



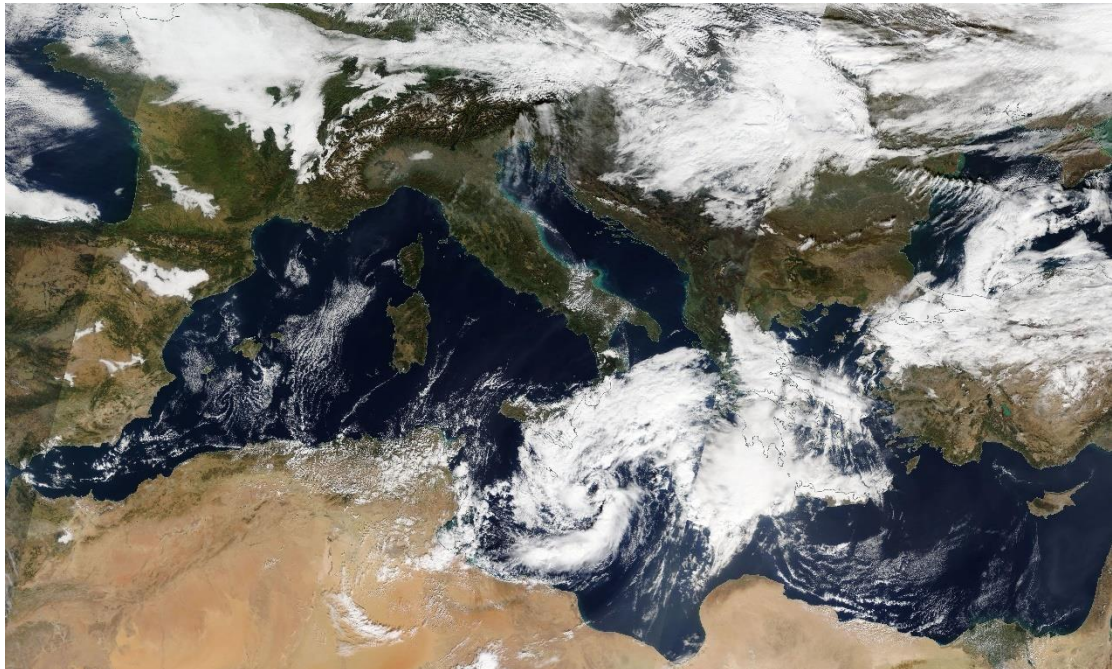
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΩΤΙΑΔΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ-ΘΕΟΧΑΡΗΣ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ
2016

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020



ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016



ΦΩΤΙΑΔΗΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ-ΘΕΟΧΑΡΗΣ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας ΑΕΜ: 5252

**ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Αναπληρωτής Καθηγητής Πυθαρούλης Ιωάννης

© Σωτήριος-Θεοχάρης Π. Φωτιάδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας
Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016 –
Διπλωματική Εργασία

© Sotirios-Theocharis P. Fotiadis, School of Geology, Dept. of Meteorology and
Climatology, 2020

All rights reserved. SYNOPTIC ANALYSIS OF THE MEDITERRANEAN
TROPICAL-LIKE CYCLONE OF OCTOBER 2016 – *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: Δορυφορική εικόνα του MODIS (Terra) στην οποία φαίνεται ο
Μεσογειακός Κυκλώνας στις 29/10/2016 στις 10:25 UTC.*

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	7
Περίληψη	8
Abstract.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	10
Εισαγωγή – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	10
1.1 Μεσογειακοί Κυκλώνες.....	10
1.2 Γεωγραφική κατανομή και επιπτώσεις Μεσογειακών Κυκλώνων	13
1.3 Ανασκόπηση παλαιότερων Μεσογειακών Κυκλώνων.....	15
1.3.1 Ιανουάριος 1995.....	16
1.3.2 Νοέμβριος 2014	18
1.4 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	21
Δεδομένα-Μεθοδολογία	21
2.1 Δεδομένα	21
2.1.1 Δορυφορικά δεδομένα	21
2.1.2 Δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων.....	22
2.1.3 Δεδομένα Αναλύσεων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF).....	23
2.1.4 Μετεωρολογικοί χάρτες UKMET.....	24
2.2 Μεθοδολογία	24
2.2.1 Επεξεργασία Δορυφορικών εικόνων	24
2.2.2 Επεξεργασία επίγειων παρατηρήσεων.....	25
2.2.3 Επεξεργασία Δεδομένων Αναλύσεων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF).....	26
2.2.4 Επεξεργασία Μετεωρολογικών Χαρτών (UKMET)	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	29
Συνοπτική Ανάλυση και Στάδια Εξέλιξης	29
3.1 Ατμοσφαιρικές συνθήκες πριν τη γένεση του κυκλώνα	34
3.2 Στάδιο γένεσης και ωρίμανσης του Μ.Κ.....	36
3.3 Μετάβαση στην Κρήτη και στη Ρόδο - Διάλυση του Μ.Κ.	42
3.4 Θερμοκρασία και Γεωδυναμικά ύψη στα 500 hPa.....	47
3.5 Θερμοκρασία και Γεωδυναμικά ύψη στα 850 hPa.....	51
3.6 Επιφάνεια 2PVU (Δυναμική Τροπόπαυση)	54

3.7 Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας	57
3.8 Διάτμηση του ανέμου (wind shear)	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	60
Δομή του Μεσογειακού Κυκλώνα.....	60
4.1 Κατακόρυφες τομές της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου	60
4.2 Κατακόρυφες τομές της ζωνικής συνιστώσας του ανέμου	63
4.3 Κατακόρυφες τομές της δυναμικής θερμοκρασίας (Θ).....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	69
Σύνοψη και Συμπεράσματα.....	69
Βιβλιογραφία	72

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Συνοπτική ανάλυση του Μεσογειακού Κυκλώνα με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα του Οκτωβρίου 2016» εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας στον τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Φέρνοντας εις πέρας τη συγγραφή της πτυχιακής, θα ήθελα αρχικά να αποδώσω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στον επιβλέποντα της εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας, κ. Ιωάννη Πυθαρούλη, για την πλήρη καθοδήγηση και ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε με σκοπό την αποτελεσματική επιστημονική ανάλυση του συγκεκριμένου θέματος. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις συμβουλές που μου έδωσε καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωνε σε κάθε μας συνάντηση.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στο τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ. καθώς και σε όλους τους καθηγητές που το απαρτίζουν, οι οποίοι με δίδαξαν πολύτιμες γνώσεις όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Επιπλέον, ευχαριστώ τους φορείς UKMO, ECMWF, DUNDEE, NASA και EMY για την παροχή μετεωρολογικών δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και συγκεκριμένα την μητέρα μου Γιώτα, την γιαγιά μου και τον παππού μου, Στέλλα και Σωτήρη καθώς και έναν πολύ καλό μου φίλο από την σχολή, τον Βασίλη για την συμπαράσταση, την κατανόηση και την αμέριστη υποστήριξή τους. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ θα ήθελα να δώσω στον φίλο και συμφοιτητή μου στο τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Ηρακλή Κυριακίδη, για την πολύτιμη βοήθειά του στην αναζήτηση δορυφορικών εικόνων.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τη γένεση και εξέλιξη ενός βαρομετρικού χαμηλού με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στη Μεσόγειο (Μεσογειακός Κυκλώνας – Μ.Κ.). Σε πρώτο στάδιο, γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφορικά με την γένεση, την ανάπτυξη και τα χαρακτηριστικά των Μ.Κ. και περιγράφονται κάποιες περιπτώσεις που έχουν μελετηθεί ευρέως τα προηγούμενα χρόνια. Ενδεικτικά, οι Μ.Κ. παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερα γνωρίσματα, όπως το ανέφelo «μάτι» στο κέντρο του βαρομετρικού χαμηλού και η δομή θερμού πυρήνα. Επίσης, μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές κυρίως στις παράκτιες περιοχές που επηρεάζουν. Σε αυτή την εργασία αναλύθηκαν οι συνοπτικές συνθήκες, η πορεία και η δομή του κυκλώνα. Ένας αυλώνας σχηματίστηκε τις μεσημβρινές ώρες της 26ης Οκτωβρίου 2016 μεταξύ Σαρδηνίας και Ιταλίας, ο οποίος αργότερα ενισχύθηκε από την παρουσία ενός μετωπικού συστήματος, που προκάλεσε τη δημιουργία ενός αποκομμένου χαμηλού στην Κεντρική Μεσόγειο. Στη συνέχεια το βαρομετρικό χαμηλό κινήθηκε πάνω από τη θάλασσα όπου και εμφάνισε τροπικά χαρακτηριστικά στις 28/10/2016 20:00 UTC. Περίπου δύομισι ημέρες μετά πέρασε κοντά από την ξηρά της νότιας Πελοποννήσου και της Κρήτης και πάνω από την Ρόδο όπου σταδιακά διαλύθηκε σε ένα περιβάλλον με ισχυρό διατμητικό άνεμο, διατηρώντας χαρακτηριστικά Μ.Κ. για 58 ώρες. Έντονες κινήσεις ανοδικών ρευμάτων που σχετίζονται με νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης προκάλεσαν έντονες βροχοπτώσεις σε πολλές περιοχές της Μάλτας, της Σικελίας και της Ελλάδας παρουσία ισχυρών ανέμων. Με βάση τη δημιουργία κατακόρυφων τομών, οι άνεμοι φαίνεται ότι ήταν ιδιαίτερα ενισχυμένοι από τις 29/10 στις 12:00 UTC έως τις 31/10 στις 12:00 UTC, δηλαδή συνολικά για 48 ώρες, τόσο στη μεσημβρινή-ν συνιστώσα όσο και στην οριζόντια-υ συνιστώσα του ανέμου. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία διαπιστώθηκε ότι οι πληροφορίες που αντλήθηκαν από τις δορυφορικές εικόνες και από τα διαγράμματα που έγιναν σύμφωνα με τις επίγειες παρατηρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών βρίσκονται σε συμφωνία με τις οριζόντιες και τις κάθετες τομές που κατασκευάστηκαν με βάση τις επιχειρησιακές αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF) καθώς και με τους συνοπτικούς χάρτες UKMET. Το γεγονός αυτό καθιστά το συγκεκριμένο βαρομετρικό χαμηλό μια τυπική περίπτωση ενός Μεσογειακού κυκλώνα.

Abstract

This study deals with the genesis and evolution of a low pressure system with tropical cyclone characteristics in the Mediterranean (MEDITerranean hurriCANE - medicane). In the first place, a literature review is made regarding genesis, development and characteristics of medicanes and then some cases are described which have been studied extensively in previous years. Indicatively, medicanes show some special features, such as a free-cloud “eye” in the center of a barometric low and a warm core structure. They can also cause major damage especially in the affected coastal areas. In this study, the synoptic conditions, the track and the structure of the cyclone were analyzed. A trough formed at noon on October 26 2016 between Sardinia and Italy, which was associated with a frontal system, and caused a cut-off low in the central Mediterranean. Afterwards, the low pressure system moved over the sea where it started to exhibit tropical-like characteristics on 28/10/2016 20:00 UTC. About two and a half days later it passed near landfall of the southern Peloponnese and Crete and over Rhodes where it gradually disintegrated in a high vertical wind-shear environment, maintaining its medicane profile for 58 hours. Strong upward movements associated with deep convection caused heavy precipitation in many areas of Malta, Sicily and Greece in the presence of strong winds. Based on the creation of zonal sections, the winds seem to have been particularly strong from 29/10 at 12:00 UTC to 31/10 at 12:00 UTC, i.e., for a total of 48 hours, both in the meridional-v and horizontal-u component of the wind. Finally, the conclusions are presented in which it was found that the information obtained from the satellite images and the diagrams made by ground observations of the meteorological stations are in accordance with the horizontal and vertical sections based on the operational analyzes of the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) as well as the UKMET synoptic charts. This fact reveals that this Mediterranean cyclone exhibited typical tropical-like characteristics.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1.1 Μεσογειακοί Κυκλώνες

Η λεκάνη της Μεσογείου αποτελεί μια περιοχή αρκετά επιρρεπή στη δημιουργία κυκλογένεσης (Petterssen, 1956). Οι μεγάλες ορεογραφικές δομές που περιβάλλουν τη Μεσόγειο θάλασσα, όπως για παράδειγμα οι οροσειρές των Άλπεων και των Πυρηναίων στην Ευρώπη καθώς και η οροσειρά του Άτλαντα στη βορειοδυτική Αφρική ευνοούν την ανάπτυξη βαρομετρικών χαμηλών. Πέρα από τον σχηματισμό των τυπικών μετωπικών υφέσεων, υπάρχουν και περιπτώσεις συστημάτων υπο-συνοπτικής κλίμακας με αρκετά χαμηλή πίεση, τα οποία έχουν τα χαρακτηριστικά των τροπικών κυκλώνων, όταν καταγράφονται από τους δορυφόρους.

Οι Μεσογειακοί Κυκλώνες (στο εξής θα αναφέρονται ως Μ.Κ.) γνωστοί και ως Medicanes (MEDiterranean hurriCANES) συνοδεύονται από ισχυρές βροχοπτώσεις, καταιγίδες καθώς και από σφοδρούς ανέμους, προκαλώντας σημαντικές ζημιές σε ανθρώπινες περιουσίες, στη γεωργία και στα δίκτυα επικοινωνιών. Επιπλέον, μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες πλημμύρες σε πυκνοκατοικημένες περιοχές θέτοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Επίσης, προκαλούν προβλήματα στις υποδομές, στις μεταφορές καθώς και σε γεωργικές εκτάσεις. Αυτοί οι κυκλώνες μέσης κλίμακας έχουν συνήθως διάμετρο μικρότερη από 300 km (Nastos et al. 2018).

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η κυκλωνική-σχεδόν συμμετρική δομή, η οποία είναι εμφανής από τις δορυφορικές εικόνες, ο θερμός πυρήνας δηλαδή παρουσία υψηλότερων θερμοκρασιών καθ' ύψος καθώς και η χαμηλή πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στο κέντρο του συστήματος (Businger and Reed, 1989). Επίσης, ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αποτελεί το «μάτι» στο κέντρο του κυκλώνα, που αποτελεί μια ανέφελη περιοχή με αίθριο καιρό. Γύρω από το «μάτι» αναπτύσσονται νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης (σωρειτομελανίες ή cumulonimbus). Σε σχέση με τους τροπικούς κυκλώνες, οι Μ.Κ. έχουν μικρότερη ένταση, ωστόσο ορισμένοι από αυτούς έχουν φτάσει σε ισχύ την ένταση των πρώτων.

Ο Emanuel (2005) έδειξε ότι η γένεση των Μ.Κ. πυροδοτείται όταν ένα αποκομμένο χαμηλό της ανώτερης τροπόσφαιρας μεταφερθεί πάνω από μια περιοχή, με αποτέλεσμα την ανύψωση και την ψύξη της αέριας μάζας προκαλώντας

κατακόρυφη αστάθεια. Έτσι, η ανάπτυξη χαμηλών με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα ευνοείται από τον ψυχρό και υγρό αέρα που βρίσκεται στο χαμηλό των υψών στην ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με τη θερμότερη θάλασσα.

Οι Miglietta et al. (2015) πραγματοποίησαν μια σειρά αριθμητικών πειραμάτων χρησιμοποιώντας το μοντέλο WRF (Weather Research and Forecasting) για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων του μοντέλου στην προσομοίωση της δομής και της έντασης ενός Μ.Κ.. Ωστόσο, δεν είναι ακόμη εφικτό να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι ιδιότητες, η διάρκεια ζωής και η εξέλιξή τους (Miglietta et al., 2013). Γενικά, ο εντοπισμός τέτοιων συστημάτων θεωρείται αρκετά δύσκολος και απαιτεί δεδομένα υψηλής ανάλυσης καθώς και πολυάριθμες θαλάσσιες παρατηρήσεις. Υπάρχει φυσικά ένας αριθμός κριτηρίων για την αναγνώριση των Μ.Κ., όπως η διάμετρος, η συμμετρία και το μάτι στο κέντρο του κυκλώνα καθώς και η διάρκεια αυτών των φαινομένων. Ένα ακόμη, επίσης σημαντικό στοιχείο που βοηθάει στην αποτελεσματική αναγνώριση των Μ.Κ. είναι η χρήση των δορυφορικών δεδομένων (Tous and Romero 2013).

Οι διάφορες επιπτώσεις που προκαλούν οι Μ.Κ. αντικατοπτρίζουν την ποικιλομορφία αυτών των συστημάτων όσον αφορά τη διαδρομή, τη διάμετρο και τη διάρκεια ζωής τους. Αυτές οι επιπτώσεις έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, αλλά καμία ολοκληρωμένη βάση δεδομένων δεν είναι διαθέσιμη. Ο λόγος για τον οποίο είναι δύσκολο να διατηρηθεί μια βάση δεδομένων, είναι ότι σε πολλές περιπτώσεις, κυρίως όταν πρόκειται για παλαιότερους Μ.Κ., δεν υπάρχουν επίσημες αναφορές για επιπτώσεις, οι οποίες να αποδίδονται σε συγκεκριμένα μετεωρολογικά συστήματα. Αντίθετα, πιο πρόσφατες περιπτώσεις Μ.Κ. έχουν μελετηθεί πλήρως και αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Levizzani et al. 2012, Terranova and Gariano 2014).

Οι επιδράσεις των Μ.Κ. ποικίλλουν ανάλογα με την περίπτωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις προκαλούν ελάχιστες ζημιές, ενώ σε άλλες μπορεί να είναι εξαιρετικά καταστροφικοί. Για παράδειγμα, ο κυκλώνας που έλαβε χώρα τον Σεπτέμβριο του 2003, προκάλεσε μεγάλες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στην Τυνησία (Ouali et al. 2008), όπου πολλές περιοχές πλημμύρισαν καθώς επίσης δημόσια και ιδιωτική περιουσία υπέστη αρκετές ζημιές. Το χρονικό της καταστροφής συνέβη όταν το σύστημα βρισκόταν πάνω από τον κόλπο της Τυνησίας και του Χαμμαμέτ από τις 16 έως τις 18 Σεπτεμβρίου δίνοντας ισχυρές βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα να προκληθούν έντονες πλημμύρες σε πολλές περιοχές. Επιπλέον, υπήρξαν δεκάδες θύματα (Ouali et

al. 2008), χωρίς όμως να γνωρίζουμε τον ακριβή αριθμό από απώλειες ανθρώπινων ζώων.

Οι Tous and Romero (2013) αφού εξέτασαν περίπου 400 κυκλωνικά φαινόμενα για μια περίοδο μεγαλύτερη των 20 ετών, τελικά ταξινομήσαν μόνο έξι συμβάντα ως Μ.Κ.. Τα κριτήρια που εφαρμόστηκαν για την αναγνώριση αυτών των ακραίων φαινομένων αφορούν τη συγκεκριμένη δομή, το σχήμα και τη διάρκεια ζωής αυτών των συστημάτων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων (δορυφόροι Meteosat). Επιπλέον, πρέπει να παρουσιάζουν συνεχή και ενιαία νεφοκάλυψη καθώς επίσης και συμμετρικό σχήμα γύρω από ένα ευδιάκριτο «μάτι». Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια, κατά την περίοδο 1969-2014, μόνο 63 περιπτώσεις θεωρήθηκαν και αναλύθηκαν ως Μ.Κ. (Nastos et al. 2018).

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) είναι σημαντική για την ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων με τις επιπτώσεις των Μ.Κ. πάνω σε χάρτες, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα σύμβολα, όπως άλλωστε έγινε και για την περίοδο μελέτης 1969-2014. Η εφαρμογή του G.I.S. παρέχει όχι μόνο την δυνατότητα να προσθέσουμε σημαντικές πληροφορίες όπως καταστροφές, θανάτους και ημερομηνίες, αλλά και τη δημιουργία διάφορων θεματικών επιπέδων για διάφορες περιοχές βοηθώντας έτσι αποτελεσματικά την έρευνα.

Σύμφωνα με την μελέτη των 63 περιπτώσεων Μ.Κ. την περίοδο 1969-2014, βρέθηκε ότι ο μέσος όρος είναι $1,4 \pm 1,3$ ανά χρόνο (Nastos et al. 2018). Οι δύο περιοχές στις οποίες σχηματίζονται πιο συχνά τέτοια συστήματα είναι η δυτική Μεσόγειος, η Τυρρηνική θάλασσα, τα στενά Σικελίας-Τυνησίας και η ευρύτερη περιοχή του Ιονίου πελάγους. Αντίθετα, σπάνια παρουσιάζονται στο Αιγαίο πέλαγος και στην ανατολική Μεσόγειο. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τους Romero and Emanuel (2013), οι οποίοι παρατήρησαν την ύπαρξη πτωτικής τάσης από τη δυτική προς την ανατολική Μεσόγειο.

Όσον αφορά, την εποχιακή γεωγραφική κατανομή των Μ.Κ. στηριζόμενοι στην παραπάνω μελέτη έχουμε τις περισσότερες περιπτώσεις το φθινόπωρο και το χειμώνα και τις λιγότερες την άνοιξη και το καλοκαίρι (Nastos et al. 2018). Αυτό συμβαίνει, επειδή τα σχετικά θερμά νερά της θάλασσας κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και αρχές του χειμώνα σε συσχέτιση με τον ψυχρό αέρα στα ανώτερα στρώματα προκαλούν έντονη θερμοδυναμική αστάθεια στην τροπόσφαιρα με αποτέλεσμα την

ανάπτυξη Μ.Κ. με σημαντικές επιπτώσεις στις θαλάσσιες και παράκτιες περιοχές. Γενικά, η θάλασσα λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας διατηρεί θερμά τα νερά από το τέλος του καλοκαιριού έως και τις αρχές του χειμώνα. Συγκεκριμένα, τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο έχουμε την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης Μ.Κ., ακολουθεί στη συνέχεια ο Δεκέμβριος και μετά ο Ιανουάριος. Αυτό το αποτέλεσμα βρίσκεται σε συμφωνία με τις μελέτες που έκαναν οι Romero and Emanuel (2013), οι οποίοι κατέληξαν στο ότι η συχνότητα εμφάνισής τους είναι διπλάσια το φθινόπωρο σε σχέση με τον χειμώνα. Κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους (Απρίλιος-Αύγουστος) παρουσιάζουν μειωμένη συχνότητα εμφάνισης, η οποία ελαχιστοποιείται τον Ιούνιο.

Οι Μ.Κ. διαφοροποιούνται από τους τροπικούς κυκλώνες στο γεγονός ότι οι δεύτεροι τείνουν να εμφανίζονται τις εποχές, στις οποίες η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο (Tous and Romero 2013). Ο Trenberth (2005) απέδειξε ότι η μικρότερη θερμοκρασία που πρέπει να έχουμε στην επιφάνεια της θάλασσας για την ανάπτυξη ενός τροπικού κυκλώνα είναι 26°C, μια τιμή η οποία συναντάται σπανίως κατά τον σχηματισμό ενός Μ.Κ. και τέτοιες τιμές θερμοκρασίας έχουμε μόνο στα νότια τμήματα της Μεσογείου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

1.2 Γεωγραφική κατανομή και επιπτώσεις Μεσογειακών Κυκλώνων

Η γεωγραφική θέση ανάπτυξης των Μ.Κ. είναι διαφορετική από αυτήν των συνηθισμένων μετωπικών υφέσεων στη Μεσόγειο, οι οποίες εμφανίζονται σε τοποθεσίες όπως ο κόλπος της Γένοβας, η περιοχή γύρω από την Κύπρο και τα βουνά του Άτλαντα στη βόρεια Αφρική. Αντίθετα, οι Μ.Κ. σχηματίζονται κατά κύριο λόγο στη δυτική Μεσόγειο και στην περιοχή του Ιονίου πελάγους, ενώ λιγότερο συχνά εμφανίζονται στο Αιγαίο πέλαγος και στη Θάλασσα του Λεβάντε στην ανατολική Μεσόγειο, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο (Nastos et al. 2018).

Η πλειονότητα των καταγεγραμμένων επιπτώσεων αφορά την περιοχή των Βαlearίδων νήσων στο αρχιπέλαγος της Ισπανίας στη δυτική Μεσόγειο, τις ανατολικές ακτές της Ιβηρικής Χερσονήσου, την Σαρδηνία, τη Σικελία και τη νότια Ιταλία. Έχουν αναφερθεί επίσης πολλά θύματα στις βόρειες ακτές της Τυνησίας, τα οποία σχετίζονται κυρίως με ένα πλημμυρικό επεισόδιο που έγινε τον Σεπτέμβριο του

1969. Η περιοχή που παρουσιάζει τις λιγότερες επιπτώσεις είναι η ανατολική Μεσόγειος (Αιγαίο πέλαγος, Θάλασσα του Λεβάντε, νότια Πελοπόννησος, Κύπρος), επειδή η δημιουργία Μ.Κ. είναι σπάνια και εμφανίζονται συνήθως πιο εξασθενημένοι (Nastos et al. 2018).

Όσον αφορά τις πλημμύρες, οι πιο ευπαθείς περιοχές είναι η νότια Ιταλία και η Σικελία καθώς και γειτονικά νησιά όπως η Μάλτα με σοβαρές επιπτώσεις από τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα. Η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 13 m/s έως 50 m/s (σε ακραίες περιπτώσεις). Οι Βαlearίδες νήσοι αποτελούν εξαίρεση καθώς δεν έχουμε επιπτώσεις από πλημμύρες, ενώ αντίθετα η εμφάνιση ανεμοστρόβιλων είναι αυξημένη. Γενικά, έχουν αναφερθεί ανεμοστρόβιλοι που προκάλεσαν σημαντικές ζημιές κυρίως στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο και συγκεκριμένα κοντά στις ακτές των Βαlearίδων και των Αιολίδων νήσων καθώς και στο αρχιπέλαγος της Τυρρηνικής Θάλασσας, βόρεια της Σικελίας. Οι ανεμοστρόβιλοι που σχηματίζονται εξαιτίας ενός Μ.Κ., έχουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης το φθινόπωρο κυρίως τον Σεπτέμβριο και έπειτα τον Νοέμβριο και τον Οκτώβριο (Nastos et al. 2018).

Ωστόσο, η πλειονότητα των επιπτώσεων παρατηρείται κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου και λιγότερο τον Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Ένα παράδειγμα ενός Μ.Κ. που προκάλεσε σοβαρές επιπτώσεις στην Αλγερία, στο Μαρόκο, στις Βαlearίδες νήσους και στο ηπειρωτικό τμήμα της Ισπανίας συνέβη τον Νοέμβριο του 2001. Ο κυκλώνας έδωσε σφοδρούς ανέμους και ραγδαίες βροχοπτώσεις προκαλώντας καταστροφικές πλημμύρες, ενώ έχασαν την ζωή τους περισσότεροι από 600 άνθρωποι στην Αλγερία (Romero 2008). Οι πλημμύρες αυτές κάλυψαν μια πολύ μεγάλη έκταση της επαρχίας Μπαμπ Ελ Ουέντ, προκαλώντας ζημιές σε περίπου 1800 κατοικίες, ενώ σημαντικές ήταν οι επιπτώσεις και στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και στις τηλεπικοινωνίες (Benouar 2015). Ο συγκεκριμένος Μ.Κ. έπληξε στις 11 Νοεμβρίου 2011 τις Βαlearίδες νήσους με τις επιπτώσεις να αφορούν 4 θύματα, την αφαίρεση του 60% της παράκτιας άμμου καθώς και το ξερίζωμα 220.000 δέντρων. Σημαντικές ήταν και οι ζημιές σε ιδιωτικές περιουσίες.

Υπάρχει μια ανησυχία σε ότι αφορά τις μεταβολές στην ένταση αλλά και στην συχνότητα εμφάνισης αυτών των φαινομένων ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης επίδρασης στο κλίμα (IPCC, 2014). Εμφανίζεται το ενδεχόμενο να έχουμε μείωση της

εμφάνισης των Μ.Κ. και αύξηση του αριθμού των ισχυρών καταιγίδων στο τέλος του 21ου αιώνα (Romero and Emanuel, 2013).

1.3 Ανασκόπηση παλαιότερων Μεσογειακών Κυκλώνων

Στο παρελθόν, έχουν καταγραφεί και μελετηθεί πολλοί Μεσογειακοί Κυκλώνες (Μ.Κ.). Στον Πίνακα 1.1 αναφέρονται μερικοί από αυτούς, οι οποίοι έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΡΕΥΝΗΤΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ (ΩΡΕΣ)
23/09/1969	Τυνησία, Αλγερία, Σικελία	Winstanley 1970	96
23/01/1982	Ελλάδα, Σικελία	Ernst and Matson 1983 Mayengon 1983 Mayengon 1984	119
29/01/1983	Σικελία, Σαρδηνία, Κορσική, Τυνησία	Mayengon 1984 Rasmussen and Zick 1987	90
15/01/1995	Ελλάδα, Σικελία, Λιβύη	Pytharoulis 1995 Blier and Ma 1997 Lagouvardos et al. 1999 Pytharoulis et al. 2000	75
12/09/1996	Ισπανία (Βαλένθια), Βαlearίδες νήσοι	Homar et al. 1999 Romero et al. 2000 Homar et al. 2003	12
26/09/2006	Νοτιοανατολική Ιταλία	Moscatello et al. 2008 Fita et al. 2007	11
08/11/2011	Ισπανία, Γαλλία, Ιταλία	Ruiz et al. 2012 Egana et al. 2013 Miglietta et al. 2013 Παρανός 2016	63
07/11/2014	Μάλτα, Σικελία	Δημητριάδου 2017 Carrió et al. 2017 Pytharoulis 2018 Cioni et al. 2018	27

Πίνακας 1.1 Ημερομηνία, Περιοχή, Ερευνητές και Διάρκεια ζωής (σε ώρες) 8 περιπτώσεων Μ.Κ.

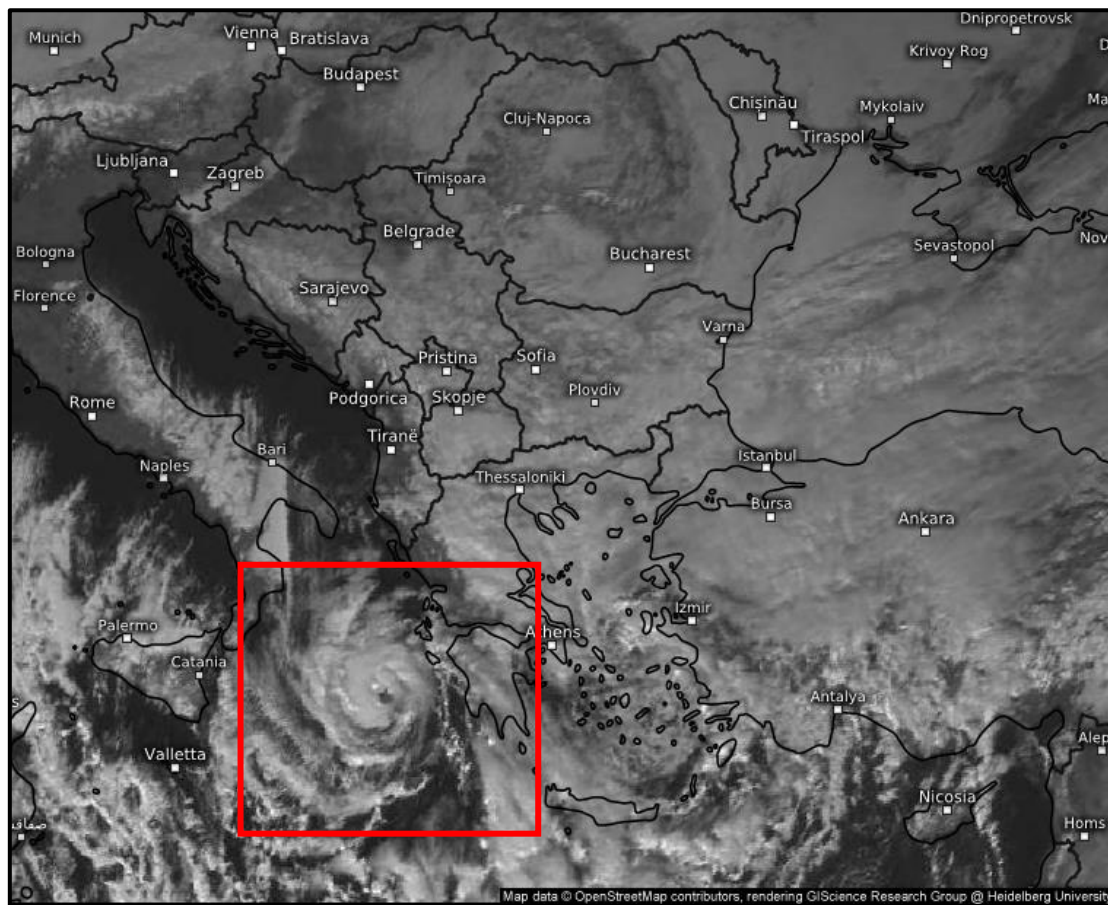
Παρακάτω αναλύονται δύο περιπτώσεις Μ.Κ. που έχουν μελετηθεί λεπτομερώς και εμφάνισαν ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Πρόκειται για τους Μ.Κ. που σχηματίστηκαν στις 15/01/1995 και 07/11/2014. Το βασικό χαρακτηριστικό της πρώτης περίπτωσης είναι η διάρκεια ζωής και εξέλιξης του κυκλώνα που έφτασε τις 75 ώρες συνολικής πορείας, καθώς και το γεγονός ότι έχει μελετηθεί από αρκετούς μετεωρολόγους. Το κύριο γνώρισμα της δεύτερης περίπτωσης είναι η τιμή της πίεσης που καταγράφηκε στη μέση στάθμη της θάλασσας, η οποία έφτασε τα 979 hPa (Cioni et al. 2018) κατά τη διάρκεια της πορείας του κυκλώνα και θεωρείται ως η χαμηλότερη που έχει καταγραφεί σε ένα τέτοιο σύστημα.

1.3.1 Ιανουάριος 1995

Ο Μεσογειακός κυκλώνας σχηματίστηκε στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ δυτικής Ελλάδας και Σικελίας στις 03:30 UTC της 15ης Ιανουαρίου 1995 (Σχήμα 1.1). Λίγες ώρες πριν τον σχηματισμό του, παρατηρήθηκε στροβιλισμός στις υπέρυθρες δορυφορικές εικόνες του Meteosat καθώς επίσης και έντονη κατακόρυφη μεταφορά. Στις 05:00 UTC παρατηρήθηκε μια συμμετρική δομή με ανέφελο καιρό στο κέντρο του συστήματος και σπειροειδή νέφη γύρω από αυτό. Η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας ήταν 1002 hPa στις 06:00 UTC, όπως παρατηρήθηκε από τους χάρτες καιρού επιφάνειας της Βρετανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Τις επόμενες ώρες παρατηρήθηκε αύξηση της πίεσης, φτάνοντας τα 1013 hPa στις 16 Ιανουαρίου στις 00:00 UTC (Pytharoulis 1995).

Στις 16 Ιανουαρίου ο Μ.Κ. κινήθηκε προς τη Λιβύη και στις 18:00 UTC κατευθύνθηκε ακόμα πιο νότια φτάνοντας περίπου στη μέση του κόλπου της Σύρτης. Οι δορυφορικές εικόνες για την ίδια ημέρα έδειξαν ισχυρές ανοδικές κινήσεις. Στις 03:00 UTC παρατηρήθηκαν τρεις σωρειτομελανίες από υπέρυθρο κανάλι, κοντά στο «μάτι», με τη θερμοκρασία στην κορυφή των νεφών να φθάνει κάτω από τους -50°C . Αργά το απόγευμα, η διάμετρος των νεφών αυξήθηκε και ο έντονος στροβιλισμός άρχισε να εξασθενεί. Το πρωί της 17ης Ιανουαρίου, ο κυκλώνας αποτελούνταν κυρίως από κατώτερα νέφη (κάτω από τα 2000 m) και λίγα ανώτερα, υποδηλώνοντας μειωμένη κατακόρυφη ανοδική κίνηση. Λίγες ώρες αργότερα, ο Μ.Κ. έφτασε στην ξηρά και άρχισε να διαλύεται (Pytharoulis et al. 2000).

Ο Μ.Κ. δεν προκάλεσε καταστροφές στις περιοχές από τις οποίες πέρασε, επειδή βρισκόταν σχεδόν καθ' όλη τη διάρκειά του πάνω από τη θάλασσα. Οι περισσότεροι τυφώνες, όταν φθάνουν στην ξηρά γίνονται πολύ επικίνδυνοι και καταστροφικοί, σε αντίθεση με τον συγκεκριμένο κυκλώνα, ο οποίος όταν έφτασε στη βόρεια Λιβύη έχασε την ισχύ του, με αποτέλεσμα να θεωρηθεί ακίνδυνος. Οι μόνες παρατηρήσεις που έχουμε είναι από ένα πλοίο, που βρισκόταν στη θέση 35°N-20°E και κατέγραψε ριπές ανέμου ~15 m/s (Pytharoulis 1995).



Σχήμα 1.1 Δορυφορική απεικόνιση του Μ.Κ. της 15ης Ιανουαρίου 1995 στις 12:00 UTC στο ορατό φάσμα από το δορυφόρο Meteosat (<https://weather.us>). Το κόκκινο πλαίσιο υποδεικνύει τον κυκλώνα.

1.3.2 Νοέμβριος 2014

Στις 12:00 UTC της 6ης Νοεμβρίου 2014 εμφανίστηκε ένα βαρομετρικό χαμηλό στη βόρεια Λιβύη και κινήθηκε προς τη δυτική Σικελία, με αποτέλεσμα να συγκρουστεί με ένα προϋπάρχον ψυχρό μέτωπο, το οποίο εκτείνονταν κατά μήκος της Τυνησίας στην κεντρική Μεσόγειο (Pytharoulis 2018). Παρατηρήθηκε έντονη κατακόρυφη μεταφορά στις δορυφορικές εικόνες μεταξύ Σικελίας και Αφρικής καθώς και στην Τυρρηνική θάλασσα. Διαπιστώθηκε παράλληλα έντονη ηλεκτρική δραστηριότητα με την παρουσία ηλεκτρικών εκκενώσεων κυρίως τα χρονικά διαστήματα 15:00-16:00 UTC καθώς και 18:00-19:00 UTC (Pytharoulis 2018).

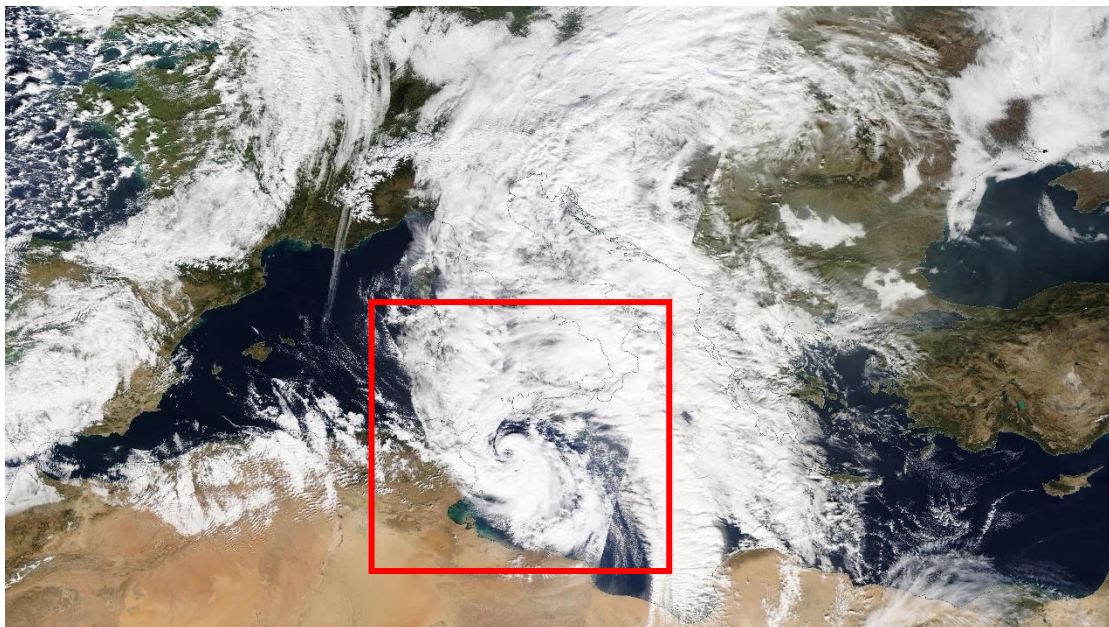
Η πίεση του «μητρικού» χαμηλού, από το οποίο προήλθε ο Μ.Κ., μειώθηκε απότομα τις πρώτες πρωινές ώρες της 7ης Νοεμβρίου από 998.8 hPa στις 00:00 UTC σε 990.5 hPa στις 06:00 UTC σύμφωνα με τις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF). Η ηλεκτρική δραστηριότητα παρουσίασε ένα ακόμη «ξέσπασμα» από τις 06:00 UTC έως τις 07:00 UTC στις 7/11. Έτσι, εμφάνισε χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα, όπως το «μάτι» στο κέντρο του συστήματος (Σχήμα 1.2). Τις επόμενες ώρες, ο Μ.Κ. κινήθηκε ανατολικά διατηρώντας τα χαρακτηριστικά του, όπως το «μάτι» και οι σπειροειδείς λωρίδες νεφών, ενώ οι κεραυνοί μειώθηκαν σημαντικά (Pytharoulis 2018).

Το «μάτι» του Μ.Κ. διέσχισε τη Μάλτα μεταξύ 16:00 και 17:00 UTC στις 7/11, ενώ ο σταθμός Luqa στη Μάλτα (LMML) κατέγραψε πίεση 984 hPa στις 16:34 UTC. Οι Cioni et al. (2018) ανέφεραν τιμή πίεσης ~979 hPa σε κοντινό σταθμό της Μάλτας. Θεωρείται η χαμηλότερη πίεση που έχει καταγραφεί από ένα τέτοιο σύστημα και ξεπέρασε την αμέσως προηγούμενη χαμηλότερη των 986 hPa, που είχε μετρηθεί στην νοτιοανατολική Σικελία και αφορά το Μ.Κ. που σχηματίστηκε στις 26/9/2006 (Miglietta et al. 2011, Moscatello et al. 2008). Η ταχύτητα και οι ριπές του ανέμου έφτασαν τα 21,1 m/s και τα 29,4 m/s αντίστοιχα. Ο σταθμός αυτός κατέγραψε 19 mm βροχής από τις 15:00 έως τις 21:00 UTC, ενώ μέσα σε 24 ώρες έπεσαν 30 mm στο διάστημα από 06:00 UTC στις 7/11 έως 06:00 UTC στις 8/11 (Pytharoulis 2018).

Μετά το πέρασμα από τη Μάλτα, ο κυκλώνας κινήθηκε ΒΒΑ. Πέρασε κοντά από το νοτιοανατολικό άκρο της Σικελίας και περίπου στις 03:00 UTC στις 8/11 το κέντρο του έφτασε στο βορειότερο γεωγραφικό πλάτος της διαδρομής (~37,5°) ακριβώς δίπλα στην ανατολική Σικελία (Pytharoulis 2018). Ο Μ.Κ. παρέμεινε για αρκετές ώρες στην

περιοχή, ενώ το μάτι έφτασε στην ξηρά της ανατολικής Σικελίας, νότια της πόλης Catania, μεταξύ 04:30 και 06:00 UTC χωρίς να προχωρήσει μέσα στην ενδοχώρα. Οι επικρατούντες άνεμοι έφτασαν τα 15,5 m/s με ριπές έως 25,8 m/s στο διεθνές αεροδρόμιο της Fontanarossa (LICC) στις 05:50 UTC. Επίσης, το κοντινό αεροδρόμιο της Sigonella (LICZ) καθώς και ο σταθμός Cozzo Spadaro (LICO) κατέγραψαν 27 mm και 35 mm βροχόπτωσης αντίστοιχα, σε χρονικό διάστημα 18 ωρών (18:00 UTC 7/11 - 12:00 UTC 8/11).

Στις 09:00 UTC στις 8/11 ο Μ.Κ. είχε αρχίσει να ακολουθεί μια ΝΑ πορεία προς τη νότια Ελλάδα, χάνοντας σταδιακά τα τροπικά του χαρακτηριστικά. Όσον αφορά τις επιπτώσεις, αναφέρθηκαν σημαντικές ζημιές από την ευρύτερη περιοχή της Catania.



Σχήμα 1.2 Δορυφορική απεικόνιση του Μ.Κ. της 7ης Νοεμβρίου 2014 στις 10:37 UTC από τον MODIS (Terra) (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>). Το κόκκινο πλαίσιο υποδεικνύει τον κυκλώνα.

1.4 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συνοπτική μελέτη και ανάλυση ενός βαρομετρικού χαμηλού με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στη Μεσόγειο την περίοδο 28-31 Οκτωβρίου 2016, με το όνομα Medicane Trixie.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες για την κατανόηση του σχηματισμού των Μ.Κ., καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την ανάπτυξη και εξέλιξή τους. Η εργασία αυτή έχει ως κύριο στόχο την ανάδειξη ενός ακόμα συστήματος ως Μ.Κ. με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα από δορυφορικές εικόνες, μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών και αναλύσεις του ECMWF. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητο να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά του και να συγκριθούν με τα γνωρίσματα που εμφάνισαν άλλες περιπτώσεις τέτοιων συστημάτων. Επιπλέον, είναι αναγκαίο να καθοριστεί η ακριβής ημερομηνία και ώρα που το χαμηλό εμφανίσε για πρώτη φορά τα τροπικά του χαρακτηριστικά καθώς επίσης και το χρονικό διάστημα που διατηρήθηκαν αυτά.

Η μελέτη του βαρομετρικού χαμηλού επικεντρώνεται στην παρουσίαση της πορείας που διέγραψε το σύστημα με λεπτομερή ανάλυση σε κάθε στάδιο της διαδρομής του, στα χαρακτηριστικά που αφορούν τη δομή του και στους πιθανούς παράγοντες που πυροδότησαν τη δημιουργία του. Επίσης, πραγματοποιείται συνοπτική ανάλυση των μετεωρολογικών συνθηκών και ανάλυση της ποσότητας του υετού που έπεσε και της έντασης των ανέμων που επικράτησαν σε επίγειους σταθμούς που επηρεάστηκαν από τον κυκλώνα. Τέλος, ένας ακόμα σημαντικός στόχος είναι η αναλυτική μελέτη της δομής του με τη βοήθεια οριζόντιων και κάθετων τομών της ατμόσφαιρας, που απεικονίζουν τον άνεμο, τη θερμοκρασία, την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας καθώς και άλλες σημαντικές μετεωρολογικές παραμέτρους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Δεδομένα-Μεθοδολογία

2.1 Δεδομένα

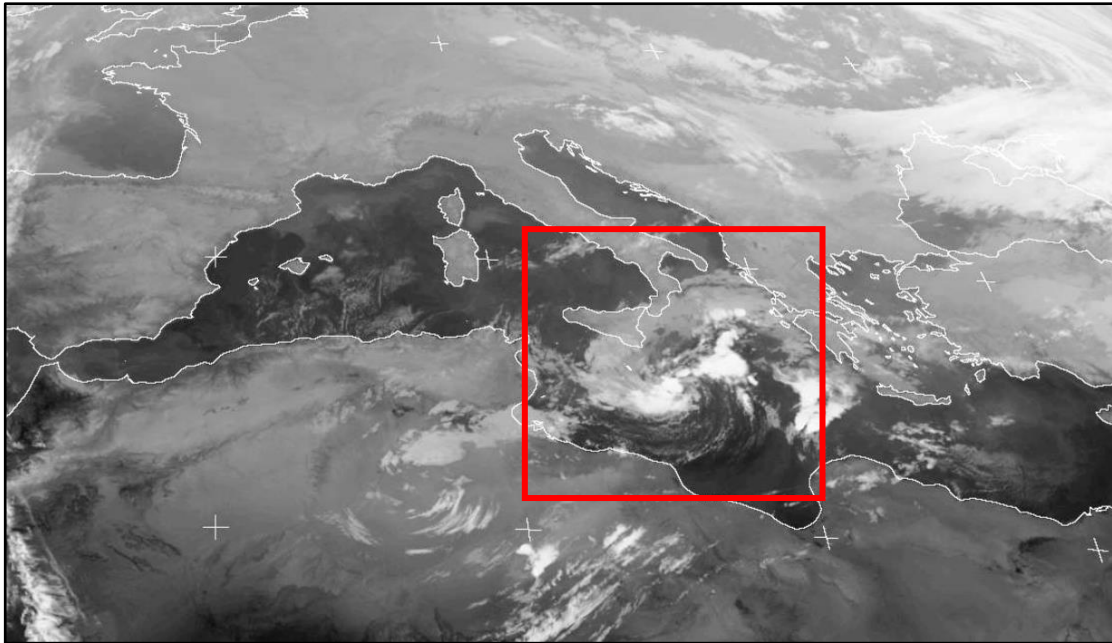
Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν τόσο δορυφορικά δεδομένα όσο και δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων από συγκεκριμένους σταθμούς, που επηρεάστηκαν από το σύστημα της μελέτης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων καιρού (ECMWF). Τέλος, έγινε χρήση ορισμένων μετεωρολογικών χαρτών που παράγονται από το μοντέλο Unified του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMET).

2.1.1 Δορυφορικά δεδομένα

Οι δορυφορικές εικόνες λήφθηκαν από την ιστοσελίδα του πανεπιστημίου Dundee, που αποτελεί έναν από τους κύριους σταθμούς του Ηνωμένου Βασιλείου που λαμβάνει δεδομένα από έναν μεγάλο αριθμό δορυφόρων παρατήρησης. Πρόκειται ουσιαστικά για μια συστηματική συλλογή δεδομένων σε καθημερινή βάση από το 1978, η οποία μέχρι πρόσφατα ήταν χρηματοδοτούμενη από το NERC (Natural Environment Research Council). Το αρχείο του σταθμού Dundee περιέχει πάνω από 200.000 καταγραφές από δορυφόρους πολικής τροχιάς, που καλύπτουν την Ευρώπη και τον Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό καθώς και εικόνες από γεωστάσιμους δορυφόρους σε παγκόσμια κλίμακα. Με τα δεδομένα αυτά υποστηρίζονται εκατοντάδες επιστημονικές εργασίες (www.sat.dundee.ac.uk, www.dundeesat.co.uk).

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον γεωστάσιμο δορυφόρο Meteosat 10 από το υπέρυθρο κανάλι 9 (10,8 μm) (Σχήμα 2.1). Ο γεωστάσιμος δορυφόρος Meteosat 10 ανήκει στους δορυφόρους δεύτερης γενιάς (Meteosat Second Generation, MSG) (www.eumetsat.int). Εκτοξεύθηκε στις 05/07/2012 και αναμένεται η διάρκεια ζωής του στο διάστημα να φτάσει περίπου τα 10 χρόνια, δηλαδή μέχρι το 2022. Ο δορυφόρος αποτελείται από ένα βασικό όργανο καταγραφής, το οποίο ονομάζεται πολυφασματικό ραδιόμετρο SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager). Το ραδιόμετρο SEVIRI πραγματοποιεί σαρώσεις της επιφάνειας της Γης, με διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, γραμμή προς γραμμή από βορρά προς νότο. Συνολικά, σαρώνονται 1250 γραμμές μέσα

σε 12,5 λεπτά. Τα τελικά αποτελέσματα που προκύπτουν και είναι διαθέσιμα προς απεικόνιση λαμβάνονται κάθε 15 λεπτά (Δημητριάδου 2017). Στο κανάλι 9 γίνεται καταγραφή της ακτινοβολίας που προέρχεται από το θερμικό υπέρυθρο φάσμα, με κεντρικό μήκος κύματος τα 10,8 μm – Thermal Infrared (IR) (www.afcea.gr).



Σχήμα 2.1 Δορυφορική εικόνα του Meteosat 10 που απεικονίζει τον Μεσογειακό κυκλώνα στις 29/10/2016 στις 18:00 UTC – Channel 9 (10,8 μm). Το κόκκινο πλαίσιο υποδεικνύει τον κυκλώνα.

2.1.2 Δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων

Σε δεύτερο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που έγιναν από διάφορους σταθμούς κοντά στην περιοχή που αναπτύχθηκε ο κυκλώνας, με σκοπό την παρατήρηση και εξέταση των πραγματικών τιμών που εμφάνισαν ορισμένες παράμετροι στην επιφάνεια της Γης, όπως για παράδειγμα η βροχόπτωση και η πίεση. Η καταγραφή των μετρήσεων έγινε από τους σταθμούς LGSA (Souda Airport), LGIR (Heraklion Airport), LGKL (Kalamata Airport), LMML (Luqa-Malta), LICO (Cozzo Spadaro), LICC (Fontanarossa-Catania) και LICG (Pantelleria). Με αυτά τα δεδομένα, είναι επίσης εφικτή και η διερεύνηση των ζημιών που μπορεί να προκλήθηκαν σε παράκτιες περιοχές. Επίσης, έγινε χρήση και αναφορά της έντασης του ανέμου (σε m/s), καθώς επίσης και της θερμοκρασίας. Ορισμένες φορές, λόγω της έλλειψης δεδομένων από αεροπλάνα και πλοία, η σημασία των επίγειων παρατηρήσεων από σταθμούς που επηρεάστηκαν άμεσα από το καιρικό σύστημα κρίνεται ιδιαίτερα μεγάλη για τη μελέτη και κατανόηση των φαινομένων του εκάστοτε συστήματος.

2.1.3 Δεδομένα Αναλύσεων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF)

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF) αποτελεί έναν παγκόσμιο οργανισμό που έχει στόχο την αφομοίωση, την έρευνα και τη δημιουργία μετεωρολογικών δεδομένων. Ο σκοπός της αφομοίωσης των δεδομένων είναι να προσδιοριστεί η καλύτερη δυνατή αναπαράσταση της ατμόσφαιρας χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις και βραχυπρόθεσμες προγνώσεις. Αποτελεί μια διαδικασία με συγκεκριμένο χρονικό βήμα, η οποία λειτουργεί συγκρίνοντας μια προηγούμενη πρόγνωση του μοντέλου με πρόσφατες παρατηρήσεις και στην συνέχεια η κατάσταση του μοντέλου ενημερώνεται για να εμφανίσει τις συνθήκες που επικρατούν εκείνη τη χρονική στιγμή που γίνεται η ενημέρωση. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνέχεια και δίνει τις αναλύσεις των δεδομένων ανά 6 ώρες (www.ecmwf.int).

Οι αναλύσεις είναι πλεγματικά μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία μας δίνουν αναλυτικές πληροφορίες για τις συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης, ανέμου καθώς και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούν σε όλες τις ισοβαρικές επιφάνειες μέσα στην ατμόσφαιρα. Η περιοχή (domain) των αναλύσεων που ανακτήθηκαν στην παρούσα εργασία καλύπτει ολόκληρη τη Μεσόγειο θάλασσα και την Ευρώπη, τη βόρεια Αφρική, τη Μέση Ανατολή, ένα τμήμα της Ρωσίας που δεν ανήκει στην Ευρωπαϊκή ήπειρο καθώς και το μεγαλύτερο μέρος του βόρειου Ατλαντικού ωκεανού με τα σημεία πλέγματος των δεδομένων να είναι ανά 0.125 μοίρες τόσο στο γεωγραφικό μήκος όσο και στο γεωγραφικό πλάτος (880 x 400 σημεία πλέγματος).

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων του ECMWF χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό OpenGrADS (Grid Analysis and Display System) έκδοση 2.0.1 (www.opengrads.org), το οποίο είναι ένα χρήσιμο διαδραστικό εργαλείο που μας επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση, την προσαρμογή και την οπτικοποίηση των δεδομένων στις επιστήμες της Γης. Αποτελεί ουσιαστικά ένα σύστημα ανάλυσης και απεικόνισης δεδομένων πλέγματος. Τα δεδομένα μπορούν να εμφανίζονται με διάφορες γραφικές απεικονίσεις, όπως για παράδειγμα γραφήματα με γραμμές και στήλες, χάρτες με πιέσεις και θερμοκρασίες και εμφάνιση αυτών είτε με καμπύλες είτε με σκίαση, αναπαράσταση διανυσμάτων κλπ.

2.1.4 Μετεωρολογικοί χάρτες UKMET

Το Met Office είναι η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου. Παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την πρόγνωση του καιρού καθώς και για το κλίμα, βοηθώντας και δίνοντας συμβουλές σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως για παράδειγμα στη γεωπονία που ασχολείται με τις καλλιέργειες, καθώς και στον κάθε πολίτη ξεχωριστά μέσω των ημερήσιων προγνώσεων (<https://www.metoffice.gov.uk/>).

Στους μετεωρολογικούς χάρτες ανάλυσης του Met Office (UKMET) απεικονίζονται οι ισοβαρείς καμπύλες (καμπύλες που ενώνουν τις περιοχές με την ίδια ατμοσφαιρική πίεση) ανά 4 hPa, καθώς επίσης και όλα τα βαρομετρικά χαμηλά και υψηλά. Επιπλέον, είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα για την ένταση του ανέμου από την πυκνότητα των ισοβαρών καμπυλών. Τέλος, είναι εμφανή τα διάφορα είδη μετώπων που απεικονίζονται στους μετεωρολογικούς χάρτες, όπως τα θερμά και ψυχρά μέτωπα, τα συνεσφιγμένα μέτωπα και τα στάσιμα μέτωπα. Το γεωγραφικό πλάτος των χαρτών που αναλύουμε κυμαίνεται από 30°N έως 70°N.

2.2 Μεθοδολογία

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την μελέτη ενός βαρομετρικού χαμηλού που έλαβε χώρα στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο τον Οκτώβριο του 2016 με τη χρήση δορυφορικών εικόνων, επίγειων παρατηρήσεων καθώς και πλεγματικών αναλύσεων. Η έρευνα αποσκοπεί στην εξέταση αν αυτό το σύστημα ήταν Μεσογειακός κυκλώνας, όπως επίσης στην περιγραφή και συνοπτική ανάλυσή του, εφόσον πληροί όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις που χρειάζονται για να θεωρηθεί ένα βαρομετρικό χαμηλό ως Μ.Κ..

2.2.1 Επεξεργασία Δορυφορικών εικόνων

Μέσα από την ιστοσελίδα του University of Dundee αντλήθηκε πλήθος δορυφορικών εικόνων, οι οποίες αφορούν το χρονικό διάστημα από 28 Οκτωβρίου 2016 στις 12:00 UTC μέχρι τις 31 Οκτωβρίου 2016 στις 18:00 UTC, ανά ώρα. Κατά το διάστημα των τριών αυτών ημερών έλαβαν χώρα τα στάδια ανάπτυξης, εξέλιξης και

διάλυσης, δηλαδή η γένεση, η ωρίμανση και η κατάρρευση του βαρομετρικού χαμηλού.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια ύφεση για να θεωρηθεί Μεσογειακός Κυκλώνας εκ πρώτης άποψης, είναι η παρουσία μιας ανέφελης περιοχής στο κέντρο του συστήματος, γνωστή και ως «μάτι». Για το λόγο αυτό, μέσα από την ιστοσελίδα του πανεπιστήμιου Dundee για κάθε δορυφορική εικόνα από την στιγμή που άρχισε να σχηματίζεται ο κυκλώνας, σημειώθηκε η ακριβής θέση που βρίσκεται το μάτι, δηλαδή το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του. Στην συνέχεια, μετά την καταγραφή της θέσης του κυκλώνα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό γραφικής απεικόνισης της Γης, Google Earth, για να σχεδιαστεί η διαδρομή του.

Η απεικόνιση αυτή έγινε ως εξής. Αρχικά, από την επιλογή «Προσθήκη Σήμανσης μέρους», έγινε εισαγωγή των τιμών στα πεδία του γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους σε δεκαδική μορφή. Για την αναπαράσταση του κάθε σημείου της θέσης που βρίσκεται το κέντρο του κυκλώνα χρησιμοποιήθηκε ένα συγκεκριμένο σύμβολο από την λίστα εικονιδίων. Σε αυτό το «παράθυρο» γίνεται και η αλλαγή στο χρώμα και στο μέγεθος του κάθε συμβόλου. Εφόσον συμπληρώθηκαν όλα τα σημεία, ακολούθησε η ένωσή τους από την επιλογή «Προσθήκη διαδρομής». Στη συνέχεια, δόθηκε ονομασία με αναφορά σε παγκόσμια ώρα και ημέρα σε ορισμένα σημεία ανά 3 ώρες, δηλαδή στις συνοπτικές ώρες, ξεκινώντας από τις 21:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου (21z28), ώστε να είναι ευκολότερη και πιο κατανοητή η χρονική αλληλουχία από το ένα σημείο στο άλλο. Επίσης, είναι πιο εύκολα αντιληπτή η θέση τους στο ωρολόγιο, καθώς στη βιβλιογραφία αλλά και στις περισσότερες ερευνητικές εργασίες χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένες συνοπτικές ώρες για την περιγραφή της χρονικής τοποθέτησης ενός κυκλώνα ή κάποιου άλλου καιρικού συστήματος. Επιπλέον, για την καλύτερη κατανόηση της πορείας του κυκλώνα, η διαδρομή χωρίστηκε σε τρία επιμέρους πεδία.

2.2.2 Επεξεργασία επίγειων παρατηρήσεων

Τα διαθέσιμα δεδομένα των παρατηρήσεων αφορούν τη χρονική περίοδο 20 Οκτωβρίου - 1 Νοεμβρίου 2016. Οι πληροφορίες περιλαμβάνουν τα στοιχεία που αφορούν τους σταθμούς, δηλαδή τον WMO Station ID, το έτος, τον μήνα, την ημέρα, την ώρα, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, το υψόμετρο, όπως και τις διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους, δηλαδή την επιφανειακή πίεση και την πίεση στη μέση

στάθμη της θάλασσας (hPa), την μεταβολή της πίεσης (hPa), την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου (m/s), την θερμοκρασία (K), το σημείο δρόσου (K), την ορατότητα (m), την νεφοκάλυψη (%) και τον υετό (mm). Οι μετρήσεις είναι από δεδομένα SYNOP (σύμφωνα με την μετεωρολογική ορολογία) και μετριοούνται κάθε 3 ώρες στην Ελλάδα, δηλαδή στις 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 & 21 UTC. Η μέτρηση του υετού ήταν διαθέσιμη κάθε 6 ώρες, δηλαδή μόνο στις 00, 06, 12, 18 UTC.

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί ενδιαφέροντος στη συγκεκριμένη εργασία είναι αυτοί που επηρεάστηκαν από το υπό μελέτη σύστημα και ως εκ τούτου βρίσκονται στη Σικελία, στη Μάλτα καθώς και σε περιοχές της νότιας Ελλάδας όπως στην Κρήτη και στη Νότια Πελοπόννησο. Εφόσον εντοπίστηκαν οι σταθμοί που επηρεάστηκαν από το καιρικό σύστημα και σημειώθηκαν οι αριθμοί WMO των σταθμών, εφαρμόστηκε στην συνέχεια φίλτρο στο αρχείο που περιέχει τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις, ώστε να υπάρχουν συγκεντρωμένες όλες οι μετρήσεις που αφορούν τον κάθε σταθμό ξεχωριστά. Έπειτα, έγινε μελέτη μόνο των δεδομένων που αφορούν τις ημέρες εμφάνισης του κυκλώνα. Έτσι, καταγράφηκαν σε ξεχωριστό αρχείο όλες οι μετρήσεις που εμφάνισαν κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως μεγάλα ύψη βροχής σε χιλιοστά (mm), ισχυρούς ανέμους και απότομη πτώση της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας.

Στην συνέχεια, με τη βοήθεια του υπολογιστικού φύλλου Excel κατασκευάστηκαν διαγράμματα πίεσης, ταχύτητας ανέμου και βροχόπτωσης, καθώς και διαγράμματα με συνδυασμό αυτών των μετεωρολογικών παραμέτρων. Αυτά τα γραφήματα έγιναν με σκοπό την μελέτη και την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την ανάπτυξη του κυκλώνα, τις ώρες κατά τις οποίες ήταν πιο ενισχυμένος καθώς και τις επιπτώσεις που μπορεί να προκάλεσε διασχίζοντας ορισμένες περιοχές.

2.2.3 Επεξεργασία Δεδομένων Αναλύσεων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF)

Τα μετεωρολογικά δεδομένα από τις επιχειρησιακές πλεγματικές αναλύσεις του ECMWF χρησιμοποιήθηκαν για την συνοπτική ανάλυση του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν μετεωρολογικές παραμέτρους πίεσης, θερμοκρασίας, ταχύτητας ανέμου, γεωδυναμικού ύψους κλπ., για τα οποία έχουμε πληροφορίες ανά 6 ώρες, δηλαδή στις κύριες συνοπτικές ώρες 00, 06, 12 και 18 UTC. Η χωρική διακριτοποίησή τους είναι $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ (γεωγραφικό πλάτος x γεωγραφικό μήκος).

Για την επεξεργασία των μετεωρολογικών αυτών δεδομένων μορφής GRIB έγινε χρήση του λογισμικού OpenGrADS έκδοση 2.0.1, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο. Στο λογισμικό αυτό γίνεται χρήση αρκετών εντολών με σκοπό την αναπαράσταση μιας περιοχής σε έναν χάρτη, ο οποίος θα απεικονίζει μια μετεωρολογική παράμετρο ή ακόμα και περισσότερες. Ένα παράδειγμα είναι η απεικόνιση της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και των ισοβαρών καμπυλών. Με έναν τέτοιο χάρτη μπορούμε να διαπιστώσουμε πάνω από ποιες περιοχές επικρατούν υψηλές ή χαμηλές πιέσεις και να βγάλουμε ανάλογα συμπεράσματα για τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στις περιοχές αυτές.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με βάση την σειρά των εντολών που δόθηκε για την κατασκευή την πλειοψηφίας των μετεωρολογικών χαρτών και διαγραμμάτων στο λογισμικό OpenGrADS περιγράφεται ακολούθως. Αρχικά, γίνεται το άνοιγμα του αρχείου CTL με αναφορά στην εντολή open και στο όνομά του π.χ. «open analysis_291016_plev.ECO.ctl». Στην συνέχεια, ορίζονται με την εντολή set κάποια στοιχεία για τον καθορισμό την περιοχής που θα απεικονίζει ο χάρτης, όπως είναι το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος καθώς και η ημερομηνία, η ώρα και το επίπεδο της τροπόσφαιρας (π.χ. ισοβαρικό επίπεδο 500 hPa). Αν χρειάζεται να απεικονιστεί η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας δεν προσδιορίζεται ισοβαρικό επίπεδο.

Έπειτα, είναι δυνατόν να ορίσουμε τον τρόπο με τον οποίο χρειάζεται να εμφανιστούν τα δεδομένα με βάση την μορφή της απεικόνισης. Υπάρχουν δύο κύριες επιλογές με την πρώτη να αφορά απεικόνιση καμπυλών και την δεύτερη απεικόνιση σκιασμένου χάρτη με το κάθε τμήμα ανάμεσα σε δύο νοητές καμπύλες να καταλαμβάνεται από κάποιο χρωματισμό.

Σχετικά με τις μεταβλητές και τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε γράφημα, αυτές εξαρτώνται τόσο από το είδος του διαγράμματος/χάρτη όσο και από τη μετεωρολογική παράμετρο που θα απεικονιστεί. Ορισμένοι σημαντικοί μαθηματικοί τύποι αποτελούν ο τύπος της Δυναμικής Θερμοκρασίας (Θ) σε Kelvin $\Theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{0,286}$, όπου P το επίπεδο πίεσης σε hPa και T η θερμοκρασία στο αντίστοιχο επίπεδο σε Kelvin, καθώς και ο τύπος $T_c = T_k - 273,15$ που αντιπροσωπεύει τη σχέση μετατροπής μιας θερμοκρασίας από βαθμούς Kelvin σε Celsius.

2.2.4 Επεξεργασία Μετεωρολογικών Χαρτών (UKMET)

Μέσα από την ιστοσελίδα www.wetter3.de αντλήθηκε πλήθος χαρτών καιρού που βασίζονται στο μοντέλο του Ηνωμένου Βασιλείου Unified. Οι χάρτες αυτοί είναι διαθέσιμοι ανά 6 ώρες και συγκεκριμένα στις κύριες συνοπτικές ώρες των 00, 06, 12 και 18 UTC. Γεωγραφικά τα τμήματα ξηράς που καλύπτουν περιλαμβάνουν ολόκληρη την Ευρώπη, τμήμα της Δυτικής Ασίας, ένα μικρό κομμάτι της Βόρειας Αφρικής, τη Γροιλανδία καθώς και τις πολύ ανατολικές και βόρειες ακτές της Βόρειας Αμερικής. Τα τμήματα θάλασσας που απεικονίζονται στους χάρτες καιρού UKMET περιλαμβάνουν τη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα στο Νότο της Ευρωπαϊκής Χερσονήσου, την Βαλτική και την Βόρεια Θάλασσα στο Βορρά καθώς και το μεγαλύτερο μέρος του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού.

Με τη βοήθεια αυτών των χαρτών μπορούν να εντοπιστούν βαρομετρικά χαμηλά, βαρομετρικά υψηλά και αυλώνες. Τα βαρομετρικά χαμηλά (κυκλώνες) στα οποία η ατμοσφαιρική πίεση στο κέντρο είναι χαμηλότερη απ' ό,τι στην περιφέρεια συμβολίζονται με το αγγλικό γράμμα L, ενώ τα βαρομετρικά υψηλά (αντικυκλώνες) των οποίων η ατμοσφαιρική πίεση στο κέντρο είναι υψηλότερη απ' ό,τι στην περιφέρεια συμβολίζονται με το H. Εμφανής είναι στους χάρτες καιρού και η παρουσία μετώπων (ψυχρά, θερμά, συνεσφιγμένα, στάσιμα) γύρω από ένα βαρομετρικό χαμηλό.

Επίσης, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για την ταχύτητα του ανέμου πάνω από έναν τόπο. Αυτή είναι μεγάλη όταν οι ισοβαρείς καμπύλες (καμπύλες που έχουν την ίδια τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης) βρίσκονται κοντά η μία με την άλλη, δηλαδή έχουμε μεγάλη βαροβαθμίδα. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η βαθμίδα της ατμοσφαιρικής πίεσης τόσο σφοδρότεροι άνεμοι παρατηρούνται. Αντίθετα, η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρή, όταν οι ισοβαρείς καμπύλες ανάμεσα σε δύο περιοχές βρίσκονται μακριά η μία από την άλλη, δηλαδή έχουμε μικρή βαροβαθμίδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

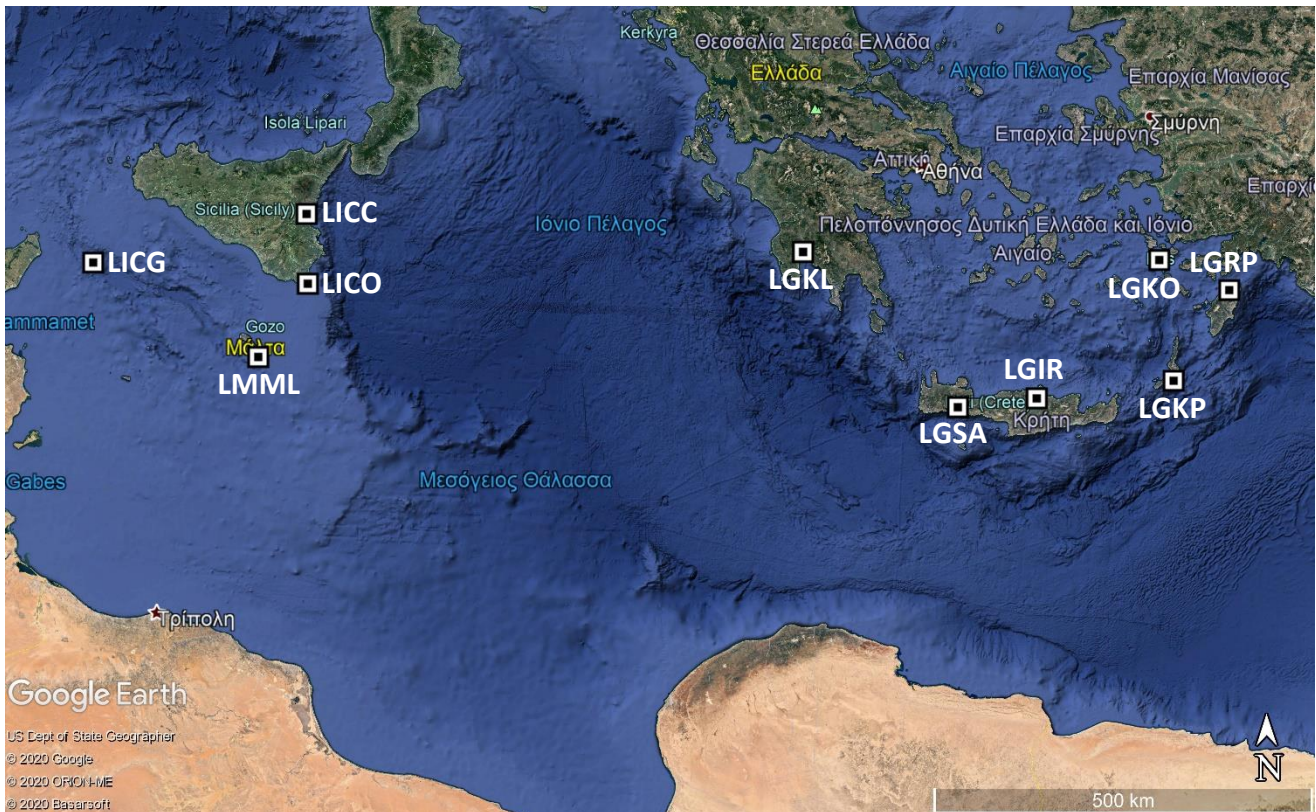
Συνοπτική Ανάλυση και Στάδια Εξέλιξης

Η συνοπτική ανάλυση του Μ.Κ. του Οκτωβρίου 2016 περιλαμβάνει την περιγραφή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των συνθηκών πριν την ημέρα γένεσης του κυκλώνα καθώς και την μελέτη των σταδίων εξέλιξης κατά τη διάρκεια πέντε ημερών. Στις 27 και 28 Οκτωβρίου, μέχρι τις 20:00 UTC της δεύτερης ημέρας εξετάζεται το περιβάλλον και οι συνθήκες που επικρατούσαν λίγο πριν τον σχηματισμό του κυκλώνα. Στη συνέχεια, από τις 20:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου έως και τις 30 Οκτωβρίου, το σύστημα παρουσίασε τα τροπικά χαρακτηριστικά του. Τέλος, στις 31 Οκτωβρίου, ο Μ.Κ. άρχισε σταδιακά να διαλύεται, αφού προηγουμένως πέρασε πάνω από ξηρά. Για τη μελέτη της συνοπτικής κατάστασης αντλήθηκαν πληροφορίες από επίγειες παρατηρήσεις μετεωρολογικών σταθμών, από τη δημιουργία εικόνων μέσα από τη χρήση του Google Earth, από συνοπτικούς χάρτες καθώς και από οριζόντιες τομές τόσο επιφανείας όσο και διαφόρων γεωδυναμικών υψών, όπως στις στάθμες των 850 hPa και 500 hPa.

Ο Μεσογειακός κυκλώνας που δημιουργήθηκε στις 28 Οκτωβρίου 2016 ανάμεσα στη θαλάσσια περιοχή του ανατολικού τμήματος της Μάλτας και του νοτιοανατολικού άκρου της Σικελίας στην Κεντρική Μεσόγειο, αποτελεί ένα καιρικό σύστημα με ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν και στην περίπτωση ενός τροπικού κυκλώνα. Οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο ήταν η Μάλτα, η Σικελία, η νότια Πελοπόννησος, η Κρήτη και ορισμένα νησιά του Αιγαίου όπως η Κάρπαθος και η Κω.

Οι επίγειοι μετεωρολογικοί σταθμοί που έδωσαν αξιοσημείωτες μετρήσεις αναφέρονται ονομαστικά παρακάτω και απεικονίζονται στο σχήμα 3.1. Πρόκειται για τους σταθμούς που αφορούν τρία νησιά στην Κεντρική Μεσόγειο, τέσσερα νησιά στην Ανατολική Μεσόγειο (Ελλάδα) και κάποια παράκτια τμήματα στην Νότια Ελλάδα. Συγκεκριμένα, στην Κεντρική Μεσόγειο είναι οι σταθμοί LICG (στη Pantelleria), LMMML (στη Luqa Μάλτας) και LICC (στη Fontanarossa), LICO (στο Cozzo Spadaro) στη Σικελία, στην Ανατολική Μεσόγειο οι σταθμοί LGSA (στη Σούδα), LGIR (στο Ηράκλειο), Τυμπακίου και Καστελλίου στην Κρήτη, LGRP (στη Ρόδο), LGKO (στην Κω και LGKP (στην Κάρπαθο). Οι Ελληνικοί σταθμοί ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). Στη Νότια Ελλάδα και συγκεκριμένα στις ακτές

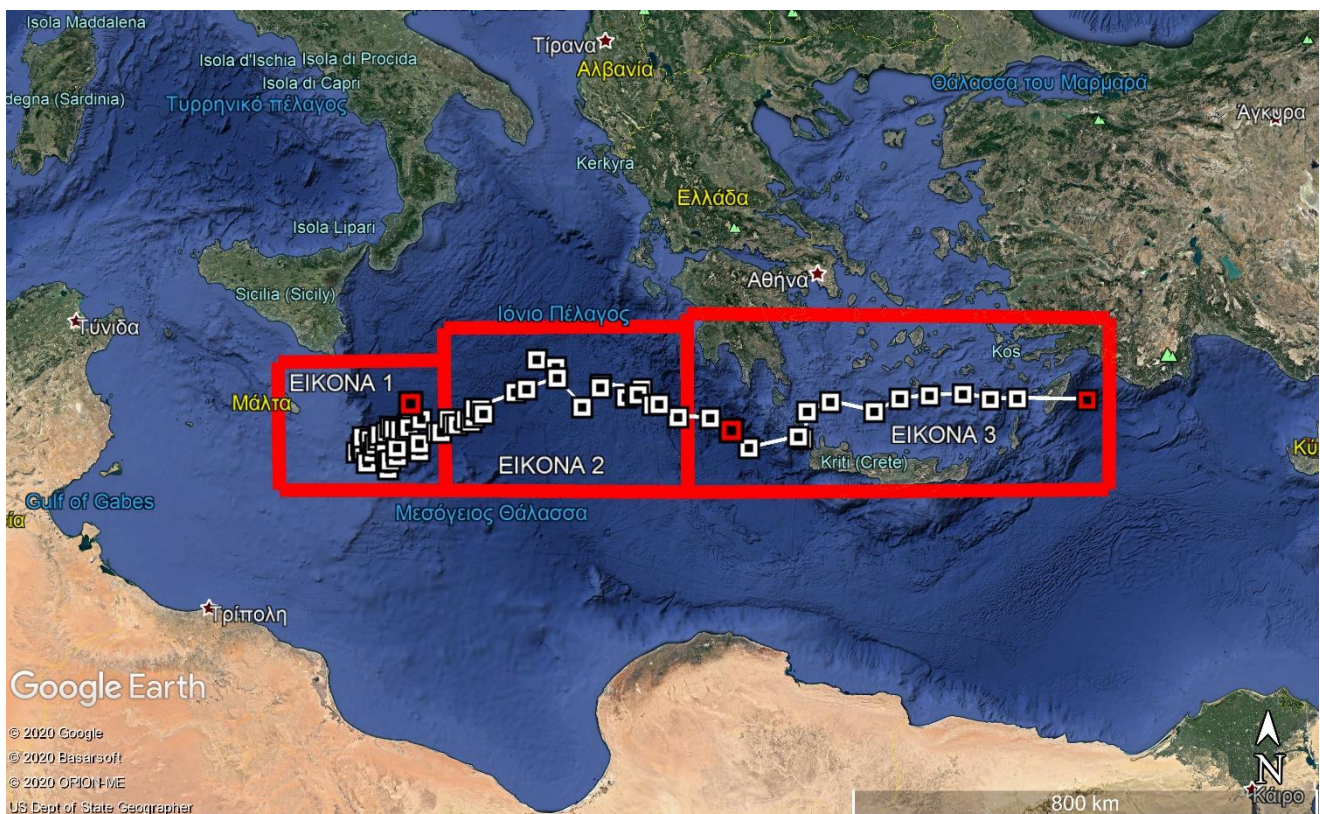
της Νότιας Πελοποννήσου επηρεάστηκε περισσότερο ο σταθμός LGKL (στην Καλαμάτα).



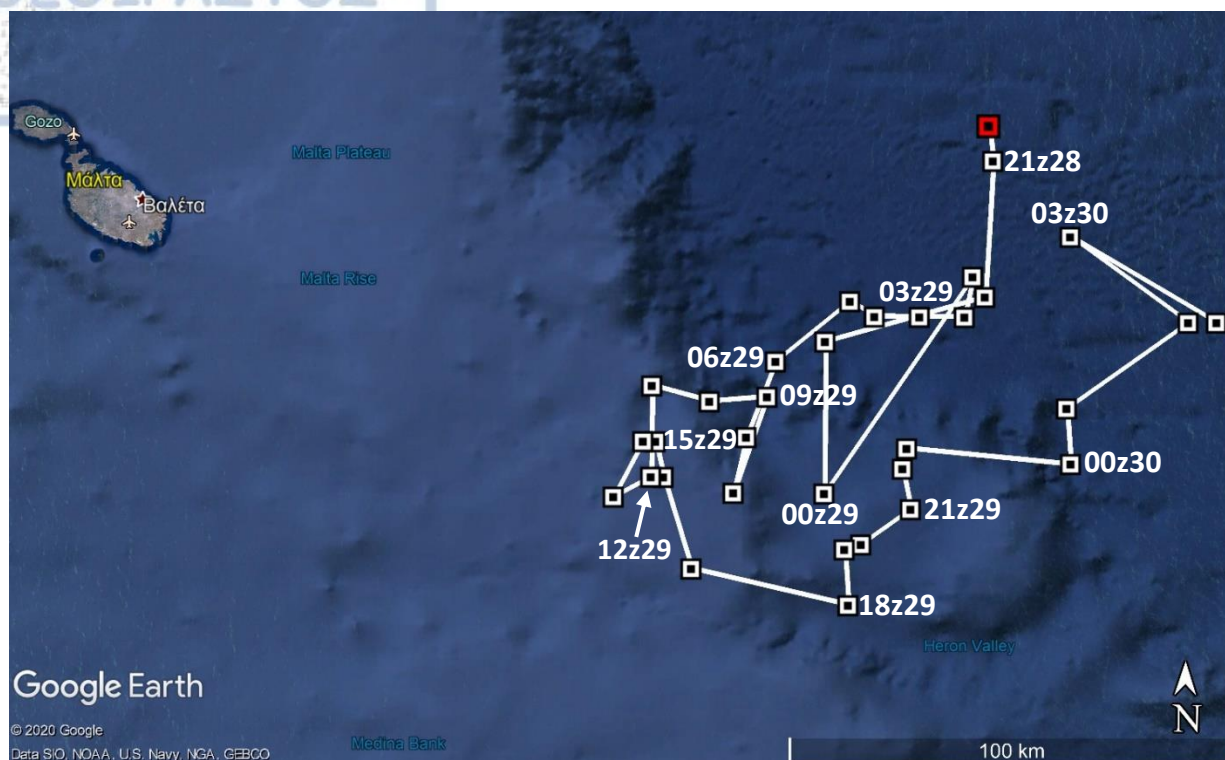
Σχήμα 3.1 Απεικόνιση των επίγειων μετεωρολογικών σταθμών στην Κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο, οι οποίοι παρουσίασαν τις πιο αξιοσημείωτες μετρήσεις με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, τις μέγιστες εντάσεις ανέμου και τις μικρότερες τιμές πίεσης λόγω του Μ.Κ. για τις ημέρες 28, 29 και 30/10/2016.

Η πορεία που διένυσε ο Μ.Κ. απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.2α). Στο σχήμα αυτό παριστάνονται τα σημεία απ' όπου πέρασε το κέντρο ή αλλιώς «μάτι» του κυκλώνα με μικρά τετράγωνα σύμβολα, έτσι όπως αποτυπώθηκε από διαδοχικές δορυφορικές εικόνες ανά διάστημα μιας ώρας. Επίσης, η τοποθέτηση των κόκκινων τετράγωνων συμβόλων στο σχήμα έγινε με σκοπό την οριοθέτηση των τμημάτων εξέλιξης και αποδυνάμωσης/διάλυσης του βαρομετρικού χαμηλού. Συγκεκριμένα, μεταξύ του πρώτου και δεύτερου κόκκινου συμβόλου απεικονίζεται η πορεία του κυκλώνα κατά το στάδιο της γένεσης και ωρίμανσής του, ενώ από το δεύτερο μέχρι το τρίτο κόκκινο σύμβολο παριστάνεται η τροχιά του κυκλώνα κατά το στάδιο της διάλυσής του.

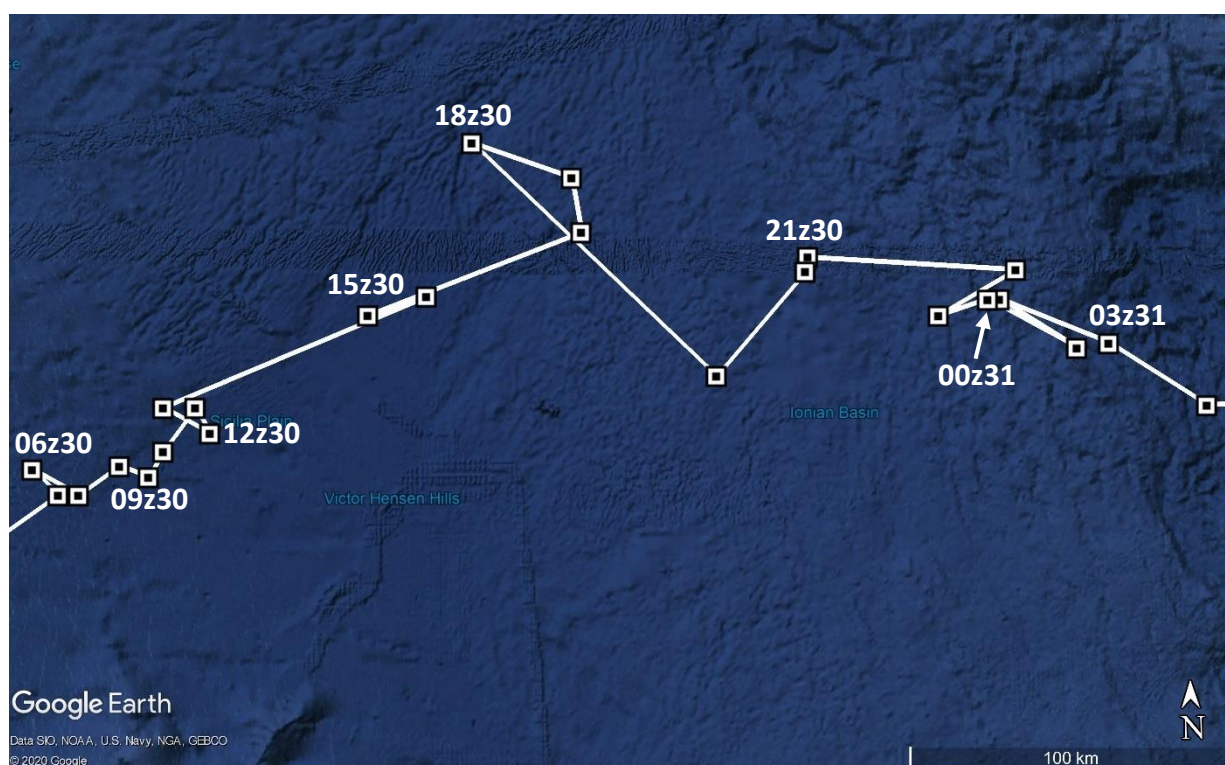
Αρχικά, ο κυκλώνας δημιουργήθηκε ανατολικά της Μάλτας στις 20:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου και παρέμεινε περιστρεφόμενος γύρω από το κέντρο του στην ίδια περιοχή περίπου μέχρι τα ξημερώματα στις 30/10, όπως φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο της Εικόνας 1 (Σχήμα 3.2α, 3.2β). Στη συνέχεια, παρατηρώντας την Εικόνα 2, το υπό μελέτη σύστημα κινήθηκε Βορειοανατολικά (ΒΑ) προσεγγίζοντας το Ιόνιο Πέλαγος, τη νότια Πελοπόννησο και την Κρήτη (Σχήμα 3.2γ). Στην Εικόνα 3, ο κυκλώνας κινείται ακόμη πιο ανατολικά, περνά κοντά από ξηρά (Κρήτη) και σε συνδυασμό με την κατακόρυφη διάτμηση του ανέμου (διερευνάται στην παράγραφο 3.8) αρχίζει η σταδιακή διάλυσή του από τις 06:00 UTC στις 31/10 με αποτέλεσμα να χάνει ολοένα και περισσότερο τα τροπικά του χαρακτηριστικά (Σχήμα 3.2δ).



Σχήμα 3.2α Η διαδρομή του Μεσογειακού Κυκλώνα από τις 20:00 UTC στις 28/10 έως τις 18:00 UTC στις 31/10 όπως διαπιστώθηκε από την μελέτη μιας σειράς δορυφορικών εικόνων. Ημερομηνία και ώρα των τριών κόκκινων συμβόλων (μικρά τετράγωνα): 1ο (28/10 20:00 UTC), 2ο (31/10 06:00 UTC) και 3ο (31/10 18:00 UTC). Τα τρία κόκκινα πλαίσια αντιστοιχούν στις εικόνες 1, 2 και 3 αντίστοιχα, ενώ παρουσιάζονται ξεχωριστά με μεγέθυνση παρακάτω. Το χρονικό βήμα των σημείων (μικρά λευκά τετράγωνα) είναι ανά μία ώρα.



Σχήμα 3.2β Η πορεία του κυκλώνα από τις 20:00 UTC στις 28/10 έως τις 04:00 UTC στις 30/10 σύμφωνα με την παρατήρηση δορυφορικών εικόνων.



Σχήμα 3.2γ Η πορεία του κυκλώνα από τις 05:00 UTC στις 30/10 έως τις 04:00 UTC στις 31/10 σύμφωνα με την παρατήρηση δορυφορικών εικόνων.

Ψηφιακή συλλογή
βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"

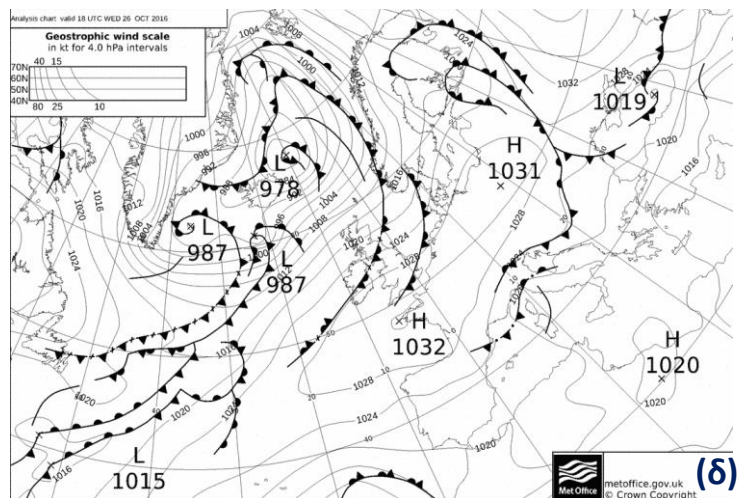
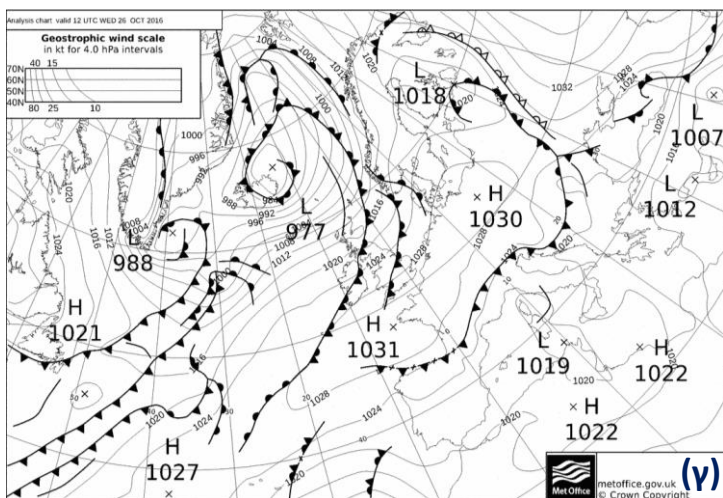
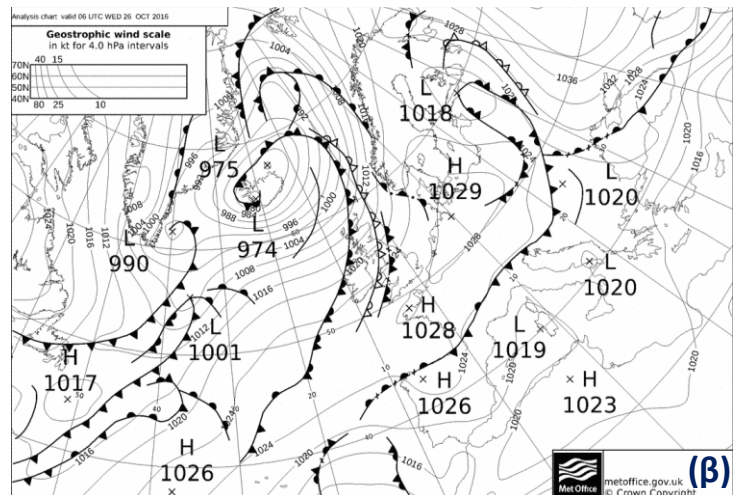
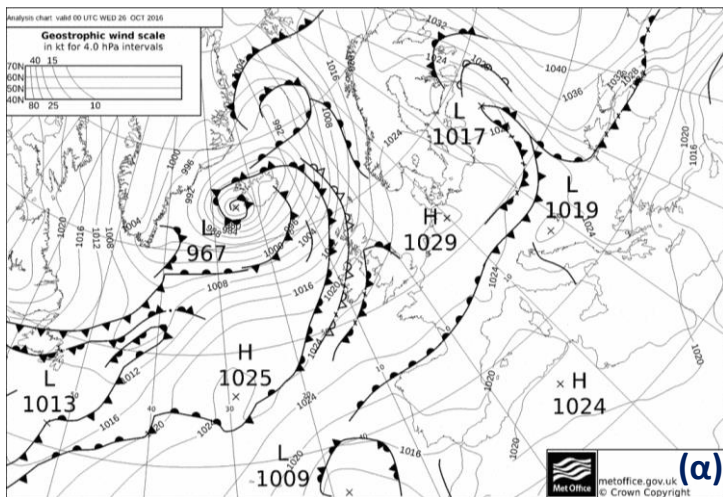
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ
ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016



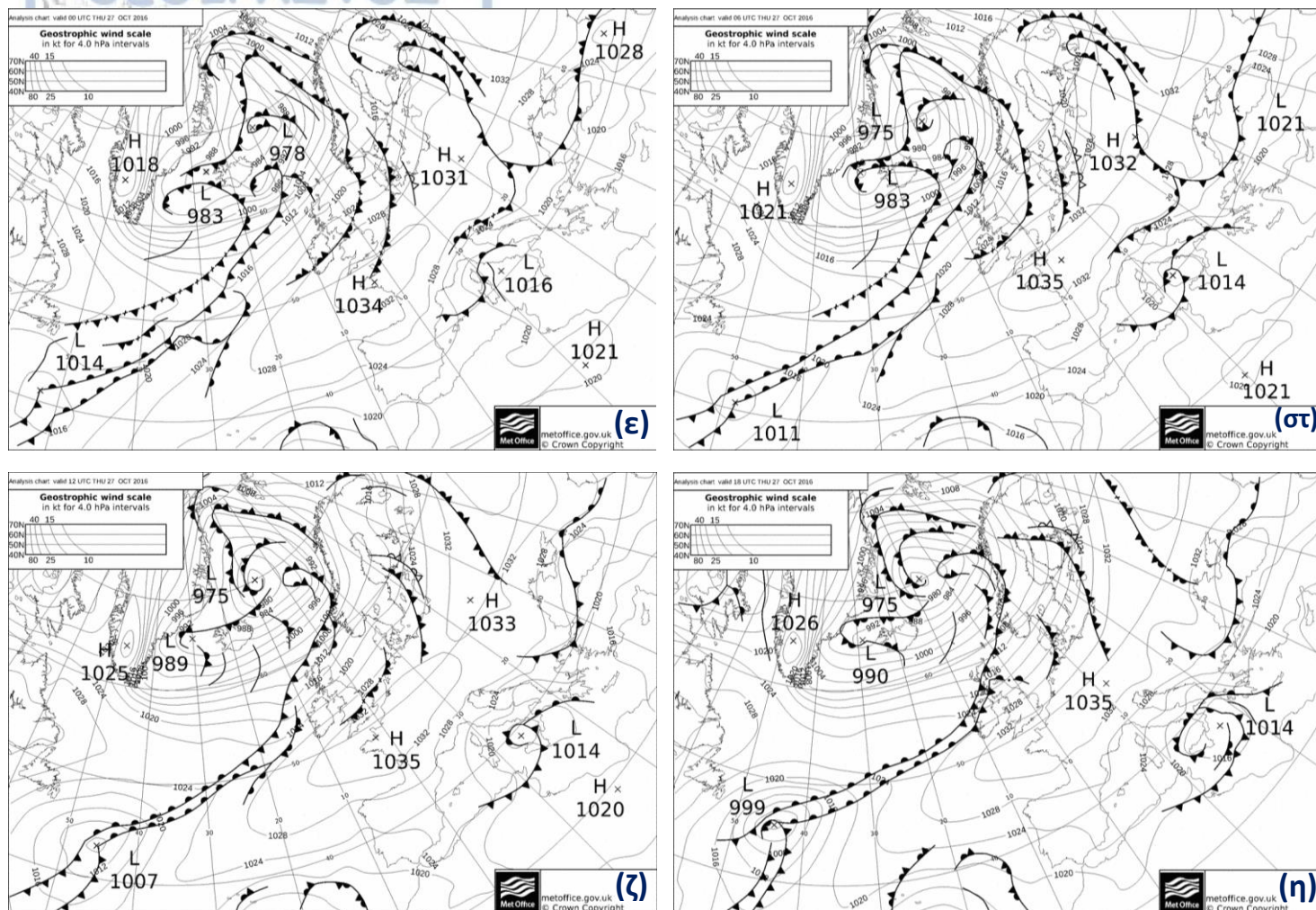
Σχήμα 3.2δ Η πορεία του κυκλώνα από τις 05:00 UTC έως τις 18:00 UTC στις 31/10 σύμφωνα με την παρατήρηση δορυφορικών εικόνων.

3.1 Ατμοσφαιρικές συνθήκες πριν τη γένεση του κυκλώνα

Στους συνοπτικούς χάρτες επιφάνειας του Met Office παρατηρείται ότι στις 00:00 UTC στις 26 Οκτωβρίου 2016, ένα εκτεταμένο ψυχρό μέτωπο στην κεντρική Ευρώπη κινείται προς τα νότια, ενώ ταυτόχρονα αναδύεται ένα βαρομετρικό χαμηλό ανατολικά των Δειναρικών Άλπεων (Σχήμα 3.3 α). Τις επόμενες ώρες το σύστημα αυτό κινείται νοτιότερα, ενώ την ίδια στιγμή σχηματίζεται ένας αυλώνας μεταξύ δυτικής Ιταλίας και Σαρδηνίας (Σχήμα 3.3 β, γ, δ, ε). Τις πρώτες πρωινές ώρες της 27ης Οκτωβρίου, στην περιοχή του αυλώνα δημιουργείται κυκλογένεση πάνω από τη θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου μεταξύ δυτικής Ιταλίας και Σαρδηνίας (Σχήμα 3.3 στ). Από τις 06:00 UTC έως τις 18:00 UTC στις 27/10, το βαρομετρικό χαμηλό που έχει σχηματιστεί κινείται ανατολικά φθάνοντας στην θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στη Σικελία και το Ιόνιο Πέλαγος με την ελάχιστη πίεση να έχει τιμή 1014 hPa (Σχήμα 3.3 ζ, η).

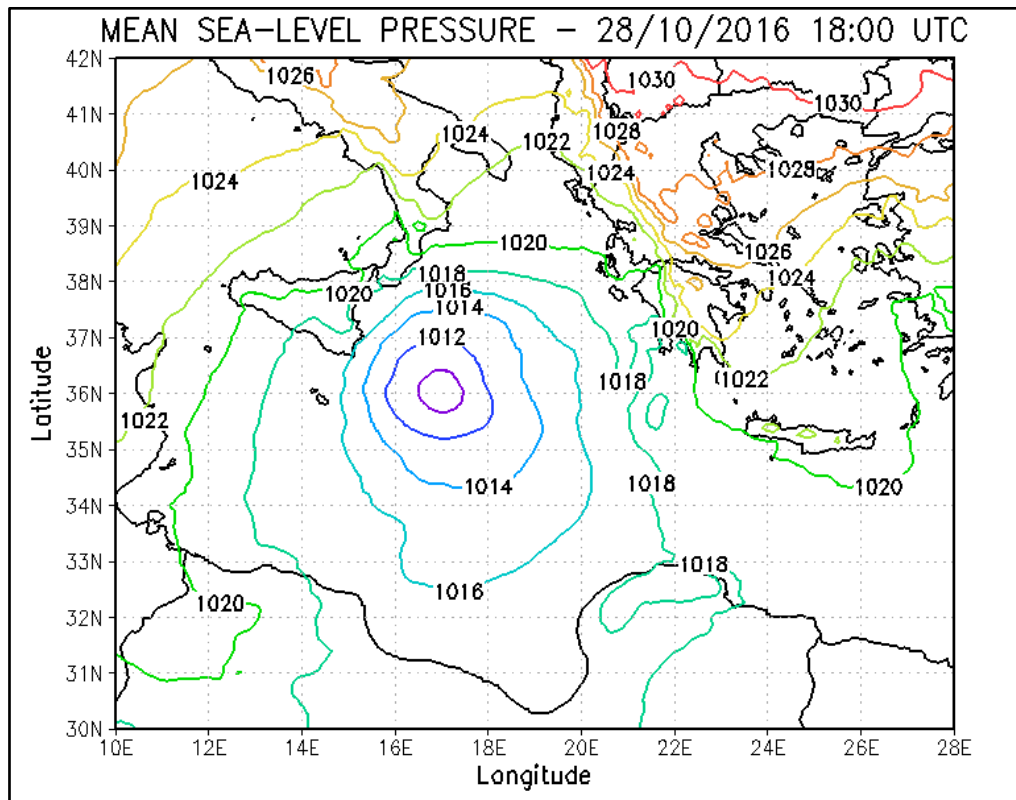


ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ
ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016



Σχήμα 3.3 Συνοπτικοί χάρτες επιφάνειας του Met Office με τις ισοβαρείς ανά 4 hPa στις 00:00 (α), 06:00 (β), 12:00 (γ), 18:00 (δ) UTC στις 26/10/2016 και στις 00:00 (ε), 06:00 (ς), 12:00 (ζ), 18:00 (η) UTC στις 27/10/2016 (Πηγή: <http://www1.wetter3.de/>).

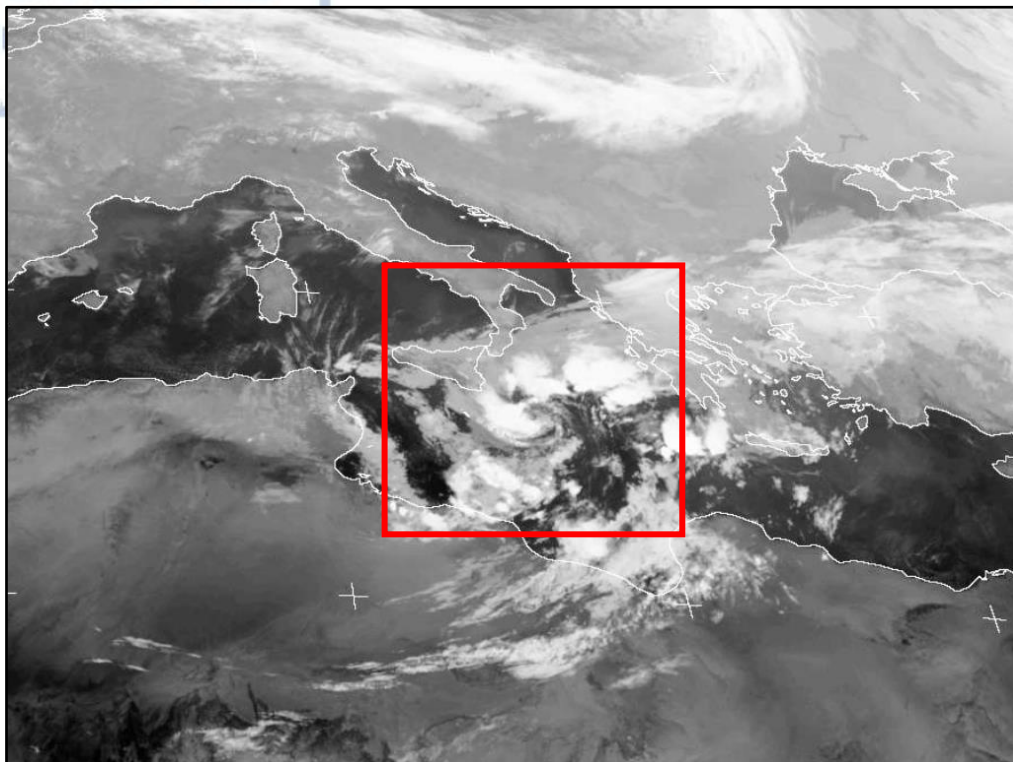
Τις επόμενες ώρες από τις 00:00 UTC έως και τις 18:00 UTC στις 28/10, το βαρομετρικό χαμηλό συνέχισε να κινείται με αργό ρυθμό προς τα ΝΑ. Σταδιακά το σύστημα μέχρι και τις 18:00 UTC αποκτά τα χαρακτηριστικά ενός Μ.Κ. με την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (mslp) να φτάνει περίπου την τιμή 1009 hPa σύμφωνα με τα δεδομένα αναλύσεων του ECMWF (Σχήμα 3.4).



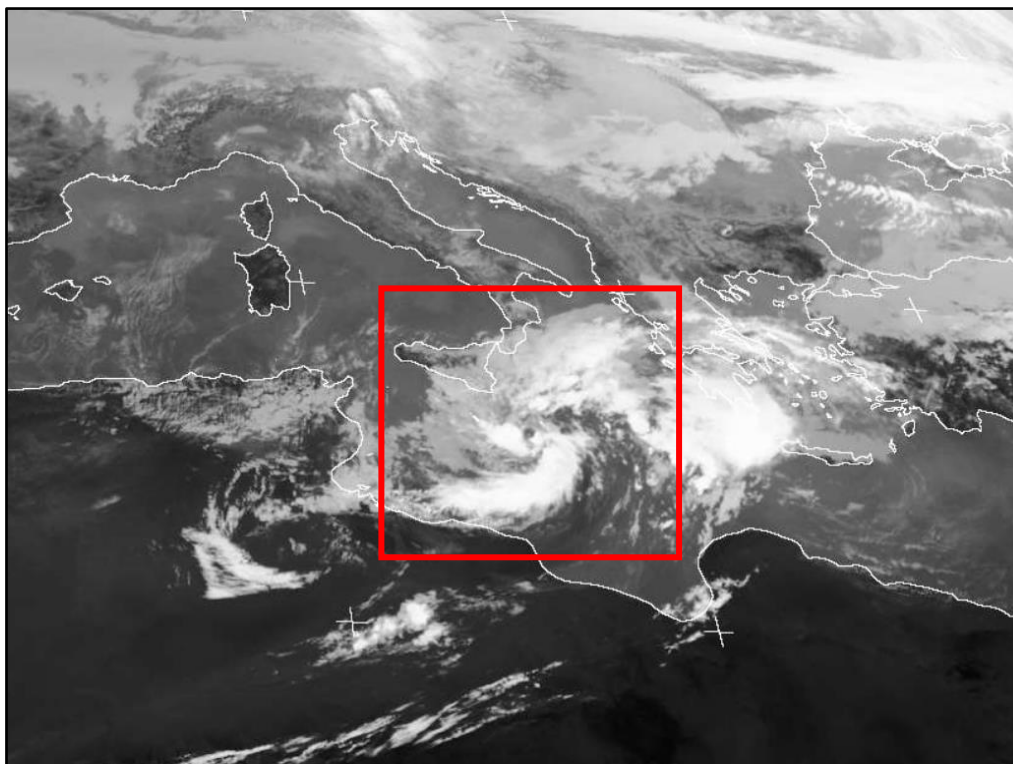
Σχήμα 3.4 Οριζόντια τομή στις 18:00 UTC στις 28 Οκτωβρίου 2016 που απεικονίζει την θέση της ελάχιστης πίεσης του συστήματος στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) (Δεδομένα: ECMWF).

3.2 Στάδιο γένεσης και ωρίμανσης του Μ.Κ.

Η γένεση και ωρίμανση του Μ.Κ. αποτυπώνονται ξεκάθαρα από τις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι 9 του υπέρυθρου φάσματος στις 20:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου και στις 10:00 UTC της 29ης Οκτωβρίου, στις οποίες είναι εμφανές τόσο το μάτι όσο και η περιοχή γύρω από αυτό, δηλαδή τα τοιχώματά του (eyewall) (Σχήμα 3.5, 3.6). Η θέση του κέντρου του Μ.Κ. στις δορυφορικές εικόνες αποτυπώνεται στον Πίνακα 3.1.



Σχήμα 3.5 Δορυφορική εικόνα του Meteosat 10 στο κανάλι 9 (10,8 μm) του υπέρυθρου φάσματος στην οποία απεικονίζονται τα νέφη γύρω από το κέντρο του Μ.Κ. στις 28/10/2016 στις 20:00 UTC. Το κόκκινο πλαίσιο υποδεικνύει τον κυκλώνα.

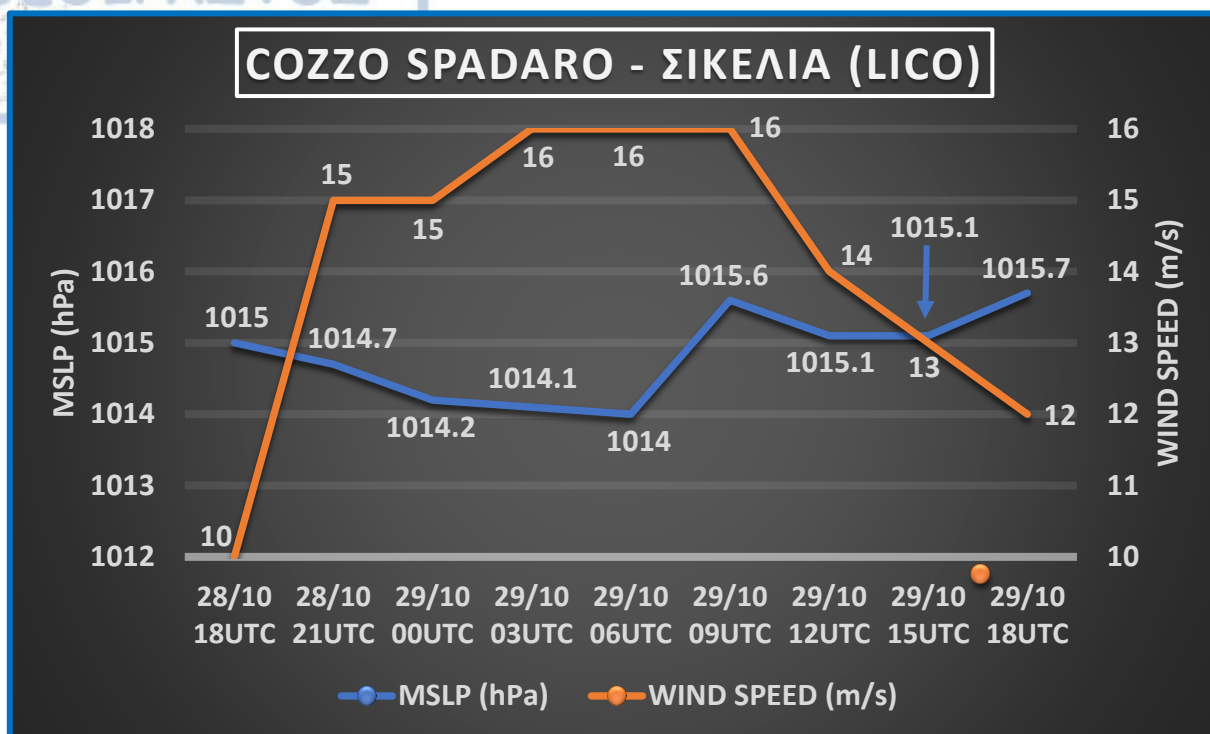


Σχήμα 3.6 Δορυφορική εικόνα του Meteosat 10 στο κανάλι 9 (10,8 μm) του υπέρυθρου φάσματος στην οποία απεικονίζεται το ευκρινές «μάτι» του Μ.Κ. καθώς και τα νέφη στις 29/10/2016 στις 10:00 UTC. Το κόκκινο πλαίσιο υποδεικνύει τον κυκλώνα.

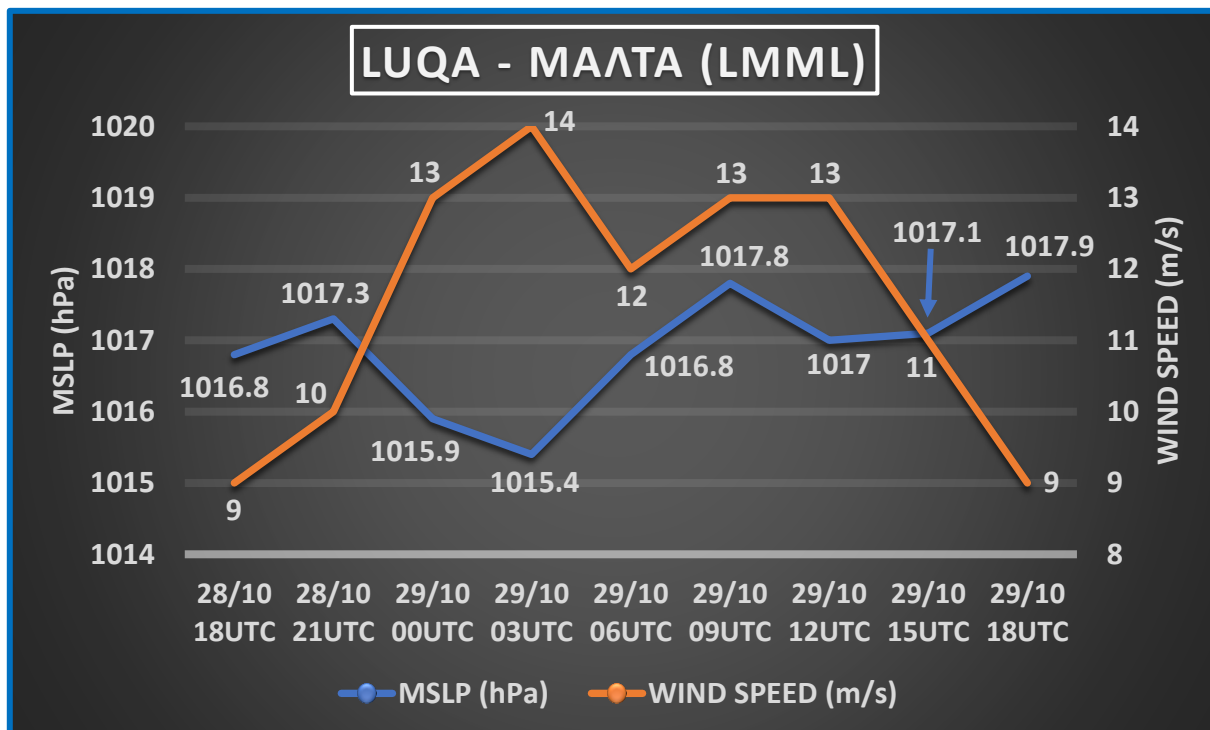
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ
ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (φ)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (λ)
28/10/2016	20:00 UTC	36.07 N	16.59 E
28/10/2016	21:00 UTC	36.00 N	16.60 E
29/10/2016	00:00 UTC	35.34 N	16.19 E
29/10/2016	03:00 UTC	35.69 N	16.42 E
29/10/2016	06:00 UTC	35.60 N	16.07 E
29/10/2016	09:00 UTC	35.53 N	16.05 E
29/10/2016	12:00 UTC	35.37 N	15.77 E
29/10/2016	15:00 UTC	35.44 N	15.78 E
29/10/2016	18:00 UTC	35.12 N	16.25 E
29/10/2016	21:00 UTC	35.31 N	16.40 E
30/10/2016	00:00 UTC	35.40 N	16.79 E
30/10/2016	03:00 UTC	35.85 N	16.79 E
30/10/2016	06:00 UTC	35.87 N	17.27 E
30/10/2016	09:00 UTC	35.85 N	17.67 E
30/10/2016	12:00 UTC	35.97 N	17.88 E
30/10/2016	15:00 UTC	36.29 N	18.42 E
30/10/2016	18:00 UTC	36.76 N	18.78 E
30/10/2016	21:00 UTC	36.43 N	19.92 E
31/10/2016	00:00 UTC	36.30 N	20.53 E
31/10/2016	03:00 UTC	36.17 N	20.94 E

Πίνακας 3.1 Ημερομηνία, Ώρα, Γεωγραφικό πλάτος και Γεωγραφικό μήκος της διαδρομής του κυκλώνα όπως αποτυπώθηκε από τις δορυφορικές εικόνες.

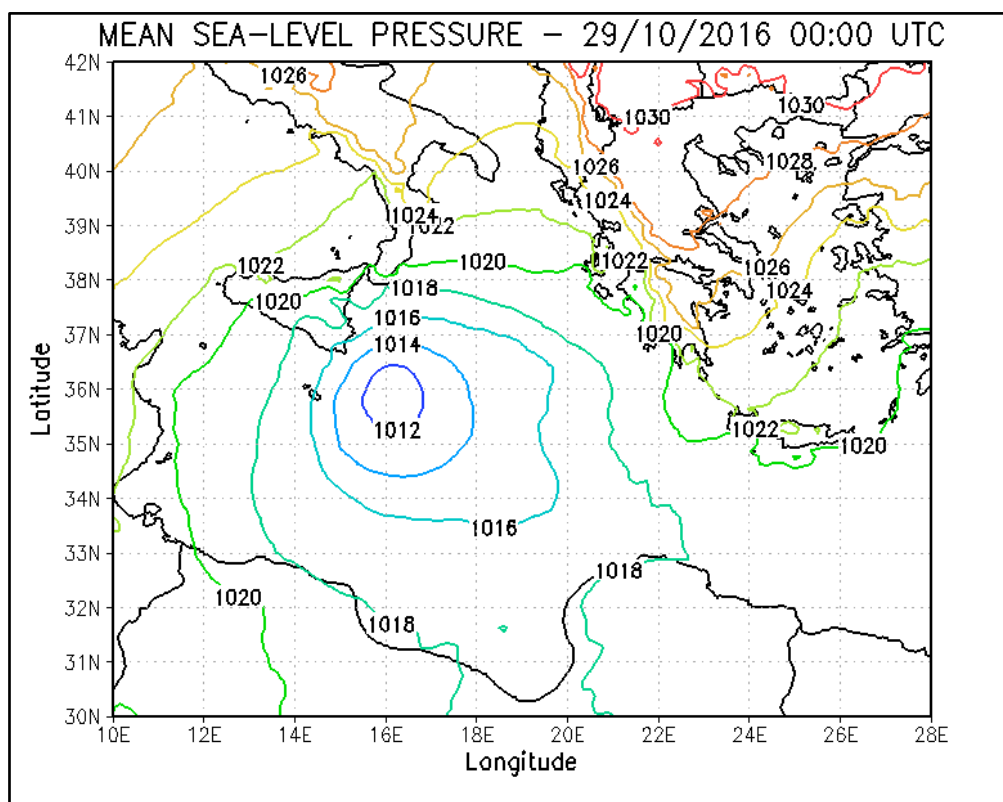


Σχήμα 3.7 Διάγραμμα χρονοσειράς της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSLP, hPa) και της ταχύτητας του ανέμου (WIND SPEED, m/s) στο σταθμό Cozzo Spadaro της Σικελίας στις 28 και 29 Οκτωβρίου 2016.



Σχήμα 3.8 Διάγραμμα χρονοσειράς της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSLP, hPa) και της ταχύτητας του ανέμου (WIND SPEED, m/s) στο σταθμό της Lyqa στη Μάλτα στις 28 και 29 Οκτωβρίου 2016.

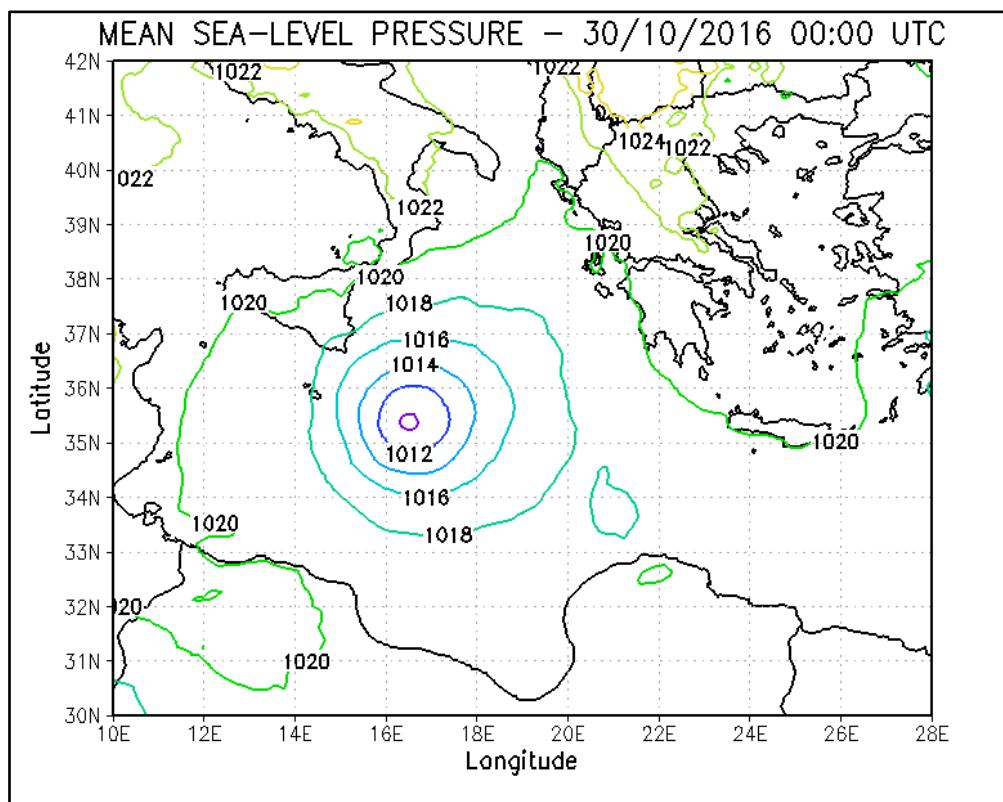
Η ταχύτητα του ανέμου, στο σταθμό της Σικελίας στο Cozzo Spadaro (LICO στο Σχήμα 3.1) και της Μάλτας (LMML) έφτασε τα 16 m/s και 14 m/s αντίστοιχα, την στιγμή που η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας σημείωσε την ελάχιστη τιμή της για τους συγκεκριμένους σταθμούς (1014 hPa και 1015,4 hPa αντίστοιχα) (Σχήμα 3.7 και 3.8). Όσον αφορά τη βροχόπτωση, ο σταθμός LICO στη Σικελία κατέγραψε 13,2 χιλιοστά βροχής από τις 06:00 UTC στις 28/10 έως τις 06:00 UTC στις 29/10, ενώ στο αεροδρόμιο Luqa της Μάλτας (LMML) μετρήθηκαν 10 χιλιοστά από τις 00:00 UTC έως τις 18:00 UTC στις 29/10.



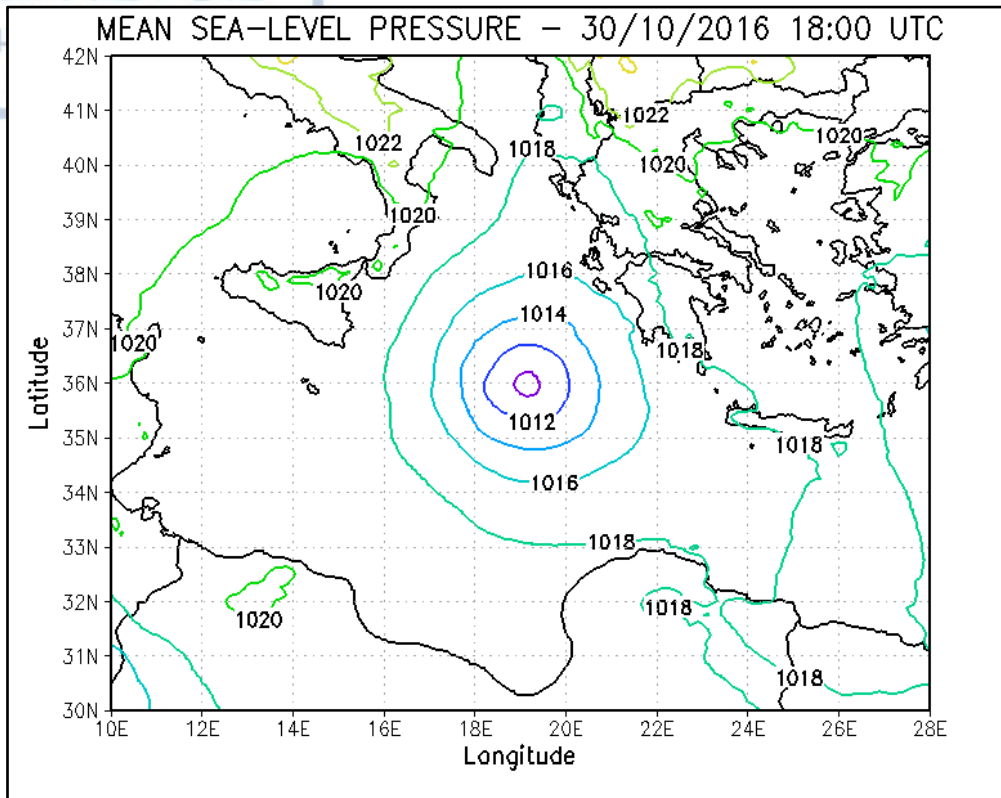
Σχήμα 3.9 Οριζόντια τομή στις 00:00 UTC στις 29 Οκτωβρίου 2016 που απεικονίζει την θέση της ελάχιστης πίεσης του συστήματος στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) (Δεδομένα: ECMWF).

Στις 00:00 UTC στις 29/10, το κέντρο του Μ.Κ. βρίσκεται ανατολικά της Μάλτας (Σχήμα 3.9). Σύμφωνα με τις αναλύσεις δεδομένων του ECMWF, η πίεση στο κέντρο του κυκλώνα είναι 1010,11 hPa, ενώ στις 00:00 UTC στις 30/10 η πίεση στο «μάτι» έπεσε στα 1009,7 hPa στη θέση 35.375 N, 16.50 E πολύ κοντά στη θέση που εντοπίζεται στις δορυφορικές εικόνες (Πίνακας 3.1) (Σχήμα 3.10). Το σύστημα κινείται μέχρι τις 06:00 UTC στις 30/10 στην ίδια περίπου περιοχή κοντά στη Μάλτα. Στη συνέχεια, παρατηρείται ότι το βαρομετρικό χαμηλό κινείται σχεδόν με ευθεία πορεία

προς τα ανατολικά απομακρυνόμενο από τη Μάλτα και τη Σικελία προσεγγίζοντας την Πελοπόννησο και την Κρήτη (Σχήμα 3.2γ και 3.11).



Σχήμα 3.10 Οριζόντια τομή στις 00:00 UTC στις 30/10/2016 που δείχνει την θέση της ελάχιστης πίεσης του συστήματος στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) (Δεδομένα: ECMWF).



Σχήμα 3.11 Οριζόντια τομή στις 18:00 UTC στις 30/10/2016 που δείχνει την θέση της ελάχιστης πίεσης του συστήματος στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς). Η τιμή της πίεσης στο κέντρο του κυκλώνα είναι ίση με 1009,5 hPa (Δεδομένα: ECMWF).

3.3 Μετάβαση στην Κρήτη και στη Ρόδο - Διάλυση του Μ.Κ.

Ο Μ.Κ. αφού διέσχισε την θαλάσσια περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου μεταξύ Σικελίας και Ιονίου Πελάγους, κινήθηκε νοτιοανατολικά και πέρασε από το στενό των Αντικυθήρων. Έπειτα, κατευθύνθηκε βορειοανατολικά από τις 09:00 UTC έως τις 11:00 UTC στις 31/10 και στη συνέχεια ακολούθησε μια ανατολική πορεία παράλληλα με τις ακτές της βόρειας Κρήτης, φτάνοντας στο νησί της Ρόδου μεταξύ 17:00 και 18:00 UTC (Σχήμα 3.2δ). Η μετάβαση αυτή πάνω από τη Ρόδο σήμανε την κατάρρευση του κυκλώνα.

Ο Μ.Κ. άρχισε να χάνει σταδιακά τα τροπικά του χαρακτηριστικά από τις 06:00 UTC στις 31/10, όταν δηλαδή πέρασε κοντά από τις ακτές της Νότιας Πελοποννήσου μέχρις ότου διασχίσει τη Ρόδο και διαλυθεί πλήρως στις 18:00 UTC στις 31/10. Επομένως, οι περιοχές της Ελλάδας που επηρεάστηκαν περισσότερο από το πέρασμα

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016

του Μ.Κ. είναι η Καλαμάτα στη Νότια Πελοπόννησο, τα Κύθηρα, ο νομός Χανίων στην Κρήτη, η Κάρπαθος, η Κως και η Ρόδος.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (φ)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (λ)
31/10/2016	06:00 UTC	35.81 N	22.20 E
31/10/2016	09:00 UTC	35.68 N	23.43 E
31/10/2016	12:00 UTC	36.04 N	24.70 E
31/10/2016	15:00 UTC	36.24 N	26.29 E
31/10/2016	18:00 UTC	36.06 N	28.55 E

Πίνακας 3.2 Ημερομηνία, Ώρα, Γεωγραφικό πλάτος και Γεωγραφικό μήκος της διαδρομής του κυκλώνα όπως αποτυπώθηκε από τις δορυφορικές εικόνες.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	MSLP (hPa)	LATITUDE	LONGITUDE
28/10/2016	06:00 UTC	1008.58	37.25 N	16.875 E
28/10/2016	12:00 UTC	1009.32	36.50 N	17.125 E
28/10/2016	18:00 UTC	1008.54	36.00 N	17.00 E
29/10/2016	00:00 UTC	1010.11	36.00 N	16.125 E
29/10/2016	06:00 UTC	1010.47	35.375 N	16.00 E
29/10/2016	12:00 UTC	1012.1	35.375 N	16.00 E
29/10/2016	18:00 UTC	1011.39	35.50 N	16.25 E
30/10/2016	00:00 UTC	1009.72	35.375 E	16.50 E
30/10/2016	06:00 UTC	1010.54	35.50 N	17.25 E
30/10/2016	12:00 UTC	1009.89	35.75 N	18.125 E
30/10/2016	18:00 UTC	1009.53	36.00 N	19.125 E
31/10/2016	00:00 UTC	1009.44	36.00 N	20.50 E
31/10/2016	06:00 UTC	1007.88	35.50 N	21.25 E
31/10/2016	12:00 UTC	1006.93	34.625 N	23.875 E
31/10/2016	18:00 UTC	1009.51	34.50 N	28.00 E

Πίνακας 3.3 Ημερομηνία, Ώρα, Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας, Γεωγραφικό πλάτος και Γεωγραφικό μήκος κατά τη διάρκεια της πορείας του Μ.Κ. από τις 06:00 UTC στις 28/10/2016 έως τις 18:00 UTC στις 31/10/2016, όπως προκύπτει από τα δεδομένα αναλύσεων του ECMWF.

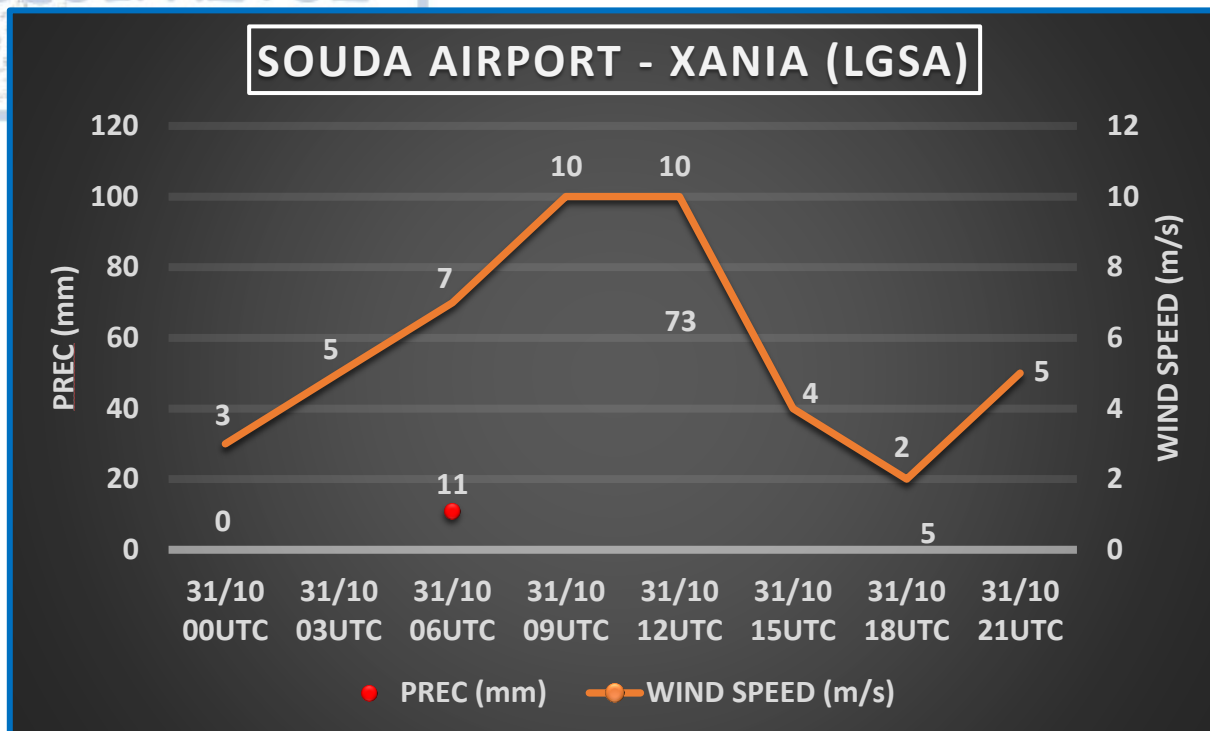
Επίσης, όσον αφορά τη θέση που βρίσκεται το «μάτι» του Μ.Κ. σε κάθε χρονική στιγμή, διαπιστώνεται ότι τα δεδομένα που αντλήθηκαν από τις δορυφορικές εικόνες και τα δεδομένα από τις αναλύσεις του ECMWF βρίσκονται σε καλή συμφωνία μεταξύ τους (Πίνακας 3.4).

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	LATITUDE (Δ.Ε.)	LATITUDE (ECMWF)	LONGITUDE (Δ.Ε.)	LONGITUDE (ECMWF)
29/10/2016	00:00 UTC	35.34 N	36.00 N	16.19 E	16.125 E
29/10/2016	06:00 UTC	35.60 N	35.375 N	16.07 E	16.00 E
29/10/2016	12:00 UTC	35.37 N	35.375 N	15.77 E	16.00 E
29/10/2016	18:00 UTC	35.12 N	35.50 N	16.25 E	16.25 E
30/10/2016	00:00 UTC	35.40 N	35.375 N	16.79 E	16.50 E
30/10/2016	06:00 UTC	35.87 N	35.50 N	17.27 E	17.25 E
30/10/2016	12:00 UTC	35.97 N	35.75 N	17.88 E	18.125 E
30/10/2016	18:00 UTC	36.76 N	36.00 N	18.78 E	19.125 E

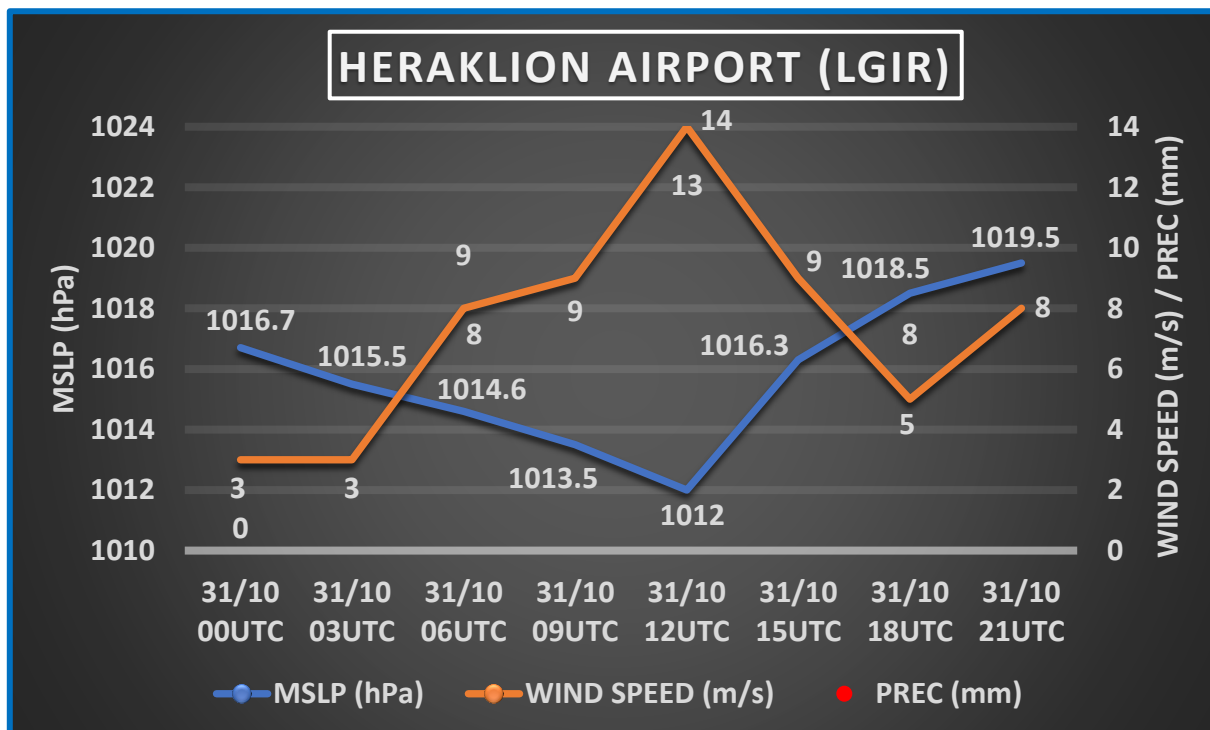
Πίνακας 3.4 Ημερομηνία, Ώρα, Γεωγραφικό πλάτος και Γεωγραφικό μήκος από δορυφορικές εικόνες (Δ.Ε.) και αναλύσεις του ECMWF για τη θέση του κέντρου του κυκλώνα.

Παρατηρείται ότι το σύστημα κινήθηκε πολύ πιο γρήγορα προς τα ανατολικά το χρονικό διάστημα από τις 06:00 έως τις 18:00 UTC στις 31/10 σε σχέση με την αρχική και ενδιάμεση πορεία της διαδρομής του (Πίνακας 3.2). Την ίδια ημέρα μεταξύ 00:00 UTC και 12:00 UTC, όταν ο κυκλώνας έφτασε πολύ κοντά στην στεριά και συγκεκριμένα στις ακτές της βορειοδυτικής Κρήτης, η πίεση μειώθηκε περίπου κατά 2 hPa, φτάνοντας τα 1006,9 hPa στις 12:00 UTC (Πίνακας 3.3). Αυτό συμβαίνει όταν οι κυκλώνες περνάνε πολύ κοντά ή πάνω από ξηρά, όπως παρατήρησαν και έκαναν αναφορά στις εργασίες τους οι Παρανός (2016) και Pytharoulis (2018).

Η βροχόπτωση που κατέγραψε ο σταθμός της Σούδας στα Χανιά μέσα σε διάστημα 18 ωρών ήταν 89 χιλιοστά από τις 00:00 UTC έως τις 18:00 UTC στις 31/10 (Σχήμα 3.12). Αυτό δείχνει ότι η ραγδαιότητα της βροχής ήταν μεγάλη και συγκεκριμένα 4,9 mm/h. Η πιο μεγάλη ένταση της βροχής παρατηρείται από τις 06:00 UTC έως τις 12:00 UTC, που ο σταθμός LGSA στα Χανιά ανέφερε 73 χιλιοστά βροχόπτωσης. Στο χρονικό αυτό διάστημα, η ραγδαιότητα υπολογίστηκε στα 12,17 mm/h. Η παρατήρηση αυτή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η ταχύτητα του ανέμου στις 12:00 UTC έφτασε τα 10 m/s, υποδηλώνει ότι τη χρονική αυτή στιγμή, τα κράσπεδα του Μ.Κ. πέρασαν πάνω από το συγκεκριμένο σταθμό της Κρήτης.

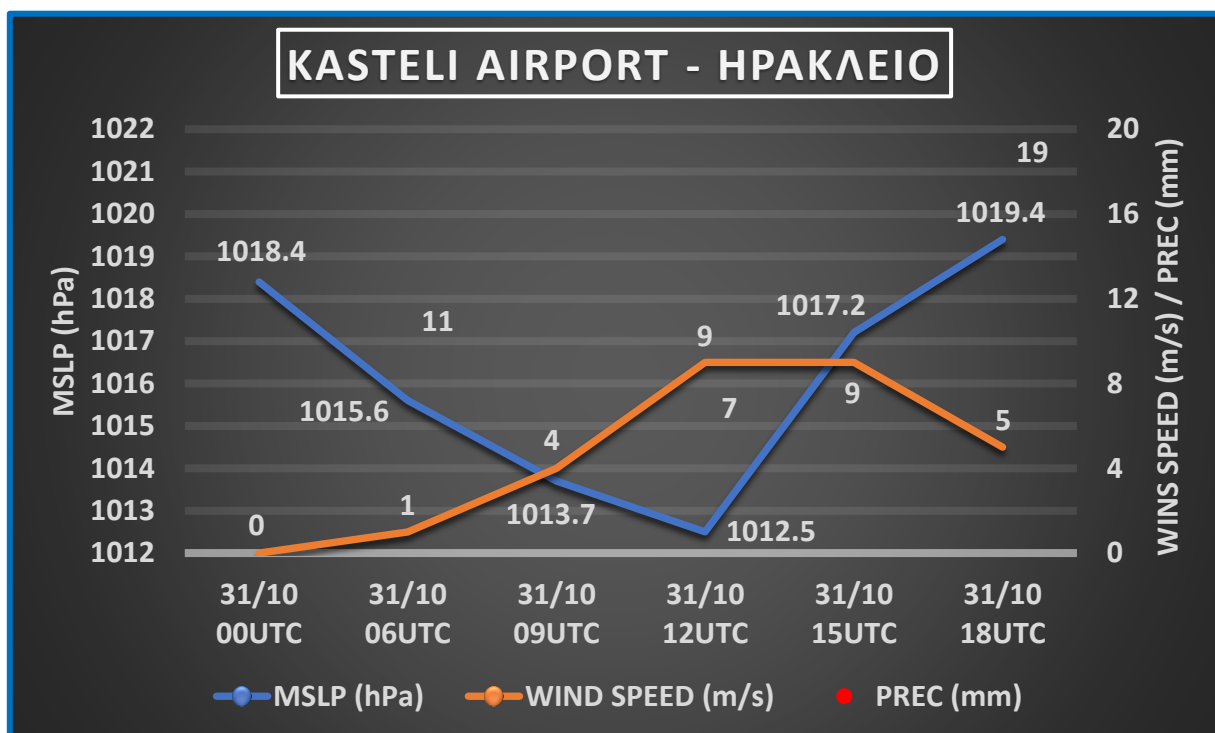


Σχήμα 3.12 Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 6 ωρών (PREC, mm) και η ταχύτητα του ανέμου (WIND SPEED, m/s) στο αεροδρόμιο της Σούδας στα Χανιά στις 31 Οκτωβρίου 2016.



Σχήμα 3.13 Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSLP, hPa), η ταχύτητα του ανέμου (WIND SPEED, m/s) και η βροχόπτωση (PREC, mm) στο μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου στις 31 Οκτωβρίου 2016.

Όσον αφορά τις μετρήσεις του επίγειου σταθμού στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου, καταγράφηκαν συνολικά 30 mm βροχόπτωσης μέσα σε διάστημα 18 ωρών από τις 00:00 UTC έως τις 18:00 UTC στις 31/10 (Σχήμα 3.13). Επίσης, χαρακτηριστική είναι η μείωση της βαρομετρικής πίεσης κατά περίπου 5 hPa μέσα σε διάστημα 12 ωρών με την ελάχιστη τιμή να φθάνει τα 1012 hPa και η απότομη αύξησή της κατά 7,5 hPa μόλις ο κυκλώνας αποχώρησε από την περιοχή κινούμενος ανατολικότερα. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου έφτασε την μέγιστη τιμή των 14 m/s στις 12:00 UTC, την ίδια στιγμή δηλαδή που καταγράφηκε η μεγαλύτερη ποσότητα υετού με 13 mm βροχής καθώς και η ελάχιστη τιμή της πίεσης (1012 hPa) στη μέση στάθμη της θάλασσας (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.14 Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSLP, hPa), η ταχύτητα του ανέμου (WIND SPEED, m/s) και η βροχόπτωση (PREC, mm) στο αεροδρόμιο του Καστελλίου στο Ηράκλειο Κρήτης στις 31 Οκτωβρίου 2016.

Η βροχόπτωση που καταγράφηκε από το στρατιωτικό αεροδρόμιο Καστελλίου στο Ηράκλειο μέσα σε διάστημα 18 ωρών ήταν 37 mm από τις 00:00 UTC έως τις 18:00 UTC στις 31/10 (Σχήμα 3.14). Επίσης, η πιο μεγάλη ένταση της βροχής παρατηρείται από τις 12:00 UTC έως τις 18:00 UTC, χρονικό διάστημα κατά το οποίο μετρήθηκαν 19 mm βροχόπτωσης, ενώ η τιμή της ραγδαιότητας ανέρχεται στα 3,17

mm/h. Επιπλέον, είναι εμφανές από το διάγραμμα του σχήματος 3.16 ότι η βαρομετρική πίεση από τις 00:00 UTC έως τις 12:00 UTC έπεσε κατά 6 hPa σε συνδυασμό με έντονη βροχόπτωση και ενίσχυση των ανέμων, το οποίο δείχνει την μετάβαση και βάθυνση του συστήματος στο σταθμό του Καστελλίου.

Ορισμένες ακόμα αξιοσημείωτες μετρήσεις επίγειων σταθμών της Νότιας Ελλάδας αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.5).

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ
ΚΑΛΑΜΑΤΑ (LGKL)	31/10/2016	06:00 UTC	17 mm
ΚΑΡΠΑΘΟΣ (LGKP)	31/10/2016	12:00 UTC	10 mm
ΤΥΜΠΑΚΙ	31/10/2016	06:00 UTC	22 mm
ΡΟΔΟΣ (LGRP)	31/10/2016	18:00 UTC	12,9 mm

Πίνακας 3.5 Μετεωρολογικός σταθμός, Ημερομηνία, Ωρα και ώρα Βροχόπτωση που καταγράφηκε σε συγκεκριμένες περιοχές της Νότιας Ελλάδας, από τις οποίες πέρασε ο Μ.Κ. στις 31 Οκτωβρίου 2016.

3.4 Θερμοκρασία και Γεωδυναμικά ύψη στα 500 hPa

Οι μετεωρολογικοί χάρτες των 500 hPa χρησιμοποιούνται κυρίως για τον προσδιορισμό των συστημάτων που καθορίζουν τον καιρό επιφάνειας. Το μέσο ύψος στο οποίο βρίσκεται το ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa είναι περίπου στα 5500 gpm στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Επίσης, η μελέτη των χαρτών αυτών μας δίνει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την πρόγνωση της μεταβολής των συστημάτων επιφάνειας, την ανίχνευση των περιοχών που περιβάλλονται από υψηλά νέφη καθώς και τον εντοπισμό του στροβιλισμού και της μεταφοράς αυτού (Καρακώστας, 2013).

Στις 27 Οκτωβρίου 2016, η περιοχή της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης επηρεάζεται από έναν ισχυρό αυλώνα στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, όπως παρουσιάζεται στις οριζόντιες τομές Θερμοκρασίας-Γεωδυναμικού ύψους (Σχήμα 3.15). Ένα τμήμα του αυλώνα αποκόπτεται στις 06:00 UTC στις 27/10 και κινείται νοτιότερα επηρεάζοντας την Κεντρική Μεσόγειο (Σχήμα 3.15). Το αποκομμένο χαμηλό ψυχρού πυρήνα εμφανίζει θερμοκρασίες κάτω από -16°C, έχει σχετικά μικρό μήκος και βρίσκεται πάνω από τη βόρεια Σικελία στη στάθμη των 500 hPa στις 12:00 UTC στις 27 Οκτωβρίου.

Στη Βόρεια Αφρική και στη Δυτική Ευρώπη σχηματίζεται μια ισχυρή ράχη, η οποία σταδιακά κινείται βορειότερα, δημιουργώντας έναν αντικυκλώνα εμποδισμού στις 00:00 UTC στις 28/10, ο οποίος έχει τη μορφή μεσημβρινού εμποδισμού (Σχήμα 3.16). Τέτοιοι αντικυκλώνες εμφανίζονται όταν στη μέση τροπόσφαιρα επικρατεί ισχυρή μεσημβρινή κυκλοφορία, οι οποίοι εμποδίζουν την κανονική πορεία των υφέσεων προς τα ανατολικά (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004).

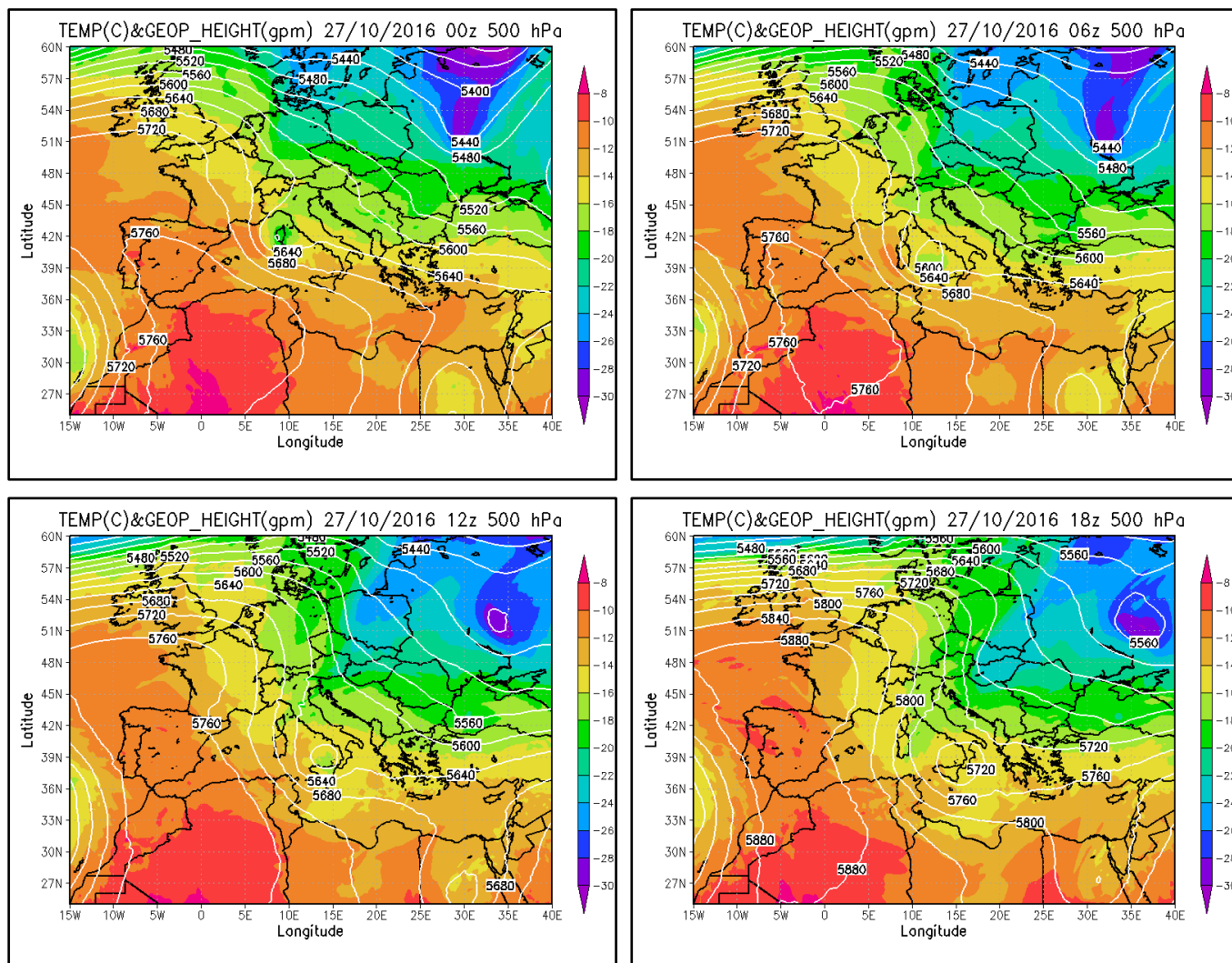
Όπως αναφέρεται και στην εργασία της Δημητριάδου (2017), η ύπαρξη ψυχρών αυλώνων στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, έχει αποδειχθεί σύμφωνα με μελέτες των Cavicchia et al. (2014), Fita et al. (2007) και Tous and Romero (2013) ότι αποτελεί μια χαρακτηριστική συνθήκη, η οποία προηγείται της δημιουργίας των Μ.Κ. καθώς ευνοεί την εκδήλωση αστάθειας. Στις 06:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου, αποσπάται μια ακόμη σφήνα ψυχρού αέρα από τον ισχυρό αυλώνα στα βόρεια και εντοπίζεται μεταξύ της νοτιοανατολικής Ιταλίας και των Δειναρικών Άλπεων με τη θερμοκρασία του να φτάνει την τιμή των -22°C και το γεωδυναμικό ύψος να είναι κοντά στα 5700 gpm (Σχήμα 3.16).

Στις 12:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου, το αποκομμένο χαμηλό που αποσπάστηκε από τον ψυχρό αυλώνα, βρίσκεται πάνω από την Τυρρηνική θάλασσα και συγκεκριμένα στον κόλπο που σχηματίζεται μεταξύ της νοτιοδυτικής ακτής της Ιταλικής Χερσονήσου και της Σικελίας με θερμοκρασία περίπου στους -20°C . Μεταξύ 12:00 και 18:00 UTC, το χαμηλό κινείται νοτιοδυτικά φτάνοντας στην θαλάσσια περιοχή νότια της Σικελίας (Σχήμα 3.16).

Ανάμεσα στις 18:00 UTC στις 28/10 και στις 00:00 UTC στις 29/10 αναπτύσσεται ανατολικά του ψυχρού αποκομμένου χαμηλού, ένα δεύτερο χαμηλό θερμού πυρήνα, καθώς το γεωδυναμικό ύψος μειώνεται με την τιμή του να βρίσκεται στα 5600 gpm. Το δεύτερο αυτό αποκομμένο χαμηλό αποτελεί ουσιαστικά τον Μ.Κ., ο οποίος εμφανίζεται στην περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου και συγκεκριμένα στο θαλάσσιο χώρο ανατολικά της Μάλτας (Σχήμα 3.16). Στο χρονικό διάστημα μεταξύ 20:00 UTC και 21:00 UTC αποκτά τα τροπικά του χαρακτηριστικά. Η θερμοκρασία του στο επίπεδο των 500 hPa είναι περίπου στους -14°C με -16°C , την οποία και διατηρεί μέχρι και τις 12:00 UTC στις 29 Οκτωβρίου (Σχήμα 3.16).

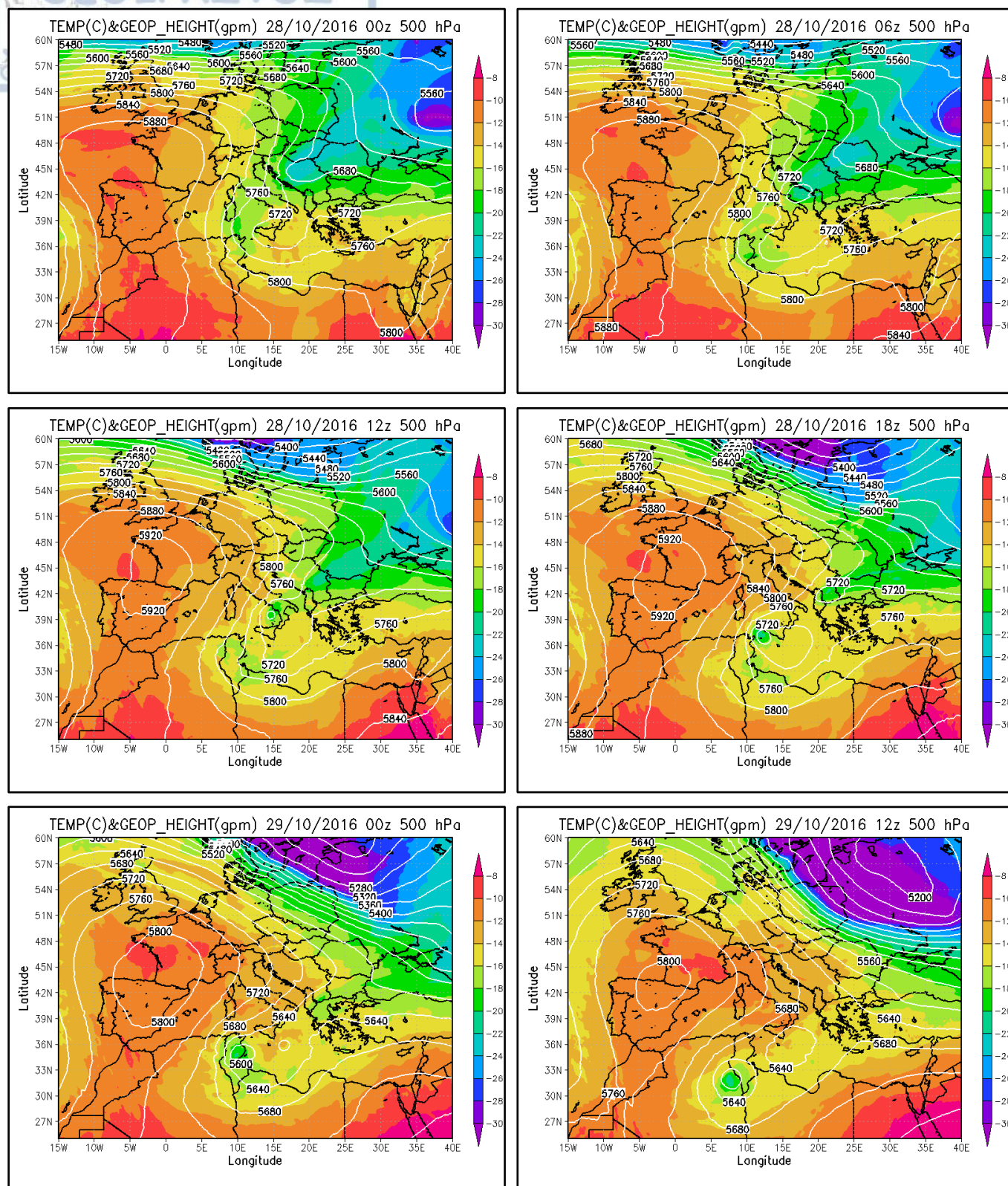
Ολοκληρώνοντας την ανάλυση των οριζόντιων τομών που απεικονίζουν το γεωδυναμικό ύψος (gpm) και τη θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500

hPa, είναι εμφανές ότι ο συνδυασμός της ύπαρξης ενός ψυχρού αποκομμένου χαμηλού πολύ κοντά στην περιοχή δημιουργίας του κυκλώνα, της ψυχρής μεταφοράς που υφίσταται στην επιφάνεια αυτή και της κίνησης της διαταραχής πάνω από τη θερμή θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου, προκαλώντας μ' αυτό τον τρόπο μια θερμοδυναμική αστάθεια, αποτελεί το σύνθηδες περιβάλλον σχηματισμού ενός Μ.Κ. (Emanuel, 2005).



Σχήμα 3.15 Μετεωρολογικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους (gpm) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (ισοϋψείς ανά 40 gpm) και απεικόνιση της θερμοκρασίας (°C) με σκίαση στις 27 Οκτωβρίου 2016 (00, 06, 12, 18 UTC) (Δεδομένα: ECMWF).

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ
ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016



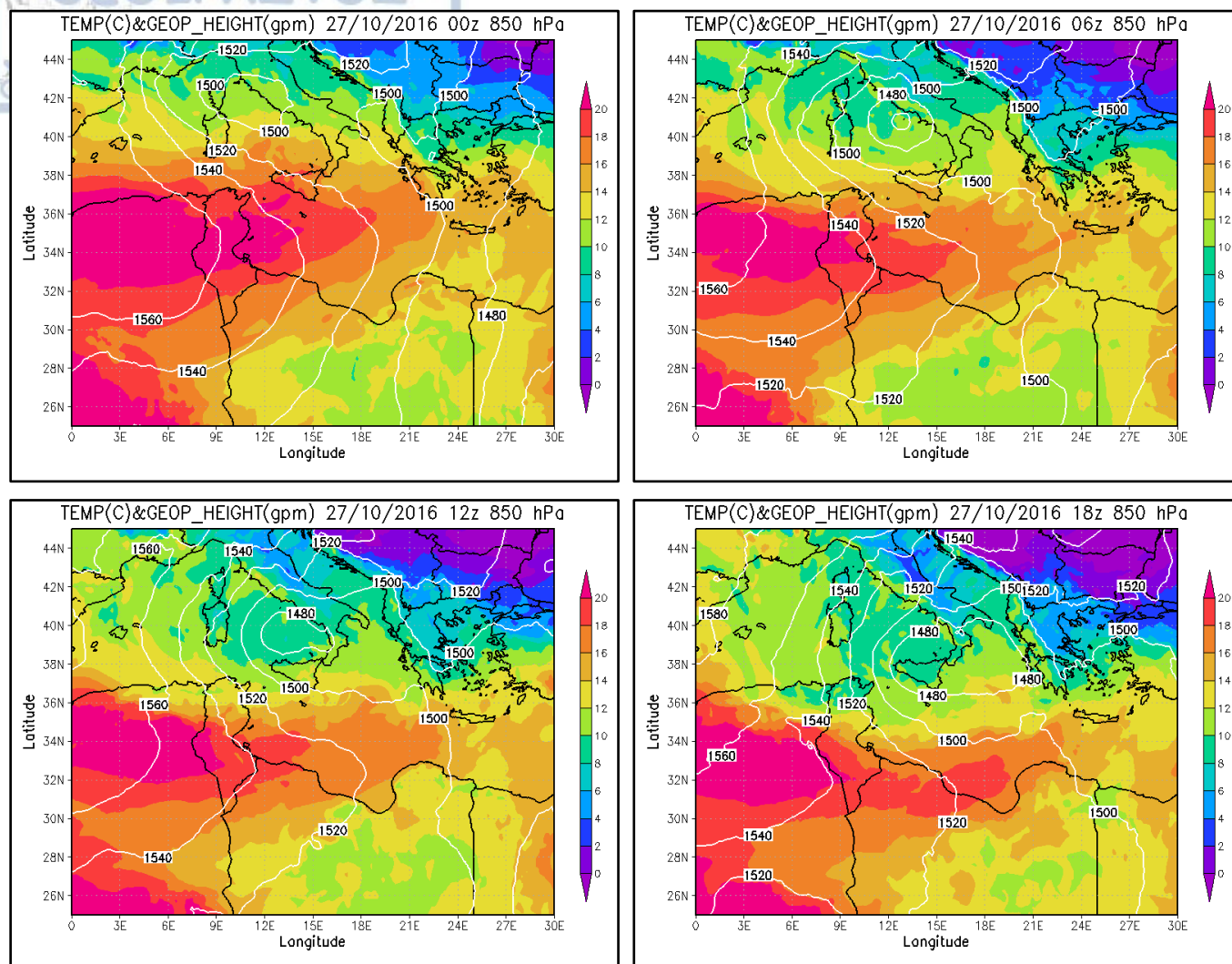
Σχήμα 3.16 Μετεωρολογικοί χάρτες γεωδυναμικού ύψους (gpm) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (ισοϋψείς ανά 40 gpm) και απεικόνιση της θερμοκρασίας (°C) με σκίαση στις 28 (00, 06, 12, 18 UTC) και στις 29 (00, 12 UTC) Οκτωβρίου 2016 (Δεδομένα: ECMWF).

3.5 Θερμοκρασία και Γεωδυναμικά ύψη στα 850 hPa

Οι μετεωρολογικοί χάρτες των 850 hPa χρησιμοποιούνται κυρίως για τον καθορισμό και την απεικόνιση των πεδίων της θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και για τον προσδιορισμό των περιοχών βροχής και χιονόπτωσης. Ο συνδυασμός ισοβαρών και ισόθερμων καμπυλών αποτελεί έναν τρόπο εντοπισμού των μετωπικών επιφανειών κυρίως πάνω από τις θερμές περιοχές. Το μέσο ύψος στο οποίο βρίσκεται το ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa κυμαίνεται μεταξύ 1400 και 1600 gpm (Καρακώστας, 2013).

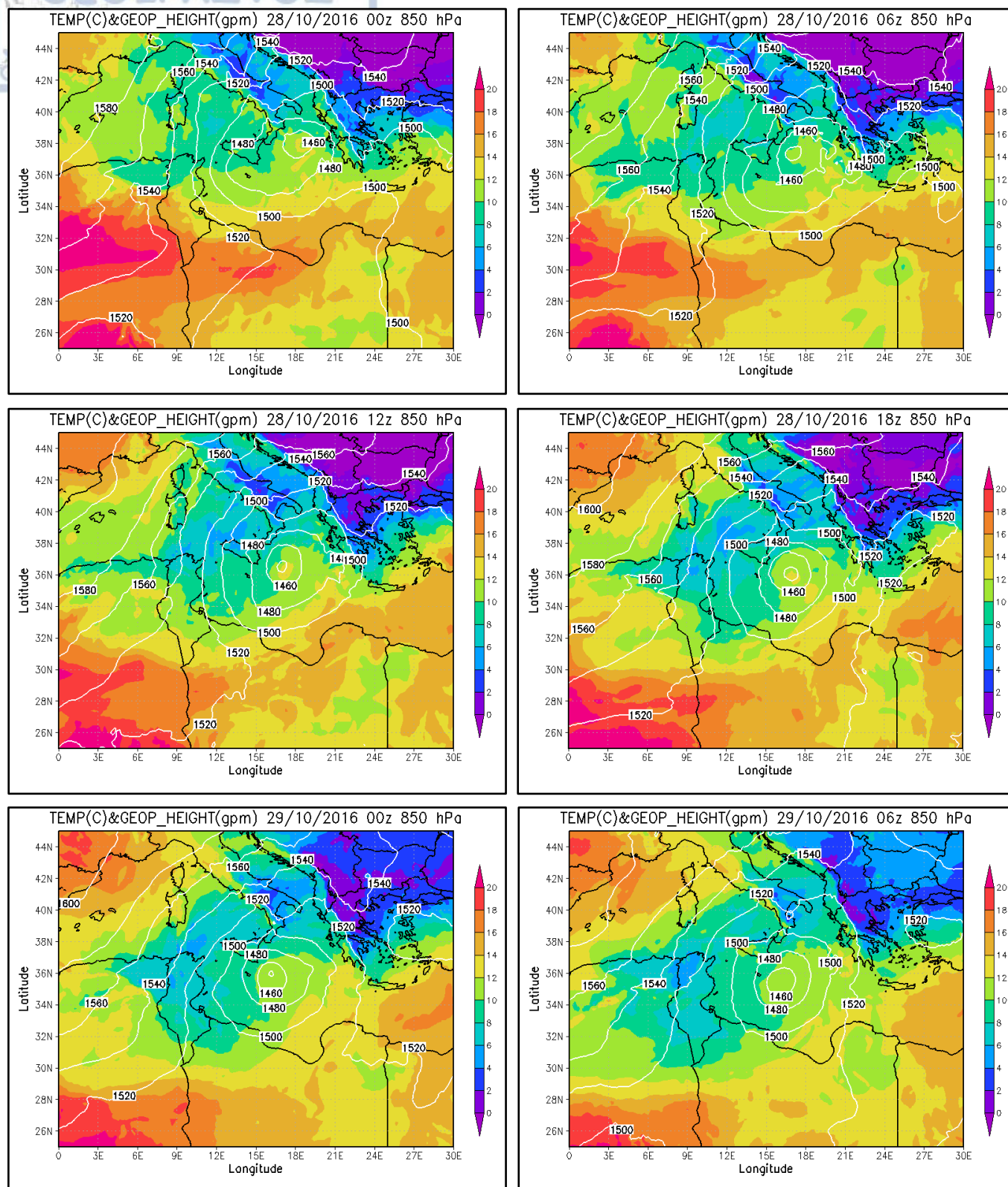
Στις 00:00 UTC και 06:00 UTC στις 27 Οκτωβρίου 2016 σχηματίζεται ένα χαμηλό των υψών πάνω από την Τυρρηνική θάλασσα μεταξύ των δυτικών ακτών της Ιταλίας και των νησιών Σαρδηνία και Κορσική με θερμοκρασία (στα 850 hPa) στο κέντρο του περίπου στους 10°C (Σχήμα 3.17). Τις μεσημβρινές και απογευματινές ώρες της ίδιας ημέρας, το χαμηλό κινείται ανατολικότερα με την κεντρική του περιοχή να καλύπτει τη Σικελία, τη νότια Ιταλία και τη θαλάσσια περιοχή μέχρι το Ιόνιο Πέλαγος με θερμοκρασία περίπου στους 8°C και γεωδυναμικά ύψη κοντά στα 1480 gpm.

Στις 00:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου, το σύστημα κινείται λίγο πιο νότια και αρχίζει να γίνεται πιο βαθύ με το γεωδυναμικό ύψος στο κέντρο του να έχει τιμή 1460 gpm και τη θερμοκρασία στους 10°C με 12°C στη στάθμη των 850 hPa. Τις επόμενες ώρες, δηλαδή στις 06, 12 και 18 UTC, το κέντρο του βαρομετρικού χαμηλού φαίνεται κινούμενο προς τα δυτικά με τη θερμοκρασία να παραμένει στα ίδια περίπου επίπεδα και το γεωδυναμικό ύψος να αποκτά όλο και χαμηλότερη τιμή φτάνοντας τα 1440 gpm. Ο Μ.Κ. αναπτύσσεται μεταξύ 18:00 UTC στις 28/10 και 00:00 UTC στις 29/10, εφόσον έχει σχηματίσει μια βαθιά συμμετρική δομή πάνω από τη θάλασσα της Κεντρικής Μεσογείου. Στις 00:00 UTC στις 29/10, όταν πλέον έχει δημιουργηθεί ο κυκλώνας, η θερμοκρασία στο κέντρο του είναι περίπου στους 11°C και το γεωδυναμικό ύψος στα 1440 gpm στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa (Σχήμα 3.18). Ο κυκλώνας περιστρέφεται γύρω από το κέντρο του για κάποιες ώρες στην ίδια περιοχή, όπως φαίνεται από τη θέση του στις οριζόντιες τομές της 29ης Οκτωβρίου στις 00:00 UTC και 06:00 UTC (Σχήμα 3.18).



Σχήμα 3.17 Οριζόντιες τομές που απεικονίζουν τη θερμοκρασία (°C, σκίαση) και το γεωδυναμικό ύψος (ισοϋψείς ανά 40 gpm) στα 850 hPa στις 27 Οκτωβρίου 2016 στις 00, 06, 12 και 18 UTC (Δεδομένα: ECMWF).

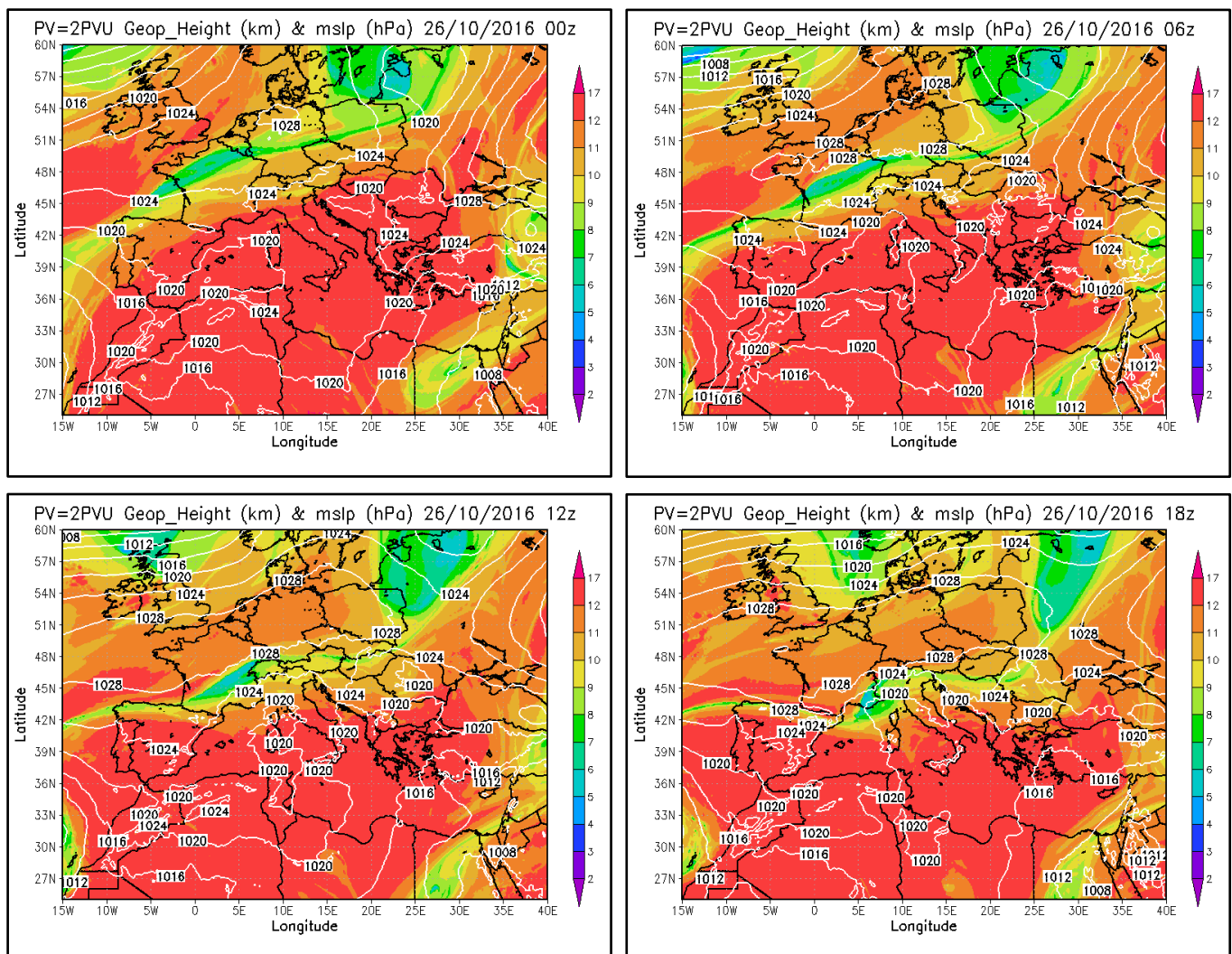
ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ ΜΕ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΠΙΚΟΥ
ΚΥΚΛΩΝΑ ΤΟΥ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2016



Σχήμα 3.18 Οριζόντιες τομές που απεικονίζουν τη θερμοκρασία (°C, σκίαση) και το γεωδυναμικό ύψος (ισοϋψείς ανά 40 gpm) στα 850 hPa στις 28 Οκτωβρίου 2016 στις 00, 06, 12 και 18 UTC και στις 29 Οκτωβρίου 2016 στις 00 και 06 UTC (Δεδομένα: ECMWF).

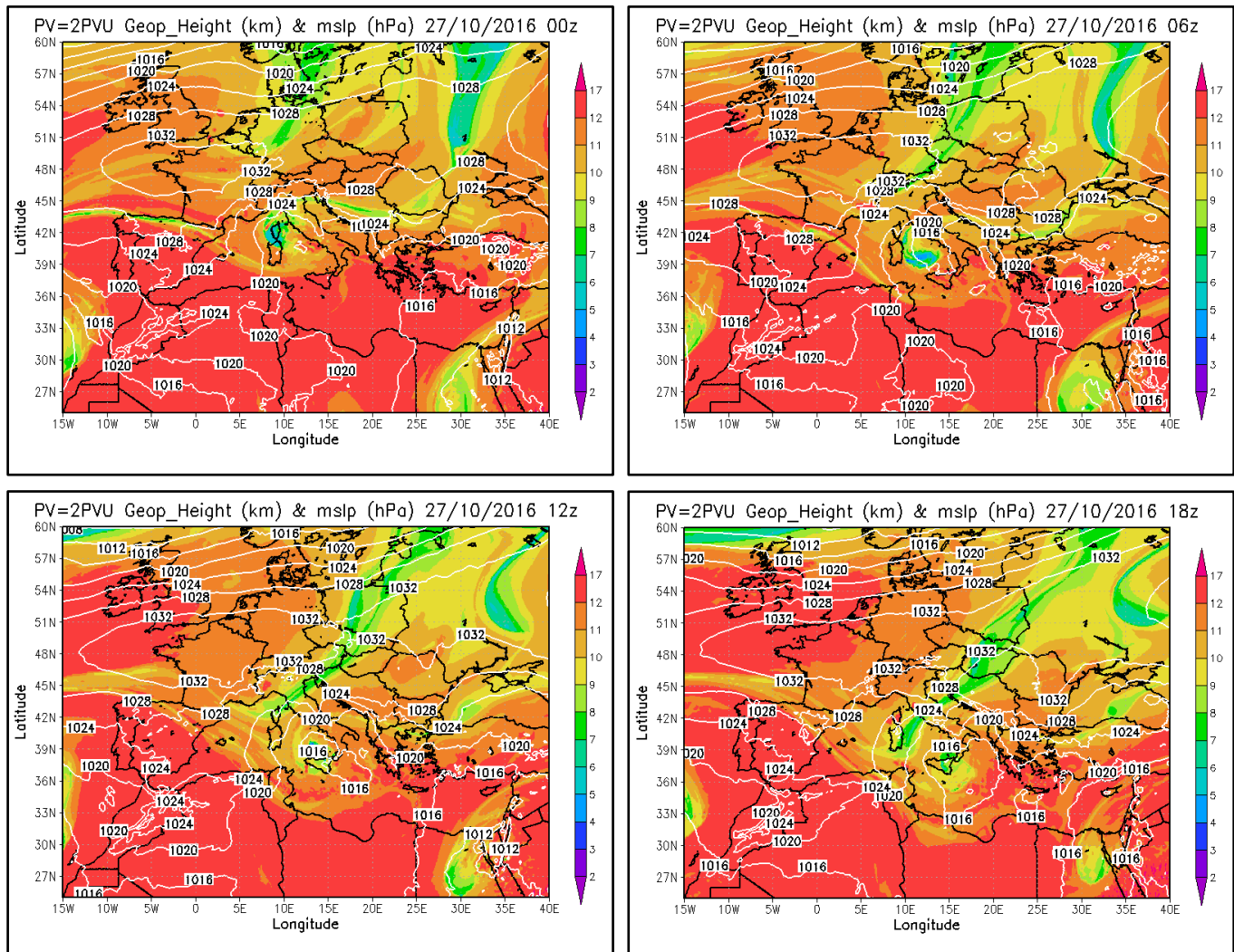
3.6 Επιφάνεια 2PVU (Δυναμική Τροπόπαυση)

Η επιφάνεια των 2 PVU αναπαριστά τη μετάβαση ανάμεσα στην τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα, δηλαδή είναι μια επιφάνεια που προσεγγίζει αυτήν της τροπόπαυσης και ονομάζεται δυναμική τροπόπαυση. Όταν παρατηρείται ελάττωση του ύψους της δυναμικής τροπόπαυσης, ο στρατοσφαιρικός αέρας έχοντας μεγάλες τιμές δυναμικού στροβιλισμού διεισδύει στην τροπόσφαιρα. Μια τέτοια κατάσταση συνοδεύεται συχνά με κακοκαιρία. Η περιοχή όπου η επιφάνεια των 1,5 ή 2 PVU έχει κατέβει στη μέση ή κατώτερη τροπόσφαιρα, δηλαδή η περιοχή στην οποία η τροπόπαυση βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα ονομάζεται «δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης» και συνοδεύεται από έντονες ανοδικές κινήσεις (Pytharoulis, 1995).



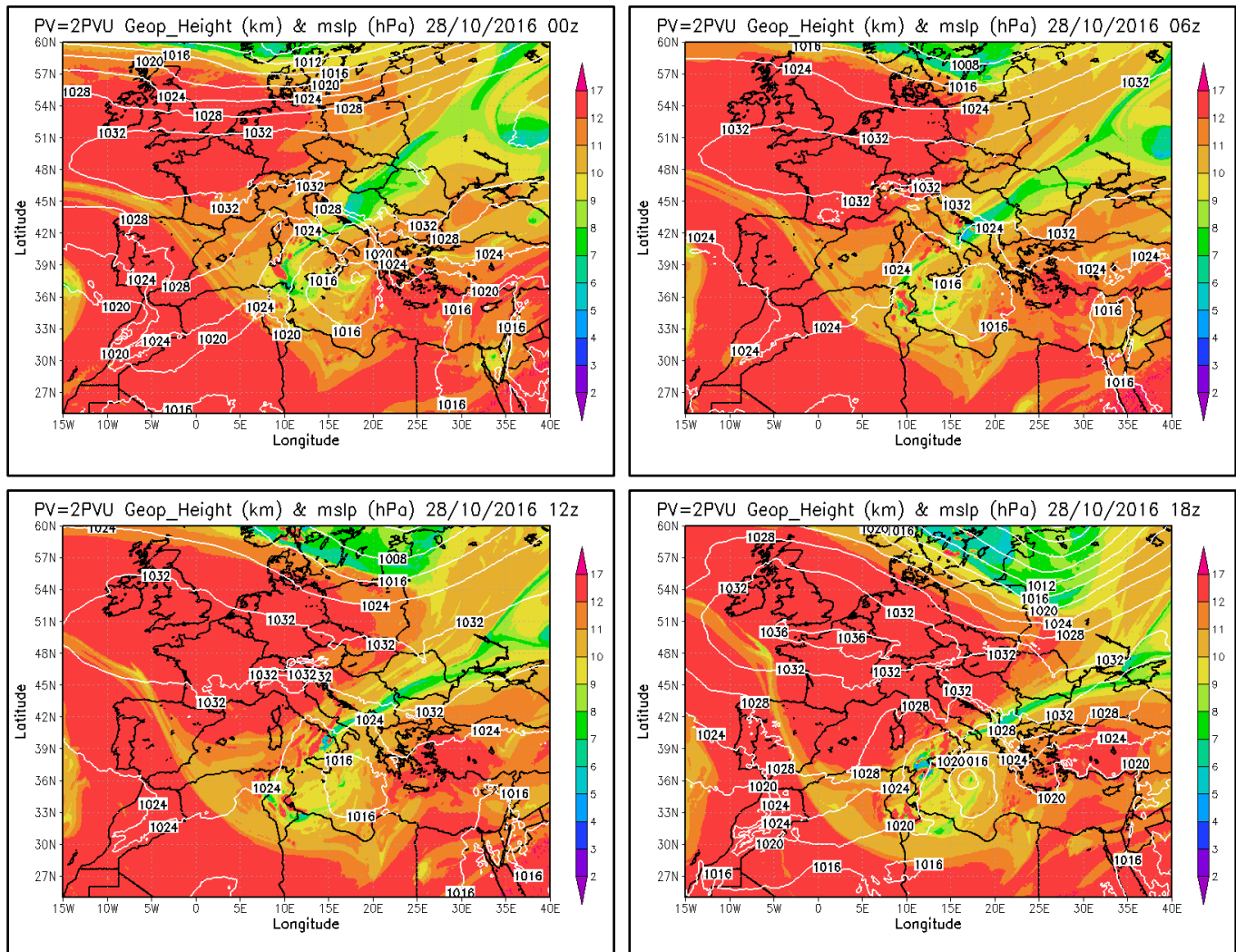
Σχήμα 3.19 Οριζόντιες τομές που απεικονίζουν το γεωδυναμικό ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης (2 PVU σε km, σκίαση) και την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) στις 26 Οκτωβρίου 2016 στις 00, 06, 12 και 18 UTC (Δεδομένα: ECMWF).

Όπως είναι εμφανές από το Σχήμα 3.19, μια εκτεταμένη δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης εμφανίζεται στην Ευρώπη και επηρεάζει την περιοχή της Βόρειας Ρωσίας, την Πολωνία, την κεντρική Γερμανία και τη Βόρεια Γαλλία στις 26 Οκτωβρίου 2016 στις 00:00 UTC. Η δυναμική τροπόπαυση έχει εισχωρήσει μέχρι τη μέση τροπόσφαιρα πάνω από τις περιοχές αυτές, δηλαδή βρίσκεται περίπου στο ύψος των 6 km. Στις 06:00 UTC, αυτή η ζώνη εισχώρησης στρατοσφαιρικού αέρα κινείται λίγο νοτιότερα, ενώ στις 12:00 UTC και 18:00 UTC φαίνεται ότι το δυτικό τμήμα αυτής της ανωμαλίας με τον γαλαζοπράσινο χρωματισμό, που βρισκόταν πάνω από τη Γαλλία, κατεβαίνει ακόμα πιο νότια και αρχίζει να αποκόπτεται από το ανατολικό τμήμα αυτής (Σχήμα 3.19).



Σχήμα 3.20 Οριζόντιες τομές που απεικονίζουν το γεωδυναμικό ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης (2 PVU σε km, σκίαση) και την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) στις 27 Οκτωβρίου 2016 στις 00, 06, 12 και 18 UTC (Δεδομένα: ECMWF).

Στις 00:00 UTC και 06:00 UTC της 27ης Οκτωβρίου, η τροπόπαυση σημείωσε μια κάθοδο πάνω από την νήσο Κορσική και την Τυρρηνική θάλασσα, φτάνοντας σε ορισμένα σημεία κατά τόπους και τα 4 km. Τις επόμενες ώρες μέχρι και το τέλος της ημέρας αυτός ο δυναμικός στροβιλισμός φαίνεται να παρουσιάζει μια άνοδο μέσα στην τροπόσφαιρα όταν φτάνει πάνω από τη Σικελία, ενώ βορειότερα στο μετεωρολογικό χάρτη κάνει την παρουσία της μια ακόμη ανωμαλία δυναμικού στροβιλισμού διαφορετικής προέλευσης από την προηγούμενη (Σχήμα 3.20). Αυτή φαίνεται ότι έχει προέλθει από τον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό (Σχήμα 3.19), πέρασε πάνω από την Κεντρική Ευρώπη και έφτασε στις 27/10 το βράδυ πάνω από την Ιταλία και τα Βαλκάνια.

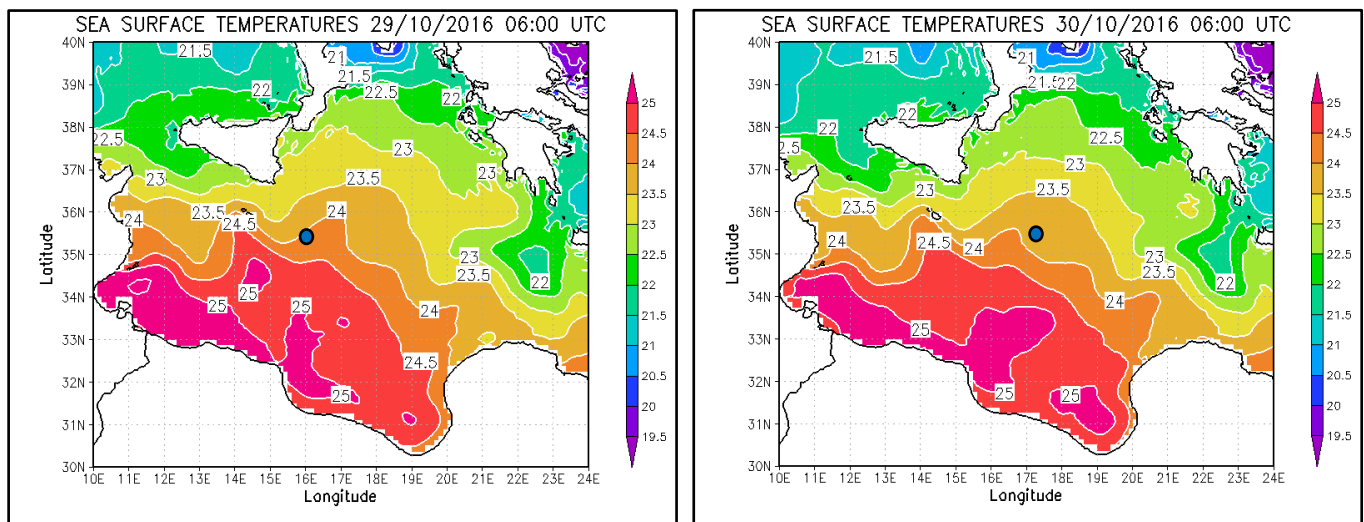


Σχήμα 3.21 Οριζόντιες τομές που απεικονίζουν το γεωδυναμικό ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης (2 PVU σε km, σκίαση) και την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) στις 28 Οκτωβρίου 2016 στις 00, 06, 12 και 18 UTC (Δεδομένα: ECMWF).

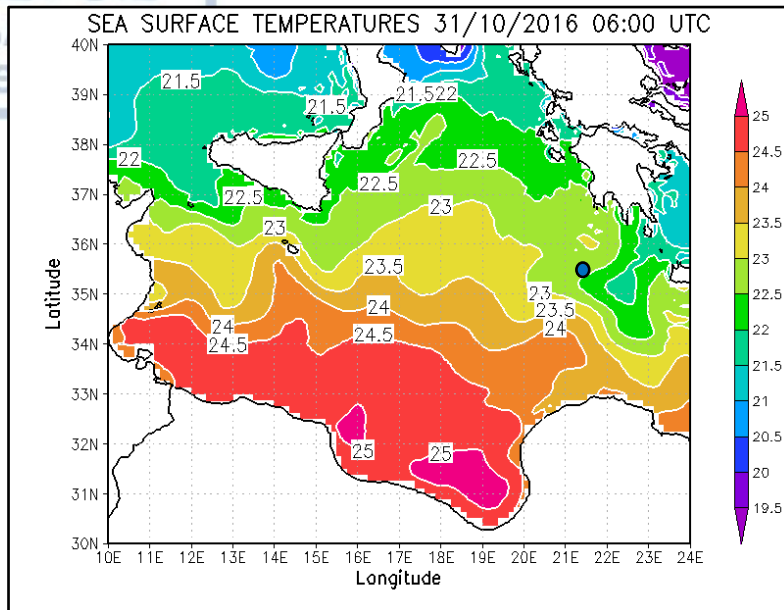
Στις 00:00 UTC στις 28/10, η δεύτερη ανωμαλία δυναμικού στροβιλισμού φαίνεται να ενώνεται με την προϋπάρχουσα ανωμαλία πάνω από τη Σικελία. Από τις 06:00 UTC έως τις 18:00 UTC, η ενιαία πλέον δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης εκτείνεται από τα Βαλκάνια και την Ιταλία μέχρι τις νότιες και ανατολικές ακτές της Σικελίας και φαίνεται να σχηματίζει μια μορφή άγκιστρου (Σχήμα 3.21). Το βαρομετρικό χαμηλό που έχει δημιουργηθεί στις οριζόντιες τομές PV=2PVU από τις πρώτες πρωινές ώρες της 28ης Οκτωβρίου ανατολικά της Σικελίας είναι και αυτό που θα αποτελέσει αργότερα τον Μ.Κ. στις 20:00 UTC ανατολικά της Μάλτας (δεν απεικονίζεται).

3.7 Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας

Ο Μ.Κ. σχηματίστηκε και ισχυροποιήθηκε στη θαλάσσια περιοχή ανατολικά της Μάλτας, όπου οι θερμοκρασίες επιφάνειας της θάλασσας (SSTs) είχαν τιμές περίπου 24°C (Σχήμα 3.22). Παρατηρείται όμως ότι ο κυκλώνας κινούμενος ανατολικότερα βρέθηκε σε περιοχή ψυχρότερων θαλάσσιων υδάτων (~22,5°C) γεγονός που συντέλεσε στην αποδυνάμωσή του (Σχήμα 3.23). Επίσης, το σύστημα από την αρχή της πορείας του βρίσκεται σε θέση όπου είναι εμφανής η ύπαρξη μιας έντονης θερμοβαθμίδας με θερμοκρασίες μεταξύ 23°C και 25°C στις 29/10 και 30/10 (Σχήμα 3.22) καθώς και θερμοκρασίες μεταξύ 21°C και 23°C στις 31/10 (Σχήμα 3.23).



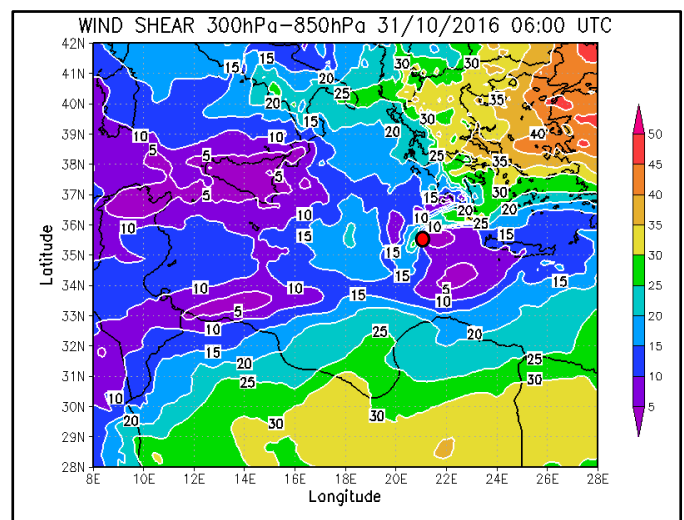
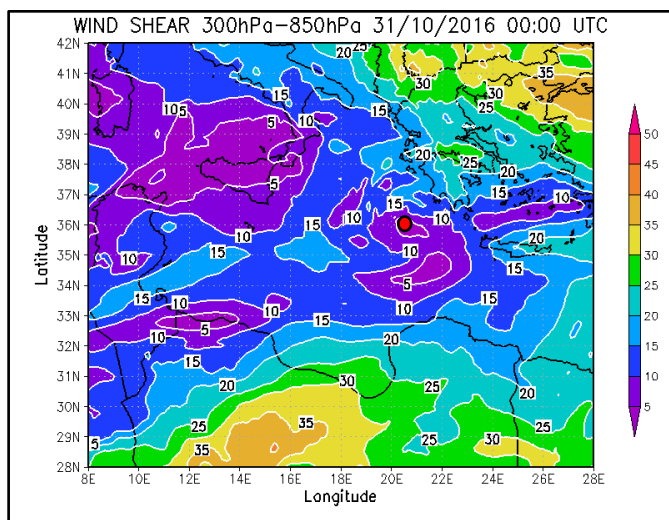
Σχήμα 3.22 Οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας (°C, ισόθερμες) στις 29 Οκτωβρίου και 30 Οκτωβρίου 2016 στη θαλάσσια περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου. Η μπλε τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

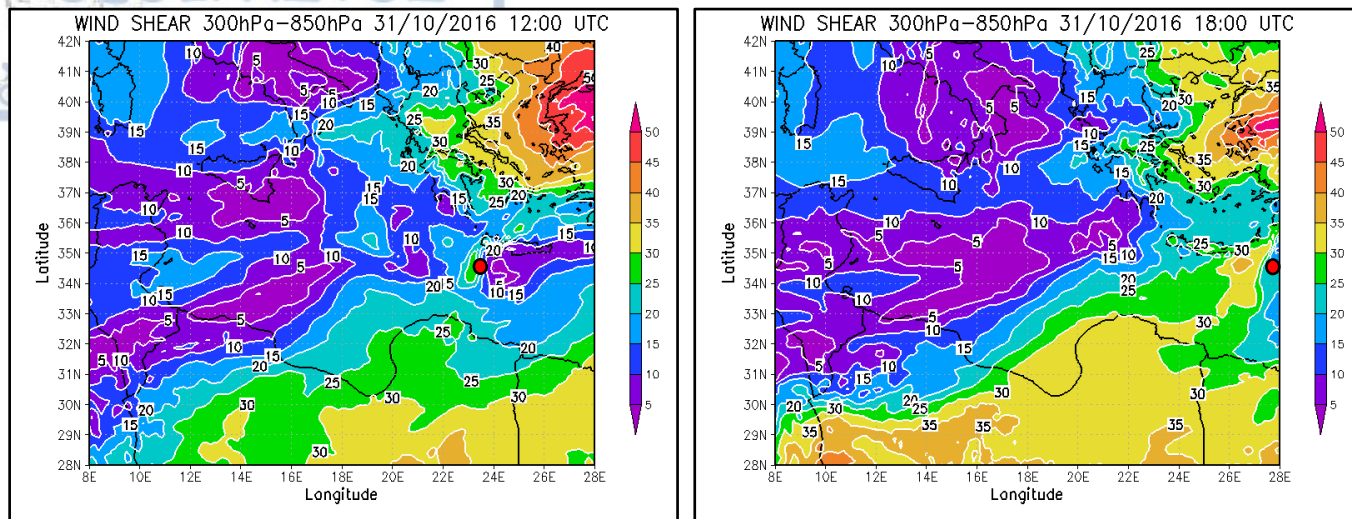


Σχήμα 3.23 Οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας (°C, ισόθερμες) στις 31 Οκτωβρίου 2016 στη θαλάσσια περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου. Η μπλε τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

3.8 Διάτμηση του ανέμου (wind shear)

Η διάτμηση του ανέμου αποτελεί έναν δείκτη αποδυνάμωσης των κυκλώνων. Μεγάλες τιμές διάτμησης μεταξύ των ισοβαρικών επιφανειών 300 hPa και 850 hPa υποδηλώνουν μη-ευνοϊκές συνθήκες για την ενίσχυση ενός τροπικού κυκλώνα (Thorncroft and Pytharoulis, 2001). Παρατηρείται ότι στις οριζόντιες τομές στις 31/10 από τις 00:00 UTC έως τις 18:00 UTC, η διάτμηση του ανέμου παίρνει τιμές μεταξύ 10 m/s και 25 m/s στη θέση που βρίσκεται ο κυκλώνας σε κάθε χρονική στιγμή, στοιχείο που συμβάλλει στην περαιτέρω εξασθένησή του (Σχήμα 3.24).





Σχήμα 3.24 Η διάτμηση του ανέμου (m/s) μεταξύ των ισοβαρικών επιφανειών 300 hPa και 850 hPa στις 31 Οκτωβρίου 2016 στη θαλάσσια περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου. Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

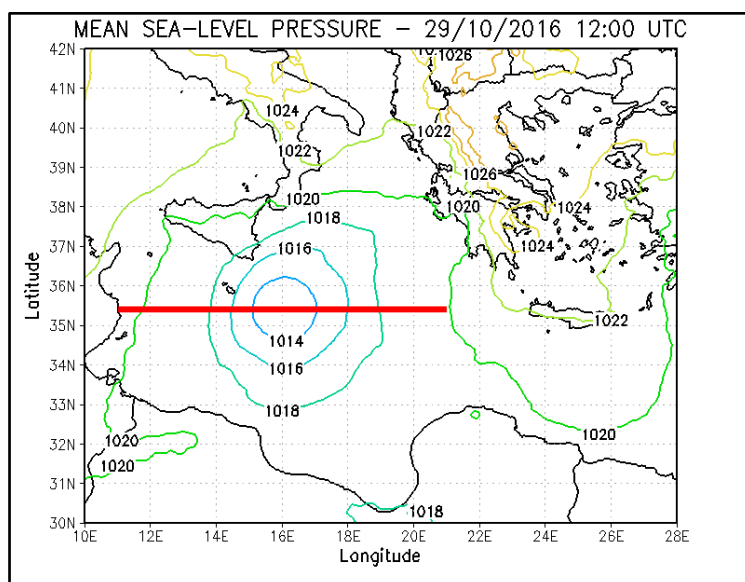
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δομή του Μεσογειακού Κυκλώνα

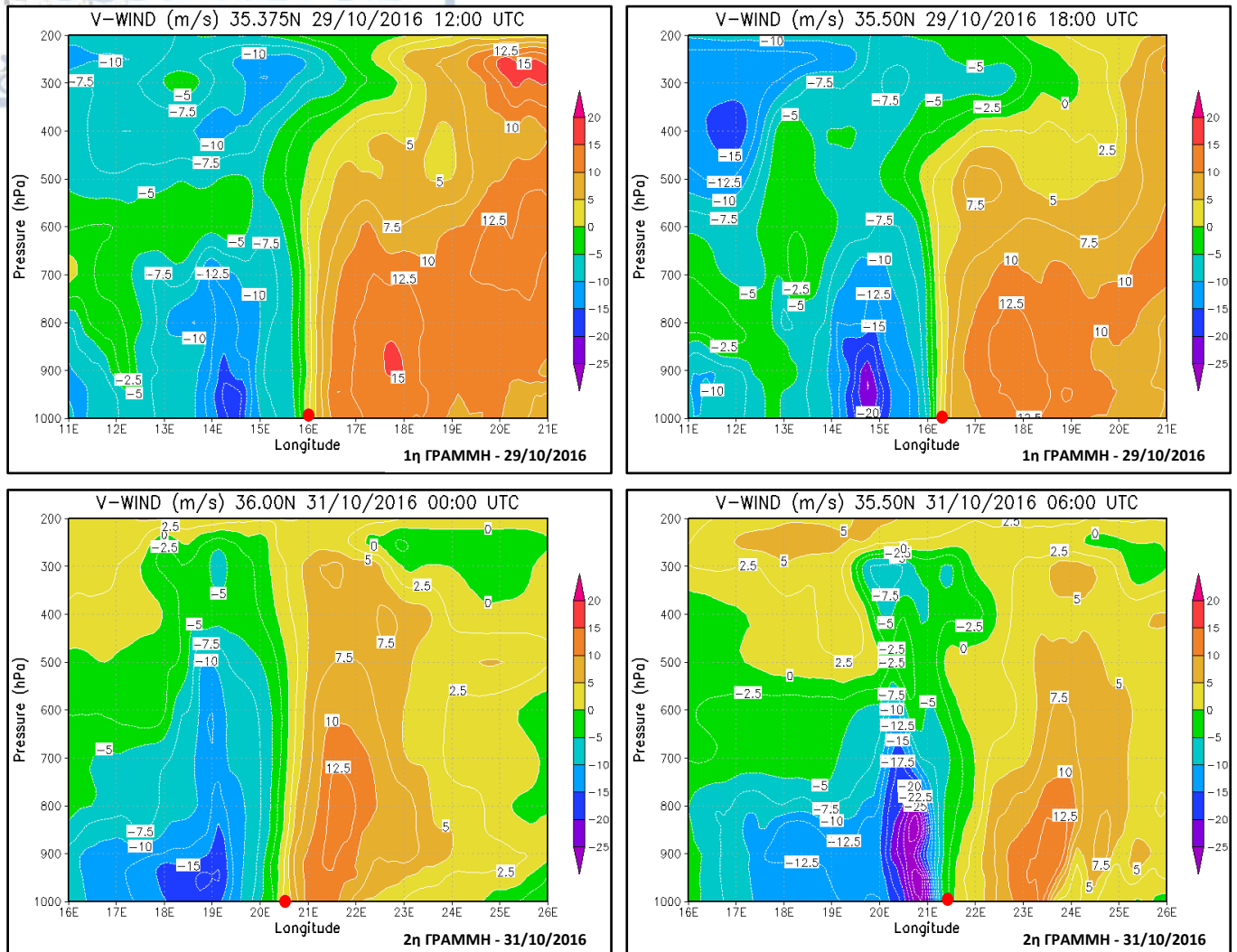
Η συνοπτική ανάλυση πέρα από τα στάδια εξέλιξης του κυκλώνα, τις επίγειες μετεωρολογικές παρατηρήσεις και τις οριζόντιες τομές που περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3) της εργασίας, περιλαμβάνει και την περιγραφή της δομής του με τη βοήθεια κατακόρυφων τομών. Οι τομές αυτές έχουν δημιουργηθεί με βάση τα στοιχεία των αναλύσεων του ECMWF και αφορούν τη μεσημβρινή και ζωνική συνιστώσα του ανέμου καθώς και τη δυναμική θερμοκρασία.

4.1 Κατακόρυφες τομές της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου

Στο Σχήμα 4.1 παρατίθεται ενδεικτικά ο μετεωρολογικός χάρτης (οριζόντια τομή) της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας για τις 29/10 στις 12:00 UTC. Επιπλέον, στο χάρτη αυτό απεικονίζεται με κόκκινη γραμμή η περιοχή που έγινε η κάθετη τομή για τη συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα. Η διεύθυνση αυτής της γραμμής είναι Δύση-Ανατολή και αντιπροσωπεύει τη διεύθυνση και για τις υπόλοιπες κάθετες τομές που δείχνουν τη μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου. Βεβαίως οι τομές των υπολοίπων χρονικών στιγμών έγιναν στο γεωγραφικό πλάτος που εμφανιζόταν η ελάχιστη πίεση στις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου.



Σχήμα 4.1 Οριζόντια τομή που απεικονίζει την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) στις 29 Οκτωβρίου 2016 στις 12:00 UTC. Η κόκκινη γραμμή δείχνει την περιοχή που έγινε η κάθετη τομή για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή καθώς και τη διεύθυνση των υπόλοιπων τομών της v-wind (Δεδομένα: ECMWF).

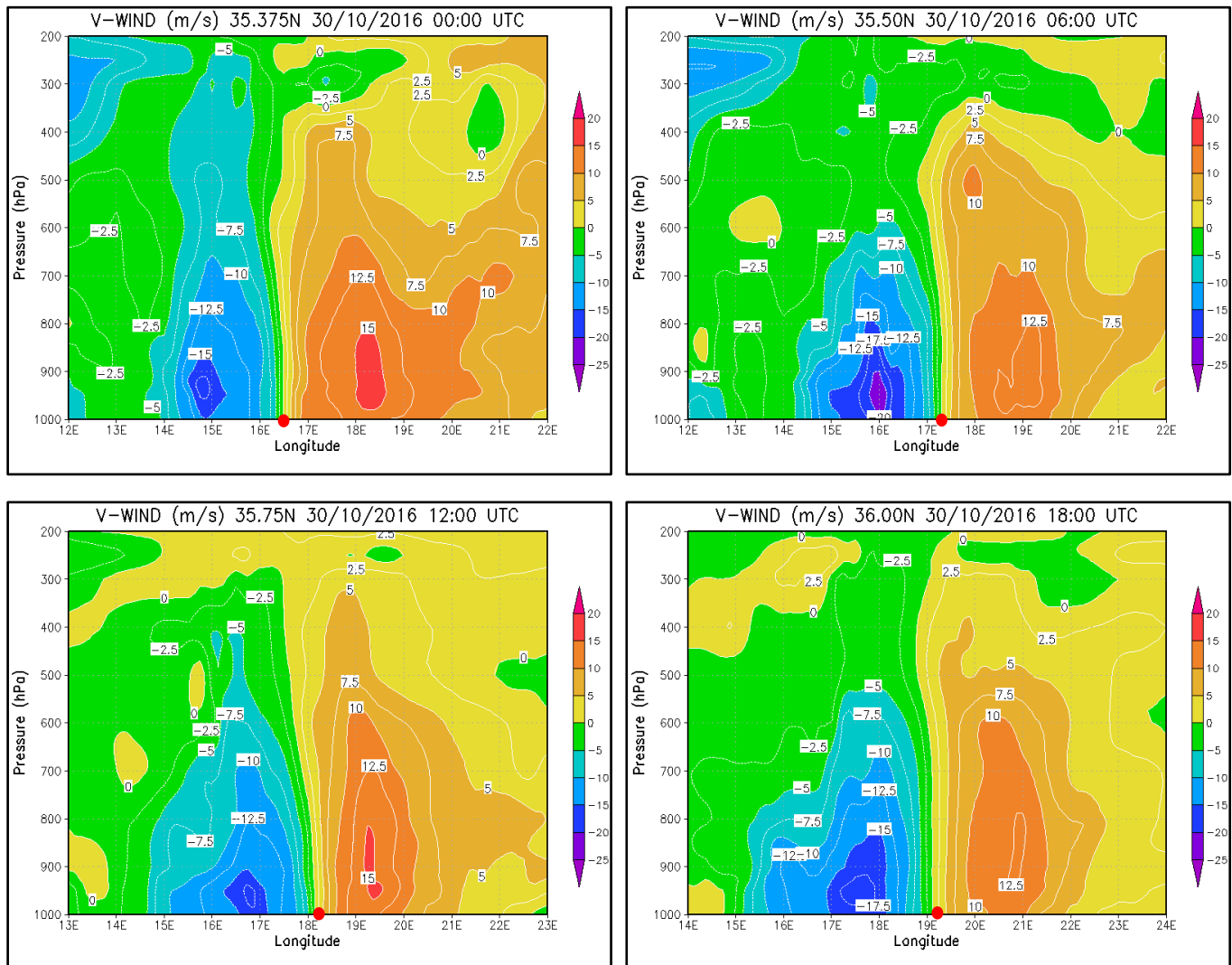


Σχήμα 4.2 Ζωνικές τομές που απεικονίζουν με χρωματική σκίαση τη μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στις 12:00 UTC και 18:00 UTC στις 29/10 (1η γραμμή) και στις 00:00 UTC και 06:00 UTC στις 31/10 (2η γραμμή). Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

Από την ανάλυση της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου, φαίνεται ότι ο Μ.Κ. παρουσιάζει έντονη κυκλωνική ροή στην μεγαλύτερη διάρκεια της πορείας του, η οποία είναι σχεδόν συμμετρική ως προς τον νοητό άξονα που εκτείνεται μέχρι τα ανώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας (Σχήμα 4.2 και Σχήμα 4.3).

Οι πιο οργανωμένοι πυρήνες δυτικά και ανατολικά από το κέντρο του κυκλώνα στη διεύθυνση Δ-Α, που αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τους βόρειους ανέμους με τις αρνητικές τιμές και τους νότιους ανέμους με τις θετικές, αναπαρίστανται στο Σχήμα 4.2 στις 31/10 (2η γραμμή) στις χρονικές στιγμές 00 και 06 UTC καθώς και στο Σχήμα 4.3 στις 30/10 στις 00, 06, 12 και 18 UTC. Επίσης, στις 06:00 UTC στις 31/10, ο κυκλώνας παρουσιάζει μια απότομη ενίσχυση των βόρειων ανέμων στη v-wind

συνιστώσα, που συνοδεύεται από μια μικρή πτώση (από τις 00:00 UTC έως τις 06:00 UTC) της ελάχιστης πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας κατά περίπου 2 hPa, γεγονός που είναι συνηθισμένο όταν ένας Μ.Κ. περνάει κοντά από στεριά.

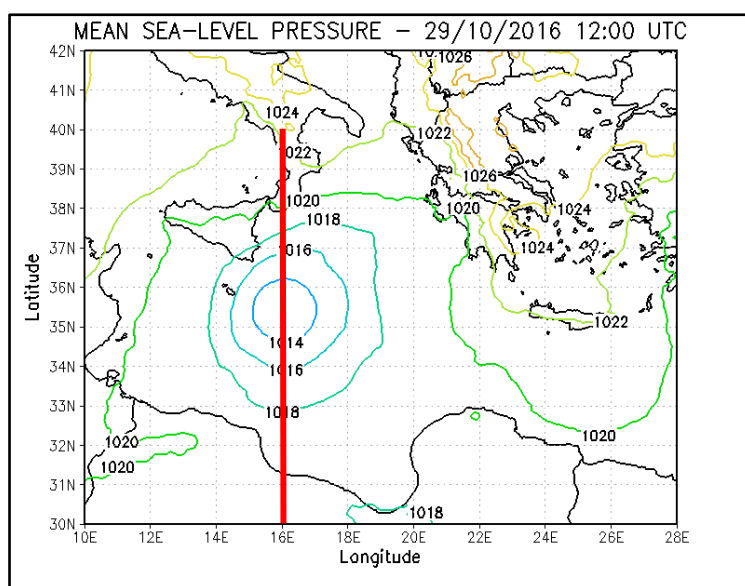


Σχήμα 4.3 Ζωνικές τομές που απεικονίζουν με χρωματική σκίαση τη μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στις 30/10 στις 00, 06, 12 και 18 UTC. Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

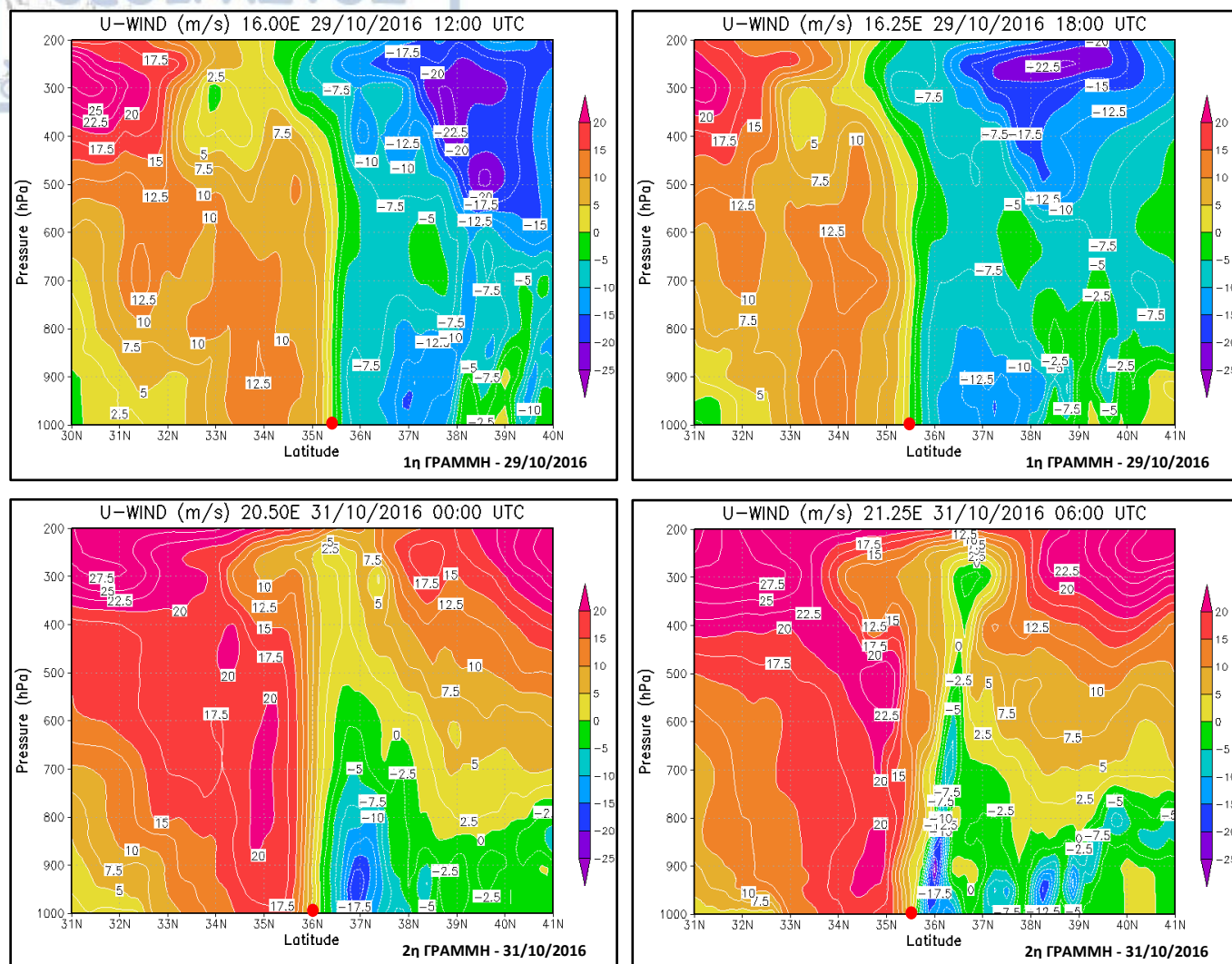
Επιπλέον, παρατηρείται στις κατακόρυφες τομές της v-wind ότι οι πιο ισχυροί άνεμοι είναι στην κατώτερη τροπόσφαιρα, που συμφωνεί με την αναμενόμενη δομή θερμού πυρήνα αυτών των συστημάτων (διερευνάται στην παράγραφο 4.3 με την απεικόνιση της δυναμικής θερμοκρασίας).

4.2 Κατακόρυφες τομές της ζωνικής συνιστώσας του ανέμου

Στο Σχήμα 4.4 παρατίθεται ο μετεωρολογικός χάρτης (οριζόντια τομή) της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας για τις 29/10 στις 12:00 UTC. Στο χάρτη αυτό απεικονίζεται με κόκκινη γραμμή η περιοχή που έγινε η κάθετη τομή για τη συγκεκριμένη ημερομηνία και ώρα. Η διεύθυνση αυτής της γραμμής είναι Βορράς-Νότος και αντιπροσωπεύει τη διεύθυνση και για τις υπόλοιπες κάθετες τομές που δείχνουν τη ζωνική συνιστώσα του ανέμου. Βεβαίως οι τομές των υπολοίπων χρονικών στιγμών έγιναν στο γεωγραφικό πλάτος που εμφανιζόταν η ελάχιστη πίεση στις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου.

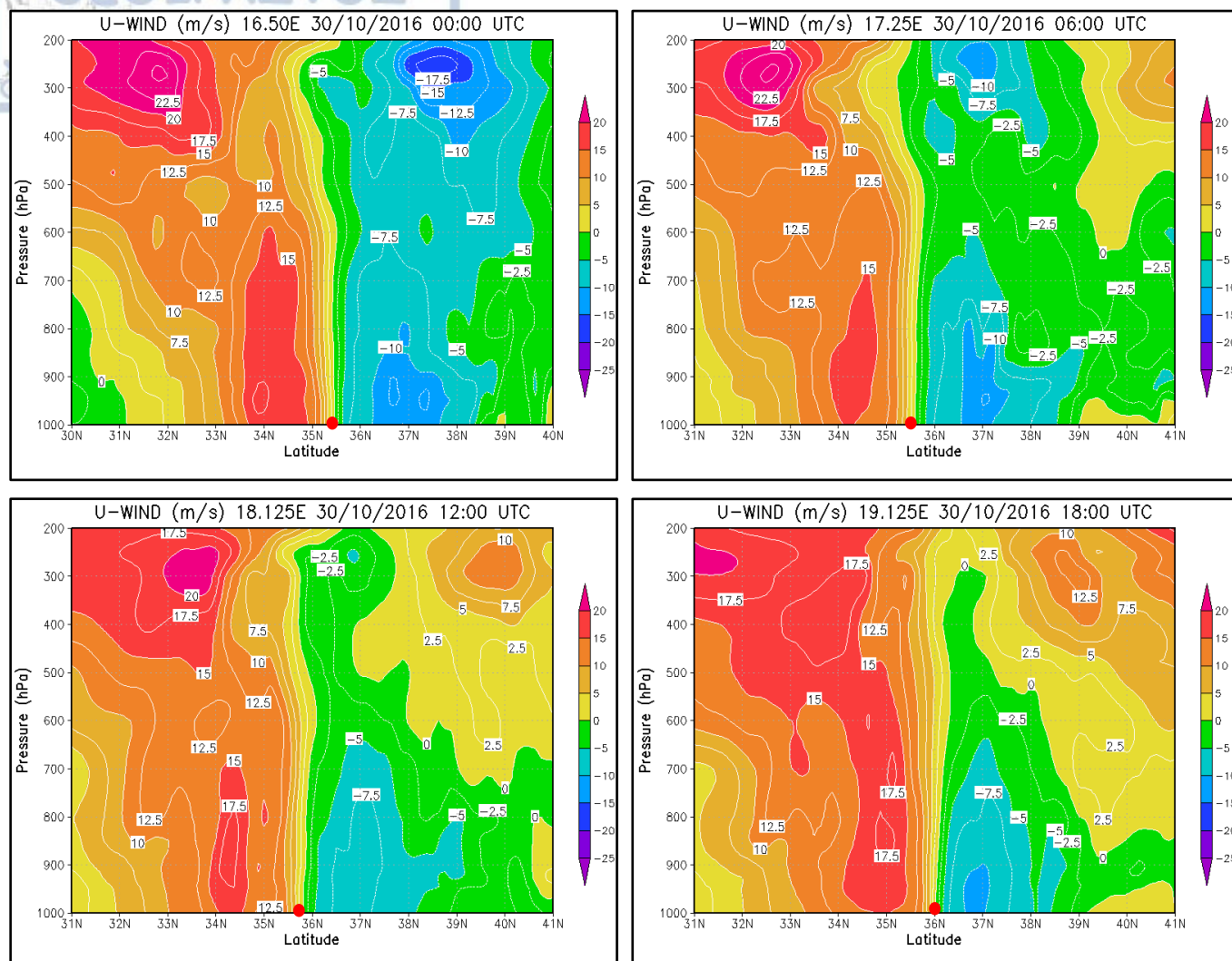


Σχήμα 4.4 Οριζόντια τομή που απεικονίζει την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa, ισοβαρείς) στις 29 Οκτωβρίου 2016 στις 12:00 UTC. Η κόκκινη γραμμή δείχνει την περιοχή που έγινε η κάθετη τομή για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή καθώς και τη διεύθυνση των υπόλοιπων τομών της u-wind (Δεδομένα: ECMWF).



Σχήμα 4.5 Κατακόρυφες τομές που απεικονίζουν με χρωματική σκίαση τη ζωνική συνιστώσα του ανέμου της 12:00 UTC και 18:00 UTC της 29/10 (1η γραμμή) και της 00:00 UTC και 06:00 UTC της 31/10 (2η γραμμή). Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

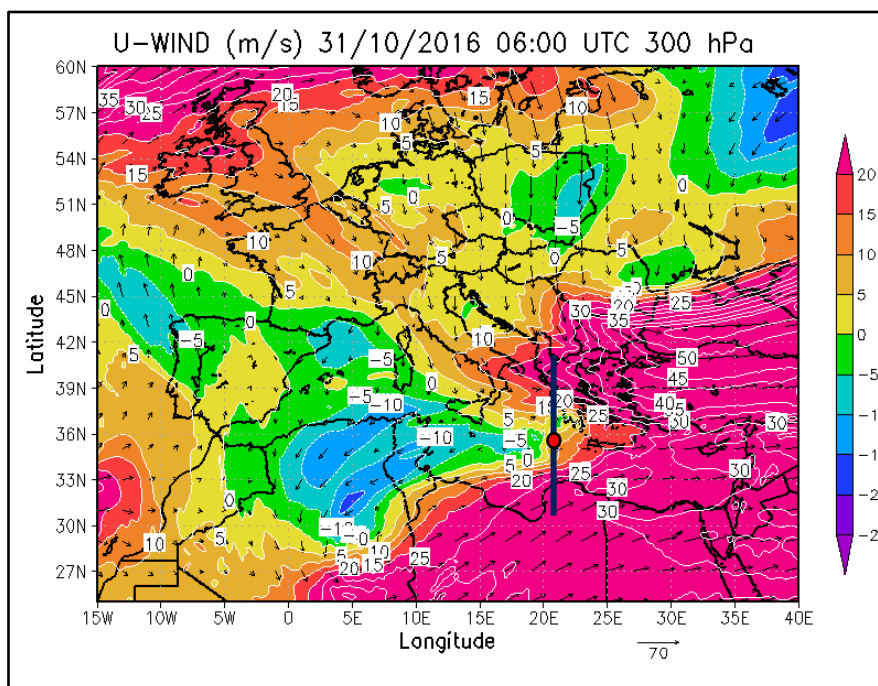
Παρατηρώντας τις κάθετες τομές της ζωνικής συνιστώσας του ανέμου, είναι εμφανές ότι ο Μ.Κ. παρουσιάζει έντονη κυκλωνική κίνηση στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του, η οποία είναι σχεδόν συμμετρική ως προς τον κατακόρυφο άξονα που εκτείνεται μέχρι τα ανώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας (Σχήμα 4.5 και Σχήμα 4.6). Επίσης, η μέγιστη οριζόντια διάτμηση του ανέμου παρουσιάστηκε στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας, γεγονός που υποδηλώνει δομή θερμού πυρήνα.



Σχήμα 4.6 Κατακόρυφες τομές που απεικονίζουν με χρωματική σκίαση τη ζωνική συνιστώσα του ανέμου της 30/10 της 00, 06, 12 και 18 UTC. Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

Οι πυρήνες που είναι καλύτερα δομημένοι νότια και βόρεια από το κέντρο του κυκλώνα στη διεύθυνση N-B, που αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τους δυτικούς ανέμους με τις θετικές τιμές και τους ανατολικούς ανέμους με τις αρνητικές, αναπαρίστανται στο Σχήμα 4.5 στις 31/10 (2η γραμμή) στις 00 και 06 UTC καθώς και στο Σχήμα 4.6 στις 30/10 στις 00, 06, 12 και 18 UTC. Επίσης, στις 06:00 UTC στις 31/10, οι δύο πυρήνες βρίσκονται πολύ κοντά, γεγονός που δείχνει τη σφοδρότητα των ανέμων στην περιοχή και τον έντονο στροβιλισμό του Μ.Κ.. Αυτή συνοδεύεται από μια μικρή πτώση (από τις 00:00 UTC έως τις 06:00 UTC) της ελάχιστης πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας κατά περίπου 2 hPa, όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση της v-wind συνιστώσας, φαινόμενο το οποίο είναι σύνηθες όταν ένας Μ.Κ. περνάει κοντά από ξηρά.

Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο ότι στις κατακόρυφες τομές της u-wind στις 31/10, στα ανώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας, είναι εμφανής η αντικυκλωνική κυκλοφορία, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των τροπικών κυκλώνων. Αυτό που πρέπει όμως να αποδειχθεί είναι αν αυτές οι θετικές τιμές του ζωνικού ανέμου (u-wind) οφείλονται στην ιδιότητα των κυκλώνων να αποκτούν μια αντικυκλωνική ροή στα ανώτερα στρώματα ή αν οφείλονται στην εισχώρηση ενός αεροχειμάρρου, με δεδομένο ότι οι αεροχειμάρροι βρίσκονται περίπου στη στάθμη των 300 hPa. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε μια οριζόντια τομή στις 31/10 στις 06:00 UTC, ώστε να διαπιστωθεί ο λόγος της παρουσίας αυτής της κυκλοφορίας.

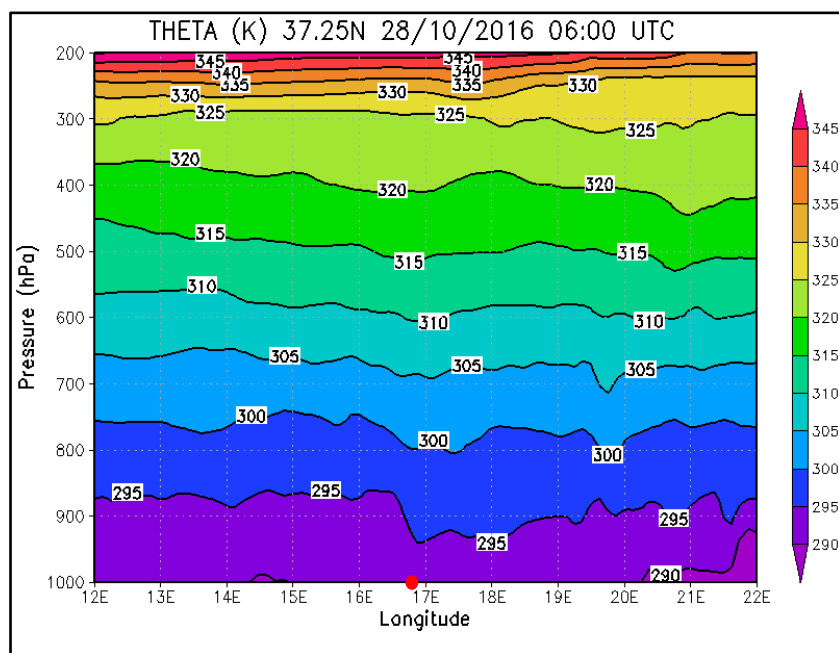


Σχήμα 4.7 Οριζόντια τομή που απεικονίζει με χρωματική σκίαση τη ζωνική συνιστώσα του ανέμου στις 31/10 στις 06:00 UTC στο ισοβαρικό επίπεδο των 300 hPa. Τα διανύσματα δείχνουν την ταχύτητα των ανέμων. Η μπλε γραμμή δείχνει την περιοχή που έγινε η κάθετη τομή για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

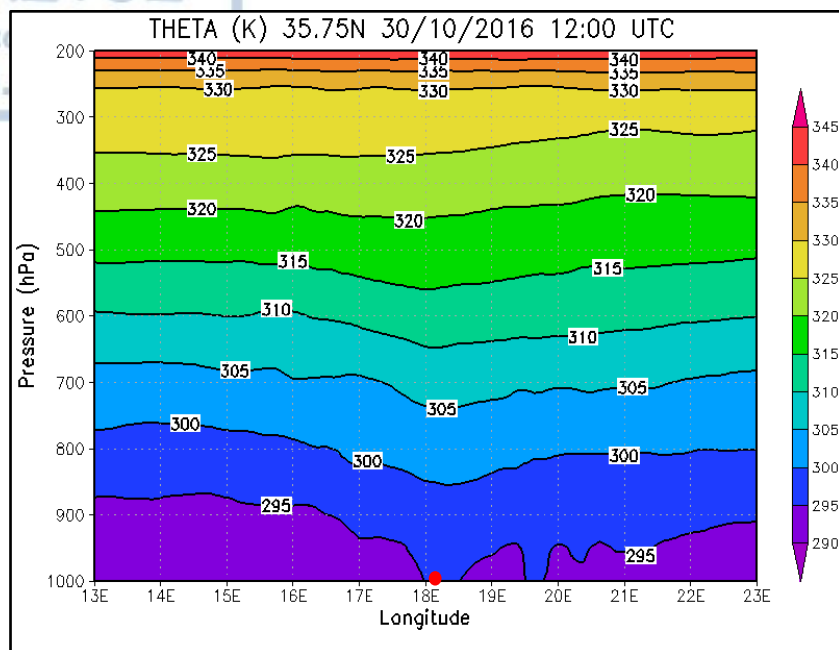
Με βάση την οριζόντια τομή του Σχήματος 4.7 συμπεραίνεται ότι η αντικυκλωνική κυκλοφορία στα 300 hPa οφείλεται τελικά στην εισχώρηση αεροχειμάρρου, επειδή οι μεγάλες θετικές τιμές καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση στο χάρτη γύρω από την περιοχή του Μ.Κ.. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν οφειλόταν αυτή η ροή στην συγκεκριμένη δομή που παρουσιάζουν ορισμένες φορές οι κυκλώνες, θα εμφανίζονταν οι θετικές τιμές τοπικά πάνω από την τομή, δηλαδή πάνω από το σύστημα.

4.3 Κατακόρυφες τομές της δυναμικής θερμοκρασίας (Θ)

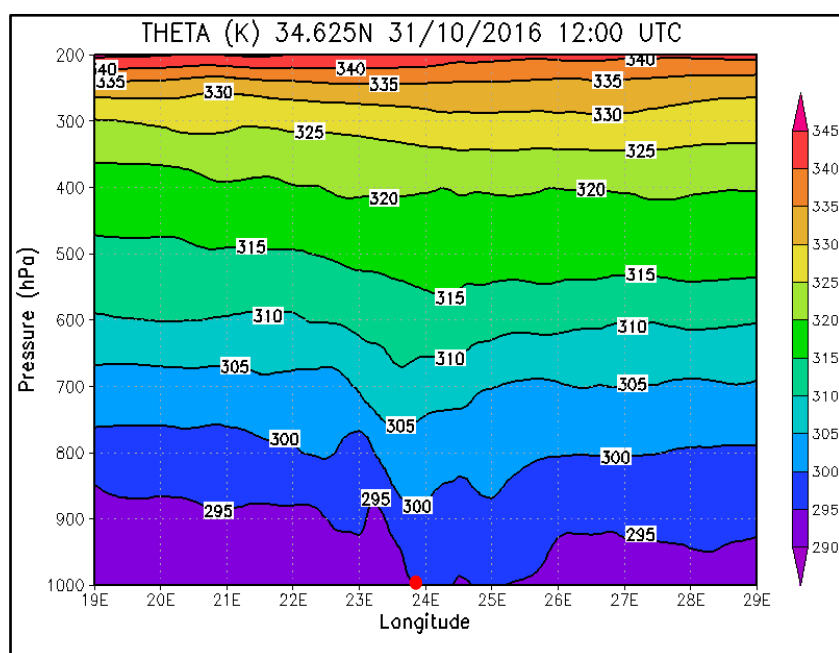
Από τη μελέτη της δυναμικής θερμοκρασίας (Θ) γίνεται άμεσα αντιληπτή η παρουσία θερμού πυρήνα. Οι κατακόρυφες τομές της δυναμικής θερμοκρασίας έδειξαν τη δημιουργία μιας ανωμαλίας στη θερμοκρασία από τις 06:00 UTC στις 28/10 έως τις 12:00 UTC στις 31/10 (Σχήμα 4.8 και Σχήμα 4.10, ισόθερμες). Στο σχήμα 4.9 απεικονίζεται μια ενδιάμεση χρονική στιγμή του κυκλώνα που είναι εμφανής η δομή του θερμού πυρήνα. Επίσης, χαρακτηριστικό είναι ότι και στις τρεις τομές (Σχήμα 4.8, 4.9 και 4.10) οι ισόθερμες παρουσιάζουν σημεία καμπής πάνω από το κέντρο του κυκλώνα, στοιχείο που δείχνει ότι η θερμοκρασία στο κέντρο του είναι μεγαλύτερη από το περιβάλλον του, παρατήρηση που συνάδει με τα γνωρίσματα που παρουσιάζουν οι τροπικοί και Μεσογειακοί κυκλώνες (Burpee 1986). Το υψηλότερο σημείο μέχρι το οποίο έφτασε η ανωμαλία βρίσκεται περίπου στην ισοβαρική επιφάνεια των 400 hPa (κατά προσέγγιση 7000 μέτρα).



Σχήμα 4.8 Ζωνική τομή στις 28/10 στις 06:00 UTC που απεικονίζει τη δυναμική θερμοκρασία (ανά 5°K) με χρωματική σκίαση και με μαύρες συνεχείς ισοπληθείς (ισόθερμες καμπύλες). Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).



Σχήμα 4.9 Ζωνική τομή στις 30/10 στις 12:00 UTC που απεικονίζει τη δυναμική θερμοκρασία (ανά 5°K) με χρωματική σκίαση και με μαύρες συνεχείς ισοπληθείς (ισόθερμες καμπύλες). Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).



Σχήμα 4.10 Ζωνική τομή στις 31/10 στις 12:00 UTC που απεικονίζει τη δυναμική θερμοκρασία (ανά 5°K) με χρωματική σκίαση και με μαύρες συνεχείς ισοπληθείς (ισόθερμες καμπύλες). Η κόκκινη τελεία συμβολίζει το κέντρο του κυκλώνα (Δεδομένα: ECMWF).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σύνοψη και Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η συνοπτική ανάλυση ενός Μεσογειακού χαμηλού με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα (Medicane), που δημιουργήθηκε στις 20:00 UTC της 28ης Οκτωβρίου 2016 πάνω από την κεντρική Μεσόγειο ανατολικά της Μάλτας. Αρχικός σκοπός ήταν να εξακριβωθούν τα γνωρίσματα που εμφάνισε το σύστημα έτσι ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί ως Μ.Κ., έπειτα από μελέτη των δορυφορικών εικόνων και των παγκόσμιων επιχειρησιακών αναλύσεων του ECMWF. Αξίζει να αναφερθεί ότι για το συγκεκριμένο βαρομετρικό χαμηλό δεν έχει δημοσιευθεί κάποια εργασία στη διεθνή βιβλιογραφία, που να αφορά τη συνοπτική και μέσης κλίμακας ανάλυση του συγκεκριμένου συστήματος, με αποτέλεσμα να θεωρείται αρχικά απαραίτητη η διαπίστωση των χαρακτηριστικών που παραπέμπουν στην αναγνώρισή του ως Μ.Κ..

Αρχικά, έγινε μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τους Μ.Κ., που στοχεύει στην κατανόηση των φαινομένων που μπορεί να πυροδοτήσουν την ανάπτυξη αυτών, καθώς και στη γνώση των χαρακτηριστικών που αποκτούν κατά το στάδιο της γένεσής τους. Επίσης, περιγράφονται δύο περιπτώσεις κυκλώνων που εμφάνισαν κάποια ιδιαίτερα στοιχεία. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη του βαρομετρικού χαμηλού ως Μ.Κ.. Οι κυριότερες κατηγορίες αυτών των δεδομένων είναι οι δορυφορικές εικόνες, τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων, οι επιχειρησιακές αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF) και οι συνοπτικοί χάρτες UKMET.

Στο κύριο μέρος της εργασίας, αναλύθηκαν οι συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου πριν από τη γένεση του κυκλώνα, καθώς και στα στάδια γένεσης, ωρίμανσης και διάλυσής του. Στις 26/10 στις 00:00 UTC, είναι εμφανές στους συνοπτικούς χάρτες UKMET, ένα ψυχρό μέτωπο που βρίσκεται στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης, ενώ μεταξύ 12:00 UTC και 18:00 UTC δημιουργήθηκε ένας αυλώνας μεταξύ της Σαρδηνίας και των δυτικών ακτών της Ιταλίας. Η ενίσχυση του αυλώνα στις 27/10, είχε σαν συνέπεια την δημιουργία ενός καλά σχηματισμένου κυκλωνικού συστήματος. Το σύστημα αυτό άρχισε να κινείται πάνω από τη θάλασσα φτάνοντας στις 18:00 UTC της 27ης Οκτωβρίου ανατολικά της

Σικελίας. Στη συνέχεια, συνέχισε να κινείται πάνω από τη θάλασσα κατευθυνόμενο προς τα ΝΑ μέχρι τις 20:00 UTC στις 28/10, αποκτώντας από αυτή τη χρονική στιγμή και έπειτα τα τροπικά του χαρακτηριστικά στις δορυφορικές εικόνες.

Ο Μ.Κ. από την ώρα του σχηματισμού του μέχρι και περίπου στις 16:00 UTC στις 29/10 κινήθηκε ελαφρώς προς τα ΝΔ στο θαλάσσιο χώρο ανατολικά της Μάλτας, ενώ από τις 17:00 UTC μέχρι και την χρονική στιγμή της διάλυσής του (31/10 στις 18:00 UTC) απέκτησε μια πορεία ανατολικής διεύθυνσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα χαρακτηριστικά του Μ.Κ. υφίστανται μέχρι και τις 06:00 UTC στις 31/10, όταν δηλαδή πέρασε κοντά από τις ακτές της Νότιας Πελοποννήσου.

Οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο από τον Μ.Κ. είναι η νοτιοανατολική Σικελία, η Μάλτα, η νότια Πελοπόννησος (Καλαμάτα), η Κρήτη, η Κάρπαθος και η Ρόδος. Συγκεκριμένα, ο σταθμός Cozzo Spadaro στη Σικελία κατέγραψε στις 29/10 στις 06:00 UTC τιμή πίεσης 1014 hPa την ώρα που η ταχύτητα του ανέμου έφτασε τα 16 m/s. Ο σταθμός Luqa στη Μάλτα μέτρησε τιμή πίεσης 1015,4 hPa στις 29/10 στις 03:00 UTC με την ταχύτητα του ανέμου να φτάνει τα 14 m/s. Στο αεροδρόμιο της Σούδας στα Χανιά καταγράφηκαν 73 mm βροχόπτωσης στις 31/10 από τις 06:00 UTC έως τις 12:00 UTC, δηλαδή μέσα σε διάστημα μόλις 6 ωρών με την ταχύτητα του ανέμου να έχει τιμή 10 m/s. Στο Ηράκλειο Κρήτης στις 31/10 (06:00 UTC - 12:00 UTC) παρατηρήθηκαν 13 mm βροχής με την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας να είναι 1012 hPa στις 12:00 UTC και την ταχύτητα του ανέμου στα 14 m/s. Άλλες επίσης αξιοσημείωτες αναφορές είναι τα 19 mm υετού στις 31/10 (12:00 UTC - 18:00 UTC) στο αεροδρόμιο του Καστελλίου στο Ηράκλειο Κρήτης και τα 17 mm βροχής στις 31/10 (00:00 UTC - 06:00 UTC) στην Καλαμάτα.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία και το γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa και 850 hPa, παρατηρείται η ύπαρξη ενός ψυχρού αυλώνα στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη. Ένα τμήμα του αυλώνα αποκόβεται και κινούμενο πάνω από τη θάλασσα δημιουργεί ένα κέντρο χαμηλών πιέσεων στην επιφάνεια και αναπτύσσει χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα μεταξύ 18:00 UTC στις 28/10 και 00:00 UTC στις 29/10. Η επιφάνεια της δυναμικής τροπόπαυσης φαίνεται ότι έχει εισχωρήσει μέχρι τη μέση τροπόσφαιρα στις περιοχές της Βορειοδυτικής, Βορειοανατολικής και Κεντρικής Ευρώπης στις 26/10 στις 00:00 UTC. Η ανωμαλία αυτή της δυναμικής τροπόπαυσης

φαίνεται ότι κατεβαίνει μέχρι τη νότια Ευρώπη επηρεάζοντας την κεντρική Μεσόγειο από τις 12:00 UTC στις 27/10.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό κομμάτι της εργασίας είναι η περιγραφή της δομής του κυκλώνα. Για το λόγο αυτό, κατασκευάστηκαν κατακόρυφες τομές από τις αναλύσεις του ECMWF. Παρατηρείται μια έντονη κυκλωνική ροή στην μεγαλύτερη διάρκεια της πορείας του κυκλώνα, τόσο στη μεσημβρινή-ν όσο και στη ζωνική-υ συνιστώσα του ανέμου. Οι καλά οργανωμένοι πυρήνες και για τις δύο συνιστώσες του ανέμου, υποδηλώνουν την ισχυροποίηση του κυκλώνα μεταξύ 12:00 UTC στις 29/10 και 00:00 UTC στις 31/10. Επίσης, από τις 12:00 UTC στις 29/10 μέχρι και τις 18:00 UTC στις 30/10 φαίνεται ότι το σύστημα είναι βαθύ, καθώς ο νοητός κατακόρυφος άξονας μεταξύ των δύο πυρήνων εκτείνεται μέχρι τα ανώτερα επίπεδα της τροπόσφαιρας. Στις κατακόρυφες τομές της δυναμικής θερμοκρασίας διαπιστώνεται ότι οι ισόθερμες εμφανίζουν σημεία καμπής πάνω από το «μάτι» του κυκλώνα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η θερμοκρασία στο κέντρο του είναι μεγαλύτερη από το περιβάλλον του και συνεπώς το σύστημα εμφάνισε θερμό πυρήνα.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη της δομής του Μ.Κ. και τη συνοπτική του ανάλυση γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτός ο ρόλος των δεδομένων του ECMWF, των δορυφορικών εικόνων καθώς και των επίγειων παρατηρήσεων. Επίσης, η ακρίβεια της πρόγνωσης ενός τέτοιου συστήματος καθίσταται αναγκαία καθώς τα καιρικά φαινόμενα που προκαλούνται στην πλειονότητα των περιπτώσεων έχουν πολύ έντονο χαρακτήρα με δυσμενείς επιπτώσεις στις πληγείσες περιοχές. Τέλος, στα πλαίσια μελλοντικής έρευνας θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της προγνωσιμότητας του Μ.Κ. που αναλύθηκε στην παρούσα εργασία.

Ξένη Βιβλιογραφία

Benouar, D. (2015). Public investments in infrastructure to reducing flood disaster risk in the district of Bab El Oued in Algiers (Algeria). In: Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction (WCDRR), Sendai (Japan), 14-18 March 2015.

Blier, W. and Q., Ma (1997). A Mediterranean Sea hurricane? In Preprints, 22nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Amer. Meteor. Soc., 592-595.

Burpee, R.W. (1986). Mesoscale structure of hurricanes. Mesoscale Meteorology and Forecasting, P.S. Ray, Ed., Amer. Meteor. Soc., 311-330.

Businger, S. and Reed, R.J. (1989). Cyclogenesis in cold air masses. Weather Forecast., 4, 133-156.

Cavicchia, L., von Storch, H. and Gualdi, S. (2014). A long-term climatology of medicanes. Clim. Dyn., 43, 1183–1195.

Carrio, D.S., Homar, V., Jansa, A., Romero, R. and Picornell, M.A. (2017). Tropicalization process of the 7 November 2014 Mediterranean cyclone: Numerical sensitivity study. Atmos. Res., 197, 300-312.

Cioni, G., Cerrai, D. and Klocke, D. (2018). Investigating the predictability of a Mediterranean tropical-like cyclone using a storm-resolving model. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 144, 1598-1610, DOI: 10.1002/qj.3322

Egana, J., S., Gaztelumendi, M., Ruiz, R., Hernandez, I.R., Gelpi and K., Otxoa de Alda (2013). A study of flood episode in Basque country. 7th European Conference on Severe Storms, Helsinki, Finland.

Emanuel, K.A. (2005). Genesis and maintenance of “Mediterranean hurricanes”. Adv. in Geos., 2, 217-220.

Ernst, J.A. and Matson, M. (1983). A Mediterranean tropical storm? Weather, 38, 332-337.

Fita, L.R., Romero, A., Luque, K., Emanuel, K.A. and Ramis, C. (2007). Analysis of the environments of seven Mediterranean tropical-like storms using an axisymmetric, nonhydrostatic, cloud resolving model. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 41-56.

Homar, V., C., Ramis, R. Romero and S. Alonso, J.A. Garcia-Moya and M. Alarcon (1999). A case of convective development over the western Mediterranean Sea: A study through numerical simulations. *Meteor. Atmos. Phys.*, 71, 169-188.

Homar, V., R., Romero, D., Stensrud, C., Ramis and S., Alonso (2003). Numerical diagnosis of a small, quasi-tropical cyclone over the western Mediterranean: Dynamical vs. boundary factors, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 129, 1469-1490.

IPCC (2014). Summary for policymakers. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaption and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

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.

Levizzani, V., Laviola, S., Malvaldi, A., Miglietta, M.M., Cattani, E. (2012). Severe storms over the Mediterranean Sea: a satellite and model analysis. In: National Research Council of Italy, Institute of Atmospheric Sciences and Climate, 6th International Precipitation Working Group, 15-20 October, Brazil.

Mayengon, R. (1983). Cyclone in the Mediterranean, January 1982. *Mariners Weather Log*, 27, 141-143.

Mayengon, R. (1984). Warm core cyclones in the Mediterranean. *Mariners Weather Log*, 28, 6-9.

Miglietta, M.M., Moscatello, A., Conte, D., Mannarini, G., Lacorata G. and Rottuno 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., Mastrangelo, D., and Conte, D. (2015). Influence of physics parameterization schemes on the simulation of a tropical-like cyclone in the Mediterranean Sea. *Atmos. Res.*, 153, 360-375.

Moscatello, A., Miglietta, M.M. and Rottuno, R. (2008). Observational analysis of a Mediterranean “hurricane” over southeastern Italy. *Weather*, 63, 306-311.

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.*, 208, 156-166.

Ouali, A., Chaabane, M., Maalej, A., Hannachi, A., Fuccello, A. (2008). The Tunisian storm of 16-18 September 2003: a diagnostic study of the synoptic situation. *Weather*, 63 (5), 121-127.

Pettersen, S. (1956). *Weather Analysis and Forecasting*, Mac Graw Hill, New York.

Pytharoulis, I. (1995). *Simulation of a Mediterranean Cyclone*. Master Thesis, Department of Meteorology, University of Reading, United Kingdom.

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. and Zick, C. (1987). A subsynoptic vortex over the Mediterranean with some resemblance to polar lows. *Tellus*, 39A, 408-425.

Romero, R., Doswell III, C.A. and Ramis, C. (2000). Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasistationary convective systems over eastern Spain. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 3731-3751.

Romero, R. (2008). A method for quantifying the impacts and interactions of potential-vorticity anomalies in extratropical cyclones. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 134, 385-402.

Romero, R. and Emanuel, K.A. (2013). Medicanes risk in a changing climate. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 5992-6001, DOI: 10.1002/jgrd.50475.

Ruiz, M.J., Egana, S., Gaztelumendi, M., Maruri and Gelpi, I.R. (2012). A case study of heavy and persistent rainfall: 4-7 November 2011. *ERAD 2012 - The seventh European Conference on radar in meteorology and hydrology*.

Terranova, O.G. and Gariano, S.L. (2014). Rainstorms able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, southern Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2423-2434.

Thorncroft, C. and Pytharoulis, I. (2001). A Dynamical Approach to Seasonal Prediction of Atlantic Tropical Cyclone Activity. *Weather Forecast.*, 16, 725-734.

Tous, M. and Romero, R. (2013). Meteorological environments associated with medicanes development. *Int. J. Climatol.*, 33, 1-14, DOI: 10.1002/joc.3428.

Trenberth, K. (2005). Uncertainty in hurricanes and global warming. *Science*, 308 (5729), 1753-1754.

Winstanley, D. (1970). The North African flood disaster, September 1969. *J. Roy. Meteor. Soc.*, 25 (9), 390-403.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Δημητριάδου, Κ. (2017). Δορυφορική μελέτη βαρομετρικών χαμηλών με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στη Μεσόγειο. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Καρακώστας, Θ. (2013). Σημειώσεις Συνοπτικής και Δυναμικής Μετεωρολογίας,
Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Μακρογιάννης, Τ. και Σαχσαμάνογλου, Χ. (2004). Μαθήματα Γενικής
Μετεωρολογίας. Εκδόσεις Χάρης.

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://weather.us>

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

www.sat.dundee.ac.uk

www.dundeesat.co.uk

www.eumetsat.int

www.afcea.gr

www.ecmwf.int

www.opengrads.org

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

www.wetter3.de

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