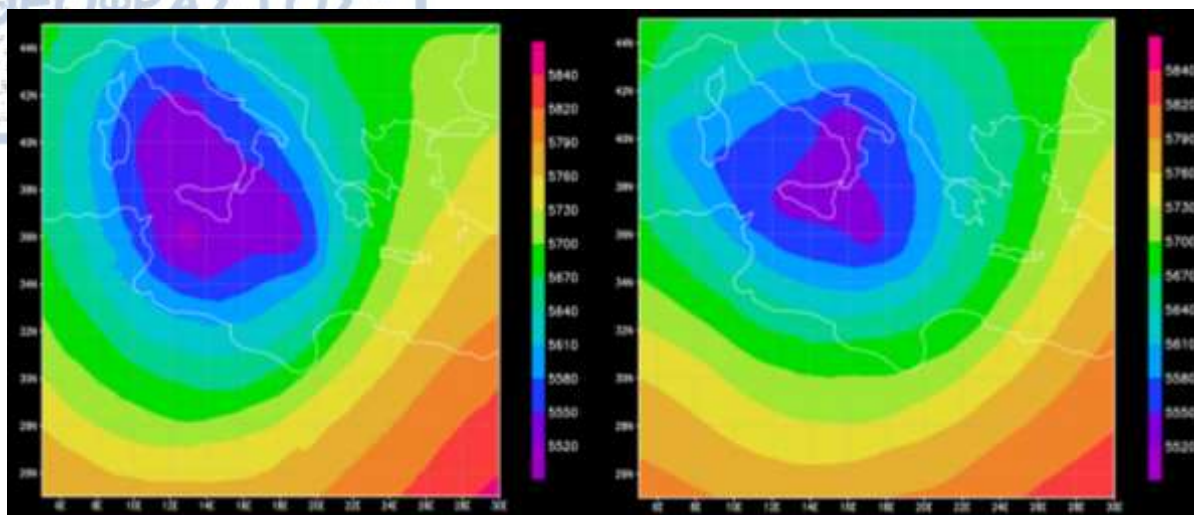
Σχήμα 3.6.2: Θερμοκρασίες στην επιφάνεια των 500 hPa ($^{\circ}\text{C}$) στις 14 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



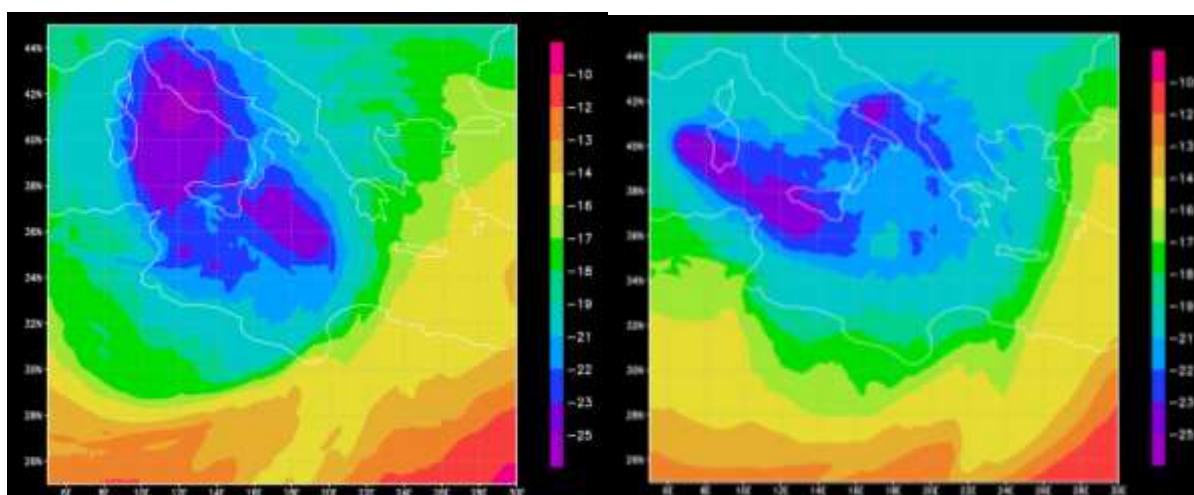
Σχήμα 3.6.3: Γεωδυναμικά ύψη της επιφάνειας των 500 hPa (gpm) στις 15 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



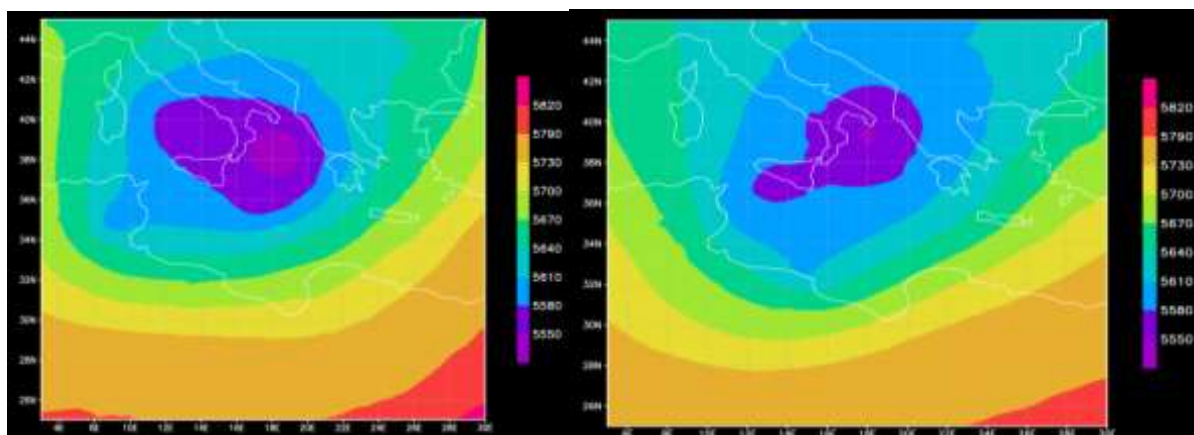
Σχήμα 3.6.4: Θερμοκρασίες στην επιφάνεια των 500 hPa (°C) στις 15 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



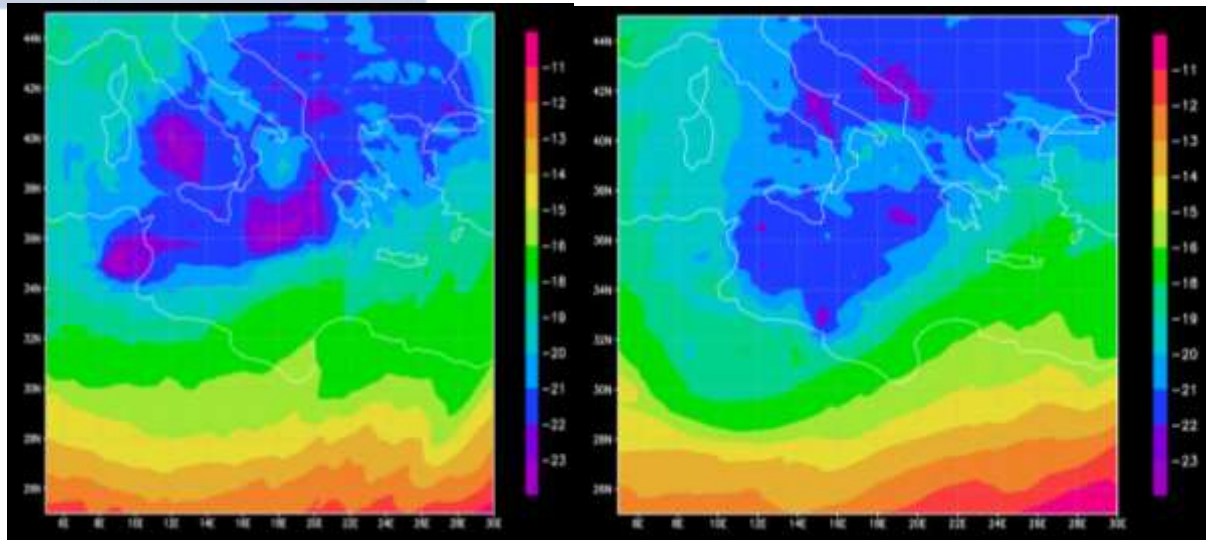
Σχήμα 3.6.5: Γεωδυναμικά ύψη της επιφάνειας των 500 hPa (gpm) στις 16 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



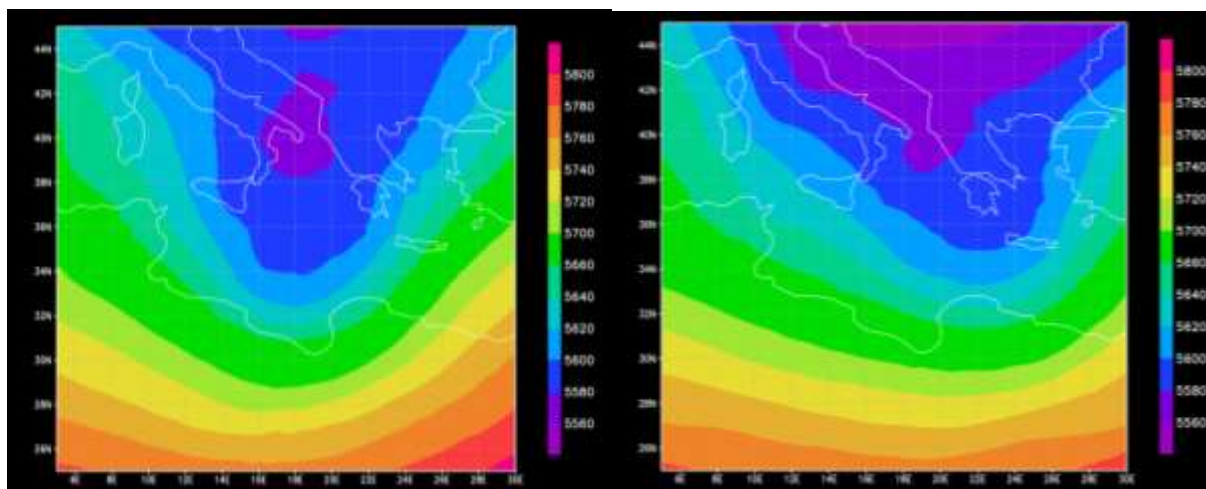
Σχήμα 3.6.6: Θερμοκρασία στην επιφάνεια των 500 hPa (°C) στις 16 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



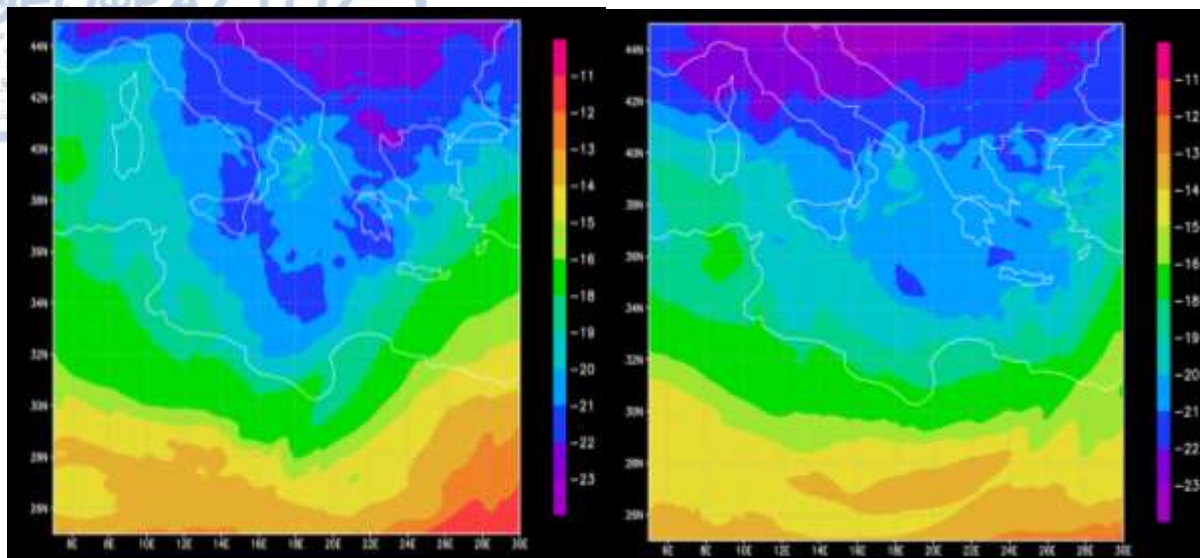
Σχήμα 3.6.7: Γεωδυναμικά ύψη της επιφάνειας των 500 hPa (gpm) στις 17 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



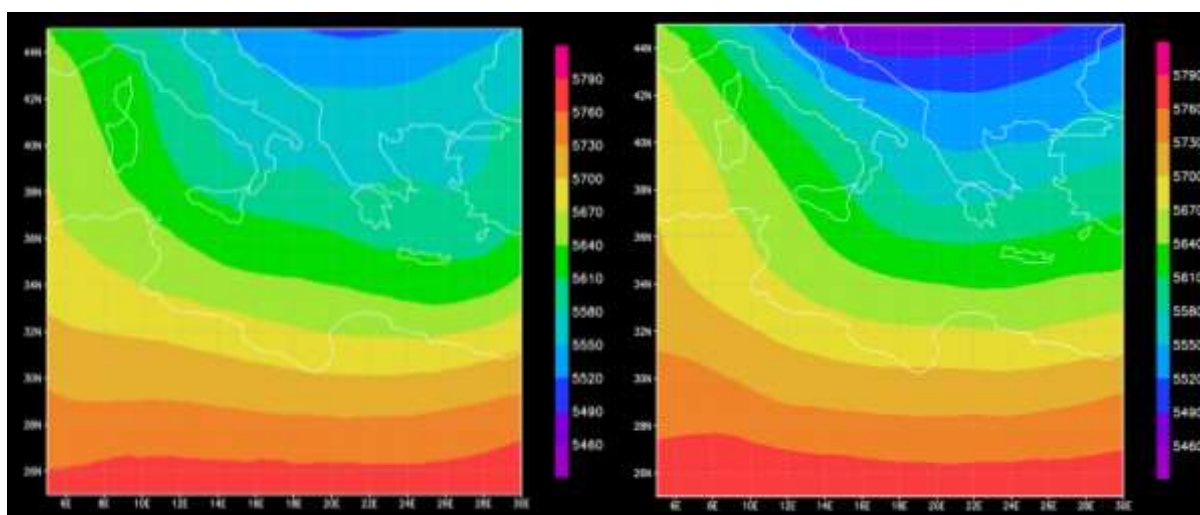
Σχήμα 3.6.8: Θερμοκρασία στην επιφάνεια των 500 hPa ($^{\circ}\text{C}$) στις 17 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



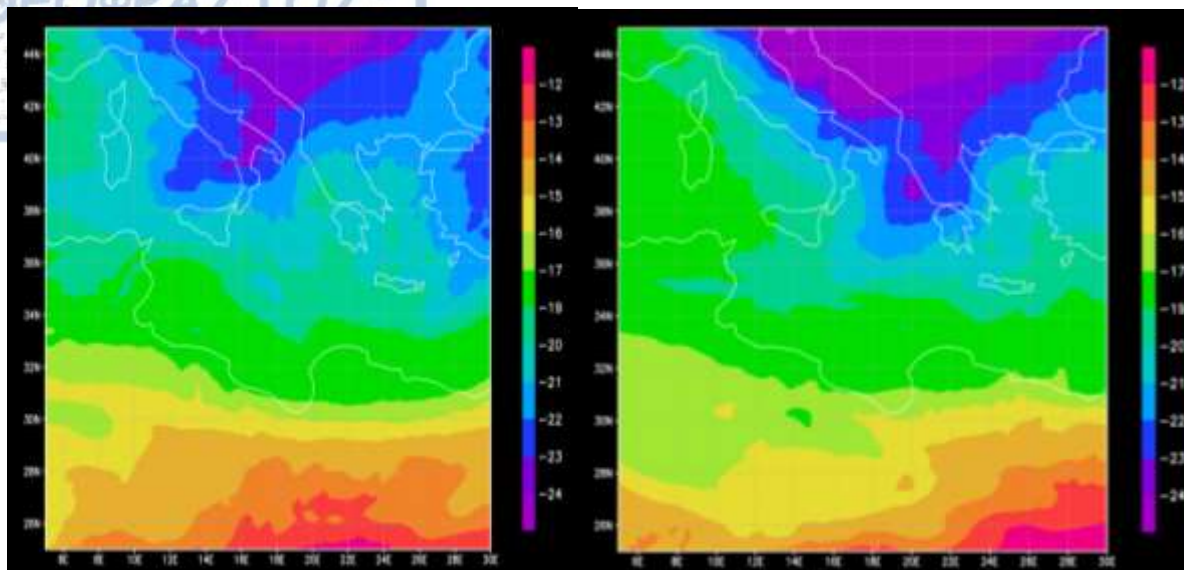
Σχήμα 3.6.9: Γεωδυναμικά ύψη της επιφάνειας των 500 hPa (gpm) στις 18 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



Σχήμα 3.6.10: Θερμοκρασία στην επιφάνεια των 500 hPa ($^{\circ}\text{C}$) στις 18 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



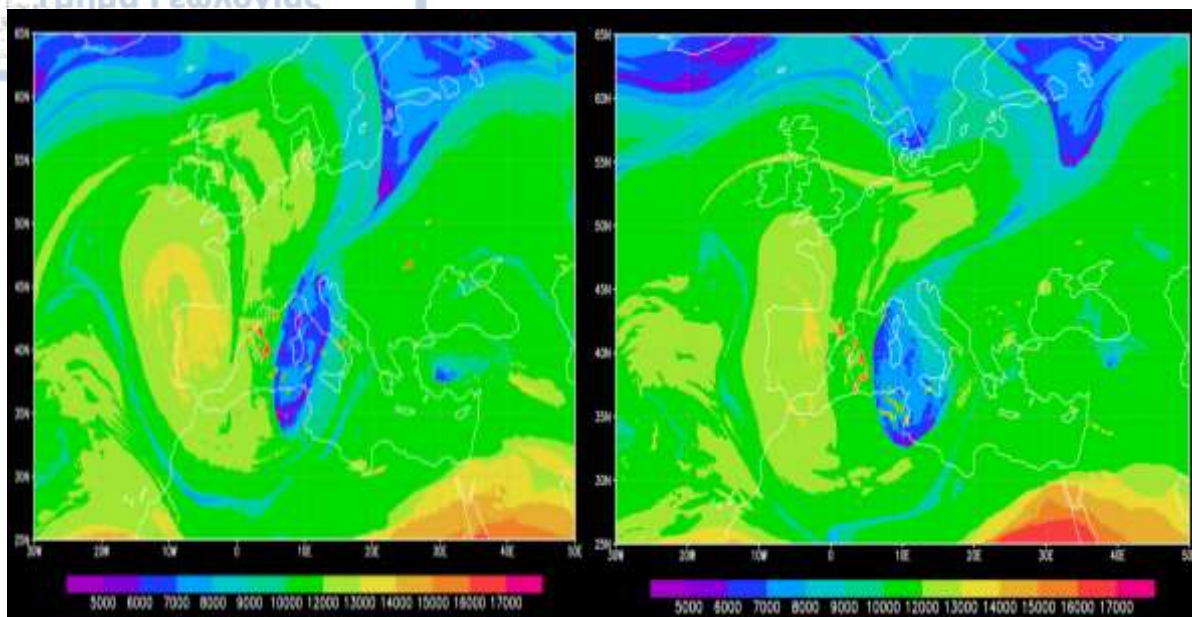
Σχήμα 3.6.11: Γεωδυναμικά ύψη της επιφάνειας των 500 hPa (gpm) στις 19 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



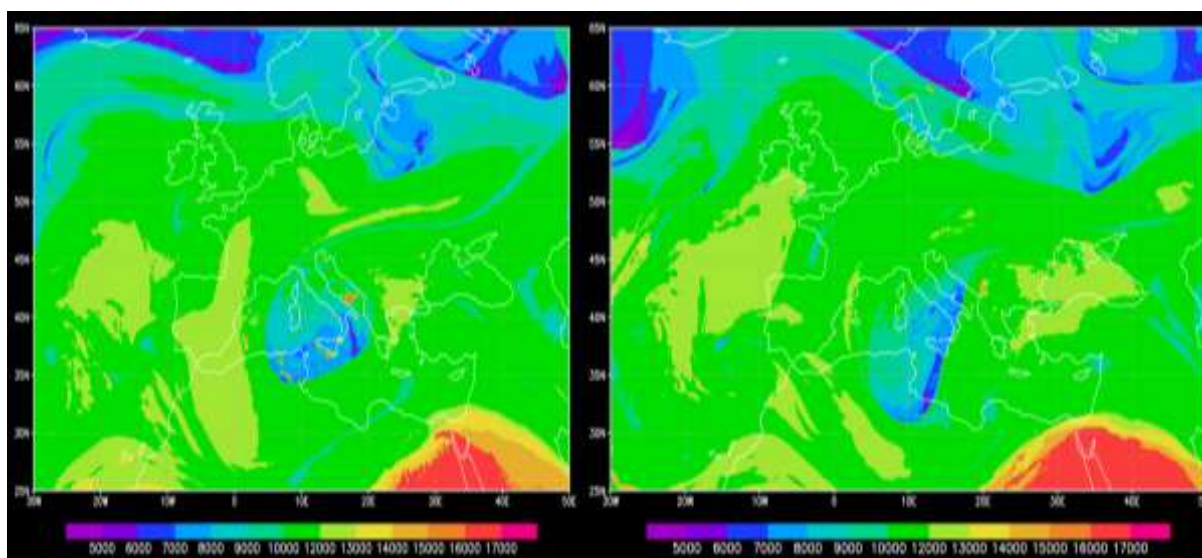
Σχήμα 3.6.12: Θερμοκρασία στην επιφάνεια των 500 hPa ($^{\circ}\text{C}$) στις 19 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).

3.7 Δυναμική τροπόπαυση

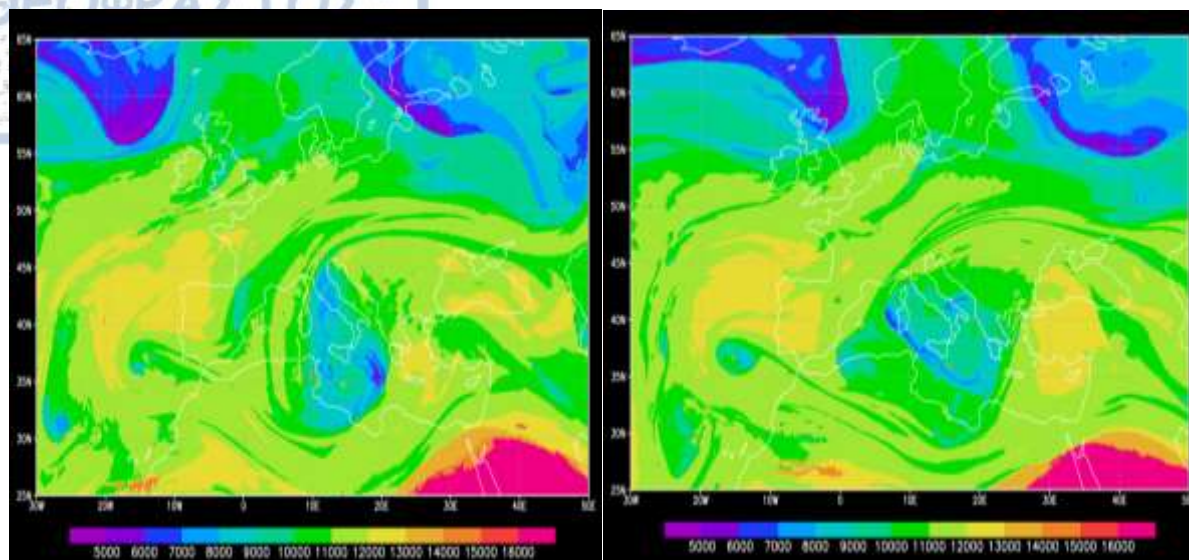
Η επιφάνεια στην οποία ο δυναμικός στροβιλισμός ισούται με 2 PVU (Potential Vorticity Units) ονομάζεται δυναμική τροπόπαυση και χρησιμοποιείται ώστε να βρεθεί το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης σε μία περιοχή. Στις 14 Νοεμβρίου εμφανίζονται ανωμαλίες δυναμικού στροβιλισμού πάνω από την κεντρική Μεσόγειο. Εκτείνεται από την βόρειο Ιταλία και τον κόλπο της Γένοβας μέχρι την βόρεια Αφρική (Τυνησία, Αλγερία) καλύπτοντας και τα νησιά Σαρδηνία και Κορσική. Η δυναμική τροπόπαυση (επιφάνεια 2 PVU) έχει εισχωρήσει μέχρι τη μέση τροπόσφαιρα. Καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, υπήρχε έντονη παρουσία της δυναμικής τροπόπαυσης. Το ίδιο μοτίβο συνεχίστηκε στις 15 και 16 Νοεμβρίου, δηλαδή τις δύο πρώτες ημέρες ζωής του συστήματος (σχήματα 3.7.2, 3.7.3). Από τις 17 Νοεμβρίου αρχίζει μία άνοδος του ύψους της δυναμικής τροπόπαυσης (σχήμα 3.7.4). Το ίδιο μοτίβο συνεχίζεται και στις δύο τελευταίες ημέρες ζωής του συστήματος στις 18 και 19 Νοεμβρίου (σχήματα 3.7.5, 3.7.6). Η παρουσία δυναμικών ανωμαλιών της τροπόπαυσης προκαλεί ισχυροποίηση του αυλώνα, λόγω της εισροής στρατοσφαιρικού αέρα στην τροπόπαυση, η οποία με την σειρά της προκάλεσε την ενίσχυση του συστήματος και την απόκτηση χαρακτήρα τροπικού κυκλώνα. Η υποχώρηση της ανωμαλίας δυναμικού στροβιλισμού και η άνοδος του υψομέτρου της δυναμικής τροπόπαυσης από τις μεσημεριανές ώρες της 17^{ης} Νοεμβρίου οδήγησε στη σταδιακή εξασθένηση του αυλώνα από τις μεσημεριανές-απογευματινές ώρες της 18^{ης} Νοεμβρίου. Με την σειρά της η εξασθένηση του αυλώνα συνέβαλε στην απώλεια των τροπικών χαρακτηριστικών του κυκλώνα και την επακόλουθη εξασθένησή του έως την πλήρη διάλυση του. Παρόμοια συνοπτική κατάσταση έχει παρατηρηθεί και σε άλλες περιπτώσεις μεσογειακών κυκλώνων όπως ο μεσογειακός κυκλώνας τον Μάιο του 2003 (25-27 Μαΐου) και του Νοεμβρίου του 2014 (Pytharoulis 2018, Miglietta et al. 2017).



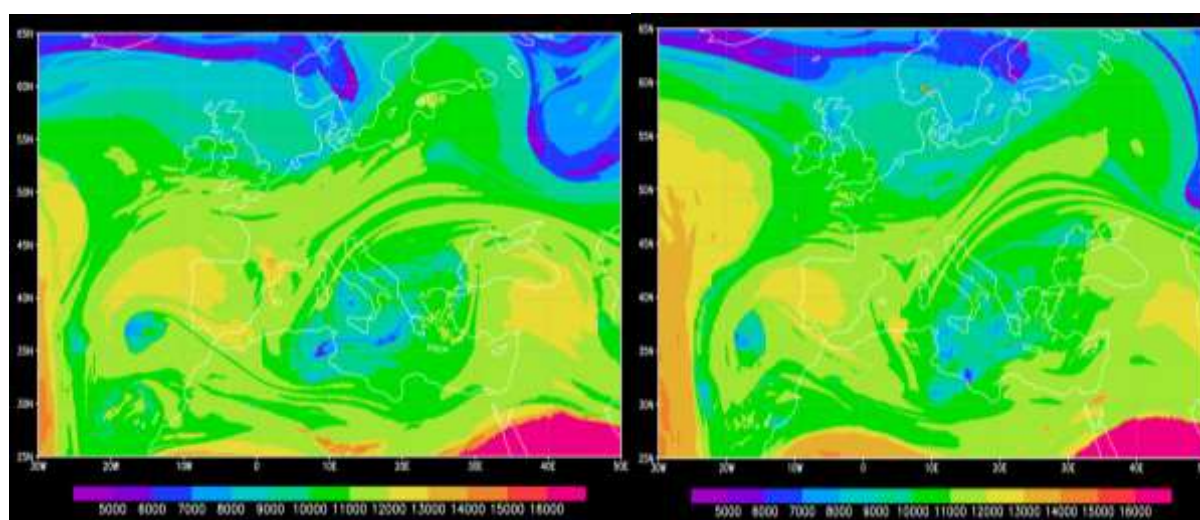
Σχήμα 3.7.1: Γεωδυναμικά ύψη επιφάνειας 2PVU (gpm) στις 14 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



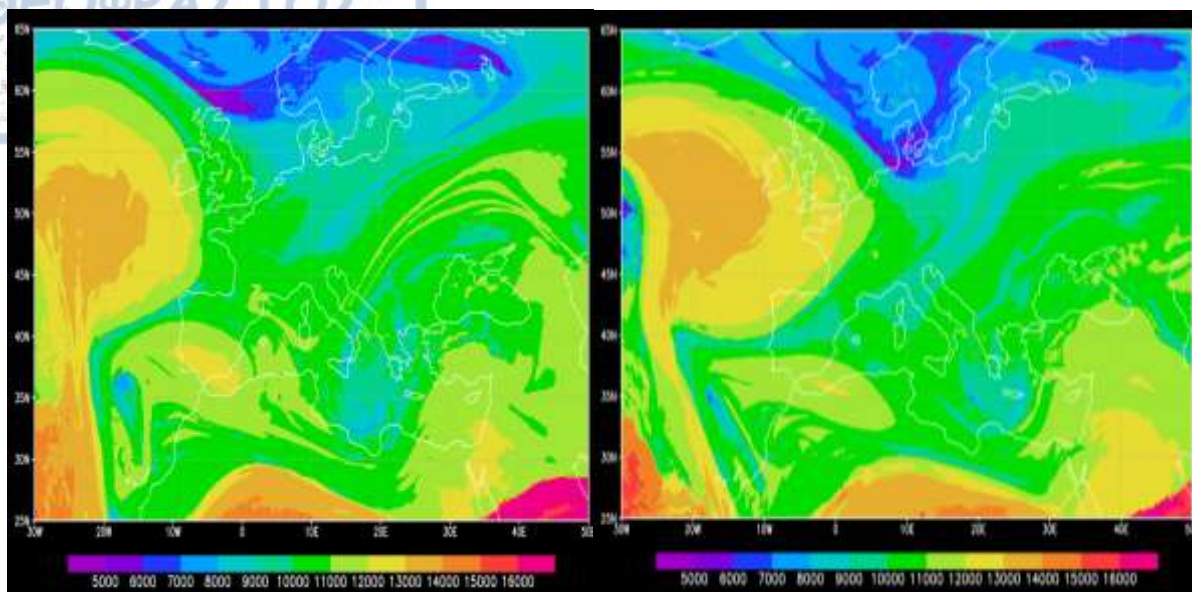
Σχήμα 3.7.2: Γεωδυναμικά ύψη επιφάνειας 2PVU (gpm) στις 15 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



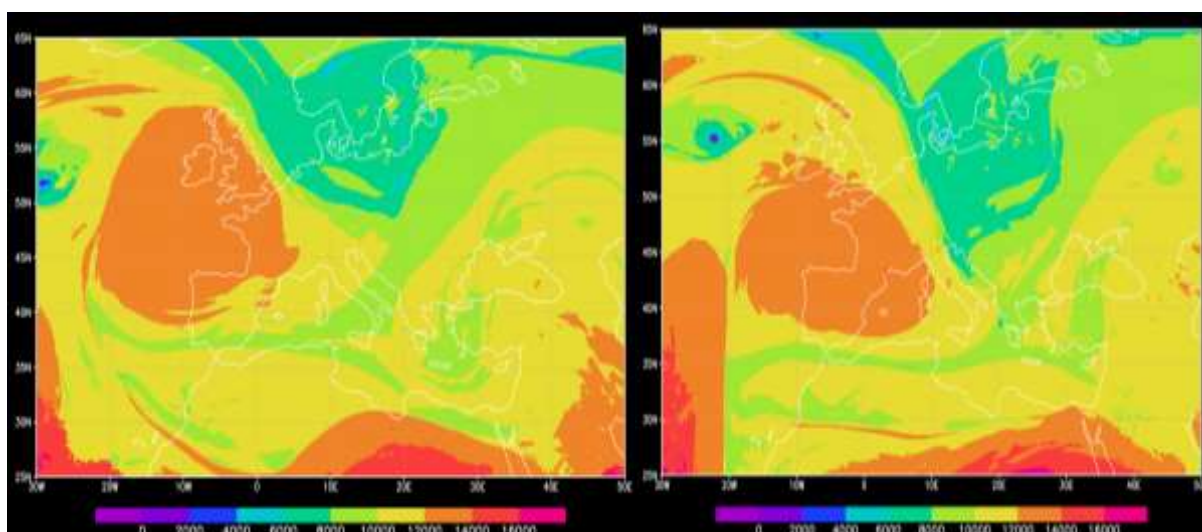
Σχήμα 3.7.3: Γεωδυναμικά ύψη επιφάνειας 2PVU (gpm) στις 16 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



Σχήμα 3.7.4: Γεωδυναμικά ύψη επιφάνειας 2PVU (gpm) στις 17 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



Σχήμα 3.7.5: Γεωδυναμικά ύψη επιφάνειας 2PVU (gpm) στις 18 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).



Σχήμα 3.7.6: Γεωδυναμικά ύψη επιφάνειας 2PVU (gpm) στις 19 Νοεμβρίου 00UTC και 12UTC (ECMWF).

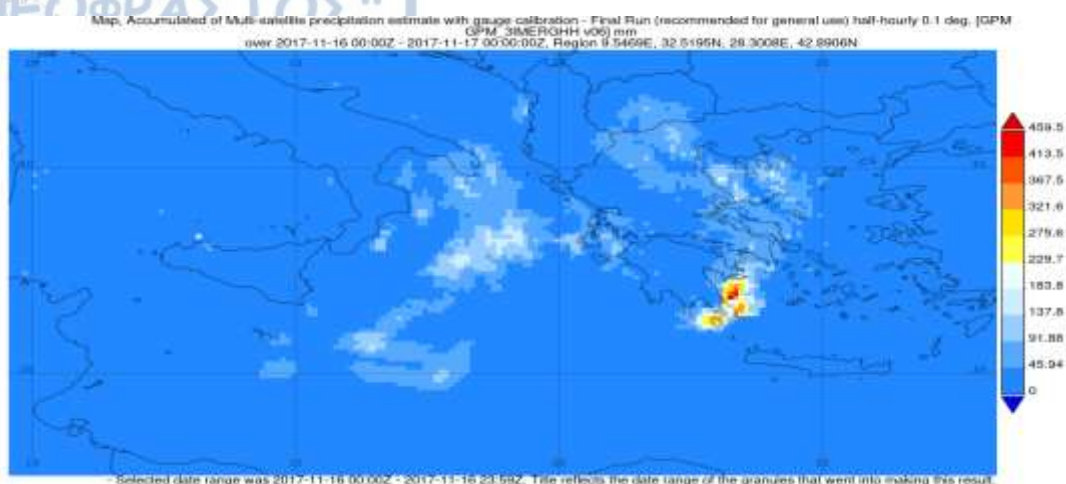
3.8 Εκτίμηση βροχόπτωσης με τα δεδομένα του δορυφόρου GPM-IMERG

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν τα δορυφορικά δεδομένα GPM-IMERG. Τα δεδομένα αφορούν την αθροιστική βροχόπτωση ανά ημέρα η οποία εκτιμήθηκε μέσω ραντάρ και έχει χωρική ανάλυση 0.1 μοιρών και προέρχονται από την σύνθεση δεδομένων ανά μισάωρο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8.1, στις 15 Νοεμβρίου, στην περιοχή του συστήματος, σημειώθηκε σημαντική ημερήσια ποσότητα υετού, ξεπερνώντας τοπικά τα 100mm. Οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού έπεσαν στα ανοιχτά της Τυνησίας φτάνοντας ακόμα και τα 200-220mm. Αντίστοιχη ποσότητα, παρατηρήθηκε και στις Αιολίδες Νήσους. Όσον αφορά τον υετό στην περιοχή της Ελλάδας και του Ιονίου, σχετίζεται με διαφορετική κακοκαιρία

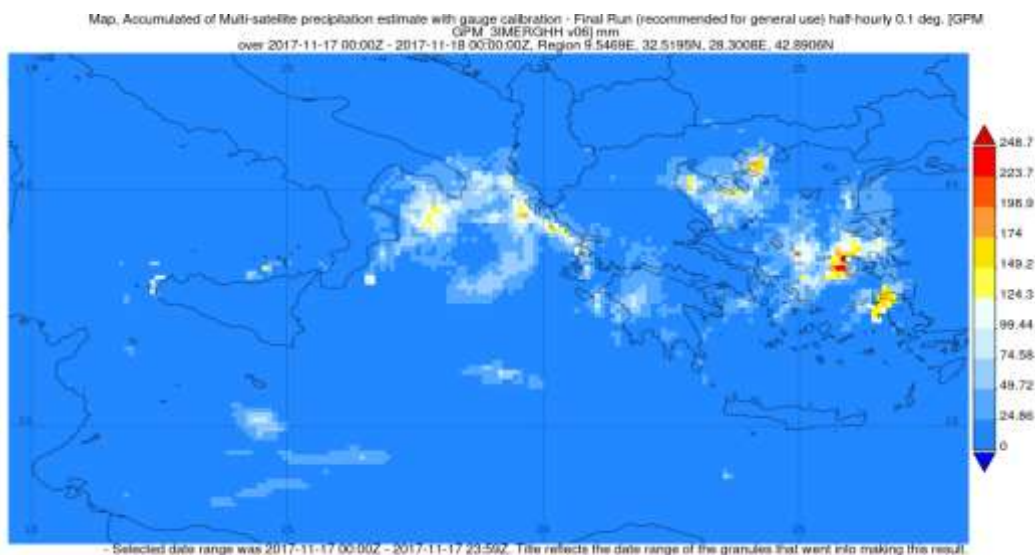
και συνεπώς δεν εξετάζεται στην παρούσα εργασία για τις 15 Νοεμβρίου. Στις 16 Νοεμβρίου, στην Μάλτα και στην θαλάσσια περιοχή από το βόρειο Ιόνιο μέχρι τη νότια Μεσόγειο ανατολικά της Μάλτας, έριξε αρκετή ποσότητα βροχής κοντά στα 90 mm, ενώ όπως φαίνεται στις λευκές περιοχές του Ιονίου και της Μεσογείου προσέγγισε τα 200mm (σχήμα 3.8.2). Στις 17 Νοεμβρίου η κατανομή της βροχόπτωσης προσομοιάζει την δομή του κυκλώνα. Έτσι, στην δορυφορική εικόνα, διακρίνεται μία κεντρική περιοχή στην οποία δεν έχει βρέξει ή έχει βρέξει ελάχιστα περιμετρικά της οποίας κατανέμονται μπάντες βροχόπτωσης. Η περιοχή με την ελάχιστη ή μηδενική βροχόπτωση αντιστοιχεί στο μάτι του κυκλώνα και οι περιοχές με την έντονη βροχόπτωση αντιστοιχούν στις σπειροειδείς μπάντες νεφών του τοιχώματος γύρω από το μάτι. Μάλιστα τα δύο μέγιστα της βροχόπτωσης έχουν αντιδιαμετρικές θέσεις. Η πρώτη θέση είναι νότια της χερσονήσου της Απουλίας και η δεύτερη δυτικά της Κέρκυρας με τιμές κοντά στα 150mm (σχήμα 3.8.3). Την επόμενη ημέρα στις 18 Νοεμβρίου καθώς ο κυκλώνας αρχίζει να κινείται προς την Ελλάδα, οι περιοχές που σημειώθηκε ο περισσότερος υετός, είναι δυτικά και νότια της Κέρκυρας με μέση τιμή 100mm. Αυτή η ποσότητα είναι αισθητά μικρότερη από των προηγούμενων ημερών (σχήμα 3.8.4). Τέλος, κατά την 19^η Νοεμβρίου, το εξασθενημένο πλέον σύστημα έκανε μετάβαση πάνω από την Ελλάδα επηρεάζοντας την Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο. Σε όλη σχεδόν την Στερεά, πλην της Βοιωτίας και της Αττικής, υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης, με σαφώς λιγότερο υετό σε σχέση με τις τιμές των προηγούμενων ημερών (30mm). Ακόμα και στην περιοχή των Σποράδων όπου σημειώθηκε η περισσότερη βροχόπτωση έπεσαν περίπου 45mm, η οποία αποτελεί την χαμηλότερη μέγιστη τιμή όλων των ημερών (σχήμα 3.8.5).



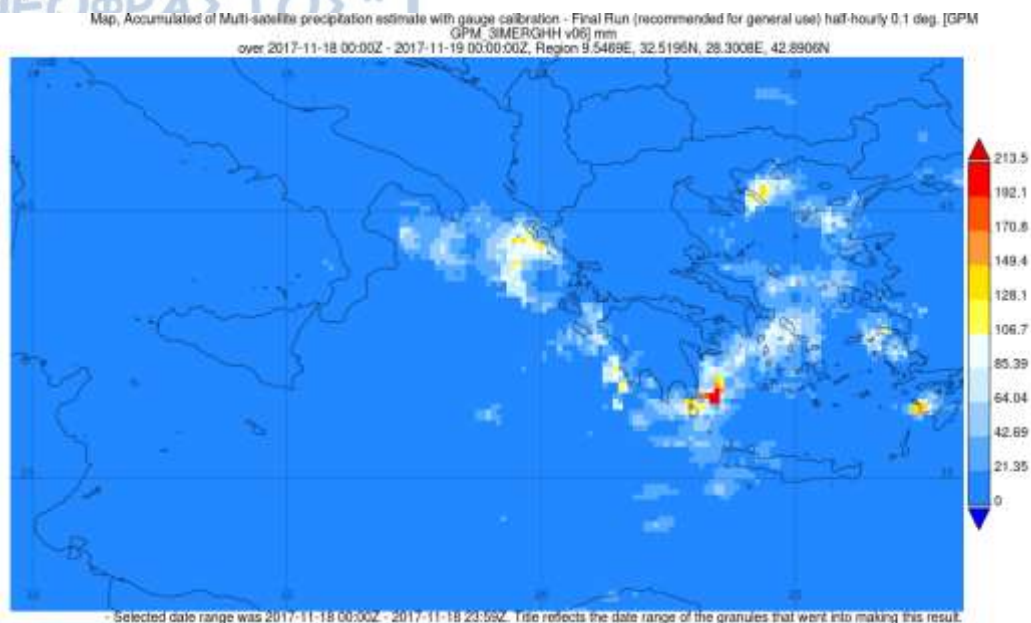
Σχήμα 3.8.1: Εκτίμηση υετού (mm) από τα δορυφορικά δεδομένα GPM-IMERG στις 15 Νοεμβρίου (πηγή: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).



Σχήμα 3.8.2: Εκτίμηση υετού (mm) από τα δορυφορικά δεδομένα GPM-IMERG στις 16 Νοεμβρίου (πηγή: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).



Σχήμα 3.8.3: Εκτίμηση υετού (mm) από τα δορυφορικά δεδομένα GPM-IMERG στις 17 Νοεμβρίου (πηγή: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).



Σχήμα 3.8.4: Εκτίμηση υετού (mm) από τα δορυφορικά δεδομένα GPM-IMERG στις 18 Νοεμβρίου (πηγή: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).



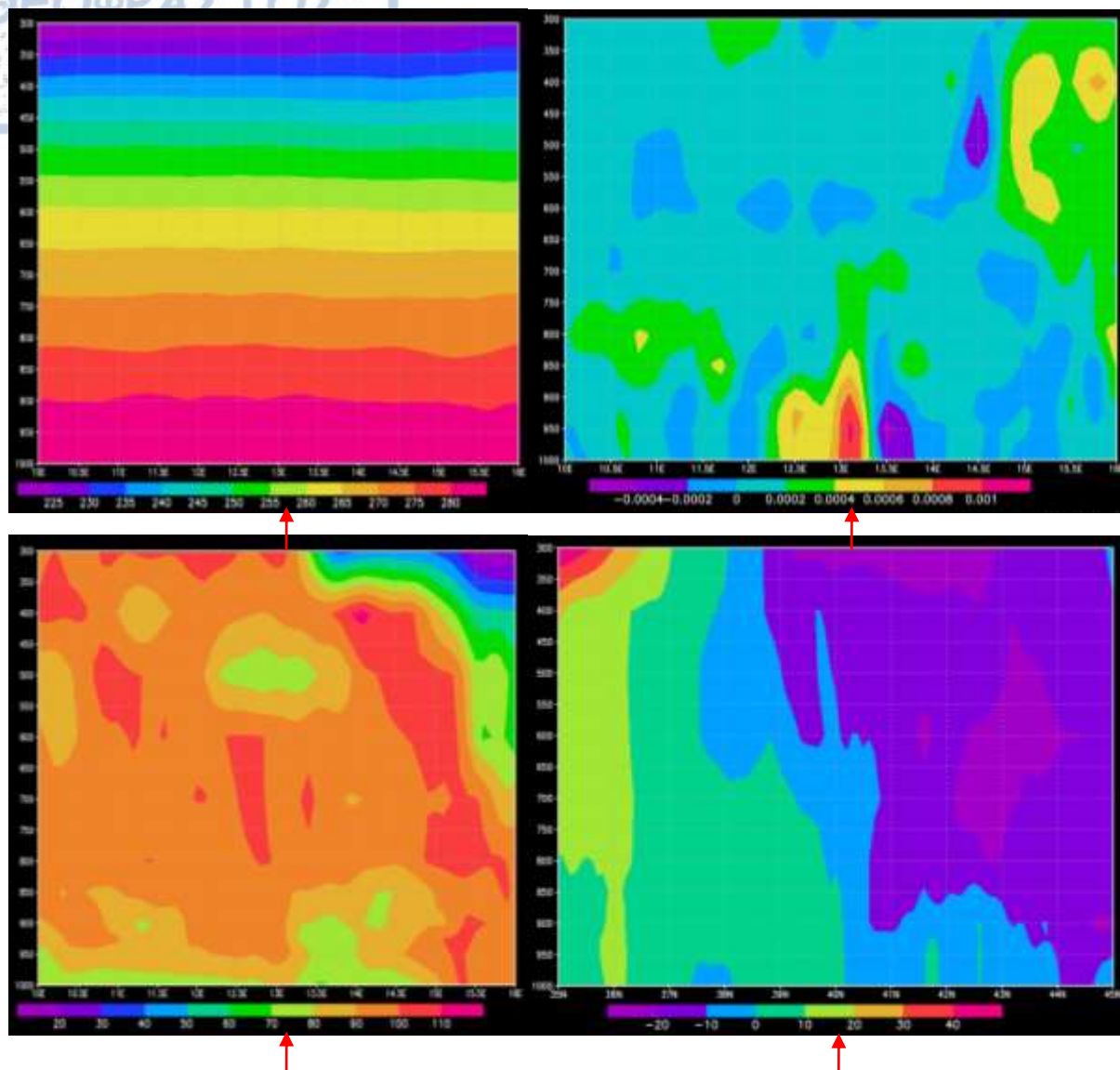
Σχήμα 3.8.5: Εκτίμηση υετού (mm) από τα δορυφορικά δεδομένα GPM-IMERG στις 19 Νοεμβρίου (πηγή: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>).

ΔΟΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η δομή του συστήματος καθ' όλη την διάρκεια της ζωής του, από τις 15 Νοεμβρίου μέχρι την 19^η Νοεμβρίου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν την σχετική υγρασία, τον σχετικό στροβιλισμό, την θερμοκρασία και τις τιμές του ζωνικού ανέμου. Αυτά εξετάστηκαν στην στάθμη 1000-300 hPa. Μεγάλες τιμές σχετικού στροβιλισμού συνεπάγονται έντονη κυκλωνική κίνηση, ενώ αρνητικές υποδεικνύουν αντικυκλωνική κίνηση. Η θερμοκρασία και η υγρασία χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη του πυρήνα και των ιδιοτήτων του. Ο ζωνικός χρησιμοποιήθηκε για τη ταχύτητα των ανέμων πάνω και κάτω από το κέντρο του. Η διαφοροποίηση της διεύθυνσης του ανέμου από δυτικό σε ανατολικό και το αντίστροφο είναι εμφανής, γεγονός το οποίο υποδεικνύει κυκλωνική κυκλοφορία. Επιπλέον, η μέγιστη οριζόντια διάτμηση εμφανίζεται στα χαμηλά επίπεδα, στοιχείο το οποίο εκτός από την θερμοκρασία, αποδεικνύει την δομή θερμού πυρήνα. Το κέντρο του συστήματος υποδεικνύεται με τα κόκκινα βέλη.

4.1 15 Νοεμβρίου

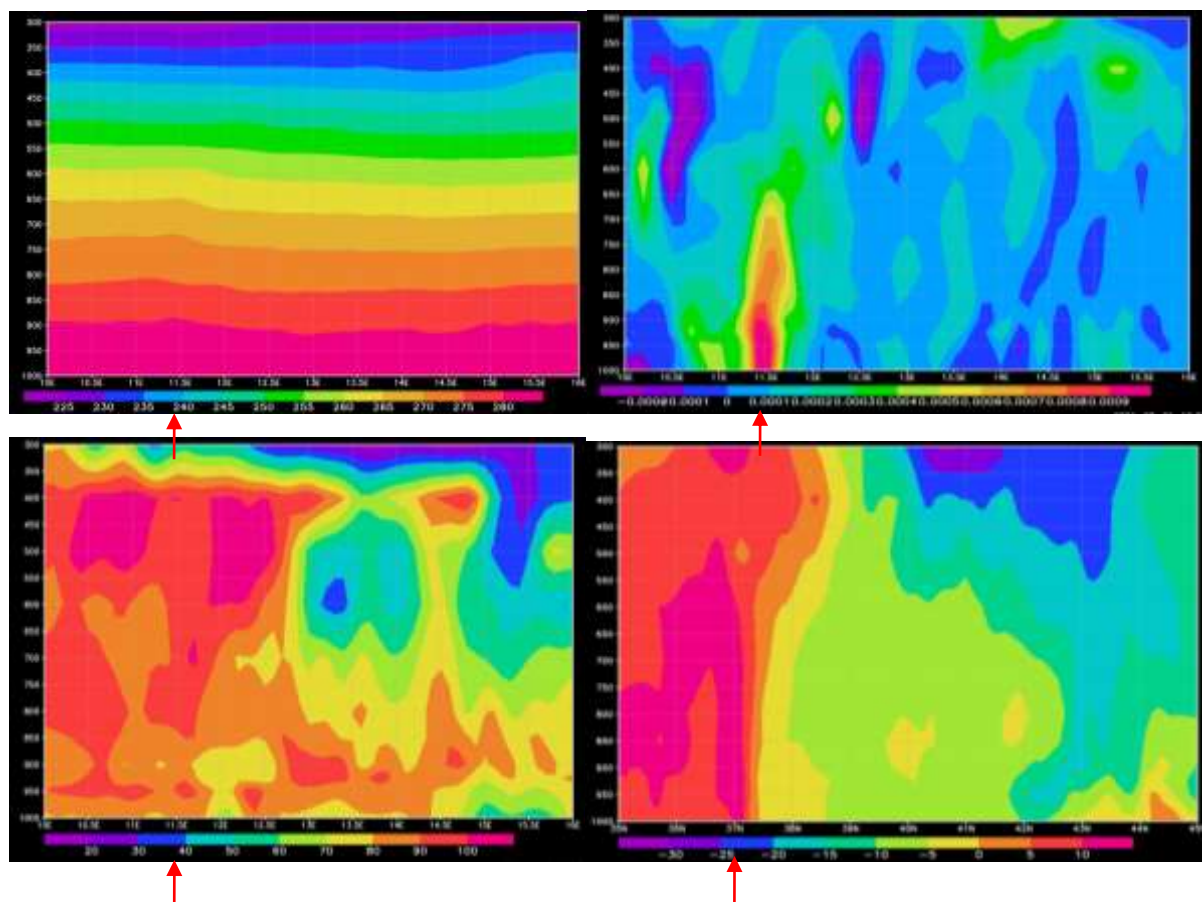
Στις 00UTC στο μητρικό χαμηλό φαίνεται πως μέχρι την στάθμη των 650 hPa το κέντρο του χαμηλού είναι ελαφρώς θερμότερο από το περιβάλλον του (σχήμα 4.1.1) ενώ από τα 650 hPa μέχρι τα 300 hPa η θερμοκρασία είναι ίδια με το περιβάλλον. Ο σχετικός στροβιλισμός παρουσιάζει υψηλές θετικές τιμές μέχρι τα 850 hPa ($>4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) ενώ μέχρι τα 700 hPa μέτριες τιμές ($2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} - 4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) από τα 700 hPa ο σχετικός στροβιλισμός είναι λιγότερο έντονος, δηλαδή εξασθενεί η κυκλωνική κίνηση. Εξάιρεση αποτελεί η στάθμη 650-550 hPa, όπου υπάρχει αντικυκλωνική κίνηση. Παρατηρώντας τις τιμές της σχετικής υγρασίας, διαπιστώνονται μεγάλες τιμές σχετικής υγρασίας καθ' ύψος στο κέντρο του χαμηλού. Η υγρασία μειώνεται λίγο κοντά στα 500 hPa και πιο υψηλά παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα. Επιπλέον, εκατέρωθεν του κέντρου, η κατανομή της υγρασίας δεν είναι ομοιόμορφη δυτικά και ανατολικά αυτού. Ειδικά μέχρι την στάθμη των 850 hPa το ανατολικό κομμάτι του συστήματος είναι ξηρότερο από το δυτικό. Διαφορά παρατηρείται επίσης και στην στάθμη 800-600 hPa με το δυτικό κομμάτι να είναι ξανά υγρότερο από το ανατολικό. Από την μεσημβρινή τομή του ζωνικού ανέμου, φαίνεται ότι οι υψηλότερες ταχύτητες του ανέμου δεν επιτυγχάνονται κοντά στην επιφάνεια όπως συμβαίνει σε έναν τυφώνα κι επίσης οι ισοταχείς καμπύλες δεν παρουσίασαν μεγάλη πυκνότητα. Η οριζόντια διάτμηση είναι μικρή (σχήμα 4.1.1).



Σχήμα 4.1.1: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (Κ, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις $40.23^{\circ}N$ και μεσημβρινή τομή του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις $13.13^{\circ}N$ στις 15 Νοεμβρίου 00UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

Στις 12UTC με βάση τις ισόθερμες, το κέντρο του χαμηλού ήταν θερμότερο από το περιβάλλον του, δηλαδή είχε χαρακτήρα θερμού πυρήνα. Αυτό γίνεται αντιληπτό από την χαρακτηριστική καμπή που κάνουν οι ισόθερμες επιφάνειες στη θέση σχηματισμού του συστήματος. Η ζωνική τομή του σχετικού στροβιλισμού υποδεικνύει έντονη κυκλωνική δραστηριότητα μέχρι τα 650 hPa, η οποία εξασθενεί καθ' ύψος. Η μέγιστη τιμή καταγράφεται από την επιφάνεια μέχρι 900 hPa με τιμές που ξεπερνούν τα $9 \times 10^{-4} s^{-1}$. Από το διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, προκύπτει μεγαλύτερη ομοιομορφία στην κατανομή της υγρασίας εκατέρωθεν του κέντρου σε σχέση με τις 00UTC. Μάλιστα, οι τιμές της σχετικής υγρασίας είναι πολύ υψηλές με τιμές πάνω από 80%. Η ταχύτητα του ζωνικού ανέμου άρχισε να παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές της κοντά στην επιφάνεια (>10 m/s) διατηρώντας τις μέχρι τα 500 hPa. Αυτά τα δεδομένα αφορούν το τμήμα εκείνο του

συστήματος που βρίσκεται νότια του κέντρου. Στο τμήμα που βρίσκεται βόρεια του συστήματος οι άνεμοι είναι ανατολικής συνιστώσας και οι ταχύτητές τους προσεγγίζουν την ίδια τιμή (10m/s). Η οριζόντια διάτμηση εξακολουθεί να είναι μικρή (σχήμα 4.1.2).

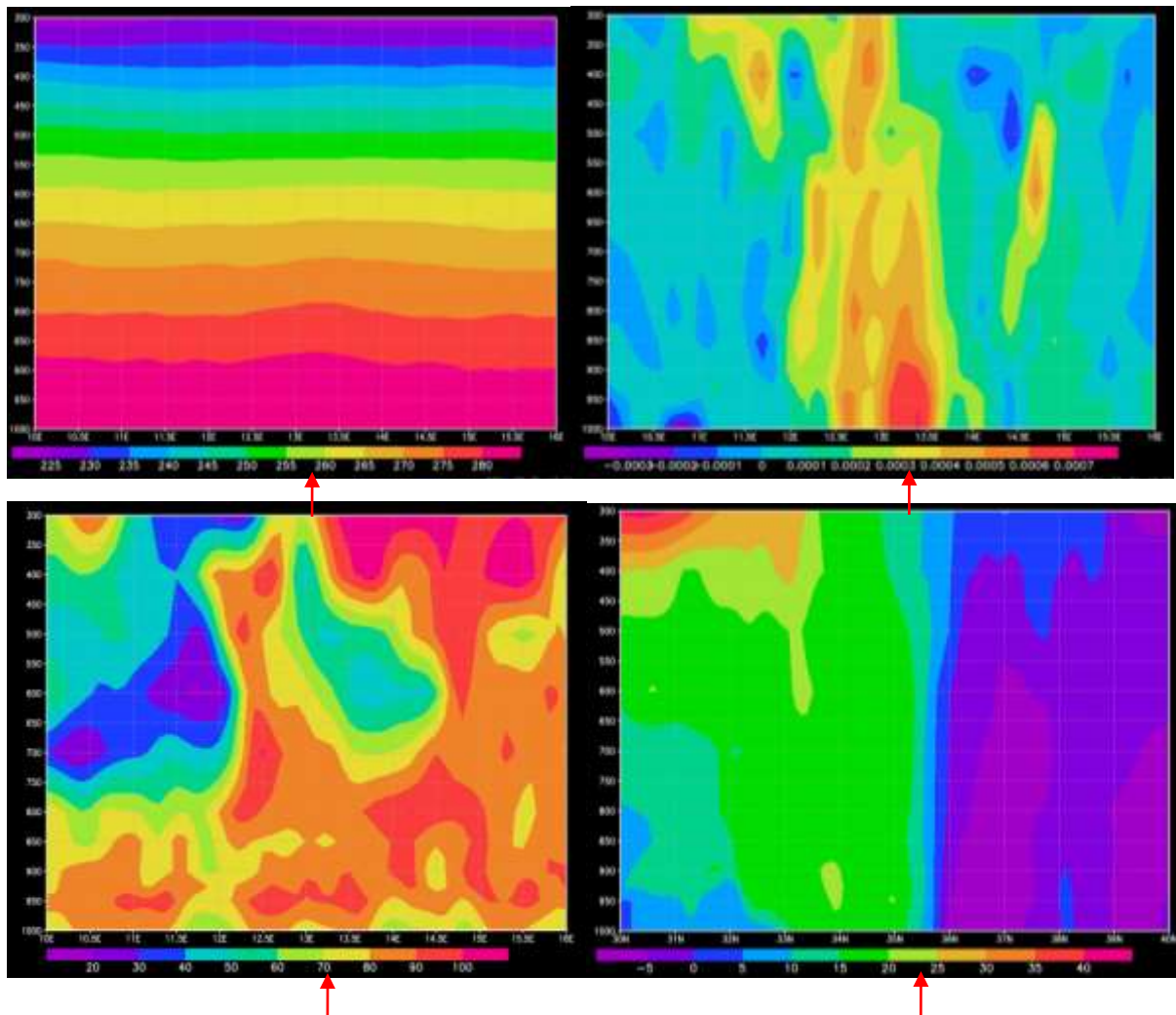


Σχήμα 4.1.2: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις $37.32^{\circ}B$ και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις $11.40^{\circ}A$ στις 15 Νοεμβρίου 12UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

4.2 16 Νοεμβρίου

Στις 00UTC οι ισόθερμες καμπύλες δείχνουν ότι το σύστημα διατήρησε τον χαρακτήρα θερμού πυρήνα, καθώς η καμπή στην περιοχή του κέντρου εξακολουθεί να υπάρχει. Ο σχετικός στροβιλισμός παρουσίασε μια μικρή υποχώρηση ως προς την μέγιστη τιμή ($>6 \times 10^{-4} s^{-1}$) με την κυκλωνική κίνηση να παρατηρείται σε όλη την κατακόρυφη τομή του κέντρου. Αξίζει να σημειωθεί πως στους μεσογειακούς κυκλώνες δεν παρατηρείται αντικυκλωνική κίνηση στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Ο πυρήνας του χαμηλού εξακολουθεί να είναι πολύ υγρός καταγράφοντας υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας μέχρι τα 600 hPa, ενώ από τα 600 hPa και πάνω γίνεται σχετικά ξηρό. Παράλληλα, επέρχεται ξανά ανομοιομορφία στην κατανομή της υγρασίας εκατέρωθεν του κέντρου με τις μεγαλύτερες διαφορές να εμφανίζονται πάνω από την στάθμη των 700 hPa. Όσον αφορά τον ζωνικό άνεμο, οι

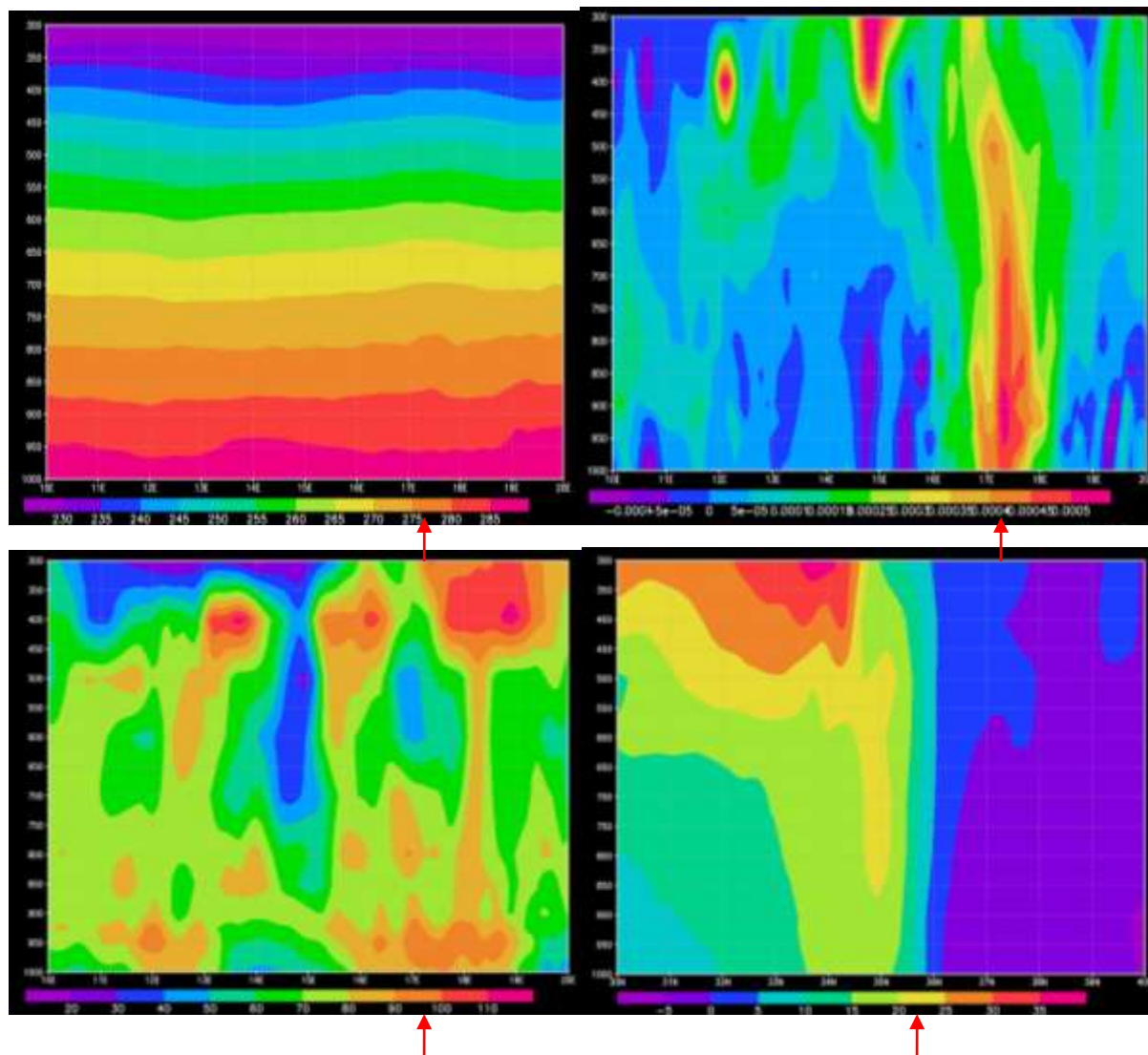
μέγιστες ταχύτητες παρουσιάστηκαν κοντά στο έδαφος. Πιο συγκεκριμένα, καταγράφηκαν δυτικοί άνεμοι με ταχύτητα έως 20 m/s και ανατολικοί έως 10m/s. Υπάρχει, συνεπώς, μερική διάτμηση του ανέμου (σχήμα 4.2.1).



Σχήμα 4.2.1: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 35.70°N και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 13.19°E στις 16 Νοεμβρίου 00UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

Στις 12UTC κοντά στην επιφάνεια μέχρι τα 950 hPa, η θερμοκρασία του πυρήνα ταυτίζεται με την αντίστοιχη του περιβάλλοντος. Από τα 950 hPa και πιο ψηλά στην τροπόσφαιρα, υπάρχει έντονη θερμή ανωμαλία του πυρήνα, η οποία φτάνει μέχρι το ύψος του αεροχειμάρρου (300 hPa). Η έντονη κυκλωνική κίνηση διατηρείται, παρουσιάζοντας έντονο χαρακτήρα μέχρι τα 450 hPa. Η αντικυκλωνική κίνηση εξακολουθεί να μην υπάρχει. Ταυτόχρονα, ο πυρήνας συνεχίζει να είναι υγρός κοντά στην επιφάνεια και μέχρι τα 900 hPa, γίνεται όμως ξηρότερος όσο ανεβαίνει το ύψος στην τροπόσφαιρα. Πλευρικός του κέντρου, η σχετική υγρασία παρουσιάζει ομοιομορφία στις τιμές. Αν και υφίστανται υψηλές

τιμές στην ταχύτητα του ανέμου δυτικής συνιστώσας, οι μέγιστες τιμές εντούτοις δεν σημειώνονται κοντά στην επιφάνεια. Κοντά στην επιφάνεια, η τιμή τους άγγιξε τα 20m/s. Αντίθετα, ο ανατολικός άνεμος έχει μέγιστη τιμή κοντά στην επιφάνεια αλλά είναι αρκετά εξασθενημένος (σχήμα 4.2.2).

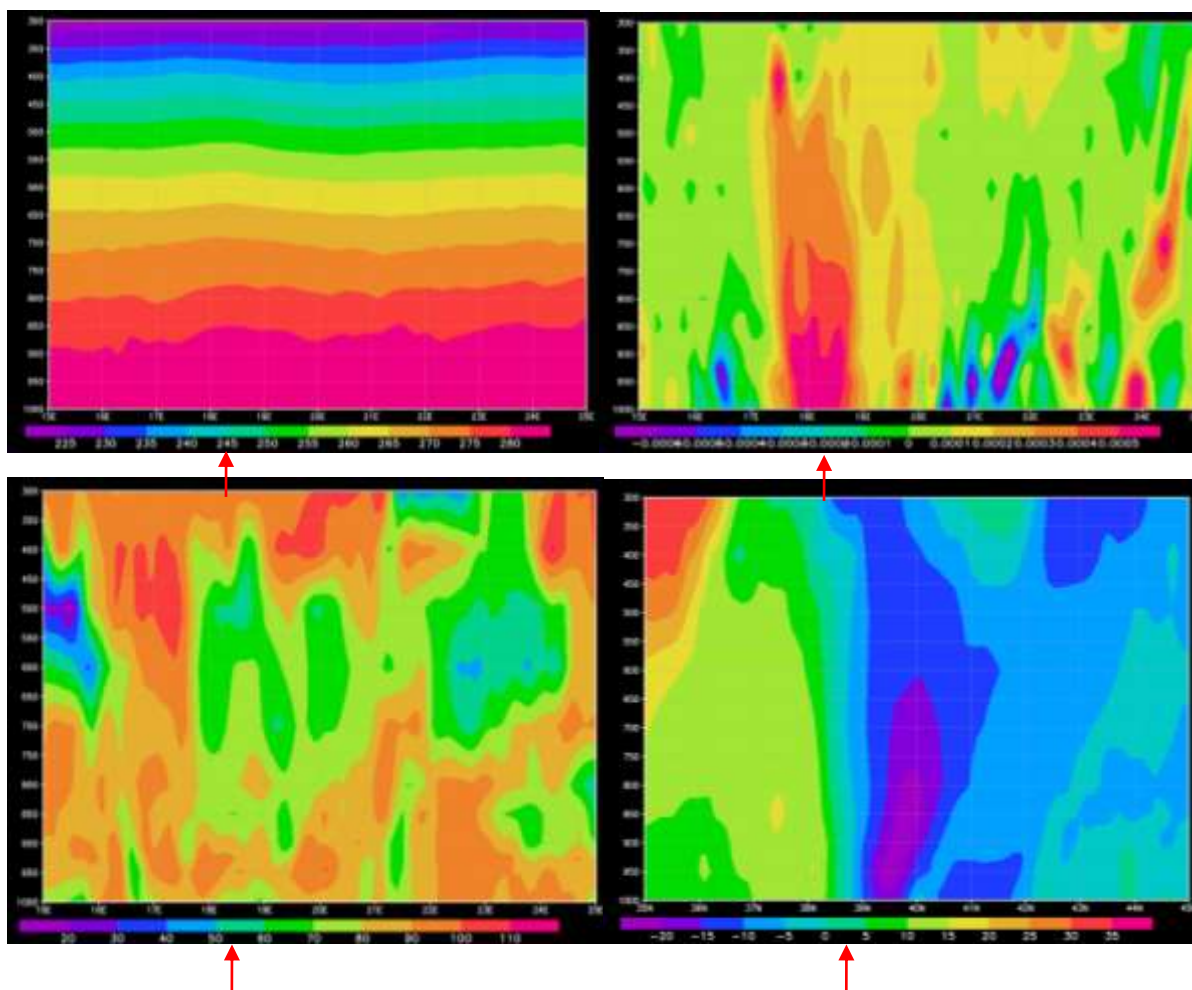


Σχήμα 4.2.2: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 35.79°N και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 17.33°E στις 16 Νοεμβρίου 12UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

4.3 17 Νοεμβρίου

Στις 00UTC η θερμή ανωμαλία του πυρήνα γίνεται ακόμα πιο έντονη όσο πλησιάζει η απόκτηση τροπικών χαρακτηριστικών τις μεσημεριανές ώρες αυτής τις ημέρας. Η ανωμαλία φτάνει ξανά μέχρι τα 300 hPa. Η ενίσχυση της κυκλωνικής κίνησης γίνεται πλέον φανερή ακόμα πιο ψηλά στην ατμόσφαιρα έως και το ύψος του αεροχειμάρρου. Είναι αντιληπτό ότι το σύστημα έχει εισέλθει σε φάση ενίσχυσης. Απουσιάζει επίσης, η αντικυκλωνική κίνηση στην κορυφή όπως στους τυφώνες. Η σχετική υγρασία στα δυτικά του κέντρου είναι

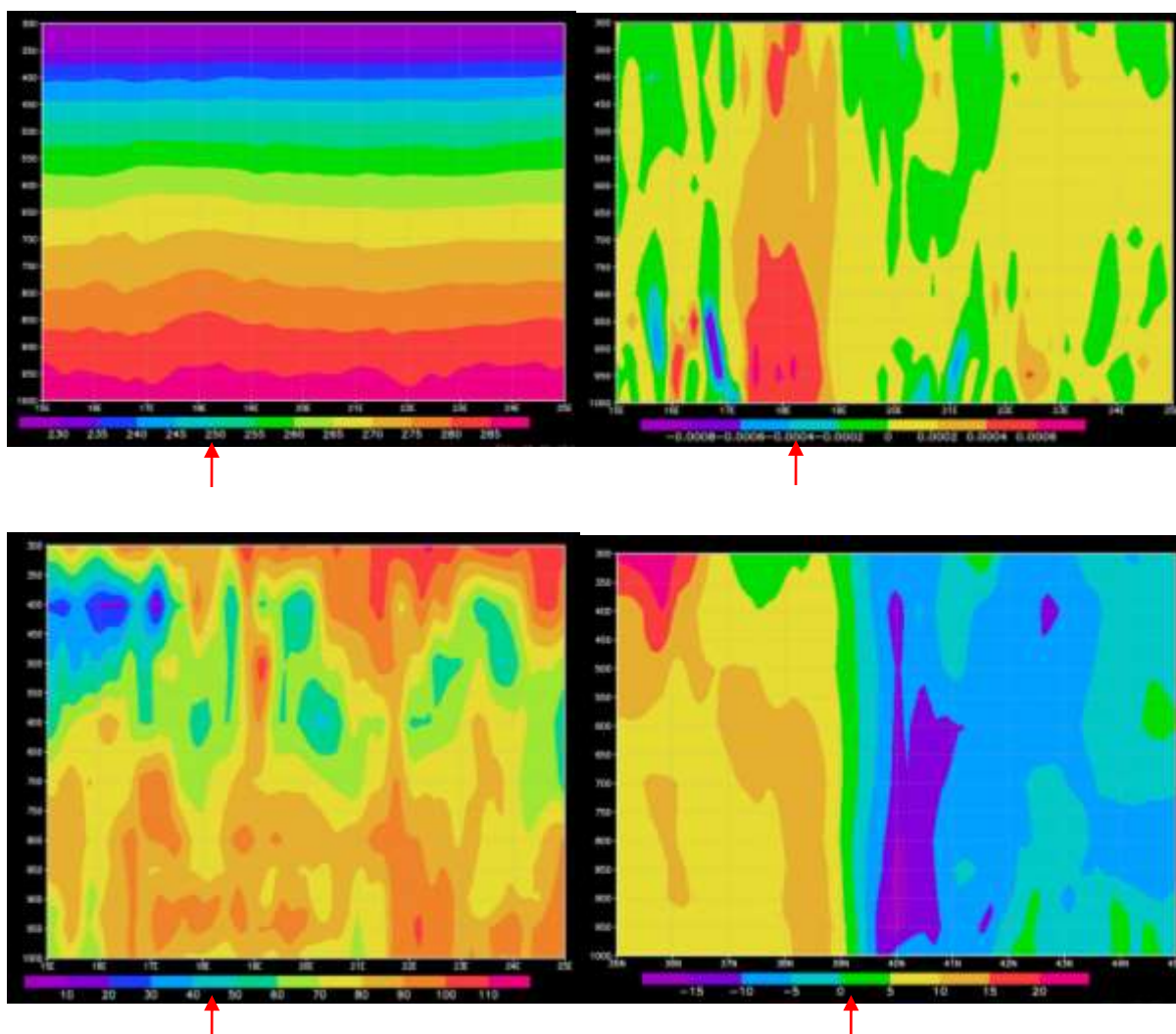
μεγαλύτερη από ό,τι ανατολικά του κέντρου. Χάρη στις υψηλές τιμές εκατέρωθεν του πυρήνα, ευνοείται ο σχηματισμός του τοιχώματος του ματιού (eyewall). Ο πυρήνας εξακολουθεί να είναι υγρός κοντά στην επιφάνεια και ξηρός στο υπόλοιπο τμήμα της τροπόσφαιρας. Ο ζωνικός άνεμος ανατολικής συνιστώσας ενίσχυσε την ταχύτητά του αγγίζοντας τα 20m/s κοντά στην επιφάνεια. Αντίθετα ο δυτικός άνεμος, σημείωσε μικρή μείωση της ταχύτητας του προσεγγίζοντας τα 15m/s. Όπως υποδεικνύεται, οι ταχύτητες των ανέμων δυτικής και ανατολικής διεύθυνσης σχεδόν συμπίπτουν. Η διάτμηση του ανέμου είναι έντονη κοντά στην επιφάνεια (σχήμα 4.3.1).



Σχήμα 4.3.1: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 38.68°B και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 18.25°A στις 17 Νοεμβρίου 00UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

Στις 12UTC από μεριάς θερμοκρασιών, παρατηρείται εντονότερη καμπή στην περιοχή του κέντρου μέχρι και την περιοχή των 650 hPa. Επομένως, ενισχύθηκε περαιτέρω η θερμή ανωμαλία του πυρήνα. Αξιοσημείωτη είναι η έντονη παρουσία σχετικού στροβιλισμού ακόμα και στην ανώτερη τροπόσφαιρα σχετικός στροβιλισμός παρουσιάζει έντονες εξάρσεις ($>4 \times 10^{-4} s^{-1}$) από την επιφάνεια μέχρι και τα 700 hPa και από τα 450 hPa μέχρι και

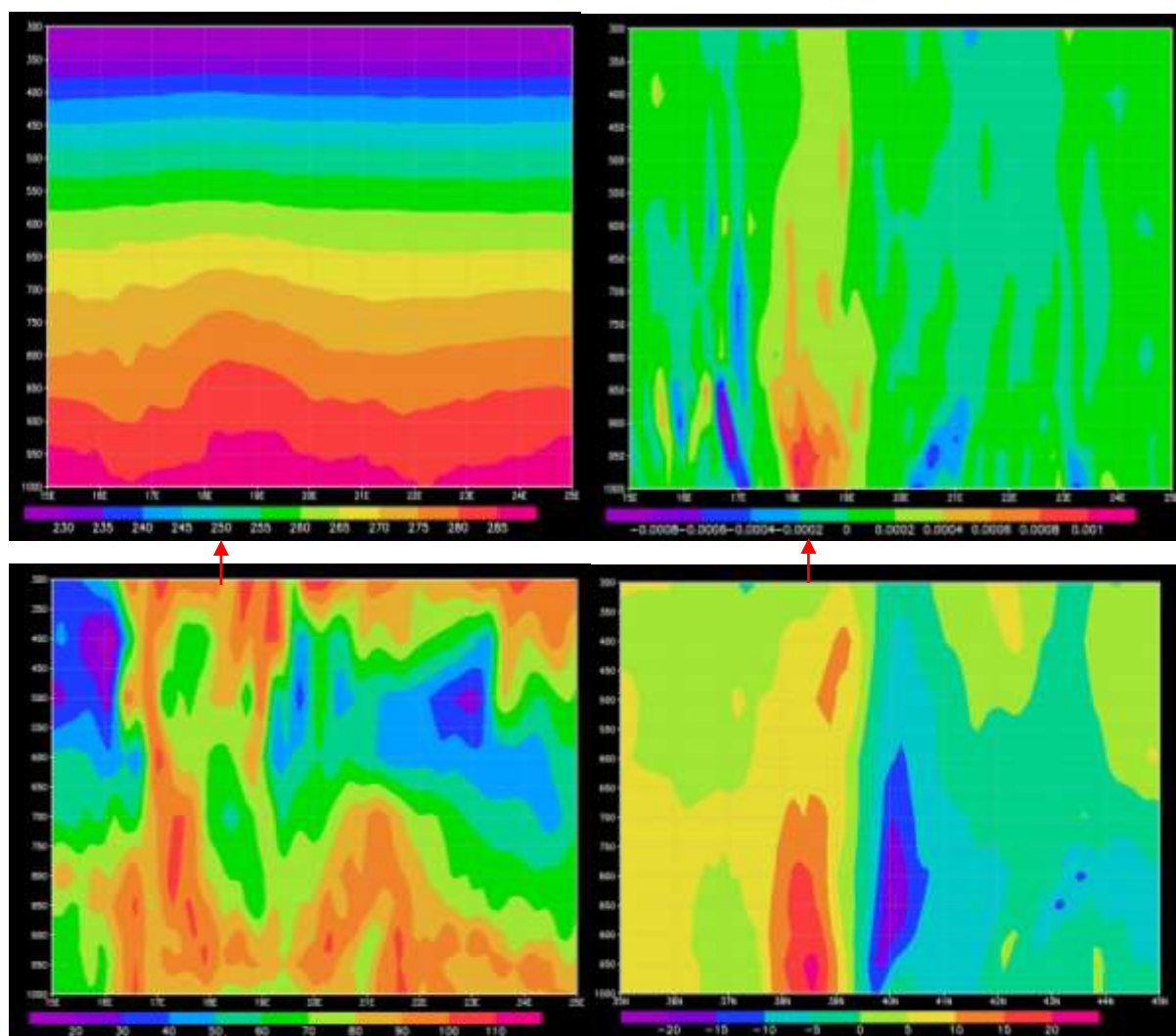
τα 300 hPa. Είναι φανερό ότι υπάρχει έντονη κυκλογενετική δραστηριότητα σε όλο το ύψος της κατακόρυφης στήλης. Μεγάλες τιμές σχετικής υγρασίας, υπήρξαν στην περιοχή του κέντρου και μέχρι τα 850 hPa (>80%). Η περιοχή 850-450 hPa αποτελεί μία σχετικά ξηρή περιοχή λόγω των καθοδικών κινήσεων στο μάτι, ενώ η υγρασία αυξάνεται ξανά πάνω από τα 450 hPa. Επιπροσθέτως, με εξαίρεση το στρώμα 600-300 hPa, η σχετική υγρασία παρουσίαζε ίδιες τιμές εκατέρωθεν του κέντρου, έχοντας ως αποτέλεσμα την συγκρότηση τοιχώματος του ματιού. Στην κατακόρυφη τομή του ζωνικού ανέμου διαπιστώνεται πως οι μέγιστες τιμές σημειώνονται πλησίον της επιφάνειας, όπως συμβαίνει και με τους τυφώνες. Οι δυτικοί άνεμοι είχαν μέγιστη ταχύτητα τα 15m/s, ενώ οι ανατολικοί τα 20m/s. Η διάτμηση είναι μέγιστη κοντά στην επιφάνεια. Το σύστημα από τις μεσημεριανές ώρες τις ημέρας αποτελεί πλέον έναν μεσογειακό κυκλώνα σύμφωνα με τις δορυφορικές εικόνες. Είναι ευδιάκριτο ένα καλοσηματισμένο μάτι. Η οριζόντια διάτμηση εμφανίζεται ακόμα έντονη κοντά στην επιφάνεια (σχήμα 4.3.2).



Σχήμα 4.3.2: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 39.22°B και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 18.11°A στις 17 Νοεμβρίου 12UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

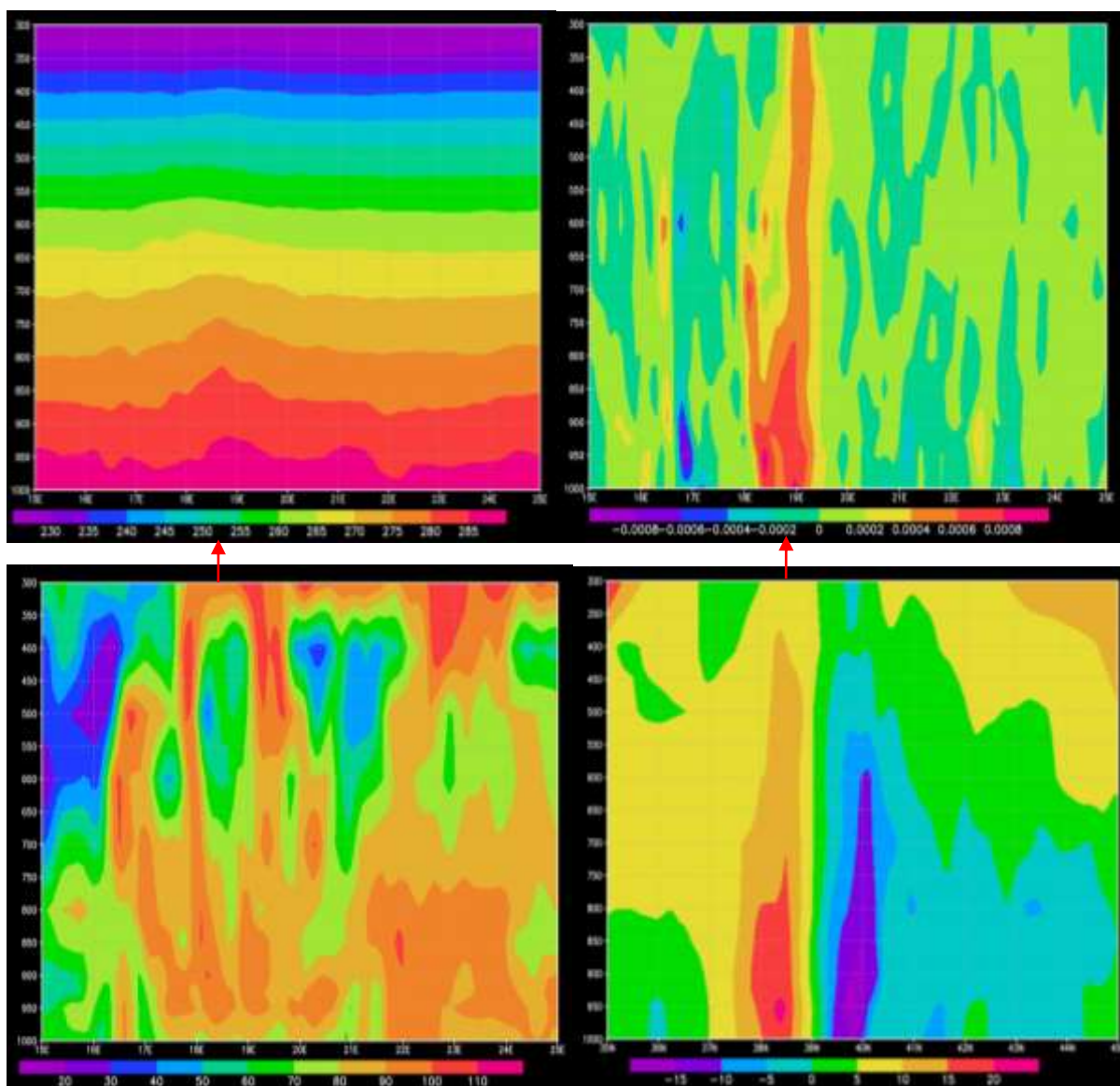
4.4 18 Νοεμβρίου

Στις 00UTC καθώς το σύστημα είναι πλέον μεσογειακός κυκλώνας, η θερμή ανωμαλία του πυρήνα γίνεται ακόμα περισσότερη έντονη. Ο πυρήνας παρουσιάζει σημαντικές θερμοκρασιακές διαφορές με το περιβάλλον κυρίως μέχρι τα 650 hPa. Ο κυκλώνας απέκτησε μεγαλύτερες τιμές σχετικού στροβιλισμού οι οποίες άγγιξαν ή και ξεπέρασαν τα 10^{-3} s^{-1} κοντά στην επιφάνεια. Ο σχετικός στροβιλισμός παραμένει έντονος ακόμα μέχρι τα 300 hPa. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία ο πυρήνας παραμένει υγρός κοντά στην επιφάνεια και γίνεται ξηρότερος ανεβαίνοντας πιο ψηλά στην ατμόσφαιρα. Εκατέρωθεν, του κέντρου, συνεχίζει να υπάρχει το τοίχωμα του ματιού. Οι τιμές ταχύτητας του ζωνικού ανέμου νότια του κέντρου είναι $>20 \text{ m/s}$ πολύ κοντά στην επιφάνεια, ενώ βόρεια είναι 10-15 m/s στην επιφάνεια. Η οριζόντια διάτμηση συνεχίζει να είναι έντονη (σχήμα 4.4.1).



Σχήμα 4.4.1: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 39.29°B και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 18.34°Α στις 18 Νοεμβρίου 00UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

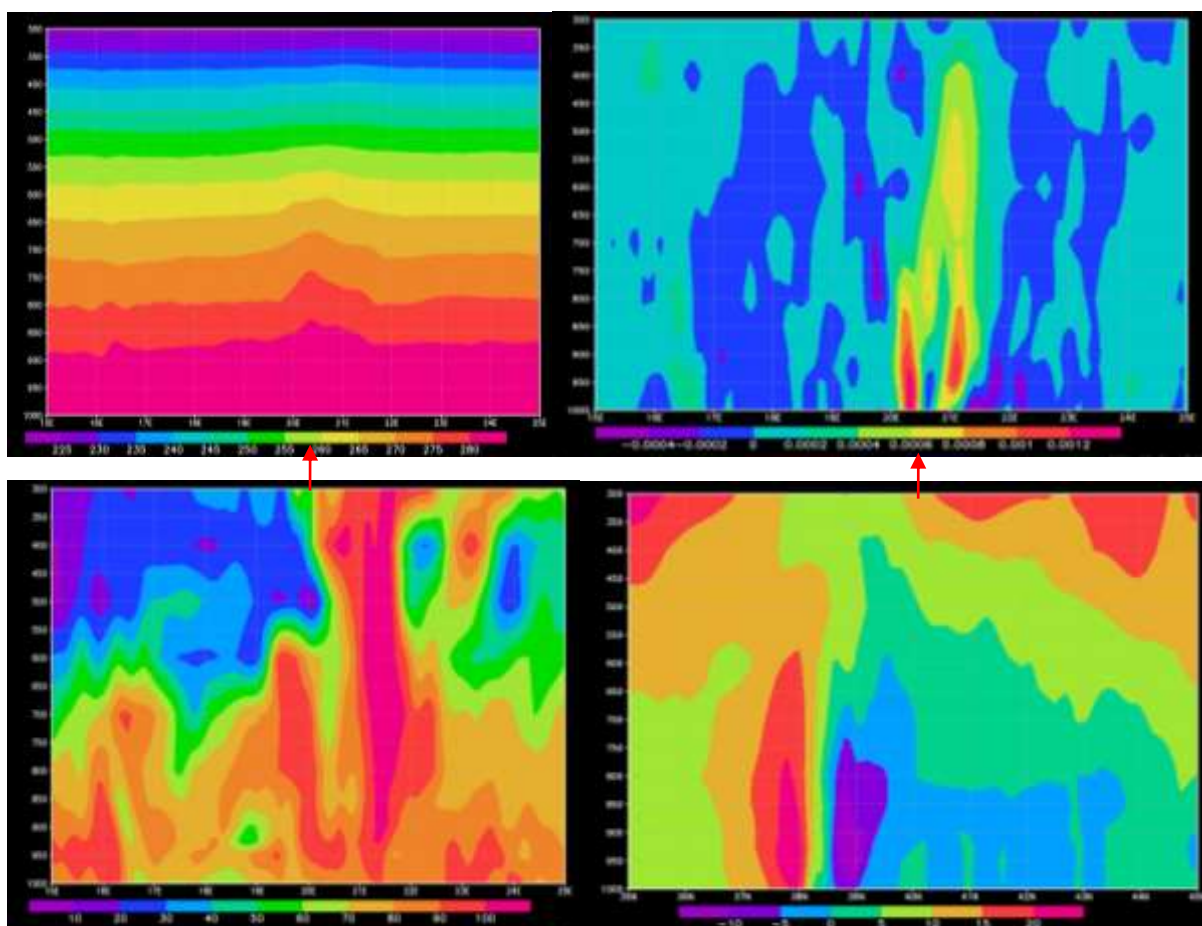
Το σύστημα μέχρι τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας (12UTC) συνιστά έναν μεσογειακό κυκλώνα. Συνεπώς, η θερμή ανωμαλία εξακολουθεί να είναι έντονη, ιδίως μέχρι την επιφάνεια των 600 hPa όπως φαίνεται από το διάγραμμα των ισόθερμων. Πολύ υψηλές ($>4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) είναι οι τιμές του σχετικού στροβιλισμού από την επιφάνεια μέχρι και τα 300 hPa, σχηματίζοντας μία κατακόρυφη στήλη σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα. Στην περιφέρεια του πυρήνα, το τοίχωμα του ματιού κάνει ακόμα έντονη την παρουσία του εφόσον η σχετική υγρασία είναι πολύ υψηλή. Υψηλή παραμένει και η σχετική υγρασία στον πυρήνα κοντά στην επιφάνεια, ενώ μειώνεται σημαντικά στο 40% σε ύψη μεγαλύτερα των 850 hPa. Οι μέγιστες τιμές του ζωνικού ανέμου δυτικής και ανατολικής διεύθυνσης παρουσίασαν αύξηση πλησιάζοντας τα 20m/s. Καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, συνέχισε να υπάρχει έντονη οριζόντια διάτμηση στην επιφάνεια (σχήμα 4.4.2).



Σχήμα 4.4.2: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 39.06°B και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 18.77°A στις 18 Νοεμβρίου 12UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

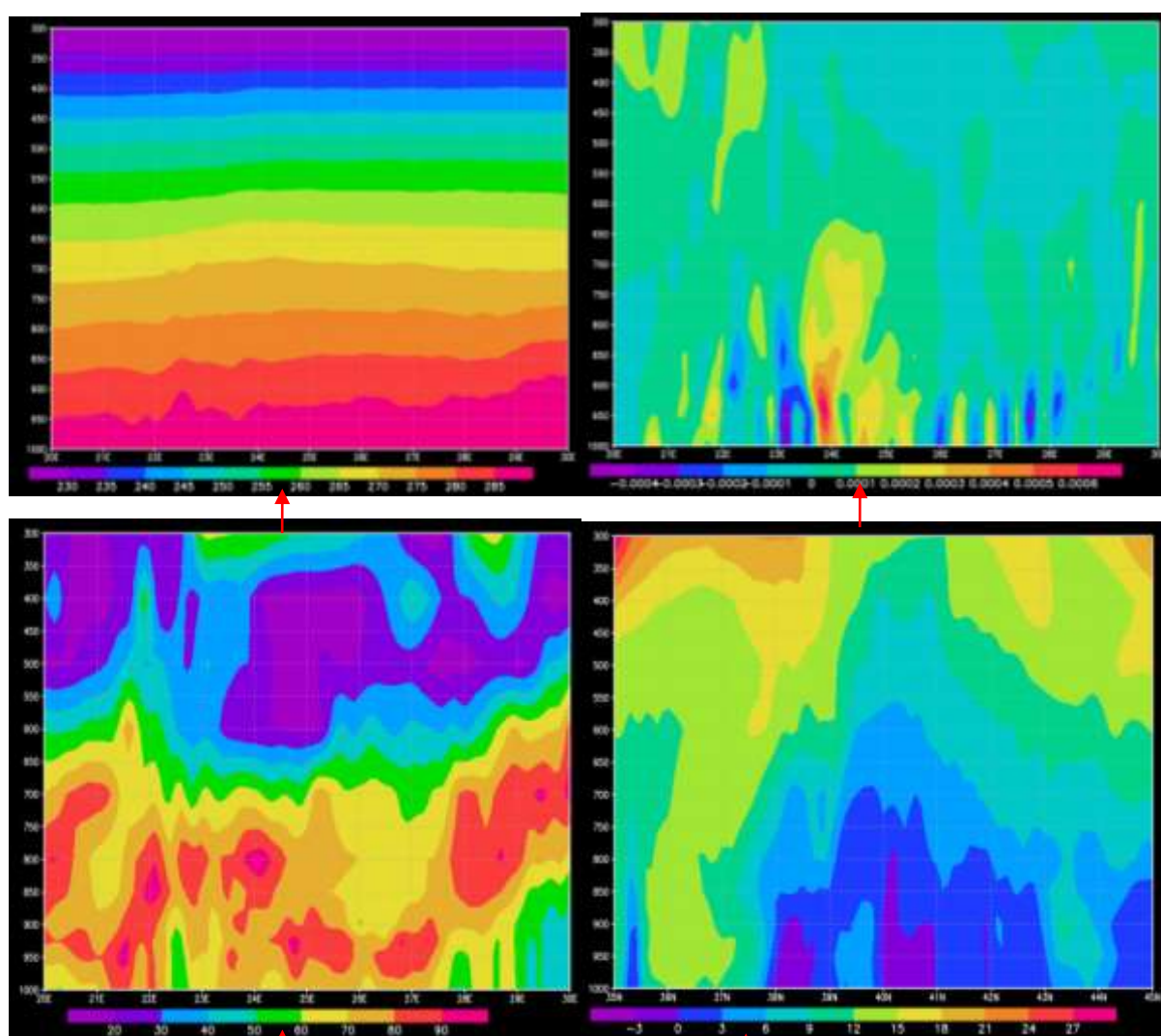
4.5 19 Νοεμβρίου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το σύστημα τις μεσημεριανές ώρες της 18^{ης} Νοεμβρίου έπαψε να αποτελεί έναν μεσογειακό κυκλώνα. Σε αυτή την διαπίστωση συμβάλλουν οι δορυφορικές εικόνες οι οποίες δείχνουν ότι απουσιάζουν πλέον οι δομές του ματιού και του τοιχώματος του ματιού. Παρόλα αυτά, στις 00UTC παρουσιάζει ακόμα έντονη θερμή ανωμαλία σε σχέση με το περιβάλλον. Αντίθετα, οι τιμές του σχετικού στροβιλισμού πάνω από το κέντρο ελαττώθηκαν παραμένοντας μεγάλες κοντά στην επιφάνεια μέχρι τα 850 hPa. Μάλιστα σε κάποια σημεία η ροή γίνεται αντικυκλωνική. Παρόλα αυτά, ανατολικά του κέντρου, ο σχετικός στροβιλισμός διατηρεί τις υψηλές τιμές του μέχρι τα 350 hPa. Στην περιοχή του πυρήνα η σχετική υγρασία έχει αυξηθεί καθ' ύψος, ενώ συγχρόνως παραμένει υψηλή περιφερειακά του κέντρου. Ειδικά, ανατολικά του κέντρου η ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη σε υδρατμούς. Ο ζωνικός άνεμος παρουσιάζει μεγάλη διάτμηση όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Πιο συγκεκριμένα ο δυτικός άνεμος φτάνει τα 25m/s την στιγμή που ο ανατολικός είναι 10-15 m/s. Η οριζόντια διάτμηση είναι ακόμα έντονη (σχήμα 4.5.1).



Σχήμα 4.5.1: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις 38.44°N και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις 20.46°E στις 19 Νοεμβρίου 00UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

Στις 12UTC το σύστημα συνέχισε να εξασθενεί κάνοντας μετάβαση πάνω από την Ελλάδα. Η θερμή ανωμαλία το πυρήνα, ακόμα παρουσιάζεται αλλά έχει ελαττωθεί σημαντικά σε σχέση με το περιβάλλον. Η ένταση της κυκλωνικής ροής έχει μειωθεί πάνω από το κέντρο του χαμηλού. Το ίδιο ισχύει και για την περιοχή ανατολικά του κέντρου. Αντίθετα στα δυτικά, παρουσιάζεται μία πιο έντονη κυκλωνικότητα, η οποία όμως περιορίζεται και αυτή κοντά στην επιφάνεια μέχρι τα 850 hPa ενώ στα πιο ψηλά τμήματα της ατμόσφαιρα γίνεται υποτυπώδης. Το κέντρο καταλήγει ακόμα υγρότερο μέχρι τα 700 hPa, ενώ στην μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα παρατηρείται μεγάλη ξηρότητα (<20%). Για τις περιοχές δυτικά και ανατολικά του κέντρου η κατανομή της υγρασίας είναι ίδια. Η ταχύτητα του ανατολικού ανέμου μειώθηκε περαιτέρω στα 3m/s, ενώ ο δυτικός άνεμος διατήρησε τις σχετικά υψηλές ταχύτητες (15m/s). Η οριζόντια διάτμηση, έχει μειωθεί, αποτελώντας δείγμα της σταδιακής διάλυσης της δομής θερμού πυρήνα (σχήμα 4.5.2).



Σχήμα 4.5.2: Κατακόρυφες ζωνικές τομές της θερμοκρασίας (K, πάνω αριστερά), του σχετικού στροβιλισμού (s^{-1} , πάνω δεξιά), της σχετικής υγρασίας (% , κάτω αριστερά) στις $37.68^{\circ}B$ και μεσημβρινές τομές του ζωνικού ανέμου (m/s, κάτω δεξιά) στις $24.50^{\circ}A$ στις 19 Νοεμβρίου 12UTC (πηγή: Επιχειρησιακές αναλύσεις ECMWF).

Οι μεσογειακοί κυκλώνες τράβηξαν την προσοχή των ερευνητών τις τελευταίες δεκαετίες. Καθοριστικό ρόλο στην αναγνώριση αυτών των ξεχωριστών συστημάτων διαδραμάτισε η ανάπτυξη της δορυφορικής μετεωρολογίας. Ακόμα και σήμερα, δεν έχει καταστεί δυνατός ένας πλήρως αποδεκτός ορισμός για τους μεσογειακούς κυκλώνες (Romero and Emanuel 2013). Οι ευνοϊκότερες περιοχές σχηματισμού είναι η δυτική Μεσόγειος και η λεκάνη του Ιονίου πελάγους. Οι επιπτώσεις μπορούν να εκδηλωθούν σε όλες τις παραμεσόγειες χώρες, συμπεριλαμβανόμενων και Αφρικανικών κρατών. Οι συνέπειες ποικίλουν από ανεμοστρόβιλους, ισχυρούς ανέμους, έντονες βροχοπτώσεις μέχρι τεράστιες οικονομικές ζημιές και απώλειες ανθρώπινων ζωών. Από διάφορους μελετητές έχουν προταθεί διαφορετικές συχνότητες εμφάνισης ανάλογα με τα κριτήρια αναγνώρισης που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι μεσογειακοί κυκλώνες αποτελούν συστήματα τα οποία έχουν αντλήσει τα χαρακτηριστικά τους τόσο από τους τροπικούς κυκλώνες όσο και από τα πολικά χαμηλά του Β. ημισφαιρίου. Τα χαρακτηριστικά τους δηλαδή είναι προϊόν μείξης. Σε αντίθεση με τους τροπικούς κυκλώνες, μπορούν να σχηματιστούν και πάνω από ψυχρά ύδατα τον χειμώνα. Οι τροπικοί κυκλώνες απαιτούν θερμοκρασίες θάλασσας πάνω από 26°C. Επιπροσθέτως, για τους μεσογειακούς κυκλώνες είναι εξίσου σημαντικές οι ροές λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας ενώ για τους τροπικούς πιο σημαντικό ρόλο επιτελούν οι ροές λανθάνουσας θερμότητας. Άλλη διαφορά αποτελεί η διάρκεια ζωής και η έκταση των συστημάτων με τους τροπικούς κυκλώνες να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και να καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση λόγω της διαφορές μεγέθους της Μεσογείου με τον ανοιχτό ωκεανό. Υπάρχουν ομοιότητες όπως ο θερμός και ανέφελος πυρήνας, η κατανομή των νεφών σε σπειροειδείς μπάντες και η χαμηλή διάτμηση του ανέμου. Η εξάρτηση εξίσου από τις ροές λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των μεσογειακών κυκλώνων και των πολικών χαμηλών.

Σκοπό της εργασίας αποτέλεσε η ανάλυση ενός βαρομετρικού χαμηλού το οποίο στην πορεία του απέκτησε χαρακτηριστικά μεσογειακού κυκλώνα την περίοδο 15-19 Νοεμβρίου με τις ονομασίες Medicane Numa από το Free University of Berlin και μεσογειακός κυκλώνας Ζήνων από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ). Χρησιμοποιήθηκαν επιχειρησιακά πλεγματικά δεδομένα του ECMWF, δορυφορικά δεδομένα, δεδομένα SYNOP, δεδομένα για την κεραυνική δραστηριότητα και συνοπτικοί χάρτες επιφανείας και δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας.

Στις 15 Νοεμβρίου 2017 το μητρικό χαμηλό προερχόμενο από την ηπειρωτική Ιταλία βρέθηκε στον χώρο της Τυρρηνικής Θάλασσας. Στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα υπήρχε ένα ψυχρό αποκομμένο χαμηλό των υψών. Επίσης, έντονη ήταν η παρουσία του δυναμικού στροβιλισμού με το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης να φτάνει έως την μέση τροπόσφαιρα. Ο αυλώνας των προηγούμενων ημερών ο οποίος εκτεινόταν από την βόρεια

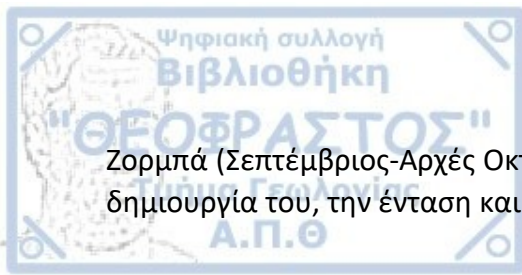
Ευρώπη μέχρι την Ιταλία, αποκόπηκε τις απογευματινές ώρες της 14^{ης} Νοεμβρίου με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός κλειστού χαμηλού στην μέση τροπόσφαιρα. Η παρουσία ενός κλειστού ή αποκομμένου ψυχρού χαμηλού στην μέση-ανώτερη τροπόσφαιρα και το ύψος του δυναμικού στροβιλισμού διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό ενός μεσογειακού κυκλώνα.

Μέσα στην ημέρα το χαμηλό κινήθηκε προς τα νότια, την Σικελία και την Μάλτα. Διερχόμενο από τις Αιολίδες Νήσους προκάλεσε σημαντική πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης με ελάχιστη τιμή 1005.6 hPa στο νησί Pantelleria και αντίστοιχη ενίσχυση των ανέμων. Την επόμενη ημέρα, στις 16 Νοεμβρίου, η Μάλτα ήταν η περιοχή την οποία χτύπησε το σύστημα. Αντίστοιχα, με τις Αιολίδες Νήσους, παρατηρήθηκε πτώση της πίεσης και αντίστοιχη ενίσχυση των ανέμων. Έντονη εξακολουθούσε να είναι η παρουσία του αυλώνα και του δυναμικού στροβιλισμού. Τις απογευματινές ώρες το σύστημα βρισκόμενο ανατολικά της Μάλτας, απέκτησε βόρεια τροχιά και κατευθύνθηκε προς το Ιόνιο. Εκεί το σύστημα εισήχθη σε φάση ενίσχυσης ώστε τις μεσημεριανές ώρες της 17^{ης} Νοεμβρίου εμφάνισε χαρακτηριστικά μεσογειακού κυκλώνα. Το μάτι του κυκλώνα έγινε εμφανές από τις δορυφορικές εικόνες. Ο κυκλώνας παρέμεινε στάσιμος για 24 ώρες μέχρι τις μεσημβρινές ώρες της 18^{ης} Νοεμβρίου με μικρές μετατοπίσεις του κέντρου του στο βόρειο Ιόνιο. Από τις 17/11 00UTC μέχρι τις 18/11 18UTC άφησε πολλά χιλιοστά βροχής στην Απουλία με χαρακτηριστικά παραδείγματα τις πόλεις Lecce (37.2 mm) και Otranto (84 mm). Το ίδιο συνέβη και στα Ιόνια Νησιά. Μάλιστα, στην Κέρκυρα οι άνεμοι παρουσίασαν ενίσχυση με μέγιστη τιμή τα 33.5 Km/hr. Σύμφωνα με τον δορυφόρο GPM-IMERG, στις 17 Νοεμβρίου παρουσιάστηκαν δύο μέγιστα νότια της Απουλίας και δυτικά της Κέρκυρας με τιμή 150 mm.

Από τις απογευματινές ώρες της 18^{ης} Νοεμβρίου, το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης αυξήθηκε και ο αυλώνας ακολούθησε ΒΑ τροχιά. Αυτά είχαν ως αποτέλεσμα την διακοπή της τροφοδοσίας του επιφανειακού χαμηλού και την επακόλουθη εξασθένηση του. Πράγματι, στις 19 Νοεμβρίου το χαμηλό έκανε μετάβαση πάνω από την ηπειρωτική χώρα (Βόρεια Πελοπόννησος, Στερεά Ελλάδα) και συνέχισε την πορεία του μέχρι το Αιγαίο για να διαλυθεί στις ακτές της Μικράς Ασίας. Η κεραυνική δραστηριότητα ήταν έντονη μέχρι το σύστημα να εισέλθει στην ώριμη φάση και να αποτελέσει μεσογειακό κυκλώνα. Από την έναρξη της ώριμης φάσης η κεραυνική δραστηριότητα εξασθένησε σημαντικά όπως συμβαίνει συνήθως στους μεσογειακούς κυκλώνες.

Το σύστημα παρουσίασε θερμό πυρήνα ο οποίος ήταν πιο έντονος στις 18 Νοεμβρίου, ημέρα που το σύστημα αποτελούσε έναν μεσογειακό κυκλώνα. Όσον αφορά τον σχετικό στροβιλισμό σημειώθηκαν σε γενικές γραμμές υψηλές τιμές ($>4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) με την μέγιστη τιμή να είναι 10^{-3} s^{-1} . Ο στρόβιλος ήταν πιο συμπαγής στις 17 και 18 Νοεμβρίου.

Η διερεύνηση και η μελέτη έντονων καιρικών φαινομένων και ειδικότερα των μεσογειακών κυκλώνων έχει μεγάλη σημασία. Ο λόγος είναι πως ξεκαθαρίζουν στους ερευνητές και τους επιχειρησιακούς μετεωρολόγους τη δομή αυτών των ισχυρών και με μεγάλη επίδραση διαταραχών καθώς και το περιβάλλον μέσα στο οποίο αναπτύσσονται. Για μελλοντική έρευνα προτείνεται η διερεύνηση της προγνωσιμότητας των μεσογειακών κυκλώνων



Ζορμπά (Σεπτέμβριος-Αρχές Οκτωβρίου 2018) και Ιανού (Σεπτέμβριος 2020) σχετικά με την δημιουργία του, την ένταση και την πορεία τους.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία:

- Bergeron, T. (1954). The problem of tropical hurricanes. Q. J. R. Meteorol. Soc., 80, 131-164.
- Bouin M.N. and Brossier C.L. (2020). Impact of a medicane on the oceanic surface layer from a coupled, kilometre-scale simulation. Ocean Sci., 16, 1125–1142.
- Cavicchia L., von Storch H. and Gualdi S. (2014). A long-term climatology of medicanes. Clim. Dyn., 43, 1183–1195.
- Cioni G., Malguzzi P. and Buzzi A. (2016). Thermal structure and dynamical precursor of a Mediterranean tropical-like cyclone. Q. J. R. Meteorol. Soc., 142, 1757–1766.
- Craig G.C. and Gray S.L. (1996). CISK or WISHE as the mechanism for tropical cyclone intensification. J. Atmos. Sci., 53, 3528–3540.
- Charney J. G. and Eliassen A. (1964). On the growth of the hurricane depression. J. Atmos. Sci., 21, 68-75.
- Emanuel K.A. (1987). An air-sea interaction theory for tropical cyclones. J. Atmos. Sci., 43, 585-605.
- Emanuel K.A. (1994). Atmospheric Convection. Oxford Univ.Press, Oxford.
- Flaounas E., Raveh-Rubin S., Wernli H., Drobinski P. and Bastin S., 2015. The dynamical structure of intense Mediterranean cyclones. Clim. Dyn., 44 (9–10), 2411–2427.
- Gray W.M. (1979). Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation, Meteorology Over Tropical Oceans. D. B. Shaw (Ed.), Roy. Meteorol. Soc., James Glaisher House, Grenville Place, Bracknell, Berkshire, RG12 1BX, 155-218.
- Holton J.R. (1972). An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press, New York, pp.319.
- Homar V., Romero R., Stensrud D.J., Ramis C. and Alonso S. (2003). Numerical diagnosis of a small, quasi-tropical cyclone over the western Mediterranean: Dynamical vs. boundary factors. Ann. of Geophys., 20, 93–106.
- Huffman, G.J., E.F. Stocker, D.T. Bolvin, E.J. Nelkin, Jackson Tan (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).

- Kerkmann J. and Bachmeier S. (2011). Development of a tropical storm in the Mediterranean Sea (6–9 November 2011). Available at: <https://www.eumetsat.int/tropical-storm-develops-mediterranean-sea> (last access: 05 September 2021).
- Lagouvardos K., Kotroni V., Nickovic S., Jovic D. and Kallos G. (1999). Observations and model simulations of a winter sub-synoptic vortex over the Central Mediterranean. *Meteor. Appl.*, 6, 371–383.
- Landsea C.W., Bell G.D., Gray W.M and Goldenberg W.M. (1998). The extremely active 1995 Atlantic Hurricane Season: Environmental Conditions and Verification of Seasonal Forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1174-1193.
- Marra A.C., Federico S., Montopoli M., Avolio E., Baldini L., Casella D., D’Adderio L.P., Dietrich S., Sanò P., Torcasio R.C. and Panegrossi G. (2019). The Precipitation Structure of the Mediterranean Tropical-Like Cyclone Numa: Analysis of GPM Observations and Numerical Weather Prediction Model Simulations. *Remote Sensing*, 11, 1690.
- Michaelides S., Karacostas T., Sánchez J.L., Retalis A., Pytharoulis I., Homar V., Romero R., Zanis P., Giannakopoulos C., Bühl J., Ansmann A., Merino A., Melcón P., Lagouvardos K., Kotroni V., Bruggeman A., López-Moreno J.I., Berthet C., Katragkou E., Tymvios F., Hadjimitsis D.G., Mamouri R.E. and Nisantzi A. (2018). Reviews and perspectives of high impact atmospheric processes in the Mediterranean. *Atmos. Res.*, 208, 4-44.
- Miglietta M.M., Moscatello A., Conte D., Mannarini G., Lacorata G. and Rotunno R. (2011). Numerical analysis of a Mediterranean ‘hurricane’ over south-eastern Italy: Sensitivity experiments to sea surface temperature. *Atmos. Res.*, 101, 412–426.
- Miglietta M.M., Laviola S., Malvaldi A., Conte D., Levizzani V. and Price, C. (2013). Analysis of tropical-like cyclones over the Mediterranean Sea through a combined modeling and satellite approach. *Geophys. Res.*, 40, 2400-2405.
- Miglietta M. M., Cerrai D., Laviola S., Cattani E. and Levizzani V.(2017). Potential vorticity patterns in Mediterranean “hurricanes”. *Geophys. Res.*, 44, 2537–2545.
- Miglietta M. M., Rotunno R. (2019). Development Mechanisms for Mediterranean Tropical-Like Cyclones (Medicanes). *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 2019.
- Nastos P.T., Papadimou K.K. and Matsangouras I.T. (2018). Mediterranean tropical-like cyclones: Impacts and composite daily means and anomalies of synoptic patterns. *Atmos. Res.*, 206, 156–166.
- Palmen E., 1948. On the formation and structure of tropical hurricanes. *Geophys.* 3, 26–38.
- Pettersen S. (1956). *Weather Analysis and Forecasting*, Mac Graw Hill, New York.
- Pytharoulis I., Craig G.C. and Ballard S.P. (2000). The hurricane-like Mediterranean cyclone of January 1995. *Meteorol. Appl.*, 7, 261–279.
- Pytharoulis I. (2018). Analysis of a Mediterranean tropical-like cyclone and its sensitivity to the sea surface temperatures. *Atmos. Res.*, 208, 167-179.

- Rasmussen E. (1979). The polar low as an extratropical CISK disturbance. Q. J. R. Meteorol. Soc., 105, 531-549.
- Romero R. and Emanuel K.A. (2013). Mediane risk in a changing climate. J. Geophys. Res. Atmos., 118, 5992–6001.
- Rotunno R. and Emanuel K.A. (1987). An Air-sea Interaction for Tropical Cyclones. Part II: Evolutionary Study Using Nonhydrostatic Axisymmetric Numerical Model. J. Atmos. Sci., 44, 542-561.
- Shea D.J. and Gray W.M. (1973). The hurricane's inner core region: I. Symmetric and asymmetric structure, II: Thermal stability and dynamic characteristics. J. Atmos. Sci., 30, 1544-1576.
- Tous, M. and Romero, R. (2013). Meteorological environments associated with mediane Development. Int. J. Climatol., 33, 1-14.
- Yair Y., Lynn B., Price C., Kotroni V., Lagouvardos K., Morin E., Mugnai A. and Llasat M.d.C., 2010. Predicting the potential for lightning activity in Mediterranean storms based on the WRF model dynamic and microphysical fields. J. Geophys. Res., 115, D04205.
- Zahn M. and Storch V.H. (2008). Tracking Polar Lows in CLM. Meteorologische Zeitschrift, 17, 445-453.
- Zahn M. and Storch V.H. (2010). Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming. Nature, 467, 309-312.

Ελληνική βιβλιογραφία:

- Δημητριάδου Κ. (2017).Δορυφορική μελέτη βαρομετρικών χαμηλών με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στη Μεσόγειο.Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας,Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καρτάλης, Κ. και Φείδας, Χ. (2012). Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη.
- Μακρογιάννης Τ.Ι. και Σαχσαμάνογλου (2004). Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας. Εκδόσεις Χάρης.Θεσσαλονίκη
- Παρανός Χ. (2016).Συνοπτική και αριθμητική μελέτη βαρομετρικών χαμηλών με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στη Μεσόγειο.Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης,Τμήμα Γεωλογίας,Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



Διαδίκτυο:

-<https://www.esa.int/>

-<https://www.skybrary.aero/>

-<https://www.metoffice.gov.uk/>

-<https://earthobservatory.nasa.gov/>

-<https://www.ecmwf.int/>

-<https://terra.nasa.gov/>

-<https://gpm.nasa.gov/>

-<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>

-<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

-<https://www.meteo.gr/>

-<https://www.meteo.gr/talos>

-<http://www1.wetter3.de/>

- <http://www.meteomanz.com/>

- <https://www.madalvee.com/>

- <https://www.aoml.noaa.gov/>

- <https://psl.noaa.gov/>

- <https://www.nhc.noaa.gov/>

-<http://cola.gmu.edu/grads/>