

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΙΜΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

του Σταύρου Κόρμαλου

<u>με τίτλο</u>

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΟ ΚΑΝΑΛΙ ΥΔΡΑΤΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΝΕΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΦΕΙΔΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1.Εισαγωγή	σελ.7
Κεφάλαιο 2 .Θεωρητικό μέρος	σελ.9
2.1 Ρόλος των δυναμικών αιτίων στην ανάπτυξη συνοπτικών συστημάτα	ωνσελ.9
2.2 Ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων στο κανάλι υδρατμών	σελ.13
2.2.1 Κανάλια 5 και 6 του MSG	σελ.13
2.2.2 Προϊόν RGB "Αέριες μάζες"	σελ.17
2.2.3 Διαφορά καναλιών 5-6	σελ.21
2.3 Σχέση του καναλιού υδρατμών και των δυναμικών πεδίων	σελ.22
2.3.1 Ερμηνεία των συνοπτικής κλίμακας φωτεινών και σκοτεινών χαρο	ικτηριστικών στις
εικόνες του καναλιού υδρατμών	σελ.22
2.4 Κυκλογένεση με προπομπό στην ανώτερη ατμόσφαιρα	σελ.37
2.5 Μέτωπα	σελ.39
2.5.1 Ψυχρά μέτωπα	σελ.39
2.5.2 Θερμά μέτωπα	σελ.40
Κεφάλαιο 3.Δεδομένα μεθοδολογία	σελ.42
3.1 Δορυφορικά δεδομένα	σελ.42
3.2 Συνοπτικά δεδομένα	σελ.44
3.3 Μεθοδολογία	σελ.45
3.3.1 Μελέτη περιπτώσεων	σελ.45
3.3.2 Κατηγοριοποίηση	σελ.47
Κεφάλαιο 4. Επεξεργασία και αποτελέσματα	σελ.49
4.1 Μελέτη περιπτώσεων	σελ.49
4.1.1 Πρώτη περίπτωση	σελ.49
4.1.2 Δεύτερη περίπτωση	σελ.62
4.1.3 Τρίτη περίπτωση	σελ.79

4.1.4 Τέταρτη περίπτωση	σελ.90
4.1.5 Πέμπτη περίπτωση	σελ.103
4.1.6 Έκτη περίπτωση	σελ.119
4.1.7 Έβδομη περίπτωση	σελ.134
4.1.8 Όγδοη περίπτωση	σελ.148
4.2 Στατιστική ανάλυση	σελ.163
Κεφάλαιο 5.Συμπεράσματα	σελ.177
Βιβλιογραφία-πηγές	σελ. 181

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Φείδα για τις συμβουλές του που βοήθησαν στην διεκπεραίωση της συγκεκριμένης εργασίας καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσε για να διορθώσει τα λάθη, την αισθητική της αλλά και για την μελέτη της. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω και τους κ. Καρακώστα και Πυθαρούλη, μέλη της τριμελούς επιτροπής για τις πολύτιμες συμβουλές και το χρόνο που διέθεσαν για τη μελέτη της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τους γονείς μου που με την οικονομική στήριξη με βοήθησαν όλα αυτά τα χρόνια στις σπουδές μου καθώς και τους φίλους μου που με στήριξαν ψυχολογικά στις δύσκολες στιγμές.

Περίληψη

Στην παρούσα έρευνα, πραγματοποιείται δορυφορική ανάλυση των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης που εμφανίστηκαν στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων μετά από συνθήκες αίθριου καιρού τους καλοκαιρινούς μήνες από Μάιο έως και Σεπτέμβριο του 2009. Η δορυφορική ανάλυση βασίστηκε στις εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου Meteosat Second Generation (MSG) δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα δυο κανάλια των υδρατμών (6.2 μm και 7.3 μm). Η μελέτη του καναλιού υδρατμών στα 6.2 μm, δείχνει την εικόνα της κατάστασης στην ανώτερη τροπόσφαιρα και του καναλιού στα 7.3 μm δείχνει τις συνθήκες στην μέση τροπόσφαιρα. Στόχος της εργασίας ήταν η διερεύνηση των χαρακτηριστικών των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών, και της σχέσης τους με τη δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης. Συνολικά μελετήθηκαν 36 περιπτώσεις εμφάνισης νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και εκδήλωσης καταιγίδων, εκ των οποίων παρουσιάζονται οι οκτώ πιο αντιπροσωπευτικές με βάση τα χαρακτηριστικά που εμφάνισαν στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι στα 6.2μm. Αρχικά εξετάστηκαν οι συνοπτικές συνθήκες, που οδήγησαν στη δημιουργία των καταιγίδων και στη συνέχεια, κυρίως μέσω των δορυφορικών καναλιών των υδρατμών, έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας (στρόβιλοι, ξηρές ζώνες, βαροκλινικά φύλλα) καθώς και οι συνθήκες υγρασίας σε διάφορα υψόμετρα που σχετίζονταν για την ανάπτυξη τους. Τα καταιγιδοφόρα κύτταρα κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την παρουσία υγρασίας στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα και την υγρασία και τις συνθήκες σύγκλισης ανέμου στην κατώτερη τροπόσφαιρα, την παρουσία αερίων μαζών στο ύψος των 500mb, την παρουσία ή όχι ορίων και διάφορων υγρών ή ξηρών σχηματισμών στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Οι ομαδοποιήσεις αυτές βοήθησαν στην κατανόηση των ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη τέτοιου είδους νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης με βάση τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών.

Abstract

In this study, is performed satellite analysis of convective cells that occurred in the Balkan region after clear sky conditions during the summer months from May to September of 2009. Satellite analysis was based on satellite images geostationary meteorological satellite MSG (Meteosat Second Generation) with particular emphasis on two channels of water vapour (6.2 µm and 7.3 µm). The study of the channel water vapour images at 6.2 µm, shows the conditions in the upper troposphere and the channel at 7.3 µm shows the conditions in the middle troposphere. The aim of this study was the investigation the characteristics of satellite images in the water vapour channels, and their relationship by creating convective clouds. Overall were studied 36 cases of convective clouds and storms and are presented the most representative on the characteristics at satellite images of the WP channel at 6.2 µm. Initially were examined the synoptic conditions that led to the creation of storms and later became an attempt to identify the characteristics of the middle and upper troposphere (vortices, dry areas, baroclinic leaves) and the humidity in various altitudes related to their development with use of water vapour channels. Convective cells were categorized according to the presence of moisture in the middle and upper levels of troposphere and low-level convergence and humidity, the presence of air masses at the height of 500 mb, the presence or absence of boundaries and various wet or dry formations in the upper troposphere. Groupings helped in understanding of the favourable conditions for the development of convective clouds after clear sky conditions based on the characteristics of WV images.

1.Εισαγωγή

Ισχυρή ανωμεταφορά και καταιγίδες μπορεί να εκδηλωθούν σε ιδιαίτερες συνοπτικές καταστάσεις. Από τη μια συνδέονται με δυναμικά αίτια συνοπτικής κλίμακας (π.χ. χαμηλά βαρομετρικά και μέτωπα που τα συνοδεύουν) και από την άλλη με θερμοδυναμικά αίτια που εμφανίζονται σε συνθήκες αίθριου καιρού (*Santurette and Georgiev 2005*).

Σύμφωνα με παρατηρήσεις δορυφορικών εικόνων η πρώτη εμφάνιση ισχυρής ανωμεταφοράς κάτω από συνθήκες αίθριου καιρού συνδέεται με τη μεταβατική ζώνη ανάμεσα σε περιοχές με σχετικά ανοιχτούς τόνους του γκρι και σε περιοχές με σχετικά σκούρους τόνους του γκρι στο **κανάλι υδρατμών (5.7-7.1 μm),** δηλαδή στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα σε ξηρό και σε υγρό αέρα στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα (*Krennert and Zwatz-Meise, 2003*). Το όριο αναπαριστά όχι μόνο την μετάβαση ανάμεσα σε σχετικά υγρό και ξηρό αέρα στα επίπεδα πάνω από τα 600 mb αλλά έχει τυπικά χαρακτηριστικά άλλων παραμέτρων ή και μηχανισμών που ευνοούν την ανάπτυξη καταιγιδοφόρων κυττάρων. Το κανάλι υδρατμών δίνει πληροφορίες για την ατμοσφαιρική ροή στο ύψος από 300 έως 600 mb ακόμα και αν απουσιάζουν τα νέφη (*Krennert and Zwatz-Meise, 2003*).

Συγκεκριμένα το κανάλι στα 6.2 μm, δίνει πληροφορίες για την ανώτερη τροπόσφαιρα και το ύψος των 300 mb και το κανάλι των 7.3 μm δίνει πληροφορίες για την μέση τροπόσφαιρα περίπου στα 500 mb. Στις περιοχές που δεν υπάρχει αρκετή υγρασία στα μέσα και ανώτερα στρώματα, ο δορυφόρος καταγράφει την ακτινοβολία από τα κατώτερα στρώματα οπότε καταγράφονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες λαμπρότητας και πιο σκούροι τόνοι του γκρι (Krennert and Zwatz-Meise, 2003).

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση των χαρακτηριστικών των δορυφορικών εικόνων στα δυο παραπάνω κανάλια που σχετίζονται με τη δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι ξηρά (λανθάνουσες ανωμαλίες, ζώνες παραμόρφωσης, δυναμικές ανωμαλίες, ξηρές εισβολές), υγρά ή με ενδιάμεση περιεκτικότητα σε υγρασία.

Η παρούσα εργασία ερευνά τις περιπτώσεις εμφάνισης ανωμεταφοράς και τα χαρακτηριστικά τους μετά από συνθήκες αίθριου καιρού στην Ελλάδα και τις υπόλοιπες περιοχές της Βαλκανικής χερσονήσου τη θερινή περίοδο του 2009 χρησιμοποιώντας τα δύο παραπάνω κανάλια των υδρατμών, την διαφορά τους καθώς και το συνδυασμό με άλλα κανάλια. Παράλληλα γίνεται σύγκριση με δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του ορατού και με συνοπτικούς χάρτες καιρού σε διάφορα ατμοσφαιρικά επίπεδα με στόχο την συσχέτιση της ροής υγρασίας με τα γεωδυναμικά ύψη

και την διεύθυνση του ανέμου σε διάφορα επίπεδα της τροπόσφαιρας, τις ράχες και τους αυλώνες, την ύπαρξη δυναμικού στροβιλισμού, τη μεταφορά στροβιλισμού τους δείκτες αστάθειας κλπ.

2. Θεωρητικό μέρος

2.1 Ρόλος των δυναμικών αιτίων στην ανάπτυξη συνοπτικών συστημάτων.

Μερικές δυναμικές παράμετροι είναι πιο ικανές από άλλες στην μελέτη και της εμφάνισης και εξέλιξης δυναμικών δομών σε συνοπτική κλίμακα (Santurette and Georgiev 2005). Η δυναμική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου επιτρέπουν την μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων του αέρα χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θερμική μεταφορά και οι μεταβολές της πίεσης (Santurette and Georgiev 2005). Ωστόσο αναπαριστούν ελάχιστες σημαντικές ιδιότητες που ορίζουν την εξέλιξη της ατμόσφαιρας. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, σε συνοπτική κλίμακα οι δυναμικές ιδιότητες σχετίζονται με την περιστροφή των σωματιδίων του αέρα (Santurette and Georgiev 2005). Η περιστροφή των ρευστών περιγράφεται από την μεταβλητή του στροβιλισμού και είναι μέτρο της τοπικής περιστροφής της ατμόσφαιρας. Ο **στροβιλισμός** σχετίζεται και με την κίνηση της Γης και με την συνιστώσα περιστροφής του ανέμου (Santurette and Georgiev 2005).

Ο στροβιλισμός εκφράζει ουσιαστικά περιστροφή της ατμόσφαιρας. Ο σχετικός στροβιλισμός μπορεί να θεωρηθεί σαν το άθροισμα δύο συνιστωσών: Του σχετικού στροβιλισμού λόγω καμπυλότητας (curvature vorticity) και του σχετικού στροβιλισμού λόγω διατμητικού ανέμου (shear vorticity) (εικόνα 1) (*Hoskins et al.*, 1985).

Ο απόλυτος στροβιλισμός (ζabs) είναι το άθροισμα του σχετικού στροβιλισμού (ζrel) με την δύναμη Coriolis (f) σύμφωνα με την σχέση:

$\zeta abs = \zeta rel + f = \zeta rel + 2\Omega sin\phi \qquad (1)$

όπου φείναι το γεωγραφικό πλάτος και Ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης.



Εικόνα 1 : Στροβιλισμός λόγω α) καμπυλότητας, β) διατμητικού ανέμου

Στην εικόνα 2 φαίνεται μια στήλη αέρα και η σχέση του με τις ισεντροπικές καμπύλες. Παρατηρείται ότι όσο πλησιέστερα έρχονται οι ισεντροπικές, τόσο μειώνεται ο στροβιλισμός. Το τέντωμα του στροβίλου συνδέεται με αύξηση του στροβιλισμού και μείωση της ευστάθειας, ενώ η σμίκρυνση συνδέεται με μείωση του στροβιλισμού και αύξηση της ευστάθειας. Έτσι ενώ στο κέντρο που ο στρόβιλος έχει σμικρυνθεί ο αέρας είναι πιο σταθερός ενώ στις δυο άκρες που οι ισεντροπικές απομακρύνθηκαν ο στροβιλισμός έχει μεγάλες τιμές.



Εικόνα 2:Στήλη αέρα και η σχέση του με τις ισεντροπικές καμπύλες (http://www.das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap12/pot_vort.html)

Στην εικόνα 3α διακρίνεται ένας αυλώνας που έχει δεξιά και αριστερά του 2 ράχες. Στις 2 κορυφές των ραχών ο στροβιλισμός έχει μικρές τιμές ενώ στη βάση του αυλώνα έχει τη μέγιστη θετική τιμή. Επίσης παρατηρείται ότι η μεταφορά στροβιλισμού είναι αρνητική στον κατερχόμενο (δυτικό κλάδο) του αυλώνα και θετική στον ανατολικό. Στην εικόνα 3β γίνεται αντιστοίχηση με τις συνθήκες στην επιφάνεια δηλαδή στην δεξιά πλευρά του αυλώνα που υπάρχει θετική μεταφορά στροβιλισμού και θερμή μεταφορά, περνάει ένα θερμό μέτωπο ενώ στην δυτική πλευρά που αρνητική μεταφορά στροβιλισμού και ψυχρή μεταφορά, περνάει το ψυχρό μέτωπο.



Εικόνα 3 :Μεταφορά στροβιλισμού σε ένα αυλώνα ανάμεσα σε 2 ράχες στα 500 mb (αριστερά) και συνθήκες στην επιφάνεια (δεζιά) (aos.wisc.edu)

Ο όρος «δυναμικός στροβιλισμός» PV ορίζεται ως η τιμή του σχετικού στροβιλισμού που θα είχε ένα ισεντροπικό στρώμα της ατμόσφαιρας αν μετακινούταν σε ένα προκαθορισμένο (standard) γεωγραφικό πλάτος και αν η μάζα του ανά μονάδα επιφάνειας έπαιρνε μία προκαθορισμένη τιμή (Hoskins et. al 1985).

$$PV = \sigma^{-1} \zeta_{a\theta} \qquad (2)$$

$$\sigma = -g^{-1} \partial p / \partial \theta \qquad (3)$$

Η εξίσωση 2 είναι η εξίσωση του Ertel για το δυναμικό στροβιλισμό. σ είναι η πυκνότητα της αέριας μάζας στο χγθ σύστημα συντεταγμένων. θ –δυναμική θερμοκρασία, p – πίεση, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και ζ_{αθ}=f + ζθ είναι ο απόλυτος ισεντροπικός στροβιλισμός

10-6 m2 s-1 K kg-1 – 'PV-unit' (PVU)

Στην εικόνα 4α φαίνεται η κλιματολογική κατανομή του δυναμικού στροβιλισμού στην ατμόσφαιρα και παρατηρείται ότι στα χαμηλότερα στρώματα έχει μικρές τιμές (συνήθως 0.5 PVU), ενώ στα υψηλότερα έχει μεγάλες τιμές δυναμικού στροβιλισμού. Υπάρχει μια κρίσιμη τιμή που είναι το 1.5 PVU που δείχνει το σημείο της δυναμικής τροπόπαυσης η οποία στους πόλους βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος (*Santurette and Georgiev 2005*). Πάνω από αυτή την διαχωριστική γραμμή βρίσκεται η στρατόσφαιρα.

Στην εικόνα 4β παρουσιάζεται μια στήλη αέρα που κινείται αδιαβατικά ανάμεσα σε δυο ισεντροπικές καμπύλες, θ και θ+dθ. Η ποσότητα dθ παραμένει σταθερή όπως και ο δυναμικός στροβιλισμός σύμφωνα με την αρχή Λαγκρατζιανής διατήρησης. Η ποσότητα που μεταβάλλεται είναι ο σχετικός στροβιλισμός και συγκεκριμένα αυξάνεται όταν το ύψος h ανάμεσα σε δυο επιφάνειες αυξηθεί, ενώ μειώνεται όταν αυτό μειωθεί (*Santurette and Georgiev 2005*).

Επειδή η πραγματική τροπόπαυση δεν είναι ποτέ επίπεδη αλλά πάντα υπάρχουν ανωμαλίες, τα ελάχιστα του ύψους της τροπόπαυσης δεν οδηγούν πάντα σε ανάπτυξη σημαντικών συνοπτικών κατακόρυφων κινήσεων. Αυτές όμως οι ανωμαλίες πρέπει να παρακολουθούνται καθώς αν βρεθούν στο κατάλληλο περιβάλλον δηλαδή κοντά σε αεροχείμμαρο μπορούν να ενισχυθούν και να οδηγήσουν σε έντονα φαινόμενα (δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης στην εικόνα 5) (*Pytharoulis 2009*).

Μια PV ανωμαλία δημιουργείται από μια στρατοσφαιρική εισβολή στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Λόγω της διατήρησης του PV, η ανωμαλία οδηγεί στην παραμόρφωση των iso-θ επιφανειών και του στροβιλισμού του περιβάλλοντα αέρα (*Santurette and Georgiev 2005*). Σε μια βαροκλινική ροή που αυξάνεται με το ύψος, η εισβολή της PV ανωμαλίας στην τροπόσφαιρα προκαλεί κατακόρυφες **κινήσεις** αέρα και συγκεκριμένα η παραμόρφωση των iso-θ προκαλεί ανοδικές κινήσεις μπροστά από την ανωμαλία και καθοδικές κινήσεις πίσω από αυτή (*Santurette and Georgiev 2005*).



Εικόνα 4: α) Κλιματολογική κατανομή δυναμικού στροβιλισμού και β) σχέση στήλης αέρα με τις ισεντροπικές. (virtuallab.bom.gov.au)



Εικόνα 5: Δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης και κατακόρυφες κινήσεις στην γειτονική περιοχή. (www.zamg.ac.at)

Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας ανωμαλίας σε μια δορυφορική εικόνα παρουσιάζεται στην εικόνα 6α στην οποία διακρίνεται η ανωμαλία σαν μια μαύρη ξηρή ζώνη στο κανάλι υδρατμών που επεκτείνεται από την κεντρική Ιταλία μέχρι την νότια Πελοπόννησο, υποδεικνύοντας την πτύχωση της τροπόπαυσης, την εισβολή ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα και τη δημιουργία κυκλογένεσης. Στην εικόνα 6β παρουσιάζεται μια ενδεικτική περίπτωση ανωμαλίας της δυναμικής τροπόπαυσης σε μια κατακόρυφη τομή της ατμόσφαιρας.



Εικόνα 6 : α) Δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης σε δορυφορική εικόνα στα 6.2 μm, β) μεταβολή δυναμικού στροβιλισμού με το ύψος και δυναμική τροπόπαυσης με έντονη μπλε γραμμή (www.zamg.ac.ateumetrainCAL_ModulesVCSContentpv_example.htm).

2.2 Ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων στο κανάλι υδρατμών.

2.2.1 Κανάλια 5 και 6 του MSG.

Οι αισθητήρες των μετεωρολογικών δορυφόρων μετρούν την υπέρυθρη ακτινοβολία σε αρκετά μήκη κύματος, στα οποία η ακτινοβολία απορροφάται και επανεκπέμπεται από το νερό στην υγρή, τη στερεή και την αέρια φάση του. Στις φασματικές ζώνες που καταγράφει το κανάλι των υδρατμών, η υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπεται από στερεά σώματα, όπως σωματίδια των νεφών και βροχοσταγόνες (*Santurette and Georgiev 2005*). Για αυτόν το λόγο το κανάλι των υδρατμών είναι ευαίσθητο τόσο σε μεταβολές της θερμοκρασίας όσο και σε μεταβολές της υγρασίας, γεγονός το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαχθούν πληροφορίες για την οριζόντια και την κατακόρυφη κατανομή αυτών των δύο παραμέτρων (*Santurette and Georgiev 2005*).

Τα κανάλια υδρατμών καταγράφουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η ατμόσφαιρα με μήκη κύματος από 5 έως 7 μm δηλαδή σε σημείο που ακτινοβολούν και απορροφούν έντονα οι υδρατμοί (Santurette and Georgiev 2005). Σε αυτή τη φασματική περιοχή είναι τα κανάλια του Meteosat στα 6.2 μm και στα 7.3 μm. Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Kirchhoff τα κανάλια των υδρατμών απορροφούν και εκπέμπουν από τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσό της ακτινοβολίας προέρχεται από τα υψηλά στρώματα της τροπόσφαιρας (300-600 hPa). Τα στρώματα της τροπόσφαιρας από τα οποία η ακτινοβολία στο κανάλι των υδρατμών φτάνει στον ανιχνευτή διαφέρουν ανάλογα με την τροποσφαιρική σχετική υγρασία. Στο κανάλι στα 6.2 μm μόνο ακτινοβολία από τα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας φτάνει στο δορυφόρο ενώ στο κανάλι στα 7.3 μm στο δορυφόρο φτάνει ακτινοβολία και από τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (Feidas 2008). Το κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm είναι πιο ευαίσθητο στις μεταβολές της υγρασίας από αυτό στα 7.3 μm. Το κοινό τους στοιχείο είναι ότι πιο ανοικτές αποχρώσεις του γκρι αντιστοιχούν σε πιο ψυχρές θερμοκρασίες λαμπρότητας άρα πιο μεγάλη περιεκτικότητα υγρασίας. Αντίθετα πιο σκούροι τόνοι δείχνουν ότι η θερμοκρασία έρχεται από πιο θερμή πηγή άρα από χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας (Santurette and Georgiev 2005).

Γενικά η ακτινοβολία που φτάνει στο κανάλι υδρατμών δεν φτάνει μόνο από ένα επίπεδο αλλά από ένα στρώμα με κάποιο πάχος. Οι υδρατμοί σε τυπικές συγκεντρώσεις είναι ημιδιαπερατοί από την ακτινοβολία. Παρόλαυτά η θερμοκρασία λαμπρότητας που καταγράφεται από τον δορυφόρο είναι η καθαρή θερμοκρασία ενός στρώματος υγρασίας και όχι η θερμοκρασία ενός επιπέδου. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των υδρατμών, τόσο πιο στενό είναι το στρώμα της ατμόσφαιρας από το οποίο φτάνει η ακτινοβολία στο δορυφόρο. Επομένως η ακτινοβολία που καταγράφεται είναι η καθαρή θερμοκρασία ενός στρώματος υγρασίας και όχι η θερμοκρασία του αέρα σε ένα συγκεκριμένο ύψος (*Santurette and Georgiev 2005*).

Το φαινόμενο της αντιστροφής των ρόλων ανάμεσα στην ακτινοβολία που περνάει μέσω του υγρού στρώματος από κάτω και της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από το ίδιο το υγρό στρώμα ονομάζεται φαινόμενο **crossover** (*Santurette and Georgiev 2005*). Το αποτέλεσμα αυτό επηρεάζει την ακτινοβολία που μετρήθηκε από διαφορετικά κανάλια υδρατμών με διαφορετικούς τρόπους και επιτρέπει σε αυτά τα κανάλια να είναι ευαίσθητα στην κατανομή της υγρασίας σε διαφορετικά υψόμετρα (*Santurette and Georgiev 2005*).

Στην εικόνα 7, η ατμόσφαιρα είναι χωρισμένη σε 14 στρώματα με θερμοκρασίες λαμπρότητας από +10 έως -60 ανά 5 °C. Η θερμοκρασία επιλέχτηκε για αναφορά του ύψους αντί της πίεσης επειδή είναι πιο σημαντική για τη μέτρηση της ακτινοβολίας. Στην εικόνα αυτή η συνεισφορά της ατμόσφαιρας είναι το ποσό της ακτινοβολίας που προέρχεται από τα ανώτερα στρώματα, η συνεισφορά της επιφάνειας είναι το ποσό της ακτινοβολίας που προέρχεται από τα κατώτερα στρώματα και η ολική ακτινοβολία είναι η καθαρή ένταση της ακτινοβολίας που καταγράφεται στο κανάλι υδρατμών από το δορυφόρο ως **θερμοκρασία λαμπρότητας** (Santurette and Georgiev 2005).

Στα μεσαία υψόμετρα της τροπόσφαιρας παράγονται οι ψυχρότερες θερμοκρασίες λαμπρότητας εξαιτίας του φαινομένου **crossover** ανάμεσα στην ακτινοβολία που περνάει από τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και αυτής από τα ανώτερα. Δηλαδή μέσα σε αυτά τα στρώματα υπάρχει εξισορρόπηση μεταξύ της ακτινοβολίας που έρχεται από τα κατώτερα στρώματα, και αυτής που εκπέμπεται από τα ανώτερα. Το υψόμετρο που γίνεται το φαινόμενο crossover διαφοροποιείται ανάλογα με το κανάλι υδρατμών. Το φαινόμενο crossover είναι σε μεγαλύτερο ύψος στο κανάλι 6.2 από το κανάλι 7.3 μm, επομένως οι θερμοκρασίες λαμπρότητας που καταγράφονται στο πρώτο είναι πιο ψυχρές από το δεύτερο. Για το κανάλι στα 6.2 μm το υψόμετρο crossover είναι στα 400 mb οπότε και η μεγαλύτερη ευαισθησία είναι σε αυτό το υψόμετρο (*Santurette and Georgiev 2005*).

Το επίπεδο της μέγιστης ευαισθησίας ποικίλει ανάλογα με τη μεταβλητότητα της υγρασίας σε μια ατμοσφαιρική στήλη. Το επίπεδο ευαισθησίας χαμηλώνει για ξηρό αέρα εξαιτίας της αύξησης της ποσότητας της ακτινοβολίας που καταγράφεται στον δορυφόρο από την επιφάνεια της κατώτερης τροπόσφαιρας (Santurette and Georgiev 2005).



Εικόνα 7 :Κατανομή ακτινοβολίας στο κανάλι υδρατμών ανάλογα με το ύψος (Santurette and Georgiev 2005)

Στην εικόνα 8 φαίνεται η συνεισφορά των διάφορων στρωμάτων υγρασίας στη θερμοκρασία λαμπρότητας που καταγράφεται από τον δορυφορικό αισθητήρα στο κανάλι υδρατμών στα 6.7 μm και η αντίστοιχη εμφάνιση με τόνους του γκρι στην εικόνα (Weldon and Holmes 1991).

Στην περίπτωση 1 ο αέρας πάνω από τα 800 mb είναι πολύ ξηρός δημιουργώντας πολύ σκούρους τόνους του γκρι. Αν και το στρώμα έχει ως κορυφή τα 800 mb, επειδή αυτό έχει μεγάλη υγρασία και μεγάλη πυκνότητα δεν επιτρέπει τη διέλευση ακτινοβολίας από τα κατώτερα στρώματα. Έτσι η μετρούμενη θερμοκρασία λαμπρότητας είναι ίση με τη θερμοκρασία στα 800 mb (*Santurette and Georgiev 2005*).

Στην περίπτωση 2 το στρώμα υγρασίας έχει κορυφή τα 600 mb και οι τόνοι του γκρι στην δορυφορική εικόνα είναι αξιοσημείωτα πιο φωτεινοί από την προηγούμενη περίπτωση. Το στρώμα υγρασίας είναι ημιδιαφανές στην ακτινοβολία και η θερμοκρασία λαμπρότητας είναι λίγο υψηλότερη από τη θερμοκρασία στα 600 mb (*Santurette and Georgiev 2005*).

Στην περίπτωση **3** το στρώμα υγρασίας βρίσκεται στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, σε ύψος ανάμεσα στα 350 με 450 mb. Ο τόνος του γκρι σε αυτή την περίπτωση θα είναι αισθητά πιο φωτεινός. Ωστόσο η θερμοκρασία λαμπρότητας δεν θα είναι αντιπροσωπευτική της θερμοκρασίας στρώματος υγρασίας, καθώς ένα μέρος της θα προέρχεται από τα χαμηλότερα στρώματα (*Santurette and Georgiev 2005*).

Στην περίπτωση 4 το στρώμα της ατμόσφαιρας είναι ανάμεσα στο ύψος των 300 με 200 mb. Επειδή ο αέρας έχει χαμηλή υγρασία και μικρή πυκνότητα, η ακτινοβολία φτάνει στο δορυφόρο προέρχεται κυρίως από τα κατώτερα στρώματα και μόνο ένα μικρό μέρος απορροφάται και επανεκπέμπεται από το επίπεδο χαμηλής ενέργειας του πολύ ψυχρού αέρα. Έτσι η θερμοκρασία λαμπρότητας είναι -10° C, δηλαδή χαμηλότερη από ότι στο στρώμα χαμηλής υγρασίας στα 800 mb αλλά αρκετά πιο ψηλή από τη θερμοκρασία του αέρα που βρίσκεται ανάμεσα στα 300 και στα 200 mb (*Santurette and Georgiev 2005*).

Στην περίπτωση 5 ένα στρώμα υγρασίας υπάρχει στα 350-450 mb δηλαδή κάτω από το στρώμα της περίπτωσης 4. Αν και η κορυφή του στρώματος δεν είναι ψηλά, παρατηρούνται φωτεινότεροι τόνοι του γκρι, επειδή η ακτινοβολία που φτάνει από τη βάση του υψηλότερου στρώματος είναι από ψυχρότερη πηγή (ύψος 350 mb) από ότι στην περίπτωση 4 (*Santurette and Georgiev 2005*).

Η περίπτωση 6 επεξηγεί τη διαφορά ανάμεσα στα μεγάλου ύψους νέφη με τον κορεσμένο αέρα. Τα ψηλά νέφη δεν επιτρέπουν να περάσει η ακτινοβολία από κάτω. Έτσι φτάνει μόνο αυτή από το σύννεφο και δημιουργεί σχεδόν λευκούς τόνους του γκρι (*Santurette and Georgiev 2005*).



Εικόνα 8: Συνεισφορά των στρωμάτων υγρασίας στη θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.7 μm σύμφωνα με τους Weldon and Holmes (1991). Οι θερμοκρασίες είναι σε βαθμούς Κελσίου.(Santurette and Georgiev 2005)

2.2.2 Προϊόν RGB "Αέριες μάζες"

Το προϊόν RGB μια έγχρωμη εικόνα η οποία παράγεται από τον συνδυασμό των τριών βασικών χρωμάτων, δηλαδή του κόκκινου του πράσινου και του μπλε όπου σε διάφορες αναλογίες μπορεί να δώσει οποιοδήποτε χρώμα. Η ένταση του κάθε χρώματος μπορεί κυμαίνεται από 0 μέχρι 255. Χρησιμοποιώντας διάφορα κανάλια είτε αριθμημένα είτε την διαφορά τους μπορούν να δημιουργηθούν διαφορετικοί χρωματικοί συνδυασμοί RGB (*Kerkmann.*, 2010).

Η χρωματική σύνθεση RGB (5-6,8-9,5) αποτελεί ένα προϊόν το οποίο απεικονίζει τις αέριες μάζες στην περιοχή που ερευνάται. Τα κανάλια που χρησιμοποιούνται στην χρωματική σύνθεση είναι αυτά των υδρατμών και των υπέρυθρων. Συγκεκριμένα η διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5 (WV6.2 - WV7.3) δίνει πληροφορίες για την κατακόρυφη κατανομή της υγρασίας και την εκπομπή του νέφους στα 6.2 και 7.3 μm (*Kerkmann., 2010*). Η διαφορά 8-9 (IR9.7 - IR10.8) δείχνει την διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους ή του νέφους και τη στήλη του όζοντος. Ακόμα δείχνει την συγκέντρωση του όζοντος της ατμόσφαιρας (*Kerkmann., 2010*). Το κανάλι 5 δείχνει την ποσότητα της υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα.

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, η συγκεκριμένη χρωματική σύνθεση χρησιμοποιείται για την μελέτη της υγρασίας, της θερμοκρασίας, της ποσότητας του όζοντος μια αέριας μάζας και κατ'επέκταση της προέλευσης της. Επίσης χρησιμοποιείται και για την ανίχνευση αεροχειμμάρων, ανωμαλιών του δυναμικού στροβιλισμού (σε ξηρές περιοχές στην ανώτερη τροπόσφαιρα) και για τη μελέτη της εξέλιξης των κυκλώνων και των βίαιων κυκλογενέσεων (Kerkmann., 2010).



Εικόνα 9: Χρωματική σύνθεση RGB των αερίων μαζών (5-6,8-9,5). Ένταση των τριών βασικών χρωμάτων και συνδυασμός τους. (Kerkmann., 2010)

Σε μια εικόνα RGB με τις αέριες μάζες (5-6,8-9,5) γίνεται αντιληπτό αν μια μάζα είναι ψυχρή η θερμή, υγρή η ξηρή και αν έχει μεγάλο δυναμικό στροβιλισμό (*Kerkmann., 2010*). Η εικόνα 9 δείχνει τη χρωματική σύνθεση RGB των αερίων μαζών (5-6,8-9,5) των τριών βασικών χρωμάτων δηλαδή το κόκκινο, το μπλε και το πράσινο σε διάφορες εντάσεις για το καθένα. Αριστερά η ένταση για κάθε χρώμα μειώνεται και τείνει να φτάσει το 0 και δεξιά αυξάνεται και τείνει να φτάσει το 255. Από τον συνδυασμό των τριών βασικών χρωμάτων δημιουργούνται τα υπόλοιπα χρώματα.

Για παράδειγμα, το χρώμα της ώχρας που αντιπροσωπεύει τον αριθμό 2 δηλαδή τα μεσαία νέφη, δημιουργείται από το κόκκινο σε πολύ υψηλή ένταση, από πράσινο σε υψηλή και από μπλε σε μέτρια ένταση ενώ, τα υψηλά νέφη σε μια τέτοια εικόνα απεικονίζονται ως λευκά, μια θερμή αέρια μάζα με υψηλή τροπόπαυση όπως το 3 (σκούρο πράσινο) δημιουργείται από το πράσινο σε μέτρια ένταση και από το κόκκινο και το μπλε σε χαμηλή, ενώ μια ψυχρή πολική με μπλε όπως το 4 όπου προκύπτει από τον συνδυασμό του κόκκινου και του πράσινου σε χαμηλή ένταση με το μπλε σε μέτρια ένταση. Μια ξηρή εισβολή στρατοσφαιρικού αέρα απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα και συνδέεται με καθίζηση του αέρα σε μια περιοχή αεροχειμμάρου.

Η εικόνα 10 δείχνει αυτά που αναφέρθηκαν στην εικόνα 9 με αριθμούς, δηλαδή μια θερμή αέρια μάζα προκύπτει από την χρωματική σύνθεση RGB (27,114,32), μια ψυχρή αέρια μάζα από την χρωματική σύνθεση (58,8,126) και μια ξηρή αέρια μάζα με μεγάλο δυναμικό στροβιλισμό από τη σύνθεση (131,8,12).

BGB Colors			Preview
		▶ 27	
8		114	
		• 32	
BGB Colors	Θερμή α	ερια μαζα	Preview
1		, 8	
		126	
	1		
	Ψυχρή α	έρια μάζα	
RGB Colors			Preview
BGB Colors		• 131	Preview
BGB Colors		▶ 131 8	Preview

Ξηρή αέρια μάζα με μεγάλο δυναμικό στροβιλισμό

Εικόνα 10: Χρωματική σύνθεση RGB (5-6,8-9,5) και αναλογίες που είναι υπεύθυνες για την δημιουργία θερμής (πράσινο), ψυχρής (σκούρο μπλε) και ζηρής μάζας (σκούρο κόκκινο) αντίστοιχα. (Kerkmann, 2010).



Εικόνα 11: Δορυφορική εικόνα που προκύπτει από χρωματική σύνθεση RGB (5-6,8-9,5) στις 7 Ιανουαρίου 2005 στις 15:00 UTC και αναγνώριση ψυχρών, θερμών και ζηρών αερίων μαζών και νεφών. (www.eumatrain.org)



Εικόνα 12 : Αέριες μάζες και ροή ανέμου στην επιφάνεια των 300 mb στις 15 Μαρτίου 2012στις 6:00 UTC (www.eumetrain.org)



Εικόνα 13 : Αέριες μάζες και ισουψείς στα 500 mb στην Ευρώπη στις 15 Μαρτίου 2012 στις 6:00 UTC (www.eumetrain.org)



Εικόνα 14: Αέριες μάζες και ατμ. πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας στην Ευρώπη στις 15Μαρτίου 2012 στις 6:00 UTC (<u>www.eumetrain.org</u>)



Εικόνα 15 : Αέριες μάζες και δυναμικός στροβιλισμός στα 500 mb στην Ευρώπη στις 15 Μαρτίου 2012 στις 6:00 UTC

Στην εικόνα 11 αναγνωρίζονται διάφορα χαρακτηριστικά στη χρωματική σύνθεση RGB (5-6,8-9,5), δηλαδή με μαύρο βέλος απεικονίζονται τα υψηλά νέφη, με πορτοκαλί βέλος η ξηρή και θερμή αέρια μάζα, με κόκκινο βέλος τα μεσαία νέφη, με λευκό βέλος η ψυχρή και υγρή αέρια μάζα και με γαλάζιο ο ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας που καθιζάνει.

Στις εικόνες 12 έως 15 γίνεται μια σύγκριση του χρωματικού συνδυασμού των αέριων μαζών στην Ευρώπη με τις ρευματογραμμές στα 300 mb, το γεωδυναμικό στα 500 mb, την πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας και τον δυναμικό στροβιλισμό στα 500 mb. Η λήψη της δορυφορικής εικόνας έγινε στις 15 Μαρτίου 2012 στις 6:00 UTC. Στην εικόνα 12, ο αεροχείμαρος που συμβολίζεται με J απεικονίζεται με κεραμιδί αποχρώσεις στην περιοχή που είναι πυκνές οι ρευματογραμμές. Οι πολύ ψυχρές αέριες μάζες C τοποθετούνται στις περιοχές του αυλώνα T, όπως φαίνεται στο χάρτη των 500 mb (εικόνα 13), και είναι εγκλωβισμένες βορειότερα από τον αεροχείμμαρο. Στην εικόνα 14 με την ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας, διακρίνονται οι υψηλές πιέσεις στην περιοχή της θερμής αέριας μάζας W και οι χαμηλές στις περιοχές των ψυχρών μαζών C. Τέλος, στην εικόνα 15 διακρίνεται ο μεγάλος δυναμικός στροβιλισμός στην περιοχή του αεροχειμμάρου.

2.2.3 Διαφορά καναλιών 5-6

Η διαφορά των καναλιών 5-6 (WV6.2-WV7.3) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κατακόρυφης κατανομής της υγρασίας και της θερμοκρασίας σε μια περιοχή.

Για μια πολύ ξηρή ατμόσφαιρα με στρώμα υγρασίας στα 850 mb (οριακό στρώμα) και απουσία υγρασίας σε ανώτερα στρώματα, η διαφορά των δυο καναλιών είναι πολύ μικρή και κοντά στο 0, οι δε τόνοι στην εικόνα είναι λευκοί (εικόνα 16). Αυτό γίνεται επειδή η ακτινοβολία από το στρώμα υγρασίας στα 850 mb δεν φτάνει στον αισθητήρα του δορυφόρου ούτε στο κανάλι 5 που ως γνωστόν καταγράφει την υγρασία στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας ούτε στο κανάλι 6 που καταγράφει την υγρασία στα μεσαία. Επομένως η διαφορά τους θα είναι 0.

Για ατμόσφαιρα με στρώμα υγρασίας στα 700 mb (και στα 850 mb), η διαφορά είναι αρνητική και σχετικά μικρή, με τιμές περίπου στο -13 με -15 και ανοικτούς σχετικά τόνους του γκρι στην εικόνα, επειδή το στρώμα των 700 mb είναι αδιαφανές στην ακτινοβολία του καναλιού 5 και ελαφρώς διαφανές στην ακτινοβολία του καναλιού 6 (εικόνα 16).

Για ατμόσφαιρα με στρώμα υγρασίας στα 200 mb (και στα 850 mb) η διαφορά είναι επίσης αρνητική αλλά ακόμα πιο μικρή με τιμές κάτω από -10 και οι τόνοι του γκρι πολύ ανοικτοί (εικόνα 16). Η διαφορά είναι πολύ μικρή επειδή το ανώτερο αυτό στρώμα της ατμόσφαιρας (200 mb) είναι πολύ διαπερατό στην ακτινοβολία του καναλιού 5 και αρκετά διαπερατό από το 6.

Για υγρασία στα 500 mb (και στα 850) η διαφορά είναι αρνητική και μεγάλη κοντά στο -25, οι δε τόνοι του γκρι πολύ σκούροι έως μαύροι στην εικόνα (εικόνα 16). Το μεσαίο στρώμα της

τροπόσφαιρας (500 mb) όπως αναφέρθηκε και πριν είναι πολύ διαπερατό στην ακτινοβολία του καναλιού 6 και ελάχιστα διαπερατό από το 5, γιαυτό η διαφορά τους είναι μεγάλη.



Εικόνα 16:Τόνοι του γκρι ανάλογα με τη διαφορά των καναλιών 5-6

2.3 Σχέση των εικόνων του καναλιού υδρατμών και των δυναμικών πεδίων.

2.3.1 Ερμηνεία των συνοπτικής κλίμακας φωτεινών και σκοτεινών χαρακτηριστικών στις εικόνες του καναλιού υδρατμών.

Το κανάλι υδρατμών όπως προαναφέρθηκε δείχνει την κατανομή της υγρασίας στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα. Η υγρασία αποτυπώνεται σε τόνους του γκρι. Συγκεκριμένα στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm απεικονίζεται η ποσότητα της υγρασίας στο υψόμετρο των 300 με 350 mb. Όσο πιο ανοικτός είναι ένας τόνος τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της υγρασίας σε αυτό το ύψος. Αντίθετα όταν ο τόνος είναι πιο σκούρος τότε ο αισθητήρας καταγράφει μεγαλύτερη θερμοκρασία και συνεπώς το στρώμα της υγρασίας βρίσκεται χαμηλότερα (*Santurette and Georgiev* 2005).

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια αναφορά και περιγραφή των χαρακτηριστικών στο κανάλι υδρατμών δηλαδή των υγρών και ξηρών περιοχών και γίνεται διαχωρισμός τους από τα νέφη. Στη συνέχεια γίνεται αναγνώριση διάφορων δυναμικών δομών όπως αεροχείμμαρου, ραχών και αυλώνων και ροή του ανέμου στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Τέλος γίνεται περιγραφή για τον τρόπο αναγνώρισης μιας κυκλογένεσης σε πολύ αρχικό στάδιο από την αλληλεπίδραση του αεροχείμμαρου με μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης.

α. Νέφη: Τα νέφη στην εικόνα διακρίνονται από σχεδόν λευκά έως λευκά. Οι σχεδόν λευκές αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ ψυχρές αέριες μάζες με δυναμική τροπόπαυση σε μεγάλο ύψος που δημιουργήθηκαν από μεγάλης κλίμακας κατακόρυφες κινήσεις (Santurette and Georgiev 2005). Αυτές συνδέονται με περιοχές που καλύπτονται από νέφη μεγάλου ύψους σε καιρικά συστήματα συνοπτικής κλίμακας. Τα λευκά χαρακτηριστικά που συνδέονται με αέρα που ανυψώνεται και συμβολίζονται με R, αναπαριστούν ένα στρόβιλο από νέφη του χαμηλού L της εικόνας 17. Το άλλο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου που συμβολίζεται με C συνδέεται με νεφικό σύστημα στην ανατολική πλευρά του αυλώνα.

Αυτές οι διατάξεις μεγάλης κλίμακας με σχεδόν λευκούς η λευκούς τόνους του γκρι συνδέονται με περιοχές υψηλής τροπόπαυσης. όπως φαίνεται στην εικόνα 17 έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

 Τα δυτικά χαρακτηριστικά R είναι περισσότερο ευδιάκριτα και συνδέονται με σημαντική ανύψωση αέρα σε περιοχή πολύ υψηλής δυναμικής τροπόπαυσης.

 Το ανατολικό χαρακτηριστικό C συνδέεται με περιοχή υψηλής βαθμίδας του υψομέτρου και σχετικής υγρασίας αλλά χαμηλότερης τροπόπαυσης από το δυτικό.



Εικόνα 17: Ροή ανέμου στα 400 mb και θέσεις φωτεινών και σκοτεινών χαρακτηριστικών. (Santurette and Georgiev 2005)

β. Υγρασία στην ατμόσφαιρα: Η παρουσία αέρα που ανυψώνεται δεν συνεπάγεται απαραίτητα με την παρουσία νεφών επειδή ο σχηματισμός τους εξαρτάται από την παρουσία σχετικής υγρασίας του ανυψούμενου αέρα (Santurette and Georgiev 2005). Οι ανοικτές αποχρώσεις του γκρι εκφράζουν την παρουσία υγρού αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα που δεν έχει συμπυκνωθεί και δεν έχει σχηματίσει σύννεφα. Οι ανέφελες περιοχές με την παρουσία όμως ανυψούμενου αέρα μπορούν να αναγνωριστούν στα κανάλια υδρατμών και ερμηνεύονται ως μέσα γκρι χαρακτηριστικά. Η εικόνα 17 δείχνει ένα τέτοιο σχηματισμό ανυψούμενου αέρα στην περιοχή D.

Συνήθως το κανάλι υδρατμών βοηθάει στην αναγνώριση περιοχών ανυψούμενου αέρα στα στάδια ανάπτυξης μιας διαταραχής στην οποία δεν έχουν σχηματιστεί ακόμα νέφη, δηλαδή σε ένα πολύ αρχικό στάδιο μιας κυκλογένεσης. Η διαδικασία μπορεί να εμφανιστεί σαν μια περιοχή ανυψούμενου αέρα δημιουργώντας ένα φωτεινό χαρακτηριστικό που μοιάζει με φύλλο πριν ακόμα γίνει αντιληπτή η παρουσία των νεφών (Santurette and Georgiev 2005).

γ. Ξηρές κηλίδες η ταινίες: Τα ξηρά χαρακτηριστικά στα κανάλια υδρατμών συνδέονται με συστήματα συνοπτικής κλίμακας που εμφανίζονται ως σκούρα γκρι η σχεδόν μαύρα. Συνδέονται με περιοχές που επικρατούν καθοδικές κινήσεις στην μέση τροπόσφαιρα και με χαμηλό ύψος

τροπόπαυσης (Santurette and Georgiev 2005). Στην εικόνα 17 σημειώνονται με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

-Η περιοχή μεγάλης κλίμακας καθοδικών κινήσεων S που συνδέεται με σκούρη ζώνη στο κανάλι υδρατμών πίσω από το δυτικό αυλώνα.

-Στην περιοχή Α επίσης διακρίνονται καθοδικές κινήσεις στην μέση τροπόσφαιρα από τους σκούρους τόνους του γκρι και συνδέονται με χαμηλά ύψη τροπόπαυσης στην πίσω πλευρά του ανατολικού αυλώνα.

Κάποια χρονική στιγμή μια περιοχή που έχει γίνει ξηρή και συνδέεται με σκούρους τόνους του γκρι στο κανάλι υδρατμών τείνει να αντικατασταθεί από υγρό αέρα. Αυτό μπορεί να γίνει από σύγκλιση δυο διαφορετικών υγρών αερίων μαζών η από μικρότερης κλίμακας μηχανισμούς ανάμειξης όπως η ανωμεταφορά (*Santurette and Georgiev 2005*). Αν δεν γίνει αυτό, ο ξηρός αέρας μετακινείται με τον άνεμο και παίρνει διάφορα σχήματα.

Υπάρχουν μερικές ξηρές περιοχές που δεν αναγνωρίζονται ξεκάθαρα στο κανάλι υδρατμών αφού η κατανομή της θερμοκρασίας τους είναι ψυχρή και τις κάνει να εμφανίζονται ως φωτεινές. Έτσι είναι απαραίτητο να γίνει σύνδεση της εικόνας με πεδία που αναπαριστούν την κυκλοφορία (*Santurette and Georgiev 2005*). Η κατάλληλη προσέγγιση είναι να γίνει ταξινόμηση των ξηρών περιοχών και χαρακτηριστικών ανάλογα με την σύνδεση τους με την δυναμική της ατμόσφαιρας (ροή στα ανώτερα επίπεδα, κατακόρυφες κινήσεις και ανωμαλίες δυναμικού στροβιλισμού).

Λανθάνουσες ανωμαλίες τροπόπαυσης (latent anomalies): Συνδέονται με ασθενείς καθοδικές κινήσεις και απεικονίζονται με μέσους τόνους του γκρι και σπάνια με σκούρους. Είναι απλές ανωμαλίες της τροπόπαυσης (πολύ ασθενείς δυναμικές ανωμαλίες) και δεν συνδέονται με την παρουσία αεροχειμμάρου. Αυτοί οι σχηματισμοί μπορεί να κινηθούν ανάλογα με τη ροή του ανέμου στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα αλλά δεν συνδέονται με ανάπτυξη κάποιας σημαντικής διαταραχής καθώς δεν αλληλεπιδρούν με αεροχείμμαρο (*Santurette and Georgiev 2005*). Στην εικόνα 18α με κόκκινο βέλος και στην εικόνα 18γ φαίνεται μια τέτοια ανωμαλία.

Ζώνες παραμόρφωσης (deformation zones): Αυτοί οι σχηματισμοί συνδέονται με καθίζηση αλλά όχι με αεροχείμμαρο και με δυναμικές ανωμαλίες τροπόπαυσης. Ουσιαστικά συνδέονται με ζώνη μετασχηματισμού της ανώτερης ροής του ανέμου και απεικονίζονται με μέσους τόνους του γκρι (εικόνα 18β) (Santurette and Georgiev 2005).

Δυναμικές ανωμαλίες της τροπόπαυσης (dynamic tropopause anomalies): Συνδέονται με ισχυρή καθίζηση, αεροχείμμαρους και δυναμικές ανωμαλίες και αποτελούν προπομπό μια ξηρής εισβολής. Βρίσκονται συνήθως στην βάση ενός αυλώνα και έχουν σκούρους τόνους του γκρι (εικόνα 18γ) (*Santurette and Georgiev 2005*). **Ξηρές εισβολές (dry intrusion**): Πολύ ξηρός αέρας που έρχεται από την στρατόσφαιρα. Γενικά εμφανίζονται στην μπροστινή ζώνη των ξηρών ζωνών όταν λαμβάνει χώρα μια κυκλογένεση. Συνήθως συνδέονται με αεροχείμμαρο και με σημαντικές καθοδικές κινήσεις συνοπτικής κλίμακας (εικόνα 18δ) (*Santurette and Georgiev 2005*).



Εικόνα 18 : α) Λανθάνουσα ανωμαλία τροπόπαυσης στις 10 Μαίου 2009, β) Ζώνες παραμόρφωσης γ και δ) Ξηρή εισβολή.

δ. Αλληλεπίδραση του αεροχείμμαρου με τη δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης: Οι εικόνες στο κανάλι υδρατμών είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στην παρατήρηση των αεροχείμμαρων και των δυναμικών ανωμαλιών τροπόπαυσης και βοηθούν στην κατανόηση της συνοπτικής κατάστασης. Στην εικόνα 20α φαίνεται ο αεροχείμμαρος με ροζ βέλη αμέσως νότια από τη δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης. Η παρουσία του γίνεται εύκολα αντιληπτή από την μεγάλη βαθμίδα ύψους της δυναμικής τροπόπαυσης και υγρασίας σε εκείνο το σημείο (Santurette and Georgiev 2005).

Στην εικόνα 19, η υγρή ζώνη C συνδέεται με μεγάλο ύψος τροπόπαυσης και με ανοδικές κινήσεις, η βαροκλινική ζώνη στην περιοχή B δείχνει την περιοχή μέγιστου ανέμου, της μέγιστης βαθμίδας υγρασίας με το ύψος και της μέγιστης βαθμίδας του γεωδυναμικού ύψους της δυναμικής τροπόπαυσης. Η κυκλογένεση λαμβάνει χώρα ως αποτέλεσμα της **αλληλεπίδρασης** της δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης και της βαροκλινικής ζώνης (*Santurette and Georgiev 2005*).

Οι εικόνες 19α, β και γ δείχνουν εικόνες στο κανάλι υδρατμών κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης και κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης 12 και 24 ώρες αργότερα. Η ξηρή κηλίδα πλησιάζει την λευκή ζώνη Β δηλαδή τη βαροκλινική ζώνη και αλληλεπιδρά με αυτή. Ταυτόχρονα η λευκή ζώνη αποκτάει κυματοειδή μορφή και παίρνει τη μορφή βαροκλινικού φύλλου. Κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης οι περιοχές Β, C ενώνονται και σχηματίζουν μια κεφαλή νεφών Η, βόρεια από την περιοχή της κυκλογένεσης. Η ξηρή κηλίδα που συνδέεται με δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης αναπτύσσεται ως ξηρή εισβολή στα νοτιοδυτικά. (Santurette and Georgiev 2005)

Στην εικόνα 20β φαίνεται μια περίπτωση με ράχη στα δυτικά και αυλώνα στα ανατολικά. Στο κέντρο διακρίνεται το νέφος με μορφή ίνας που μαρτυρά την παρουσία αεροχείμμαρου, δεξιά του τα ανοικτά OCC (open convective clouds) και κλειστά CCC (close convective clouds) κυψελοειδή νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης Cu, και αριστερά του το θερμό μέτωπο με τα υψηλά νέφη και ακόμα πιο αριστερά στο ψυχρό μέτωπο. Τέλος μέσα στον αυλώνα διακρίνονται τα νέφη με τη μορφή ενός **comma** το οποίο είναι ένα ενεργό μέσης κλίμακας σπιράλ ψυχρού αέρα πίσω από μετωπικές ζώνες νεφών και συνδέεται με έντονα καιρικά φαινόμενα (*www.eumetrain.org*).

Στην εικόνα 20γ, φαίνεται μια χαρακτηριστική περίπτωση παρουσίας αεροχείμμαρου από την περιοχή του κεντρικού Ατλαντικού ως την Μεγάλη Βρετανία που αναγνωρίζεται από την έντονη διαφορά των τόνων του γκρι σε πολύ μικρή απόσταση στην περιοχή που σημειώνεται.





Εικόνα 19: Κανάλι υδρατμών στις 17 Φεβρουαρίου 1997 α) στις 12:00 UTC και β) 18 Φεβρουαρίου 1997 στις 00:00 UTC και γ) στις 12:00 UTC αντίστοιχα όπου είναι χαραγμένες οι ισουψείς της δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης σε δεκάδες μέτρα με κόκκινο και οι ισοταχείς σε κόμβους στα 300 mb με μπλε. (Santurette and Georgiev 2005)



Εικόνα 20: α) Δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης. Τα βέλη δείχνουν την ροή του ανέμου πάνω από 80 κόμβους ανά ώρα στην επιφάνεια των 300 mb και οι ισουψείς δείχνουν το ύψος της επιφάνειας δυναμικής τροπόπαυσης σε δεκάδες μέτρα. β) μεσημβρινή κυκλοφορία στις 26 Ιανουαρίου 2012 στις 12:00 UTC στην βορειοδυτική Ευρώπη και χαρακτηριστικά γ) αεροχείμμαρος δ) σπάσιμο αεροχειμμάρου όπου τα βέλη δείχνουν την ροή του ανέμου πάνω από 80 κόμβους ανά ώρα στην επιφάνεια των 300 mb. (Santurette and Georgiev 2005) ε. Ξηρό Δέλτα (dry delta): Σε μερικές περιπτώσεις ο αεροχείμμαρος σπάει και εμφανίζεται μια ξηρή σκοτεινή περιοχή που μοιάζει με ανάποδο Δ η οποία ονομάζεται ξηρό Δέλτα (εικόνα 20δ). Το δέλτα δείχνει την ζώνη σπασίματος του αεροχειμμάρου και χωρίζει τον ανερχόμενο από τον κατερχόμενο κλάδο του. Το σπάσιμο του αεροχείμμαρου γίνεται στον άξονα της δυναμικής ανωμαλίας (Santurette and Georgiev 2005).

στ. Φαινόμενο ή καθεστώς εμποδισμού (blocking regime). Είναι μια περιοχή με ανατολικό άνεμο στην ανώτερη ατμόσφαιρα μέσα στην γενικότερη δυτική ροή (Santurette and Georgiev 2005). Ο ανατολικός άνεμος είναι αποτέλεσμα αντικυκλογένεσης (αριστερά) ή κυκλογένεσης (δεξιά) όπως φαίνεται στις εικόνες 21α και β. Η σκιαγραφημένη περιοχή είναι υγρός αέρας και η λευκή είναι ξηρός. Οι εικόνες 21γ και δ δείχνουν το καθεστώς στα 500 mb για περιπτώσεις αντικυκλογένεσης και κυκλογένεσης αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση (εμποδισμός εξαιτίας αντικυκλογένεσης) υπάρχει ένας ανεστραμμένος αυλώνας από τα βορειοανατολικά προς την βορειοδυτική Ευρώπη προς την κεντρική Μεσόγειο.



Εικόνα 21: Ροή στην ατμόσφαιρα προς την διεύθυνση που δείχνουν τα βέλη σε φαινόμενο εμποδισμού αντικυκλογένεσης (εικόνα 22α) και κυκλογένεσης (εικόνα 21β) αντίστοιχα οι μαύρες γραμμές δείχνουν έντονο όριο υγρασίας (Santurette and Georgiev 2005) και ενδεικτικοί χάρτες (εικόνες 21γ και δ) για κάθε μια περίπτωση με τις ισουψείς στα 500 mb (χρωματιστές γραμμές) και την πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (άσπρες γραμμές) (www.meteociel.fr)

Στην δυτική πλευρά της περιοχής με καθεστώς εμποδισμού, η ανώτερη ροή εμποδίζεται και χωρίζεται σε δυο κλάδους. Το **καθεστώς εμποδισμού** δημιουργείται σε μια περιοχή όπου θερμός αέρας βρίσκεται στην προς τους πόλους πλευρά ενός αυλώνα ή μιας κυκλογένεσης.

Στην περίπτωση εμποδισμού λόγω **αντικυκλογένεσης** (εικόνα 21α) ο ανατολικός άνεμος είναι ξηρός στην μέση τροπόσφαιρα ως αποτέλεσμα των καθοδικών κινήσεων και οι ξηρές και σκοτεινές ζώνες αντικατοπτρίζουν δυναμικούς σχηματισμούς στην προς τους πόλους πλευρά του αυλώνα (*Santurette and Georgiev 2005*). Αυτό απεικονίζεται στις εικόνες 22β, γ και δ όπου πάνω στην εικόνα στο κανάλι υδρατμών είναι χαραγμένες οι καμπύλες με τις ανωμαλίες δυναμικού στροβιλισμού στην ισοβαρική επιφάνεια στα 400 mb, τον απόλυτο στροβιλισμό στην επιφάνεια της δυναμικής τροπόπαυσης και τον απόλυτο στροβιλισμού και ο απόλυτος στροβιλισμός έχουν μεγάλες θετικές τιμές.

Αξιοσημείωτα είναι τα παρακάτω χαρακτηριστικά (εικόνα 22): Η προπορευόμενη ζώνη του ανατολικού ξηρού ανέμου εκτείνεται μόλις δυτικά από την περιοχή L (εικόνα 22α). Τα πεδία στροβιλισμού αναπαριστούν μια περιοχή με μεγάλη οριζόντια βαθμίδα στροβιλισμού και με καθοδικές κατακόρυφες κινήσεις που δημιουργούν μια σκοτεινή ξηρή ζώνη (Santurette and Georgiev 2005).

Ο απόλυτος στροβιλισμός της επιφάνειας της δυναμικής τροπόπαυσης δίνει καλή αναπαράσταση του κυκλωνικού τμήματος της ροής της ξηρής εισβολής (εικόνα 22γ). Ταυτόχρονα ο απόλυτος στροβιλισμός στην ανώτερη ατμόσφαιρα (300 mb) αναπαριστά το αντικυκλωνικό τμήμα της ξηρής ροής στα νοτιοδυτικά του σημείου L (εικόνα 22δ). Αυτή η διαφορά στην εμφάνιση των δυο πεδίων πηγάζει από το γεγονός ότι η επιφάνεια της δυναμικής τροπόπαυσης αναπαριστά τη ροή σε χαμηλότερα επίπεδα από τον απόλυτο στροβιλισμό στα 300 mb (Santurette and Georgiev 2005).



Εικόνα 22 :Block regime αντικυκλογένεσης στην δυτική Μεσόγειο στις 00:00 UTC στις 10 Νοεμβρίου 2001 στη δυτική Μεσόγειο α) γεωδυναμικό ύψος στα 500 mb. β) δυναμικός στροβιλισμός στα 400 mb γ) απόλυτος στροβιλισμός στην επιφάνεια της δυναμικής τροπόπαυσης δ) απόλυτος στροβιλισμός στα 300 mb. (Santurette and Georgiev 2005)

Στην περίπτωση εμποδισμού λόγω κυκλογένεσης, ο ανατολικός άνεμος του φαινομένου εμποδισμού είναι υγρός εξαιτίας των ανοδικών κινήσεων. Κατά τη διάρκεια της φάσης ωρίμανσης το χαμηλό των γεωδυναμικών υψών κλείνεται αλλά δεν αποκόπτεται από τα westerlies (*Santurette and Georgiev 2005*).

Στην εικόνα 23α φαίνεται ότι το όριο ανάμεσα σε δυο περιοχές διαφορετικής υγρασίας τοποθετείται στη γραμμή στην οποία η ροή στη μέση τροπόσφαιρα μετατρέπεται από νοτιοδυτική και νότια σε νοτιοανατολική στην επιφάνεια των 500 mb (κόκκινο βέλος).

Το υγρό χαρακτηριστικό Μ σχηματίστηκε ως αποτέλεσμα του ανατολικού ανέμου του φαινομένου εμποδισμού (blocking regime) και η ξηρή ζώνη D συνδέεται με οριζόντια μεταφορά εξαιρετικά ξηρού και θερμού αέρα από την Αφρική.



Εικόνα 23. Φαινόμενο εμποδισμού λόγω κυκλογένεσης όπως απεικονίζεται στο κανάλι υδρατμών στην κεντρική Μεσόγειο στις 23 Νοεμβρίου 1998 στις 12:00 UTC. Η και L απεικονίζουν τα υψηλά και χαμηλά των υψών αντίστοιχα, S είναι η περιοχή με τις μεγαλύτερες ανωμαλίες στροβιλισμού, D είναι η σκούρη ζώνη πολύ ζηρού και θερμού αέρα και M είναι η πολύ υγρή περιοχή. α) Γεωδυναμικά ύψη της επιφάνειας των 300 mb από το μοντέλο ECMWF και θερμοκρασίες. β) Ανάλυση των γεωδυναμικών υψών στα 500 mb από το μοντέλο HIRLAM και δυναμική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου στα 850 mb. γ) Ανωμαλίες δυναμικού στροβιλισμού στα 300 mb από το μοντέλο HIRLAM. δ) Ανωμαλίες δυναμικού στροβιλισμού στα 500 mb από το μοντέλο ECMWF. (Santurette and. Georgiev 2005)





Εικόνα 24: Έναρξη της ανάπτυξης του φύλλου στον βορειοδυτικό Ατλαντικό στις 27 Φεβρουαρίου 2002. (α) Το φύλο συμβολίζεται με L. Επίσης διακρίνεται η τομή Α-Β και R, F είναι περιοχές διαφορετικής υγρασίας στην περιοχή πίσω και πάνω στο φύλλο αντίστοιχα.(β) Κατακόρυφη τομή της σχετική υγρασίας και του δυναμικού στροβιλισμού (γ) Κατακόρυφη τομή της διεύθυνσης του ανέμου. (Santurette and Georgiev 2005)

ζ. Βαροκλινικό φύλλο. Εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του πρώιμου σταδίου μιας κυκλογένεσης και η παρουσία του είναι προάγγελος αυτής στο 75% των περιπτώσεων. Για να δημιουργηθεί μια κυκλογένεση πρέπει να υπάρχει μια βαροκλινική ζώνη στα κατώτερα στρώματα δηλαδή μια περιοχή με μεγάλη βαθμίδα στην δυναμική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου. Αφού το φύλλο εμφανίζεται στο κανάλι των υδρατμών σαν ένα ψυχρό χαρακτηριστικό σχήματος S, συνδέεται με μια ανώτερης ατμόσφαιρας δυναμική διαταραχή (*Santurette and Georgiev 2005*). Η εικόνα 24β δείχνει κατακόρυφες τομές της σχετικής υγρασίας και του δυναμικού στροβιλισμού κατά μήκος της γραμμής A-B (εικόνα 24α). Με βάση την εικόνα 24 τα κύρια χαρακτηριστικά του φύλλου είναι τα εξής:

-Μια περιοχή με μεγάλη υγρασία που διακρίνεται στα ανώτερα στρώματα μόλις κάτω από την δυναμική τροπόπαυση και λίγο πιο νότια από μια περιοχή με χαμηλό ύψος τροπόπαυσης (δηλαδή μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης) στην βάση ενός αυλώνα. Στην εικόνα 24α η περιοχή αυτή στο κανάλι των υδρατμών συνδέεται με ανάπτυξη νεφών στο μέσο της γραμμής A-B (Santurette and Georgiev 2005).

-Πίσω από την περιοχή υψηλής υγρασίας, υπάρχει υγρός αέρας στα κατώτερα επίπεδα ο οποίος καλύπτεται από ξηρό αέρα από ψηλά δημιουργώντας μέσους τόνους του γκρι στην εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (Santurette and Georgiev 2005).

-Όπως φαίνεται στην εικόνα 24γ, υπάρχει ψυχρή μεταφορά σε χαμηλό ύψος (1000 - 750 mb) από την περιοχή Α μέχρι την R. Αντιθέτως, μέχρι το ύψος των 500 mb μετά από την περιοχή F υπάρχει θερμή μεταφορά (Santurette and Georgiev 2005).

Στην εικόνα 25 παρουσιάζεται η κατάσταση 12 ώρες μετά από την ανάπτυξη του φύλλου. Η κυκλογένεση έχει κιόλας αρχίσει όπως φαίνεται στο σχήμα 25γ. Στην εικόνα 25α στο κανάλι υδρατμών το βαροκλινικό φύλλο συμβολίζεται με L και εμφανίζεται στην μπροστά πλευρά από τον αυλώνα στην ανώτερη τροπόσφαιρα ως ένα πολύ ψυχρό χαρακτηριστικό σχήματος S. Το βαροκλινικό αυτό φύλλο αποτελείται από κυρτή και κοίλη πλευρά (Santurette and Georgiev 2005).

Όπως φαίνεται η κυρτή πλευρά του φύλλου είναι πολύ καλά οριοθετημένη αλλά ίσως γίνει λιγότερο η εντελώς ακαθόριστη με το πέρασμα στη ώρας. Μια επιμήκης σκούρα ζώνη είναι πολύ κοντά με το όριο και είναι πιθανόν να στενεύει και ίσως εξαφανιστεί με την ώρα (Santurette and Georgiev 2005).

Στην κοίλη πλευρά συνήθως υπάρχει μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης που παραμένει σημαντικό χαρακτηριστικό στο κανάλι υδρατμών καθ'όλη τη διάρκεια της κυκλογένεσης αν και μπορεί να αλλάξει σχήμα καθώς η κοίλη πλευρά του φύλλου αρχίζει να κυματίζεται βίαια (Santurette and Georgiev 2005).

Όπως φαίνεται στα σχήματα 25β και γ η οριοθετημένη βαροκλινική ζώνη (περιοχή με μεγάλη βαθμίδα στην δυναμική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου) στα κατώτερα επίπεδα διασχίζεται από τον αεροχείμμαρο όπως φαίνεται από τα βέλη. Στην εικόνα 25δ φαίνεται το χαμηλό στην επιφάνεια της θάλασσας. Στις εικόνες 26α, β παρατηρείται ότι αριστερά από την περιοχή του βαροκλινικού φύλλου υπάρχει μια θετική ανωμαλία δυναμικού στροβιλισμού στα ανώτερα επίπεδα και μεγάλη βαθμίδα του γεωδυναμικού ύψους στην δυναμική τροπόπαυση.





Εικόνα 25: Εικόνα στο κανάλι υδρατμών στις 28 Φεβρουαρίου 2002 α) Γεωδυναμικό ύψος της επιφάνειας των 500 mb όπου το L συμβολίζει το βαροκλινικό φύλλο στις 00:00UTC, β) δυναμική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου στα 925 mb στις 00:00UTC, γ) Ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας και περιοχές μέγιστου ανέμου στα 300 mb στις 00:00 UTC, δ) Ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στις 6:00UTC όπου το Η δείχνει την κεφαλή νεφών (Santurette and Georgiev 2005).



Εικόνα 26: Κανάλι υδρατμών στις 28 Φεβρουαρίου 2000 στις 12:00 UTC με χαραγμένες α) τις καμπύλες δυναμικού στροβιλισμού στα 500 mb και β) το γεωδυναμικό σε δεκάδες μέτρα της δυναμικής τροπόπαυσης (Santurette and Georgiev 2005).

η. Εμφάνιση ανωμεταφοράς σε αίθριο καιρό. Σύμφωνα με παρατηρήσεις των δορυφορικών εικόνων στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm, η πρώτη εμφάνιση έντονης ανωμεταφοράς συνδέεται με τη μεταβατική ζώνη ανάμεσα σε περιοχές με φωτεινούς τόνους του γκρι και σε περιοχές με σκοτεινούς τόνους του γκρι (Krennert, Meise 2003). Αυτό σημαίνει ότι η ευνοούμενη περιοχή για έναρξη ανωμεταφοράς είναι η μεταβατική ζώνη περιοχών υψηλής υγρασίας στο επίπεδο άνω των 600 mb, με περιοχές με μικρά ποσά υγρασίας. Το τυπικό συνοπτικό περιβάλλον είναι μια ράχη η ένα κλειστό υψηλό των υψών στα 500 mb. Τα όρια στο κανάλι υδρατμών συνδέονται με ξηρό αέρα δηλαδή με τις ξηρές ζώνες, γραμμές ή κηλίδες (Krennert, Meise 2003).

Σύμφωνα με τον Doswell (1987) η ανωμεταφορά εξαρτάται από τη διαθέσιμη υγρασία, την κατά συνθήκη αστάθεια και την ύπαρξη μιας πηγής ανύψωσης, που είναι ικανή να ανυψώσει μια στήλη αέρα στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς και να σηματοδοτήσει την έναρξη του μηχανισμού

έντονης ανωμεταφοράς. Οι ακόλουθοι μηχανισμοί είναι απαραίτητοι για ανωμεταφορά και σχετίζονται με την ύπαρξη ορίων υγρού-ξηρού αέρα στο κανάλι υδρατμών.

1. Έναρξη ανωμεταφοράς λόγω δυναμικών αιτίων.

Μια πιθανή πηγή για έναρξη ρηχής ανωμεταφοράς στα όρια υγρού-ξηρού αέρα στις εικόνες στο κανάλι υδρατμών οφείλεται σε δυναμικούς μηχανισμούς. Τα σχήματα και οι δομές σε τέτοιες εικόνες δείχνουν την παρουσία στροβιλισμού και μεταφοράς του. Ωστόσο στις περιπτώσεις που μελετώνται στην παρούσα έρευνα δεν υπάρχει αξιοσημείωτος θετικός σχετικός στροβιλισμός αν και υπάρχουν και κάποιες εξαιρέσεις. Τα αριθμητικά μετεωρολογικά μοντέλα δεν μπορούν να εξηγήσουν την εμφάνιση ανωμεταφοράς σε όριο υγρής-ξηρής αέριας μάζας στις εικόνες υδρατμών (Krennert, Meise 2003).

Η ανωμεταφορά κάτω από συνθήκες αίθριου καιρού έχει έναν ημερήσιο κύκλο ανάπτυξης και εξασθένησης μιας καταιγίδας. Η έναρξη της ανωμεταφοράς σε τέτοιες περιπτώσεις γίνεται στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (Krennert, Meise 2003).

2. Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και διαβατική θέρμανση Μια ικανή πηγή για την έναρξη ανοδικών κινήσεων είναι η θέρμανση της επιφάνειας της γης και της κατώτερης τροπόσφαιρας από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας (Doswell, 1987). Ο μηχανισμός θέρμανσης δημιουργεί ένα εντελώς ασταθές στρώμα κοντά στην επιφάνεια της γης. Αν η ενέργεια που παρέχεται από την θέρμανση είναι αρκετή τότε μια στήλη αέρα φτάνει στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς. Αν το ανυψούμενο τμήμα αέρα ξεκινήσει την ανωμεταφορά από υψηλότερες επιφάνειες όπως οροσειρές απαιτείται λιγότερη ενέργεια για φτάσει ο αέρας σε αυτό το επίπεδο, με αποτέλεσμα μια καταιγίδα να αναπτύσσεται ευκολότερα και ταχύτερα σε τέτοιες περιοχές (Szoke et al., 1984;Pielke and Segal 1986;Bluestein and Jain, 1985).

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει διαφορετικά τα κατώτερα στρώματα αέρα σε περιοχές με διαφορετικά ποσά υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Συγκεκριμένα μειώνεται σημαντικά όταν υπάρχει αυξημένη υγρασία ενώ σε ξηρή περιοχή στην ανώτερη τροπόσφαιρα μπορεί και διέρχεται ανεμπόδιστη προς το έδαφος. Αν και το ορατό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας δεν εξασθενεί σημαντικά από τους υδρατμούς, το κοντινό υπέρυθρο απορροφάται από αυτούς προκαλώντας την εξασθένηση της μέχρι 50% (*Liou*, 2002).

Συνεπώς η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος μειώνεται σημαντικά κάτω από περιοχές με υγρή ανώτερη τροπόσφαιρα ενώ σε περιοχές με ξηρή ανώτερη τροπόσφαιρα δεν μειώνεται (Krennert, Meise 2003).

3. Η κατακόρυφη στρωμάτωση μιας στήλης του αέρα. Ένα βασικό αντικείμενο για την κατανόηση του φυσικού μηχανισμού της ανωμεταφοράς είναι η κατακόρυφη στρωμάτωση και συγκεκριμένα η σύνδεση της με την κατακόρυφη μείωση της υγρασίας (Krennert, Meise 2003)..

Μια λεπτομερής έρευνα των περιπτώσεων ανωμεταφοράς υπό συνθήκες αίθριου καιρού δείχνει ότι η μέση και κατώτερη ατμόσφαιρα είναι κατά συνθήκη ασταθής. Στην ανώτερη τροπόσφαιρα συνήθως ασθενείς αναστροφές η πολύ σταθερά στρώματα αέρα διακόπτουν αυτή την αστάθεια (Krennert, Meise 2003).

Συγκεκριμένα σύμφωνα με ραδιοβολίσεις από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) σε διάφορες πόλεις όπως στο Innsbruck της Αυστρίας και στο Udine της Ιταλίας, η κατώτερη τροπόσφαιρα από το έδαφος μέχρι τα 900 mb είναι απόλυτα ασταθής. Από τα 900 mb και πάνω, ο αέρας είναι κατά συνθήκη ασταθής εκτός από διακοπές με αναστροφές ή σταθερά στρώματα. Ανάμεσα στα 550-450 mb, μια ευσταθής περιοχή διακόπτεται από μια κατά συνθήκη ασταθή στήλη αέρα που υπερβαίνει τα 350 mb (*Krennert, Meise 2003*).

Όσον αφορά την κατακόρυφη κατανομή της σχετικής υγρασίας, το μεγαλύτερο ποσό της βρίσκεται στα κατώτερα στρώματα με μέγιστο τα 800 mb, και ευδιάκριτη βαθμίδα της στα 550-500 mb. Αυτή είναι μια τυπική συνθήκη που παρατηρείται σε περιπτώσεις ανάπτυξης καταιγίδων σε όρια υγρού-ξηρού αέρα στο κανάλι υδρατμών (Krennert, Meise 2003).

Εκτός από τις πραγματικές ραδιοβολίσεις που προαναφέρθηκαν, έγιναν και τεχνητές από μετεωρολογικά μοντέλα και οι περισσότερες έδειξαν μεγάλη βαθμίδα υγρασίας ανάμεσα στα 600-400 mb. Σε περιοχές με ομογενή κατανομή της υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα, υπάρχει μη ομογενής κατανομή στα ανώτερα στρώματα όπως φαίνεται στις εικόνες στα κανάλια υδρατμών της παρούσας εργασίας με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί δυναμικός στροβιλισμός. Αυτό οφείλεται στην εισβολή στην ανώτερη τροπόσφαιρα ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα ο οποίος έχει μεγάλο δυναμικό στροβιλισμό. Όσο μεγαλύτερη είναι η κατακόρυφη βαθμίδα της υγρασίας τόσο μεγαλύτερος δυναμικός στροβιλισμός υπάρχει (*Krennert, Meise 2003*).

Συνεπώς όταν υπάρχει στο κανάλι υδρατμών μια μαύρη περιοχή (ξηρή) και μια λευκή (υγρή) και είναι πολύ κοντά, τότε υπάρχει μεγάλη βαθμίδα της υγρασίας δηλαδή μεγάλος δυναμικός στροβιλισμός (Krennert, Meise 2003).

Επίσης η ανάπτυξη ενός κυττάρου σε ξηρή ανώτερη τροπόσφαιρα θα είναι πιο έντονη από ότι σε υγρή ανώτερη τροπόσφαιρα λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι τα κύτταρα που αναπτύσσονται σε όρια υγρού-ξηρού αέρα, τείνουν να ξεκινήσουν την ανάπτυξη τους στην ξηρή και τελικά να αναπτυχθούν στην υγρή περιοχή του ορίου. Συνεπώς η υγρασία στην συγκεκριμένη περίπτωση στην μέση-ανώτερη τροπόσφαιρα βοηθάει ένα καταιγιδοφόρο κύτταρο να αναπτυχθεί πολύ έντονα (Krennert, Meise 2003).
2.4 Κυκλογένεση με προπομπό στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

Το κανάλι υδρατμών είναι χρήσιμο για τη μελέτη της κυκλογένεσης. Μια ισχυρή κυκλογένεση είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης, έναν αεροχείμμαρο της ανώτερης ατμόσφαιρας καθώς επίσης και μιας βαροκλινικής ζώνης στα κατώτερα επίπεδα. Αυτά τα τρία στοιχεία οδηγούν σε κυκλογένεση με μια δυναμική ανωμαλία ως προάγγελο να παρατηρείται στο κανάλι των υδρατμών (*Georgiev and Santurette, 2005*).



Εικόνα 27: Αλληλεπίδραση ζηρής κηλίδας (δυν. ανωμαλίας τροπόπαυσης) με βαροκλινική ζώνη. (α) Παρουσία δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης στις 16 Φεβρουαρίου στις 12:00 UTC. (β) Αλληλεπίδραση με τη βαροκλινική ζώνη στις 17 Φεβρουαρίου στις 12:00 UTC (γ και δ) Ξηρή εισβολή και δημιουργία κεφαλής νεφών στις 18 Φεβρουαρίου στις 00:00 και 12:00 UTC. Οι κόκκινες γραμμές απεικονίζουν το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης σε δεκάδες μέτρα και οι μπλε γραμμές είναι οι ισοταχείς του μέγιστου ανέμου στην επιφάνεια 1.5 PVU σε κόμβους (Georgiev and Santurette, 2005). Η κυκλογένεση εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης και της βαροκλινικής ζώνης (εικόνα 27). Η εικόνα 27 παρουσιάζει την εξέλιξη των κύριων χαρακτηριστικών κατά την έναρξη της αλληλεπίδρασης (εικόνα 27β) και κατά τη φάση ανάπτυξης της κυκλογένεσης μετά από 12 και 24 ώρες (*Georgiev and Santurette, 2005*) (εικόνες 27γ και δ).

Το σημείο C στην υγρή λευκή ζώνη, το οποίο σχετίζεται με σχετικά μεγάλο ύψος της τροπόπαυσης, είναι το σημάδι της ανοδικής κίνησης κατάντη της δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης. Η βαροκλινική ζώνη στην περιοχή Β χαρακτηρίζεται από μια καλή σχέση μεταξύ του άξονα του αεροχειμμάρου (εσωτερικό τμήμα του μπλε περιγράμματος), την έντονη κλίση της επιφάνειας 1.5 PVU (κόκκινο περίγραμμα), και τη μεγάλη βαθμίδα υγρασίας στην εικόνα των υδρατμών (εικόνα 27β). Το σκοτεινό σημείο που σχετίζεται με τη δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης (στο πράσινο βέλος) προσεγγίζει τη λευκή ταινία Β, το οποίο αντιστοιχεί στην βαροκλινική ζώνη, και στη συνέχεια αλληλεπιδρά με αυτή (Georgiev and Santurette, 2005) (εικόνα 27γ).

Κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης (εικόνα 27δ) τα δύο λευκά χαρακτηριστικά Β και C συγχωνεύονται, και σχηματίζουν την κεφαλή νεφών Η, στο βόρειο τμήμα της περιοχής κυκλογένεσης. Η ξηρή κηλίδα, που συνδέεται με την δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης μετατρέπεται σε μια ξηρή εισβολή στα νότιο-δυτικά (Georgiev and Santurette, 2005).

Στην εικόνα 28 φαίνεται ένα παράδειγμα αλληλεπίδρασης μιας δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης Α με μια βαροκλινική ζώνη Β, όπου Ρ είναι η κεφαλή νεφών και Ι η ξηρή εισβολή. Στις εικόνες 28α έως και 28δ παρατηρείται η προσέγγιση της ξηρής κηλίδας Α στην βαροκλινική ζώνη Β. Στις εικόνες 28ε έως και στ, έχει λάβει ήδη χώρα η ξηρή εισβολή και η κεφαλή νεφών Ρ μετακινείται προς τα βόρεια (Georgiev and Santurette, 2005).





Εικόνα 28: Αλληλεπίδραση ζηρής κηλίδας (δυν. ανωμαλία τροπόπαυσης) με βαροκλινική ζώνη. (Georgiev and Santurette, 2005)

2.5 Μέτωπα

2.5.1 Ψυχρά μέτωπα

Στα ψυχρά μέτωπα οι ψυχρές αέριες μάζες εισχωρούν σαν σφήνα κάτω από τις θερμότερες αέριες μάζες που προηγούνται (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004).

Στην εικόνα 29α φαίνεται ένα ψυχρό μέτωπο σε μια δορυφορική εικόνα στο κανάλι υδρατμών. Τα ψυχρά μέτωπα όπως είναι γνωστό συνδέονται με ξηρή εισβολή στην ανώτερη τροπόσφαιρα, έτσι στις εικόνες στο κανάλι υδρατμών διακρίνονται ως μια ξηρή ζώνη που τείνει να εισχωρήσει και να στροβιλιστεί σε υγρότερη μάζα (Georgiev and Santurette, 2005).

Στο κατά-μέτωπο (kata-front) ο αέρας της ξηρής εισβολής υπερβαίνει το επιφανειακό ψυχρό μέτωπο για μια απόσταση 10-200 km. Η ξηρή εισβολή τελειώνει σαν ένα ανώτερο ψυχρό μέτωπο όπου δημιουργούνται νέφη, πολλές φορές καταιγιδοφόρα. Στο κατά-μέτωπο ο αέρας είναι δυνητικά ξηρότερος στα 500 mb από τα 925 mb δηλαδή ο υγρός αέρας καλύπτεται από ξηρό στα ψηλότερα τμήματα. Στο κανάλι υδρατμών απεικονίζεται σαν μια ζώνη με ενδιάμεσους τόνους του γκρι (μαύρο βέλος στην εικόνα 29α) να προηγείται μιας υγρής περιοχής στην περιοχή του ανώτερου ψυχρό μέτωπο (Georgiev and Santurette, 2005) (κόκκινο βέλος στην εικόνα 29α).

Στο **ανά-μέτωπο** (**ana-front**) η μπροστινή άκρη του αέρα της ψυχρής εισβολής κινείται μαζί με το επιφανειακό ψυχρό μέτωπο κάτω από τον ανυψούμενο θερμό και υγρό αέρα και δημιουργεί μια πλατιά ζώνη νεφών πίσω από αυτό. Εδώ γίνεται το αντίθετο από το κατά-μέτωπο, δηλαδή ο ξηρός αέρας στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας καλύπτεται από υγρό στα υψηλότερα. Στο κανάλι υδρατμών φαίνεται σαν μια ζώνη με ενδιάμεσους τόνους του γκρι να ακολουθεί μια υγρή περιοχή (*Georgiev and Santurette, 2005*) (μπλε βέλος στην εικόνα 29α).

2.5.2 Θερμά μέτωπα

Στα θερμά μέτωπα ο θερμός αέρας που ακολουθεί ανέρχεται πάνω από τον σχετικά ψυχρότερο που προηγείται. Με αυτόν τον τρόπο υφίσταται αδιαβατική εκτόνωση και ψύχεται. Από κάποιο ύψος και πάνω η θερμοκρασία του προσεγγίζει το σημείο δρόσου και έτσι οι υδρατμοί που περιέχει αναγκάζονται να συμπυκνωθούν (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα εκτεταμένο νεφικό σύστημα κατά μήκος του μετώπου. Τα είδη των νεφών που βλέπει ο παρατηρητής κατά το πέρασμα ενός θερμού μετώπου είναι Ci, Cs, As, Ns (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004). Τα θερμά μέτωπα στο κανάλι υδρατμών διακρίνονται ως μια μάζα υψηλών νεφών κυκλικού σχήματος, βόρεια από την περιοχή της κυκλογένεσης (Georgiev and Santurette, 2005) (μαύρο βέλος στην εικόνα 29β).



Εικόνα 29: α) Ψυχρό μέτωπο, β) θερμό μέτωπο (Georgiev and Santurette, 2005) Το κόκκινο βέλος στην εικόνα 29α δείχνει την θέση του επιφανειακού ψυχρού μετώπου, το μαύρο βέλος δείχνει τη θέση του κατά-μετώπου, και το μπλε βέλος δείχνει τη θέση του ανα-μετώπου. Στην εικόνα 29 β το μαύρο βέλος δείχνει τη θέση του θερμού μετώπου.

3. Δεδομένα και μεθοδολογία

Η περιοχή μελέτης της εργασίας είναι η Βαλκανική χερσόνησος και η Ελλάδα ενώ η χρονική περίοδος της έρευνας είναι οι μήνες από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο του 2009.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη δεδομένων: δορυφορικά και συνοπτικά.

3.1 Δορυφορικά δεδομένα

Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα έρευνα προέρχονται από το δορυφόρο Meteosat Second Generation (MSG) της EUMETSAT, τα οποία καταγράφονται σε συστηματική βάση από το δορυφορικό σταθμό ο οποίος είναι εγκατεστημένος στο Μετεωροσκοπείο.

Οι δορυφόροι MSG (Meteosat Second Generation) είναι η νέα γενιά γεωστάσιμων μετεωρολογικών δορυφόρων που αναπτύχθηκαν από την ESA (European Space Agency) σε συνεργασία με την EUMETSAT που τέθηκαν σε τροχιά τον Αύγουστο του 2003 με το πρώτο περιστρεφόμενο ενισχυμένο ραδιόμετρο ορατού και υπερύθρου (SEVIRI). Το ραδιόμετρο είναι όργανο μέτρησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ένα από τα νέα χαρακτηριστικά του ραδιόμετρου SEVIRI είναι η ύπαρξη δύο καναλιών στη ζώνη απορρόφησης των υδρατμών (Schmid, 2000).

Το ραδιόμετρο SEVIRI (εικόνα 30) έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Το εύρος φάσματος είναι από 0.4 ως 1.6 μm για τα τέσσερα κανάλια του ορατού και από 3.9 ως 13.4 μm για τα κανάλια του υπερύθρου. Το ύψος του είναι στα 36000 km και η ανάλυση είναι 1 km για το κανάλι του ορατού υψηλής ανάλυσης και 3 km για τα υπόλοιπα τρία κανάλια του ορατού και για τα κανάλια του υπέρυθρου (Schmid, 2000): Η συχνότητα λήψης μια δορυφορικής εικόνας είναι μια ανά 15 λεπτά και το βάρος του 260 κιλά. Το ύψος του είναι 2.43 μέτρα και η διάμετρος του είναι 1 μέτρο. Η ηλεκτρική του κατανάλωση είναι 150 W και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 3.26 Mbit/s (Schmid, 2000).



Εικόνα 30: Κύρια μονάδα του ραδιόμετρου SEVIRI. (J. Schmid, 2000)

Τα κανάλια SEVIRI συνολικά είναι δώδεκα. Τα κανάλια 1 (0.6μm), 2 (0.8μm), 3 (1.6 μm), 12 (0.5-0.9μm) ανήκουν στο ορατό και καταγράφουν την ηλιακή ακτινοβολία από τα νέφη και την επιφάνεια της Γης (Schmid, 2000).

Συγκεκριμένα το κανάλι 1 δίνει πληροφορίες για το οπτικό πάχος των νεφών, το κανάλι 2 για το οπτικό πάχος και τη βλάστηση, το κανάλι 3 αναγνωρίζει χιόνι και πάγο. Το κανάλι 12 καταγράφει με υψηλή χωρική ανάλυση (1 km) εικόνες στην περιοχή του ορατού (*Schmid*, 2000).

Τα κανάλια του υπέρυθρου είναι το 4 (3.9 μm), 7 (8.7μm), 8 (9.7μm), 9 (10.8μm), 10 (12μm), 11 (13.4 μm) και των υδρατμών τα 5 (6.2 μm) και 6 (7.3 μm) (Schmid, 2000). Συγκεκριμένα το κανάλι 4 αναγνωρίζει το χιόνι και τον πάγο, μέγεθος και τη φάση των σωματιδίων, τις θερμοκρασίες θαλασσών, φωτιές και ομίχλη (Schmid, 2000). Το κανάλι 7 αναγνωρίζει τη σκόνη στην ατμόσφαιρα και τη θερμοκρασία της κορυφής των νεφών (Schmid, 2000). Το κανάλι 8 αναγνωρίζει το όζον, το κανάλι 9 την θερμοκρασία της κορυφής των νεφών και την ανωμεταφορά και χρησιμοποιείται και για την ανάλυση των χαρακτηριστικών των νεφών (Schmid, 2000). Επίσης τα δυο τελευταία κανάλια χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα κανάλια των υδρατμών για τον εντοπισμό των αερίων μαζών και των θερμουγρομετρικών χαρακτηριστικών τους (Schmid, 2000). Το κανάλι 10 χρησιμοποιείται για να καταγράψει την θερμοκρασία της κορυφής των νεφών και της αναγνώριση του CO2 (Schmid, 2000). Τα κανάλια των υδρατμών 5 και 6 χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της υγρασίας στα ανώτερα και μέσα αντίστοιχα στρώματα της τροπόσφαιρας (Schmid, 2000).

Για κάθε κανάλι χρησιμοποιήθηκαν 96 (ένα για κάθε τέταρτο της ώρας) αρχεία για κάθε ημέρα που ερευνήθηκε για τους καλοκαιρινούς μήνες του 2009. Για να γίνει εφικτή η απεικόνιση των εικόνων είναι απαραίτητη η μετατροπή τους από μορφή EPI και PRO σε μορφή HDF5 με το

λογισμικό Eumetcast (εικόνα 31). Για την απεικόνιση των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MSGView (εικόνα 32) (Aydin, 2011).

le Help				
1 🗶				
MSG HRIT MSG LRIT	Messages Setup			
Directories			C Archive Baw Data	
Tellicast Receiving I	Dir C:\	6	-200905180000- -200905180015-	
Data Saving Dir	C:\EumetCast\may			=
Raw Data Dir	C:\MSG\διπλωματικη\18may	Ø	-200905180100- -200905180115-	
HRIT Channels	Other Products	3	-200905180130 -200905180145 -200905180200-	
✓ VIS 0.6 ✓ VIS 0.8 ✓ NIR 1.6 ✓ IR 3.9 ✓ WV 6.2 ✓ WV 7.3	ATOVS (NOAA) MPEF SAF HRIT Raw Data		✓ .200905180215- ✓ .200905180230- ✓ .200905180245- · .200905180300- · .200905180315- · .200905180315- · .200905180330-	
■ IR 8.7 ■ IR 9.7 ■ IR 10.8 ■ IR 12.0 ■ IR 13.4 ■ IR 12.4	LRIT Channels VIS 0.6 NIR 1.6 IR 3.9		- 200905180345- - 200905180400- - 2009051804015- - 200905180430- - 200905180430- - 200905180445-	
	IR 10.8		Select All Raw D	ata Make HRIT
C MSG1 C	MSG3 Dthers	Files 🗖 Auto	Start	

Εικόνα 31: Το λογισμικό Eumetcast.



Εικόνα 32: Το λογισμικό MSGView.

3.2 Συνοπτικά δεδομένα

Ταυτόχρονα με τις δορυφορικές εικόνες έγινε χρήση χαρτών που περιγράφουν την συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα με βάση τις αναλύσεις του Αμερικάνικου μετεωρολογικού μοντέλου GFS (www.wetter3.de) χαρτογραφήθηκαν τα πεδία της θερμοκρασίας (°C) και του γεωδυναμικού ύψους (m) στις επιφάνειες των 500 και 850 mb, της μεταφοράς θερμοκρασίας στα 850 mb (°C), της σχετικής υγρασίας (%) και των

κατακόρυφων κινήσεων στα 700 mb (hPa/h) και του χάρτη πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (με ανάλυση 100 km).

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ανάλυσης από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF) με ανάλυση 1.5°x1.5° (http://dataportal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/) βάσει των οποίων έγινε απεικόνιση της διεύθυνσης και της ταχύτητας των ανέμων (kt), του σχετικού στροβιλισμού (s⁻¹) και της απόκλισης, στην επιφάνεια των 300 mb και 500 mb, της σχετικής υγρασίας (%) στην επιφάνεια των 1000 mb, της ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμων στο ύψος των 10 μέτρων (kt), και του δείκτη αστάθειας CAPE (j/kg) με τη βοήθεια του λογισμικού Grads (grid analysis and display system).

3.3 Μεθοδολογία

3.3.1 Μελέτη περιπτώσεων

Όπως αναφέρθηκε και πριν η περίοδος που εξετάστηκε είναι η θερινή, δηλαδή οι μήνες από Μάιο έως και Σεπτέμβριο, του 2009. Συνολικά εξετάστηκαν 36 ημέρες με εμφάνιση νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στην περιοχή της Βαλκανικής χερσονήσου κατά την διάρκεια των μεσημβρινών κυρίως ωρών. Ο τύπος της ανωμεταφοράς που ενδιαφέρει την παρούσα μελέτη δεν συνδέεται με μέτωπα. Το τυπικό συνοπτικό περιβάλλον είναι μια ράχη η ένα κέντρο με υψηλό στα 500 mb. Τα μετωπικά νέφη και οι εκτεταμένες περιοχές με συμπαγείς νεφώσεις απουσιάζουν και ο καιρός πριν από την ανάπτυξη των καταιγίδων ήταν αίθριος. Ο τύπος αυτής της ανωμεταφοράς ονομάζεται <<ανωμεταφορά κάτω από συνθήκες αίθριου καιρού>>.

Όπως είναι φυσικό για να ισχύει αυτό πρέπει να απουσιάζει κάποιο οργανωμένο βαρομετρικό χαμηλό πάνω από την περιοχή μελέτης. Οι καταιγίδες τέτοιου τύπου ονομάζονται θερμικές και είναι αποτέλεσμα α) της έντονης θέρμανσης της επιφάνειας του εδάφους, που έχει ως συνέπεια ισχυρές ανοδικές κινήσεις ή β) της κίνησης ψυχρών αερίων μαζών πάνω από θερμές επιφάνειες με συνέπεια να δημιουργείται αστάθεια. Στην Ελλάδα οι καταιγίδες αυτές δημιουργούνται κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές που θερμαίνονται έντονα στην επιφάνεια του εδάφους λόγω της έντονης ηλιοφάνειας (*Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004*).

Τέτοιου είδους ανωμεταφορά στο κανάλι υδρατμών συνδέεται με την μεταβατική ζώνη ανάμεσα σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες υγρασίας και σε περιοχές με μικρότερες ποσότητες υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (Krennert, Meise 2003).

10-Μαίου	11-Μαίου	12-Μαίου	18-Μαίου	19-Μαίου	20-Μαίου	21-Μαίου	23-Μαίου	25-Μαίου	26-Μαίου	27-Μαίου
5 Tamén	0 Ianuían	11 Terration	10 Innefer	20 Ianu/au						
3-100/100	9-100/00	11-100/100	19-100/100	20-100/100						
1-Ιουλίου	2-Ιουλίου	3-Ιουλίου	5-Ιουλίου	6-Ιουλίου	16-Ιουλίου	17-Ιουλίου	31-Ιουλίου			
3-Αυγ	4-Αυγ	15-Αυγ	16-Αυγ	Γ/-Αυγ	18-Αυγ	19-Αυγ	22-Αυγ	23-Αυγ	28-Αυγ	29-Αυγ
5-Σεπ										
5-Σεπ										

Πίνακας Ι : Περιπτώσεις που ερευνήθηκαν στην παρούσα εργασία για τους θερινούς μήνες του 2009.

Κάθε μια από τις 36 αυτές περιπτώσεις μελετήθηκε ξεχωριστά (πίνακας 1). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μελέτη ενδεικτικών περιπτώσεων εμφάνισης νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στην περιοχή της Ελλάδας και της υπόλοιπης Βαλκανικής χερσονήσου. Αρχικά παρουσιάζεται η ανάπτυξη των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης με τη βοήθεια των δορυφορικών εικόνων στο κανάλι του ορατού που εστιάζουν στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η πρώτη εικόνα παρουσιάζει την κατάσταση που επικρατούσε τις πρωινές ώρες, δηλαδή συνήθως πριν την εμφάνιση της αστάθειας και των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και η δεύτερη δείχνει τα ανεπτυγμένα κύτταρα των καταιγίδων τις μεσημεριανές ώρες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες που δείχνουν την συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας δηλαδή χάρτες με τις ισουψείς, τις θερμοκρασίες και τη ροή του ανέμου στα 500 mb και αναλύονται οι συνοπτικές συνθήκες που επικρατούσαν στις περιοχές ανάπτυξης των καταιγίδων, δηλαδή ερευνάται αν οι καταιγίδες μετά από αίθριο καιρό αναπτύσσονται σε μια ράχη η ένα αυλώνα και σε ποια θέση, και η διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος σε κάθε επιφάνεια και η θερμοκρασία της. Το ίδιο γίνεται και για την επιφάνεια των 850 mb. Επίσης παρουσιάζεται χάρτης στα 300 mb που να δείχνει την θέση του αεροχειμμάρου και εξετάζεται η σχέση του με την εμφάνιση των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Ερευνάται επίσης ο ρόλος του σχετικού στροβιλισμού στα 300 και 500 mb στην ανάπτυξη των καταιγίδων. Δύο ακόμη πολύ βασικά στοιχεία που εξετάζονται είναι η σχετική υγρασία και οι κατακόρυφες κινήσεις στα 700 mb. Από τη μελέτη των τελευταίων βγαίνουν συμπεράσματα για την αναγκαιότητα ύπαρξης ανοδικών κινήσεων και αυξημένης σχετικής υγρασίας για την εκδήλωση καταιγίδας. Ακόμα εξετάζονται οι μετεωρολογικές συνθήκες στη μέση στάθμη της θάλασσας δηλαδή η ατμοσφαιρική πίεση και ο δείκτης αστάθειας CAPE και η θέση των μετώπων στην περιοχή. Επίσης ερευνάται πόσο απαραίτητη είναι η ύπαρξη αυξημένης σχετικής υγρασίας στην επιφάνεια των 1000 mb και σύγκλισης των ανέμων στα 10 μέτρα για την ανάπτυξη των καταιγίδων.

Στην συνέχεια αναλύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, οι δορυφορικές εικόνες στα δύο κανάλια υδρατμών (6.2 και 7.3 μm) με τη χρήση του λογισμικού MSGView. Αυτό γίνεται τις ώρες

που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον εστιάζοντας στην περιοχή των φαινομένων με στόχο την εξαγωγή πληροφοριών για τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας που ήταν υπεύθυνα για τη δημιουργία και ανάπτυξη των καταιγιδοφόρων κυττάρων. Συγκεκριμένα στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm ανιχνεύεται η υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα, δηλαδή σε ένα στρώμα με κέντρο στα 300 mb, ενώ στο κανάλι των 7.3 μm ανιχνεύεται η υγρασία στη μέση τροπόσφαιρα και συγκεκριμένα στα 500 mb. Επίσης εξετάζονται και οι εικόνες της διαφοράς των δυο αυτών καναλιών για να διαπιστωθεί το ύψος στο οποίο βρίσκεται το κύριο στρώμα υγρασίας. Να σημειωθεί ότι η διαφορά τους χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση υγρασίας σε υψόμετρο από 700 έως 500 mb. Από τις εικόνες που αναφέρθηκαν παραπάνω βγαίνουν συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά της υγρασίας σε διάφορα ύψη που ευνοούν στην ανάπτυξη καταιγιδοφόρων κυττάρων. Τέλος, η χρωματική σύνθεση RGB «αέριες μάζες» (5-6, 8-9, 5) χρησιμοποιείται για την ανάδειξη των θερμουγρομετρικών χαρακτηριστικών των αέριων μαζών στην περιοχή εμφάνισης της αστάθειας.

3.3.2 Κατηγοριοποίηση

Στη συνέχεια έγινε κατηγοριοποίηση των περιπτώσεων ως προς την ανάπτυξη των καταιγίδων σε διάφορα χαρακτηριστικά και σχηματισμούς στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών και την παρουσία η απουσία της υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, ως προς την παρουσία αέριων μαζών στις εικόνες που προέκυψαν από την χρωματική σύνθεση RGB για τις αέριες μάζες, ως προς την κατακόρυφη κατανομή της υγρασίας και της παρουσίας δυναμικής αστάθειας εικόνες που προέκυψαν από το 5 και ως προς τις συνθήκες την ανώτερης τροπόσφαιρας.

- Αρχικά για κάθε ημέρα ξεχωριστά ερευνήθηκε αν κατά την ανάπτυξη των κυττάρων υπήρχαν διάφορα χαρακτηριστικά στις δορυφορικές εικόνες όπως λανθάνουσα ανωμαλία τροπόπαυσης, δυναμική ανωμαλία, καθεστώς εμποδισμού, ξηρή εισβολή, βαροκλινικό φύλλο, στρόβιλος η ζώνη παραμόρφωσης. Αυτό είχε ως σκοπό να βγουν συμπεράσματα για το αν οι καταιγίδες μετά από αίθριο καιρό μπορούν να σχηματιστούν σε μια απλή (λανθάνουσα η ζώνη παραμόρφωσης) ανωμαλία τροπόπαυσης δηλαδή με ασθενή στροβιλισμό ή απαιτείται η εμφάνιση άλλων συνοπτικών χαρακτηριστικών με έντονο στροβιλισμό όπως η ύπαρξη ενός καθεστώτος εμποδισμού, μιας δυναμικής ανωμαλίας, ενός στροβίλου ή βαροκλινικού φύλλου.
- Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση έγινε με σκοπό την συσχέτιση της υγρασίας σε διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας και της μεταβολής της με το ύψος με την ανάπτυξη

καταιγίδων. Σύμφωνα με αυτήν τα καταιγιδοφόρα κύτταρα χωρίστηκαν σε ομάδες ανάλογα με το αν εμφανίστηκαν σε όριο σχετικά υγρού με σχετικά ξηρό αέρα, σε υγρή ή σε ξηρή περιοχή.

- Η τρίτη κατηγοριοποίηση έγινε σε σχέση με τις αέριες μάζες που ήταν υπεύθυνες για τη δημιουργία των καταιγίδων και την αλληλεπίδραση τους. Συγκεκριμένα μελετήθηκε αν τα καταιγιδοφόρα κύτταρα αναπτύχθηκαν μέσα σε ψυχρή ή θερμή και σε ξηρή ή υγρή μάζα ή σε όριο αυτών.
- Μια τέταρτη κατηγοριοποίηση έγινε με την διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5.
 Αυτό έγινε για να διευκρινιστεί που είναι το κύριο στρώμα υγρασίας και πως αυτό σχετίζεται με τη δημιουργία καταιγίδων.
- Η πέμπτη και τελευταία κατηγοριοποίηση έγινε ανάλογα με τις συνθήκες υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες συνθήκες υγρασίας καθώς και σύγκλισης ανέμων στα χαμηλότερα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα τα κύτταρα χωρίστηκαν σε επτά ομάδες για διαφορετικούς συνδυασμούς και υπολογίστηκε η συχνότητα των κυττάρων που ανήκουν σε κάθε ομάδα.

4.Επεξεργασία και αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται διερεύνηση των χαρακτηριστικών των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια υδρατμών που σχετίζονται με νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης για κάποιες επιλεγμένες περιπτώσεις που αντιστοιχούν σε διαφορετικές τυπικές καταστάσεις την θερινή περίοδο του 2009. Το κριτήριο επιλογής των περιπτώσεων ήταν η ύπαρξη αίθριου καιρού στην περιοχή όπου αργότερα αναπτύχθηκε μια καταιγίδα και η εμφάνιση όσον το δυνατόν περισσότερων χαρακτηριστικών από αυτά που αναλύθηκαν προηγουμένως στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm δηλαδή ξηρών-υγρών ζωνών, στροβίλων, καθεστώτων εμποδισμού, ξηρών εισβολών, βαροκλινικών φύλλων κλπ.

Ακόμα γίνεται σύγκριση με εικόνες του ορατού και χρησιμοποιούνται εικόνες του προϊόντος RGB των αερίων μαζών καθώς και της διαφοράς του καναλιού 6 από το κανάλι 5 για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης των αερίων μαζών και της κατακόρυφης κατανομής της υγρασίας αντίστοιχα. Σαν βοηθητικό μέσο, όπως αναφέρθηκε και πριν, χρησιμοποιήθηκαν και εικόνες συνοπτικής κατάστασης της ατμόσφαιρας που προέρχονται από δεδομένα ανάλυσης του Αμερικάνικου και του Ευρωπαϊκού μετεωρολογικού μοντέλου GFS και ECMWF, αντίστοιχα.

4.1 Μελέτη περιπτώσεων

4.1.1 Πρώτη περίπτωση

Στις **10 Μαΐου 2009** στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων και της Ελλάδας τις μεσημεριανές ώρες εμφανιστήκαν κύτταρα ανωμεταφοράς μετά από συνθήκες αίθριου καιρού. Όπως φαίνεται στο κανάλι ορατού υψηλής ανάλυσης στις 10 Μαίου 2009 στις 8:00 UTC (εικόνα 33α), η πρώτη εμφάνιση ανωμεταφοράς έγινε πάνω από ορεινές περιοχές με τη μορφή Cu (λευκά βέλη) και κυρίως στην δυτική κορυφογραμμή της Βαλκανικής χερσονήσου. Στις 13:00 UTC (εικόνα 33β) παρατηρείται ότι οι καταιγίδες συνεχίζουν την ανάπτυξη τους δημιουργώντας Cb (κόκκινα βέλη), ενώ λίγο αργότερα, στις 15:00 και 16:00 UTC, δημιουργούνται πολλά νέα κύτταρα (εικόνες 33 γ και δ αντίστοιχα), τα οποία βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη. Τα κύτταρα αυτά λόγω των έντονων ανοδικών κινήσεων έχουν αναπτυχθεί μέχρι την ανώτερη τροπόσφαιρα σχηματίζοντας νέφη σε μεγάλο ύψος που αποτελούνται από παγοκρυστάλλους και ονομάζονται Cirrus. Τα νέφη αυτά και έχουν αρχίσει να κινούνται προς τα νότια ακολουθώντας τη ροή του ανέμου της ανώτερης τροπόσφαιρας.

Στις 20:00 UTC έχουν απομείνει μόνο κάποια υπολείμματα των καταιγίδων όπως φαίνεται στο υπέρυθρο κανάλι 10 στα 12μm με λευκό βέλος (εικόνα 34α) ενώ μια ώρα μετά έχουν διαλυθεί πλήρως και στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχουν μόνο χαμηλά νέφη (εικόνα 34β).



Εικόνα 33: Κανάλι ορατού υψηλής ανάλυσης στην περιοχή των Βαλκανίων στις 10 Μαίου 2009 στις α) 8:00, β) 9:00, γ) 10:00, δ) 11:00 UTC . Τα Cb φαίνονται με κόκκινα βέλη και τα Cu με λευκά.



Εικόνα 34: Κανάλι του υπέρυθρου στα 12μm στις 10 Μαίου 2009 στις α) 20:00 και β) 21:00 UTC.

Στην εικόνα 35 διακρίνεται η κεντρική Μεσόγειος να καλύπτεται από μια ράχη (R) στα 500 mb (εικόνα 35α) και από ένα κέντρο υψηλών γεωδυναμικών υψών (H) στα 850 mb (εικόνα 35β). Συγκρίνοντας τους δυο αυτούς χάρτες παρατηρείται ότι η θερμοκρασία στην επιφάνεια στα 500 mb πάνω από την Βαλκανική χερσόνησο κυμαίνεται από -15 έως -20 °C, που είναι αρκετά χαμηλή για την εποχή, και σε αυτή των 850 mb κυμαίνεται από 10 έως 15 °C. Η διαφορά των θερμοκρασιών των δυο αυτών επιφανειών είναι πολύ μεγαλύτερη από την τυπική θερμοβαθμίδα του υγρού ακόρεστου αέρα που είναι 6.7 °C ανά 1000 μέτρα και του υγρού κορεσμένου που είναι 5 °C ανά 1000 μέτρα γεγονός που είναι πολύ ευνοϊκό (μαζί με άλλους παράγοντες που θα αναλυθούν στη συνέχεια) για την δημιουργία θερμοδυναμικής αστάθειας και την ανάπτυξη καταιγίδων (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου 2004).

Στην εικόνα 36 παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος (κόκκινο πλαίσιο) καλύπτεται γενικά από υψηλές πιέσεις στην επιφάνεια της θάλασσας και η βαροβαθμίδα είναι μικρή. Η μορφή των ισοβαρών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πιθανόν σε κάποιες περιοχές να υπάρχει σύγκλιση ανέμων στα 10 μέτρα. Τα μέτωπα απουσιάζουν από την περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 35: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 10 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες.



Εικόνα 36: Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 10 Μαίου 2009, 12:00 UTC.

Στην εικόνα 37 παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος είναι εκτός επίδρασης του αεροχείμμαρου. Συγκεκριμένα ο υποπολικός αεροχείμμαρος βρίσκεται στον Ατλαντικό και στην βόρεια Ευρώπη ενώ ο υποτροπικός βρίσκεται πολύ νοτιότερα στην Αφρική.



Εικόνα 37: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας (μαύρες γραμμές) των 300 mb στις 10 Maίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων.

Στην εικόνα 38α παρατηρείται ότι ο άνεμος στην επιφάνεια των 300 mb, είναι πολύ μικρής έντασης στην Βαλκανική χερσόνησο. Ένα πολύ ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι η απόκλιση σε αυτή την επιφάνεια όπως διακρίνεται στην ίδια εικόνα είναι ελαφρώς θετική κατά μήκος των δυτικών Βαλκανίων παράγοντας που ευνοεί την ανωμεταφορά (μαύρη έλλειψη). Ο σχετικός στροβιλισμός στα 300 mb είναι ελαφρά θετικός στις ίδιες περιοχές (εικόνα 38β).



Εικόνα 38 α) Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 10 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC.

Ο άνεμος στα 500 mb είναι πολύ μικρής ταχύτητας στην περιοχή της Βαλκανικής χερσονήσου και ο σχετικός στροβιλισμός είναι σχεδόν μηδενικός (εικόνα 39).



Εικόνα 39: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 10 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 40: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης CAPE (j/kg) με γραμμές στις 10 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Η λευκή έλλειψη δείχνει την περιοχή όπου οι άνεμοι συγκλίνουν.

Στην εικόνα 40 παρατηρείται ότι ο δείκτης αστάθειας CAPE είναι πολύ μικρός και ότι υπάρχει σύγκλιση του δυτικού υγρού ανέμου με τον ανατολικό πάνω από τις νοτιότερες περιοχές των δυτικών Βαλκανίων και ειδικά στην Ελλάδα, την Αλβανία και τη νότια Σερβία (παράγοντας που επίσης ευνοεί την ανωμεταφορά). Η σχετική υγρασία στα χαμηλά στρώματα είναι πολύ αυξημένη ιδιαίτερα στις 6:00 UTC (όπως φαίνεται στις εικόνες 41α και β) οπότε η σύγκλιση των ανέμων βοηθάει σημαντικά στην ανάπτυξη ενός καταιγιδοφόρου συστήματος.



Εικόνα 41:Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 10 Μαίου 2009 στις α) 6:00 και β) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη η καθόλου υγρασία αντίστοιχα.

Συνοπτικά λοιπόν, παρατηρείται ότι στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων όπου καλύπτονται από μια ράχη στα 500 mb, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε αυτή την επιφάνεια και στην επιφάνεια των 850 mb είναι περίπου 30 °C δηλαδή αρκετά μεγάλη. Η απόκλιση στα 300 mb είναι θετική, οι άνεμοι τόσο στα χαμηλά όσο και στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι

ασθενείς και υπάρχει σύγκλιση των υγρών ανέμων στα 10 μέτρα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες παρά την μικρή τιμή του δείκτη αστάθειας CAPE και του στροβιλισμού στις επιφάνειες των 300 και 500 mb είναι ικανοί να βοηθήσουν στην ενεργοποίηση ενός συστήματος ανωμεταφοράς.

Στην εικόνα 42α φαίνονται με κόκκινο χρώμα οι έντονες ανοδικές κινήσεις στην περιοχή των δυτικών Βαλκανίων και στην εικόνα 42β με σκούρο πράσινο η πολύ αυξημένη σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb σε όλες τις περιοχές των Βαλκανίων. Αυτά τα δύο στοιχεία επιβεβαιώνουν αυτά που αναφέρθηκαν και σε συνδυασμό με την ύπαρξη οροσειρών στην περιοχή της δυτικής Βαλκανικής χερσονήσου βοήθησαν στην ανάπτυξη καταιγιδοφόρων συστημάτων.



Εικόνα 42: α) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 10 Μαΐου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις. β) Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 10 Μαΐου 2009 στις 12:00 UTC.





Εικόνα 43: Κανάλι υδρατμών 6,2 μm πάνω από τα Βαλκάνια στις 10 Μαΐου 2009 στις, α) 8:00 UTC β) 9:00 UTC, γ) 10:00 UTC, δ) 11:00 UTC, ε) 12:00 και στ)14:00 UTC. (Οι μαύροι αριθμοί στην εικόνα 43 α δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας του καναλιού 6.2 μm την συγκεκριμένη χρονική στιγμή)

Όπως φαίνεται στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm (εικόνα 43) τα κύτταρα σχηματίστηκαν κατά μήκος μιας ελαφρώς ξηρής ζώνης (μαύρο βέλος) η οποία απεικονίζεται σαν μια ζώνη με ενδιάμεσους τόνους του γκρι μέσα σε περιοχή με μεγαλύτερη υγρασία και ελαφρώς πιο φωτεινούς τόνους του γκρι (λευκό βέλος).

Συγκεκριμένα στην περιοχή στο σημείο Α φαίνεται ότι η ανωμεταφορά άρχισε στις 8:00 UTC (εικόνα 43α) στο όριο ανάμεσα σε υγρή και ξηρή περιοχή (dark strip). Στις 10:00 (εικόνα 43γ) εμφανίστηκαν κύτταρα στις περιοχές Α, Β, και Γ ενώ στις 11:00 UTC (εικόνα 43δ) εμφανίστηκαν κύτταρα στην περιοχή Δ και μέσα σε όλη τη ξηρή ζώνη, σε ασθενή όρια του σχετικά υγρού αέρα (με φωτεινούς τόνους του γκρι) με σχετικά ξηρότερο αέρα (με ενδιάμεσους τόνους του γκρι). Στις 12:00 UTC (εικόνα 43ε) εμφανίστηκαν νέα κύτταρα στην περιοχή Γ, σε σχετικά ξηρή περιοχή

και Δ επίσης σε σχετικά ξηρή ζώνη. Στις 14:00 UTC (εικόνα 43στ) εμφανίστηκαν νέα κύτταρα στις παραπάνω περιοχές μέσα στην ζώνη ξηρότερου αέρα και όχι σε όριο υγρού-ξηρού αέρα.

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες προκύπτει ότι στις βορειότερες περιοχές και μέσα στη ξηρή ζώνη κυμαίνονται γύρω στους -39 °C και στις υπόλοιπες νοτιότερες περιοχές στους -40° C.

Τις ίδιες χρονικές στιγμές, αλλά στο κανάλι 7.3 μm (εικόνα 44), οι θερμοκρασίες που καταγράφονται είναι μεγαλύτερες επειδή στο κανάλι αυτό απεικονίζονται χαμηλότερα στρώματα από αυτά του καναλιού 6.2 μm. Το πλεονέκτημα του είναι ότι σε αυτό απεικονίζονται τα κύτταρα των καταιγίδων πριν αναπτυχθούν σε μεγάλο ύψος.

Έτσι χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο κανάλι παρατηρείται ότι στις 08:00 UTC (εικόνα 44α), παρατηρείται μια γραμμή σωρειτόμορφων νεφών Cu (δείχνεται με κόκκινα βέλη) που αναπτύσσονται πάνω σε ένα πολύ ασθενές όριο ανάμεσα σε υγρή και σε ξηρή περιοχή. Με κίτρινα βέλη απεικονίζονται κάποια υψηλά νέφη Ci πάνω από την Ιταλία (εικόνα 44α). Με κόκκινο βέλος διακρίνεται ένα Cb με ψυχρή κορυφή στην περιοχή A. Την ίδια χρονική στιγμή στο κανάλι στα 6.2 μm δεν διακρίνονται καθόλου τα σωρειτόμορφα νέφη αλλά φαίνεται η ελαφρώς ξηρότερη ζώνη του αέρα στην ίδια θέση και αυτό δείχνει ότι η υγρασία προέρχεται από χαμηλότερα στρώματα.

Παρόμοια είναι η εικόνα στις 9:00 και 10:00 UTC (εικόνες 44β και γ) και μόνο στην περιοχή Α έχουν αναπτυχθεί περισσότερα κύτταρα καταιγίδων τα οποία διακρίνονται αμυδρά στα 6.2 μm καθώς ακόμα δεν έχουν φτάσει σε μεγάλο ύψος οι κορυφές τους.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 44δ) διακρίνονται οι κορυφές των Cb κατά μήκος της αντίστοιχης ξηρής ζώνης στα 6.2 μm δηλαδή στις περιοχές B και Γ και ανατολικότερα στην περιοχή Δ. Συγκρίνοντας τις εικόνες των 6.2 και 7.3 μm στις 11:00 UTC παρατηρείται ότι στα 7.3 μm διακρίνεται ξεκάθαρα η γραμμή των σωρειτόμορφων νεφών στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων (κόκκινα βέλη στην εικόνα 44δ) ενώ στα 6.2 διακρίνονται μόνο οι κορυφές αυτών που έχουν αναπτυχθεί τόσο ώστε να φτάσουν σε μεγάλο ύψος.

Παρόμοια η κατάσταση στις 12:00 και 13:00 UTC (εικόνες 44ε και στ) αλλά διακρίνονται περισσότερες κορυφές Cb.

Συνολικά παρατηρείται ότι στις περιοχές **A**, **B**, **Δ** τα κύτταρα αναπτύσσονται σε όρια υγρώνξηρών περιοχών, ενώ το κύτταρο στην περιοχή **Γ** αναπτύσσεται σε σχετικά υγρή περιοχή. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από -21°C στις βόρειες περιοχές έως -18°C στις νοτιότερες και οι τόνοι του γκρι είναι ενδιάμεσοι παντού και λίγο πιο σκοτεινοί από τις γύρω περιοχές. **Από αυτό βγαίνει** το συμπέρασμα ότι στις περιοχές με τις καταιγίδες ο αέρας είναι σχετικά υγρός αλλά ελαφρώς ξηρότερος από τις γύρω περιοχές.



Εικόνα 44: Κανάλι υδρατμών 7,3 μm πάνω από τα Βαλκάνια στις 10 Μαΐου 2009 στις α) 8:00 UTC, β) 9:00 UTC, γ) 10:00 UTC, δ) 11:00 UTC, ε) 12:00 UTC, στ) 13:00 UTC. (Οι μαύροι αριθμοί στην α δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας του καναλιού 7.3 μm τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, τα κίτρινα βέλη δείχνουν τα υψηλά νέφη και τα κόκκινα τα σωρειτόμορφα)





Εικόνα 45: Διαφορά καναλιών (5-6) πάνω από τα Βαλκάνια στις 10 Μαΐου 2009 στις α) 6:00 UTC, β) 7:00 UTC, γ) 8:00 UTC, δ)9:00 UTC, ε) 10:00 UTC, στ) 11:00 ζ) 12:00 UTC, η)13:00 UTC. (Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 45γ δείχνουν τις διαφορές του καναλιού 6 από το 5 τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή)

Στη διαφορά των καναλιών 5-6 (εικόνα 45) παρατηρείται ότι οι καταιγίδες σχηματίζονται σε σχετικά φωτεινούς τόνους του γκρι με τιμή -20 °C δηλαδή σε περιοχές με μεγάλη σχετική υγρασία από τα 700 mb μέχρι τα 600 και όχι σε κάποιο όριο ξηρού-υγρού αέρα (εικόνα 45). Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην εικόνα 45, η διαφορά των δυο καναλιών είναι -21 στις νοτιότερες περιοχές των καταιγίδων και -19 °C στις βορειότερες. Οι σχετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι στην περιοχή των Βαλκανίων (ιδιαίτερα στις βόρειες όπου οι καταιγίδες αναπτύσσονται νωρίτερα), σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες λαμπρότητας -39 °C στο κανάλι στα 6.2 μm και τις χαμηλές -21 °C στο κανάλι στα 7.3 μm, αποτελεί ένδειξη δυναμικής αστάθειας σε όλες τις περιοχές. Το παραπάνω συμπέρασμα προκύπτει και από τις εικόνες 41α και β και 42β (αλλά και στην εικόνα 44 με την παρουσία υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα), όπου παρατηρείται ότι η σχετική υγρασία στα 1000 και 700 mb είναι πολύ αυξημένη όπως επίσης και η θερμοκρασία στα 850 mb, επομένως η παρουσία ξηρής και ψυχρής αέριας μάζας σε ανώτερα στρώματα δημιουργεί συνθήκες δυναμικής αστάθειας.

Στις εικόνες 46α έως δ με τη χρωματική σύνθεση RGB των αερίων μαζών, διακρίνεται η γραμμή νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στις 9:00 UTC (εικόνα 46β) που σχηματίζονται σε όριο ψυχρής και ξηρής αέριας μάζας, με τη ψυχρή και υγρότερη να βρίσκεται στα δυτικά των νεφών. Με ροζ βέλος απεικονίζεται η ξηρή και ψυχρή αέρια μάζα, με μπλε βέλος η ψυχρή και υγρή, με πράσινο η θερμή και υγρή. Τα κύτταρα αναπτύσσονται περισσότερο προς τις περιοχές που η αέρια μάζα είναι επίσης ψυχρή και ξηρή στα βόρεια (ροζ βέλος) και ψυχρή και υγρή στα νότια

(μπλε βέλος). Η παρουσία κόκκινου χρώματος ιδιαίτερα στα βορειοδυτικά Βαλκάνια δείχνει την παρουσία μιας ελαφρώς ξηρότερης ζώνης από τις γύρω περιοχές. Στην θαλάσσια περιοχή της νότιας Ιταλίας υπάρχει μια θερμή και υγρή αέρια μάζα.

Η παρουσία ξηρής και ψυχρής μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα επιτρέπει την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει και να θερμάνει τα κατώτερα στρώματα, ευνοώντας έτσι την έναρξη μιας καταιγίδας. Η παρουσία ικανούς ποσότητας υγρασίας σε γειτονικές περιοχές βοηθάει στην ανάπτυξη της.

Στην εικόνα 46δ διακρίνονται μέσα σε μαύρο κύκλο τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης στην περιοχή όπου η ψυχρή μάζα είναι ξηρή, τα οποία παρουσιάζουν καλύτερη κατακόρυφη ανάπτυξη από αυτά των νοτιότερων περιοχών (σε τετράγωνο), όπου η μάζα στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι πιο υγρή.



Εικόνα 46: Εικόνες του προϊόντος RGB "Αέριες μάζες" πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 8:00, β) 9:00, γ) 10:30, δ) 12:00 UTC στις 10 Μαίου 2009. Με ροζ βέλη απεικονίζεται η ζηρή και ψυχρή αέρια μάζα, με μπλε η ψυχρή και υγρή, με πράσινο η θερμή και υγρή.

4.1.2 Δεύτερη περίπτωση

Στις 9 Ιουνίου 2009 μετά από συνθήκες αίθριου καιρού αναπτύχθηκαν νέφη ανωμεταφοράς Cu πάνω από τα Βαλκάνια και συγκεκριμένα πάνω από την Ελλάδα, τη νότια Βουλγαρία και τη νότια Ρουμανία. Την μεγαλύτερη ανάπτυξη είχαν αυτά στη νότια Βουλγαρία και σε ορισμένες περιοχές κατά μήκος του ορεινού κορμού της ηπειρωτικής Ελλάδας που εξελίχθησαν σε Cb ενώ στη Ρουμανία δεν είχαν ανάλογη ανάπτυξη. Όπως φαίνεται στην εικόνα 47α από τις 8:00 UTC άρχισε ρηχή ανωμεταφορά, με την εμφάνιση Cu πάνω από τις ορεινές περιοχές της νότιας Ρουμανίας (λευκό βέλος) και της νότιας Βουλγαρίας (κίτρινο βέλος). Στις 14:00 UTC (εικόνα 47β) τα νέφη αναπτύσσονται περισσότερο πάνω από τη νότια Βουλγαρία και την Ελλάδα και όχι τόσο στη Ρουμανία. Με κόκκινα βέλη παρατηρούνται οι αναπτύξεις νεφών που έγιναν αργότερα κατά μήκος του δυτικού ηπειρωτικού κορμού της Ελλάδας.

Στην εικόνα 48α, στις 19:00 UTC στο υπέρυθρο κανάλι στα 12μm παρατηρείται ότι οι καταιγίδες στην δυτική Βουλγαρία είναι στη φάση της διάλυσης (κόκκινο βέλος) ενώ στις 22:00 UTC (εικόνα 48β) διακρίνονται μόνο κάποια υψηλά νέφη που είναι τα υπολείμματα των καταιγίδων.

Συνολικά οι καταιγίδες από την έναρξη μέχρι και τη φάση της διάλυσης διήρκεσαν γύρω στις 13 ώρες. Καθώς τα νέφη από τις καταιγίδες αναπτύχθηκαν σε μεγάλο ύψος λόγω των ανοδικών κινήσεων, μετακινήθηκαν προς τα νότια λόγω της βόρειας ροής του ανέμου στην ανώτερη τροπόσφαιρα εξαιτίας της ύπαρξης στροβίλου κυκλωνικής τροχιάς. Αντίθετα παρόμοια καταιγιδοφόρα κύτταρα στην Τουρκία μετακινήθηκαν προς τα βόρεια λόγω της νότιας ροής του ανέμου στην ανώτερη τροπόσφαιρα.



Εικόνα 47: Ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις 9 Ιουνίου 2009 στις α) 8:00 και β) 14:00 UTC.



Εικόνα 48: Υπέρυθρο κανάλι στα 12μm στις 19:00 και 22:00 UTC, 9 Ιουνίου 2009.

Στην εικόνα 49α, με το βασικό χάρτη των 500 mb, παρατηρείται ότι από την περιοχή των Βαλκανίων μόνο η δυτική Ελλάδα και η Αλβανία βρίσκονται στο μπροστινό τμήμα μιας ράχης, καθώς η ισοϋψής των 5840 μέτρων εκτείνεται από την Αφρική προς την Βαλκανική χερσόνησο και αλλάζει πορεία πάνω από την Αλβανία (κόκκινο βέλος) με κατεύθυνση προς τα νοτιοανατολικά σε αντίθεση με τις ισουψείς χαμηλότερων γεωδυναμικών υψών που συνεχίζουν προς τα βορειοανατολικά. Η θερμοκρασία της επιφάνειας των 500 mb πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος (τετράγωνο) είναι γύρω στους -14 °C.

Στην εικόνα 49β, με το βασικό χάρτη στα 850 mb, παρατηρείται ότι η θερμοκρασία είναι περίπου στους 20 °C στην περιοχή που αναπτύσσονται οι καταιγίδες (μαύρο βέλος). Επομένως **η** διαφορά των 35 °C ανάμεσα στις δυο επιφάνειες (απέχουν περίπου 3000 μέτρα) είναι πολύ μεγαλύτερη από την τυπική θερμοβαθμίδα του υγρού ακόρεστου αέρα που είναι 6.7 °C ανά 1000 μέτρα και του υγρού κορεσμένου που είναι 5 °C ανά 1000 μέτρα γεγονός που είναι πολύ ευνοϊκό (μαζί με άλλους παράγοντες που θα αναλυθούν στη συνέχεια) για την δημιουργία αστάθειας ανάπτυξη καταιγίδων (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου 2004). Στις εικόνες 49γ και δ παρατηρείται ότι η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb, στην περιοχή των καταιγίδων της νότιας Βουλγαρίας που σχετίζονται με το στρόβιλο είναι θερμή αλλά με πολύ μικρές τιμές (κόκκινο βέλος) ενώ στην δυτική Ελλάδα είναι ψυχρή με επίσης πολύ μικρές τιμές (μαύρο βέλος). Γενικά η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb δεν φαίνεται να είναι τόσο ισχυρή ώστε να επηρεάζει τη γένεση και ανάπτυξη των καταιγίδων σε αυτή την περίπτωση.

Στην εικόνα 50 παρατηρείται ότι στην περιοχή ενδιαφέροντος (τετράγωνο) το πεδίο πιέσεων στην επιφάνεια της θάλασσας είναι ουδέτερο ενώ δεν υπάρχει κάποιο μέτωπο. Στην Πελοπόννησο υπάρχει ένα κέντρο χαμηλών πιέσεων που είναι ένδειξη σύγκλισης των ανέμων στα 10 μέτρα.



Εικόνα 49: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ) και δ) μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb την 9^η Ιουνίου 2009 στις 6:00 και 12:00 UTC, αντίστοιχα. Σε όλες τις εικόνες το μαύρο τετράγωνο δείχνει την περιοχή ενδιαφέροντος.

Στην εικόνα 51 παρατηρείται ότι ο αεροχείμμαρος δεν επηρεάζει την περιοχή ενδιαφέροντος και βρίσκεται πολύ δυτικά και βορειότερα. Συγκεκριμένα διασχίζει όλο τον Ατλαντικό και τη βόρεια Ευρώπη με σημείο αλλαγής διεύθυνσης από νοτιοανατολική σε βορειοανατολική στην περιοχή μεταξύ νότιας Γαλλίας και βόρειας Ισπανίας (κόκκινο βέλος).

Στην εικόνα 52α διακρίνεται με ανοιχτές αποχρώσεις του πράσινου ότι η απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb έχει μικρές θετικές τιμές πάνω από τις περισσότερες περιοχές των Βαλκανίων και ιδιαίτερα πάνω από τη νότια Σερβία και τη νότια Ελλάδα όπου αναπτύσσονται και τα κύτταρα των καταιγίδων και αυτή η παράμετρος ευνοεί την ανωμεταφορά (κόκκινο βέλος). Στην εικόνα 52β παρατηρείται ότι ο σχετικός στροβιλισμός έχει πολύ μεγάλες θετικές τιμές πάνω από το βορειοανατολικό Αιγαίο και τη Θράκη. Στην περιοχή με τις καταιγίδες έχει μεγάλη οριζόντια βαθμίδα (κόκκινο βέλος) και μειώνεται σημαντικότερα προς τα δυτικά. Ο άνεμος στην επιφάνεια των 300 mb είναι βόρειος μικρής έντασης στις ίδιες περιοχές. Στην εικόνα 53 παρατηρείται ότι ο άνεμος στην επιφάνεια των 500 mb είναι βορειοδυτικός και ο σχετικός στροβιλισμός (όπως και στην επιφάνεια των 300 mb) είναι μεγάλος πάνω από το βορειοανατολικό Αιγαίο και τη Θράκη, ενώ στην περιοχή με τις καταιγίδες έχει μεγάλη οριζόντια βαθμίδα.



Εικόνα 50:Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 51: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας των 300 mb με ισουψείς (μαύρες γραμμές) στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων.



Εικόνα 52 α) Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 9 Ιουνίου 2009, 12:00 UTC.



Εικόνα 53: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 9 Ιουνίου 2009, 12:00 UTC.

Στην εικόνα 54 διακρίνεται με μπλε και κίτρινες αποχρώσεις ότι ο δείκτης αστάθειας CAPE έχει μέτριες τιμές (400 και άνω) κυρίως πάνω από την ανατολική Θεσσαλία και τη Μακεδονία (λευκό βέλος) και πολύ υψηλές τιμές (1000 και άνω) με κόκκινες αποχρώσεις στα κεντρικά Βαλκάνια (κόκκινο βέλος). Όπως φαίνεται μέσα σε μαύρη έλλειψη, οι δυτικοί άνεμοι στα 10 μέτρα συγκλίνουν με τους ανατολικούς. Αυτή η σύγκλιση παρατηρείται σε ολόκληρη τη δυτική Βαλκανική χερσόνησο. Οι δύο τελευταίοι παράγοντες ευνοούν επίσης της ανωμεταφορά.

Στην εικόνα 55 παρατηρείται ότι η σχετική υγρασία στα 1000 mb ήταν αυξημένη τόσο στις 6:00 όσο και τις 12:00 UTC πάνω από όλη τη Βαλκανική χερσόνησο οπότε η σύγκλιση των ανέμων στα χαμηλά στρώματα ευνοεί την ανάπτυξη καταιγιδοφόρων συστημάτων.

Στην εικόνα 56α, με τις κατακόρυφες κινήσεις στην επιφάνεια των 700 mb παρατηρούνται με σκούρα μπλε χρώματα οι καθοδικές κινήσεις στην Θράκη και με κόκκινα και κίτρινα χρώματα οι **ανοδικές κινήσεις στην Ήπειρο, τη δυτική Μακεδονία και τη δυτική Θεσσαλία**. Οι καταιγίδες φαίνεται να αναπτύσσονται στο όριο των δυο αυτών περιοχών δηλαδή των έντονων καθοδικών με τις ανοδικές κινήσεις (μαύρο βέλος) καθώς και στην περιοχή με σχετικά έντονες ανοδικές κινήσεις στην δυτική Ελλάδα (μπλε βέλος). Στη Ρουμανία δεν παρατηρούνται έντονες κατακόρυφες κινήσεις και λόγω της ορογραφίας της περιοχής υπάρχει η ανάπτυξη Cu αλλά δεν υπάρχει δυναμική για ανάπτυξη Cb.

Στην εικόνα 56β παρατηρείται ότι σε όλη την ηπειρωτική Ελλάδα τη Ρουμανία και τη δυτική Βουλγαρία η σχετική υγρασία στα 700 mb είναι αυξημένη. Αυτός είναι καθοριστικός παράγοντας για την δημιουργία νεφών και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες οδηγεί στη δημιουργία καταιγίδων.



Εικόνα 54: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης αστάθειας CAPE (j/kg) με αποχρώσεις στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Η έλλειψη δείχνει την περιοχή όπου οι άνεμοι συγκλίνουν. Οι γαλάζιες και πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μέτριες τιμές και οι κίτρινες και κόκκινες σε μεγάλες τιμές του δείκτη CAPE.



Εικόνα 55:Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 9 Ιουνίου 2009 στις α) 6:00 και β) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη υγρασία.



Εικόνα 56: α) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 10 Μαΐου 2009 στις 12:00 UTC στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις. β) Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 10 Μαίου 2009, 12:00 UTC.

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 57 στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm, στην περιοχή του βορείου Αιγαίου υπάρχει ένας στρόβιλος κυκλωνικής τροχιάς (κόκκινο βέλος στην εικόνα 52α). Μέσα σε αυτόν το στρόβιλο υπάρχουν ξηρές ζώνες που στροβιλίζονται μέσα σε περιοχή μεγάλης υγρασίας. Οι ξηρές ζώνες ή δυναμικές ανωμαλίες (μπλε βέλος στην εικόνα 57α) όπως ονομάζονται, συνδέονται με καθίζηση και με θετικές ανωμαλίες δυναμικού στροβιλισμού. Στις εικόνες στο κανάλι υδρατμών διακρίνονται με σκούρους τόνους του γκρι. Η ροή του ανέμου στην περιοχή του βορείου Αιγαίου είναι από τα βορειοανατολικά.

Στην περιοχή A1 (εικόνα 57α) δείχνει ότι η ανωμεταφορά ξεκίνησε στις 09:30 UTC πάνω σε ευδιάκριτο όριο ξηρού με υγρό αέρα. Μισή ώρα αργότερα στις 10:00 UTC όπως φαίνεται στην εικόνα 57β αναπτύσσονται νέα κύτταρα σε γειτονικά σημεία και κυρίως μέσα στην υγρή περιοχή.

Στις 10:30 UTC (εικόνα 57γ) αναπτύσσονται νέα κύτταρα στην περιοχή **Β** πάνω σε όριο ξηρού με υγρό αέρα. Στις 11:00 αναπτύχθηκε κύτταρο στην περιοχή **Γ** που είναι σχετικά υγρή και βρίσκεται μακριά από όριο ξηρού-υγρού αέρα. Στην εικόνα 57ζ, στις 12:30 UTC, παρατηρείται η ανάπτυξη ενός κυττάρου στην περιοχή Δ1 που είναι σχετικά ξηρή και στην περιοχή **Ε** που είναι υγρή.

Τέλος όπως φαίνεται στις εικόνες 57ι και κ στις 14:00 και 15:00 UTC αντίστοιχα αναπτύσσονται νέα κύτταρα **σε σχετικά ξηρές περιοχές (Δ2,Δ3**) στην ηπειρωτική Ελλάδα. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα κύτταρα στην κεντρική Ελλάδα δεν έχουν σχέση με στρόβιλο στην ανώτερη τροπόσφαιρα.

Όπως φαίνεται με μπλε αριθμούς στην εικόνα 57α οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στο κανάλι στα 6.2 μm, σε όλες τις περιοχές κυμαίνονται από -39 °C στις φωτεινές περιοχές έως -30 °C στις σκοτεινές με έντονες διακυμάνσεις στους τόνους του γκρι στην περιοχή του στροβίλου.

Γενικά παρατηρείται ότι την πιο έντονη ανάπτυξη την είχαν οι περιοχές πάνω σε όρια υγρούξηρού αέρα στην περιοχή του στροβίλου.





Εικόνα 57 Κανάλι υδρατμών 6,2 μm στις 9 Ιουνίου 2009 στις α) 9:30, β) 10:00, γ) 10:30, δ) 11:00, ε)11:30, στ) 12:00, ζ) 12:30, η) 13:00, θ) 14:00, ι) 15:00 UTC. (Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 57 α δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας του καναλιού 6.2 μm την συγκεκριμένη χρονική στιγμή)

Παρατηρώντας τις εικόνες στο κανάλι υδρατμών με κέντρο τα 7.3 μm (εικόνα 58) διακρίνεται ότι οι ζώνες με διαφορετική υγρασία στην περιοχή του στροβίλου είναι πολύ πιο δυσδιάκριτες. Όπως είναι γνωστό το κανάλι αυτό δέχεται ακτινοβολία από χαμηλότερα στρώματα από το κανάλι στα 6.2 μm.

Στις 8:00 και 9:00 UTC (εικόνες 58α και β), παρατηρείται η έναρξη ρηχής ανωμεταφοράς δηλαδή μια περιοχή από νέφη Cu στην περιοχή A1 (κίτρινο βέλος στην εικόνα 58α). Τα Cu στις νοτιότερες περιοχές σχηματίζονται σε όριο σχετικά υγρής με σχετικά ξηρή περιοχή και στις βορειότερες σε ξηρή περιοχή. Κατά κύριο λόγο αυτά τα νέφη σχηματίζονται πάνω από τους ορεινούς όγκους της νότιας Βουλγαρίας. Γενικά τα κύτταρα που σχηματίστηκαν σε όρια και προς την περιοχή με μεγάλη υγρασία αναπτύχθηκαν πολύ έντονα σε Cb ενώ τα υπόλοιπα παρέμειναν ως Cu και δεν είχαν μεγαλύτερη ανάπτυξη.

Συγκρίνοντας τις δυο αυτές εικόνες στα 7.3 μm, δηλαδή την 58α και β με τις αντίστοιχες στα 6.2 μm δηλαδή την 57α και β, παρατηρείται ότι οι κορυφές νεφών που διακρίνονται στο κανάλι στα 7.3 μm είναι πολύ περισσότερες ειδικά στη νότια Βουλγαρία. Αυτό γίνεται επειδή αυτό το κανάλι δέχεται ακτινοβολία από χαμηλότερα στρώματα από το κανάλι στα 6.2 μm έτσι τα νέφη που αναπτύχθηκαν λιγότερο και κατά συνέπεια είναι σε χαμηλότερα ύψη μπορούν να γίνουν ορατά. Ταυτόχρονα διακρίνονται και κάποια υψηλά νέφη δηλαδή Ci, Cs (με πράσινα βέλη στην εικόνα 58α).

Στις 10:00 UTC (εικόνα 58γ) παρατηρούνται τα πρώτα καταιγιδοφόρα κύτταρα σε ασθενή όρια ανάμεσα σε σχετικά ξηρές με σχετικά υγρές περιοχές A1 και B ενώ αρχίζει να φαίνεται και η κορυφή του νέφους στην περιοχή Γ χωρίς να φαίνεται την ίδια ώρα στο κανάλι στα 6.2μm. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περιοχή A2 τα νέφη αν και μοιάζουν δεν είναι καταιγίδες αλλά αποτελούν κάποια υψηλά νέφη που κινούνται γρήγορα προς τα ανατολικά και προηγούνται ενός ψυχρού μετώπου.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 58ε) διακρίνονται τρεις κύριες περιοχές που υπάρχουν καταιγιδοφόρα κύτταρα που έχουν αναπτυχθεί πλήρως. Τα κύτταρα στις περιοχές A1, B, που βρίσκονται πάνω σε όρια υγρού-ξηρού αέρα και στην περιοχή Γ που είναι σχετικά υγρή. Το ίδιο ισχύει και στις αντίστοιχες εικόνες στα 6.2 μm. Είναι φανερό ότι τα κύτταρα που βρίσκονται σε περιοχές με μεγαλύτερη υγρασία στα 7.3 μm αναπτύσσονται πολύ περισσότερο σε Cb. Σε αυτή την χρονική στιγμή ισχύει αυτό που αναφέρθηκε και για μια ώρα πριν δηλαδή διακρίνονται περισσότερες κορυφές νεφών από το κανάλι στα 6.2 μm.

Στις 12:00 UTC (εικόνα 58ζ) παρατηρείται η ανάπτυξη κυττάρων στις περιοχές Δ1, Ε σε ασθενές όριο σχετικά υγρής με σχετικά ξηρή και σε υγρή περιοχή αντίστοιχα. Στην αντίστοιχη εικόνα στα 6.2 μm την ίδια ώρα το κύτταρο στην περιοχή Δ1 διακρίνεται πολύ δύσκολα (εικόνα 57στ). Αυτά τα νέφη δημιουργούνται στις κορυφές της Πίνδου και μάλλον είναι ορογραφικής προέλευσης κάποια από τα οποία μετά τις 15:00 αναπτύσσονται σημαντικά. Από τις 11:00 UTC και αργότερα (εικόνα 58ε, στ) παρατηρείται ότι κατά μήκος της ορεινής ζώνης της κεντρικής ηπειρωτικής Ελλάδας (κόκκινο βέλος) υπάρχει μια γραμμή από σωρειτόμορφα νέφη τύπου Cu (μέσα σε ξηρή περιοχή) που είναι ορογραφικής προέλευσης. Κατά μήκος αυτής της γραμμής από τις 13:00 UTC (εικόνα 58η) και μετά είναι ευδιάκριτα κάποια καταιγιδοφόρα κύτταρα, οι κορυφές των οποίων δεν διακρίνονται στο κανάλι στα 6.2 μm. Με κόκκινα βέλη είναι είναι σημειωμένα κάποια νέφη Cu.

Στη συνέχεια και συγκεκριμένα από τις 14:00 UTC (εικόνα 58θ) αναπτύσσονται περισσότερο τα καταιγιδοφόρα κύτταρα στις περιοχές κατά μήκος της γραμμής σωρειτόμορφων νεφών σε ξηρή περιοχή στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα δηλαδή στις περιοχές Δ1, Δ2, Δ3. Κατά μήκος και της υπόλοιπης ορεινής ζώνης στη κεντρική Ελλάδα φαίνονται κάποια νέφη Cu (κόκκινα βέλη στην εικόνα 58η) που δεν διακρίνονται στην εικόνα στα 6.2 μm την ίδια χρονική στιγμή αλλά διακρίνονται τα τρία μεγάλα κύτταρα που αναπτύσσονται στη κεντρικής Πλάδα και σε υγρή περιοχή. Η γραμμή κατά μήκος της ορεινής ζώνης της κεντρικής παιρωτικής Ελλάδας δεν διακρίνεται στα 6.2 μm και οι περιοχές Δ1, Δ2, Δ3 είναι επίσης σχετικά ξηρές σε αυτό το κανάλι.

Στις 15:00 UTC (εικόνα 58ι) φαίνονται επίσης πλήρως ανεπτυγμένα και τα κύτταρα στην κεντρική Ελλάδα γύρω από την υγρή ζώνη που προαναφέρθηκε ενώ και στην αντίστοιχη εικόνα στα 6.2 μm (εικόνα 57ι) υπάρχει αρκετή υγρασία. Στην περιοχή της δυτικής Βουλγαρίας (με κόκκινο βέλος) διακρίνονται σε σχετικά υγρή περιοχή κάποια νέα κύτταρα καταιγίδων. Λίγο δυτικότερα αυτών (κίτρινο βέλος στην εικόνα 58ι) διακρίνονται και άλλα κύτταρα στα 7.3 μm ενώ στο κανάλι στα 6.2 φαίνεται μόνο υγρασία.

Συνοπτικά δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δύο κανάλια, καθώς οι καταιγίδες αναπτύσσονται κάτω από παρόμοιες συνθήκες υγρασίας. Οι δύο πιο ουσιαστικές διαφορές είναι η εμφάνιση περισσότερων σωρειτόμορφων νεφών στο κανάλι στα 7.3 μm από ότι στα 6.2 μm λόγω του γεγονότος ότι το κανάλι στα 7.3 μm δέχεται ακτινοβολία από την κατώτερη τροπόσφαιρα και η πολύ πιο έντονη εμφάνιση του στροβίλου κυκλωνικής τροχιάς στα 6.2 μm το οποίο δέχεται ακτινοβολία από τα ανώτερα στρώματα.




Εικόνα 58 Κανάλι υδρατμών 7,3 μm στις 9 Ιουνίου 2009 στις α) 8:00 UTC ,β) 9:00 UTC ,γ) 10:00 UTC δ) 10:30 UTC, ε) 11:00 UTC ,στ) 11:30 UTC, ζ) 12:00, η) 13:00, θ) 14:00, ι) 15:00 UTC. (Οι μπλε αριθμοί στην εικόνα 58γ δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας του καναλιού 7.3 μm τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή)

Στην εικόνα 59 διακρίνεται η περιοχή ενδιαφέροντος με τη διαφορά των καναλιών 5-6. Οι περιοχές που έχουν μεγάλη υγρασία στο ύψος των 700 mb με 600 mb έχουν διαφορά -16 με -20 °C και απεικονίζονται με ελαφρώς ανοικτούς τόνους του γκρι. Πιο σκούροι τόνοι του γκρι, δηλαδή με διαφορά θερμοκρασιών ανάμεσα στα δυο κανάλια περίπου -25 °C, σημαίνει ότι υπάρχει υγρασία σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Πιο ανοικτοί τόνοι του γκρι με διαφορά -5 °C και λιγότερο σημαίνει την ύπαρξη νεφών.

Γενικά οι ανοικτοί τόνοι του γκρι σε μια περιοχή (στις εικόνες με τη διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5) σε συνδυασμό με θερμούς τόνους του γκρι στα 6.2 μm, δηλαδή με θερμοκρασίες λαμπρότητας μεγαλύτερες από -39 °C και ψυχρούς τόνους στα 7.3 μm, δηλαδή με θερμοκρασίες λαμπρότητας μικρότερες από -19 °C, δείχνουν την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας (Santurette, Georgiev, Piriou 2009). Η παρουσία της δυναμικής αστάθειας οφείλεται στην ύπαρξη ξηρής μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με θερμή και υγρή στην κατώτερη (σύμφωνα με τις εικόνες στα κανάλια υδρατμών). Έτσι ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις και κατ'επέκταση η δημιουργία και η ανάπτυξη καταιγίδων.

Στις 09:00 UTC (εικόνα 59α) παρατηρείται ότι τα καταιγιδοφόρα κύτταρα αναπτύσσονται κοντά σε όριο περιοχής με σχετικά ανοικτούς τόνους του γκρι (δηλαδή με υψηλή υγρασία στα 700 mb) με περιοχή με σκούρους τόνους του γκρι (δηλ. χαμηλής υγρασίας σε αυτή τη στάθμη αλλά με περισσότερη στα μεγαλύτερα υψόμετρα). Αυτό σημαίνει όπως αναφέρθηκε και πριν ότι στην περιοχή με υψηλή σχετική υγρασία στα χαμηλά στρώματα (700 mb) ευνοείται η έναρξη της ανωμεταφοράς και η δημιουργία καταιγίδων ενώ στην περιοχή που συνορεύει με υψηλή υγρασία στα μεγαλύτερα υψόμετρα.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 59γ) τα καταιγιδοφόρα κύτταρα συνεχίζουν να αναπτύσσονται με μεγάλο ρυθμό στις ίδιες περιοχές δηλαδή την A1 και B όπου βρίσκονται πάνω σε όριο φωτεινών και σκοτεινών τόνων του γκρι. Η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm στις περιοχές αυτές είναι -37 °C και οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι -15 °C. Έτσι βγαίνει το συμπέρασμα ότι **η** δυναμική αστάθεια δεν είναι το κύριο αίτιο δημιουργίας των καταιγίδων στις περιοχές A1, B επειδή η θερμοκρασία στα 7.3 είναι αρκετά υψηλότερη από τους -19 °C που είναι το κρίσιμο όριο για την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας.

Ταυτόχρονα σε άλλες περιοχές με σκούρους τόνους του γκρι δηλαδή με διαφορές -22 °C, και με θερμοκρασίες λαμπρότητας θερμότερες από -19 °C στα 7.3 μm αλλά ταυτόχρονα ψυχρές θερμοκρασίες στα 6.2 μm, δηλαδή επίσης **απουσία δυναμικής αστάθειας όπως η Γ και η Δ1** στις 12:00 UTC αναπτύσσονται καταιγίδες.

Όπως είναι γνωστό στις εικόνες με τη διαφορά των καναλιών 5-6 οι φωτεινοί τόνοι του γκρι υποδηλώνουν την παρουσία υγρασίας στα κατώτερα στρώματα και ξηρού αέρα στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και οι σκούροι τόνοι του γκρι υποδηλώνουν την παρουσία του κύριου στρώματος υγρασίας στα ανώτερα στρώματα.





Εικόνα 59: Διαφορά καναλιών (5-6) στις 9 Ιουνίου 2009 στις α) 9:00 UTC, β) 10:00 UTC, γ) 11:00 UTC, δ) 12:30 UTC, ε) 13:00 UTC, στ) 14:00 UTC (Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 59α δείχνουν τις διαφορές του καναλιού 6 από το 5 τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή)



Εικόνα 60: Εικόνες του προϊόντος RGB "Αέριες μάζες" πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 10:00 UTC, β) 11:00 UTC, γ) 13:00 UTC, δ) 15:00 UTC, ε) 17:00 UTC, στ) 18:00 UTC, στις 9 Ιουνίου 2009. Με μπλε βέλη διακρίνεται η ψυχρή και υγρή αέρια μάζα, με λευκό η θερμή και υγρή και με πορτοκαλί, η ψυχρή και ζηρή μάζα.

Στην εικόνα 60 διακρίνεται ότι στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχει μια ψυχρή υγρή αέρια μάζα (μπλε βέλος) η οποία περιστρέφεται μαζί με μια ξηρή μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού (κόκκινο βέλος). Η παρουσία δυναμικών αιτίων, δηλαδή στροβιλισμού (σχετικού και δυναμικού),

σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τη ξηρή μάζα και θερμαίνει τα κατώτερα στρώματα, ευνοεί την ανάπτυξη καταιγιδοφόρων κυττάρων. Η γειτνίαση με την ψυχρή και υγρή αέρια μάζα τροφοδοτεί με περεταίρω υγρασία τα κύτταρα και ευνοεί την ανάπτυξη τους. Στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου και δυτικότερα με λευκό βέλος διακρίνεται η θερμή αέρια μάζα.

Συγκεκριμένα στις 10:00 UTC (εικόνα 60α) διακρίνεται η ρηχή ανωμεταφορά στις ορεινές περιοχές της νότιας Βουλγαρίας στο όριο της ψυχρής και υγρής με τη ξηρή μάζα στην περιοχή A1. Ταυτόχρονα διακρίνονται τα υψηλά νέφη στην περιοχή A2 μέσα στη ψυχρή και υγρή αέρια μάζα τα οποία όμως αν και μοιάζουν δεν είναι καταιγιδοφόρα κύτταρα αλλά κάποια υψηλά νέφη που κινούνται γρήγορα προς τα ανατολικά και μαρτυρούν το πλησίασμα ενός ψυχρού μετώπου στην περιοχή.

Στις 11:00 (εικόνα 60β) τα κύτταρα στην περιοχή A1 και B που βρίσκονται στα όρια ψυχρής ξηρής και υγρής αέριας μάζας έχουν αναπτυχθεί σημαντικά. Ενδιάμεσα τους κάποια κύτταρα κάτω από τη ξηρή μάζα δεν μπορούν να αναπτυχθούν έντονα λόγω της απουσίας υγρασίας στα ανώτερα στρώματα. Την ίδια χρονική στιγμή αρχίζει η ανάπτυξη του κυττάρου στην υγρή και ψυχρή περιοχή Γ πάνω από ορεινό όγκο.

Στις 13:00 (εικόνα 60γ) αναπτύσσονται κύτταρα σε θερμή μάζα σε όριο με ψυχρότερη και υγρή στον ορεινό κορμό της κεντρικής ηπειρωτικής Ελλάδας (περιοχές Δ1, Δ2, Δ3).

Στις 15:00 UTC (εικόνα 60δ) τα κύτταρα κατά μήκος του ηπειρωτικού κορμού δηλαδή στις περιοχές Δ1, Δ2, Δ3 της κεντρικής Ελλάδας αναπτύσσονται περισσότερο.

Στις 17:00 και 18:00 UTC (εικόνα 60ε και στ) οι καταιγίδες που προαναφέρθηκαν κατά μήκος των οροσειρών της κεντρικής Ελλάδας (συγκεκριμένα στις περιοχές Δ1, Δ2, Δ3 που είναι ορογραφικής προέλευσης και δεν έχουν σχέση με το στρόβιλο) δεν είχαν την ανάλογη ανάπτυξη με τις καταιγίδες στις περιοχές Α1, Β. Αυτό οφείλεται στην απουσία έντονου στροβιλισμού αλλά και την παρουσία κάποιας ποσότητας υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα που εμπόδισε την θέρμανση των κατώτερων στρωμάτων η οποία θα βοηθούσε στην περεταίρω ανάπτυξη των νεφών.

Συνοπτικά τη συγκεκριμένη ημέρα υπήρχαν πολλοί παράγοντες που ευνόησαν την ανάπτυξη των καταιγίδων. Η διαφορά της θερμοκρασίας της επιφάνειας των 500 mb από την επιφάνεια των 850 mb ήταν 35 °C και ήταν τόσο μεγάλη που αποτελεί ένδειξη θερμοδυναμικής αστάθειας όπως αναφέρθηκε και πριν. Η απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb είναι θετική, γεγονός που ευνοεί τις ανοδικές κινήσεις. Η επιφάνεια των 700 mb και γενικά η κατώτερη τροπόσφαιρα έχει αυξημένη σχετική υγρασία και ανοδικές κινήσεις στις περιοχές των καταιγίδων. Το ίδιο συμβαίνει με το στροβιλισμό στην ατμόσφαιρα που είναι θετικός. Στην κατώτερη τροπόσφαιρα γίνεται σύγκλιση υγρών ανέμων πράγμα που σημαίνει την έναρξη της ανωμεταφοράς. Τέλος, ο δείκτης αστάθειας CAPE έχει υψηλές τιμές. Με βάση τις δορυφορικές εικόνες, τα καταιγιδοφόρα συστήματα που αναπτύχτηκαν πιο έντονα ήταν σε περιοχές με μεγάλη οριζόντια βαθμίδα υγρασίας στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, γεγονός το οποίο συνέβαλε στη θέρμανση της κατώτερης τροπόσφαιρας στην ξηρή περιοχή στο κανάλι υδρατμών λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και βοήθησε στην έναρξη της ανωμεταφοράς και τη δημιουργία νέφους Cu. Στη συνέχεια η συνέχιση της ανωμεταφοράς και η γειτνίαση με υγρό αέρα στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας βοήθησε στην ανάπτυξη του νέφους και την εξέλιξη του σε καταιγιδοφόρο Cb. Κάτι αντίστοιχο φαίνεται και στις εικόνες με τις αέριες μάζες όπου η γειτνίαση μιας ψυχρής και υγρής με ψυχρή και ξηρή πάνω από ορεινή περιοχή επιβεβαιώνει το συμπέρασμα που αναφέρθηκε με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως έγινε αντιληπτό από το ορατό κανάλι η παρουσία οροσειρών στις περιοχές με τις καταιγίδες βοήθησε τον ανυψούμενο αέρα να φτάσει στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς.

Επίσης όπως φαίνεται στις δορυφορικές εικόνες οι καταιγίδες στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα δεν είχαν πολύ έντονη ανάπτυξη όπως αυτές της βόρειας Ελλάδας και της νότιας Βουλγαρίας. Η ύπαρξη στροβιλισμού ήταν αμελητέα όπως και η δυναμική αστάθεια. Παρόλαυτά όμως, η σύγκλιση υγρών ανέμων στα κατώτερα επίπεδα και η απόκλιση στα ανώτερα, η παρουσία υψηλών οροσειρών και έστω και ασθενούς βαθμίδας υγρασίας στα κανάλια υδρατμών, ήταν ικανοί παράγοντες στην ανάπτυξη καταιγιδοφόρων συστημάτων.

4.1.3 Τρίτη περίπτωση

Στις 22 Αυγούστου 2009 στις ορεινές περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας αναπτύχθηκαν καταιγίδες τις μεσημεριανές ώρες σε συνθήκες αίθριου καιρού. Όπως φαίνεται στις 8:00 UTC (εικόνα 61α), πάνω από την περιοχή της Ελλάδας και της υπόλοιπης Βαλκανικής χερσονήσου δεν υπήρχαν νεφώσεις και μόνο στις ορεινές περιοχές εμφανίστηκαν νέφη Cu (πράσινα βέλη) που μαρτυρούν την ύπαρξη ρηχής ανωμεταφοράς.

Στις 16:00 UTC (εικόνα 62α με κόκκινα βέλη) φαίνονται νέφη Cb πάνω από τους ορεινούς όγκους της δυτικής Ελλάδας. Η ανάπτυξη τους ωστόσο ήταν σχετικά περιορισμένη. Η διάρκεια τους ήταν περίπου τρείς ώρες και συγκεκριμένα από τις 14:00 έως τις 17:00 UTC. Όπως φαίνεται στις 16:00 UTC κάποια νέφη δεν είχαν περεταίρω ανάπτυξη και παρέμειναν σαν Cu (πράσινα βέλη).

Στο κανάλι 10 του MSG στα 12μm (εικόνα 62α), φαίνονται στις 14:30 UTC τα καταιγιδοφόρα κύτταρα στην φάση της ανάπτυξης (κόκκινο βέλος), ενώ στις 18:00 UTC (εικόνα 62β) καθώς οι καταιγίδες έχουν διαλυθεί στην περιοχή διακρίνονται μόνο χαμηλά νέφη (κόκκινο βέλος).



Εικόνα 61: Ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις 22 Αυγούστου 2009 στις α) 8:00 και β) 16:00 UTC. Τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυζης δείχνονται με βέλη.



Εικόνα 62: Υπέρυθρο κανάλι στα 12μm στις (α) 14:30 και (β) 18:00 UTC στις 22 Αυγούστου 2009.

Στην επιφάνεια των 500 mb (εικόνα 63α) διακρίνεται η ράχη των ισοϋψών, το μπροστινό τμήμα της οποίας καλύπτει τις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων. Η θερμοκρασία της επιφάνειας αυτής είναι περίπου -12 °C στις περιοχές με τις καταιγίδες (κόκκινο βέλος) και είναι χαμηλότερη από τις γύρω περιοχές. Στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 mb η θερμοκρασία στις ίδιες περιοχές είναι 20°C (μαύρο βέλος στην εικόνα 63β). Η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στις 2 επιφάνειες υπερβαίνει τους 30 °C στις περιοχές που δείχνονται με κόκκινα βέλη και καθώς η υψομετρική διαφορά τους είναι περίπου 3000 μέτρα, η θερμοβαθμίδα ξεπερνά κατά πολύ τόσο αυτή του υγρού κορεσμένου αέρα όσο και του υγρού ακόρεστου. Αυτό είναι ένδειξη θερμοδυναμικής αστάθειας.

Η μεταφορά θερμοκρασίας στην επιφάνεια των 850 mb (εικόνες 63γ και δ) είναι πολύ μικρή και δεν φαίνεται να επηρεάζει την γένεση και την ανάπτυξη των καταιγιδοφόρων νεφών.



Εικόνα 63: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ) και δ) Μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb στις 6:00 και 12:00 UTC αντίστοιχα. Οι κίτρινες και πορτοκαλί αποχρώσεις αντιστοιχούν σε θερμή μεταφορά. Με μαύρα πλαίσια απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος.

Στη μέση στάθμη της θάλασσας (εικόνα 64) με τα μέτωπα και τις ισοβαρείς, παρατηρείται το ουδέτερο πεδίο πιέσεων στην περιοχή ενδιαφέροντος (μαύρο τετράγωνο) και το ασθενές κέντρο των χαμηλών πιέσεων στην βορειοδυτική Ελλάδα που είναι ένδειξη σύγκλισης του ανέμου στα χαμηλά στρώματα στην περιοχή, επίσης, η περιοχή ενδιαφέροντος δεν επηρεάζεται από κάποιο μέτωπο.

Στην εικόνα 65 παρατηρείται ότι ο αεροχείμμαρος δεν επηρεάζει την περιοχή ενδιαφέροντος (κόκκινο τετράγωνο) και βρίσκεται πολύ δυτικά και βορειότερα. Συγκεκριμένα διασχίζει όλο τον Ατλαντικό και τη βόρεια Ευρώπη.



Εικόνα 64: Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Με μαύρο πλαίσιο απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 65: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας των 300 mb με ισουψείς (μαύρες γραμμές) στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων. Με κόκκινο πλαίσιο απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος.

Στην περιοχή με τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης τύπου Cb (κόκκινο βέλος στην εικόνα 66α) παρατηρείται θετική απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb, παράγοντας που ευνοεί την ανωμεταφορά. Ο άνεμος στην επιφάνεια αυτή είναι πολύ ασθενής. Ο σχετικός στροβιλισμός (μπλε βέλος στην εικόνα 66β) έχει θετικές τιμές πάνω από τα νότια Βαλκάνια, παράγοντας που επίσης ευνοεί την ανωμεταφορά. Οι νεφώσεις αναπτύσσονται σε περιοχή που υπάρχει μεγάλη οριζόντια βαθμίδα στροβιλισμού (μαύρο βέλος στην εικόνα 66β). Στην επιφάνεια των 500 mb (μπλε βέλος στην εικόνα 67) παρατηρείται ότι οι νεφώσεις αναπτύσσονται σε περιοχή με ασθενείς ανέμους και με ελαφρώς θετικό σχετικό στροβιλισμό.



Εικόνα 66 α) Άνεμος με βέλη και απόκλιση στα 300 mb με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 67: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC.

Στην εικόνα 68 παρατηρείται ότι στην περιοχή της βορειοδυτικής Ελλάδας και της Αλβανίας δηλαδή εκεί που αναπτύσσονται οι καταιγίδες, οι βορειοανατολικοί άνεμοι στα χαμηλά στρώματα από τα Βαλκάνια συγκλίνουν με τους βορειοδυτικούς από την θάλασσα (λευκή έλλειψη), έτσι ευνοείται η ανωμεταφορά. Ο δείκτης αστάθειας CAPE έχει πολύ μεγάλες τιμές (πάνω από 3000) μόνο στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου και μέτριες στις δυτικές περιοχές της Βαλκανικής και φαίνεται να βοηθάει στην ανάπτυξη των καταιγίδων. Η σχετική υγρασία στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας είναι αυξημένη (εικόνα 69), παράγοντας που επίσης ευνοεί σημαντικά την ανάπτυξη καταιγίδων σε συνδυασμό με την σύγκλιση των ανέμων στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας.



Εικόνα 68: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης αστάθειας CAPE (j/kg) με αποχρώσεις στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Η λευκή έλλειψη δείχνει την περιοχή όπου οι άνεμοι συγκλίνουν. Οι γαλάζιες και πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μέτριες τιμές και οι κίτρινες και κόκκινες σε μεγάλες τιμές του δείκτη.



Εικόνα 69: Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 22 Αυγούστου 2009 στις α) 6:00 και β) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη η καθόλου υγρασία αντίστοιχα.

Στην επιφάνεια των 700 mb διακρίνεται με αποχρώσεις του πράσινου, η αυξημένη σχετική υγρασία στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων (μπλε βέλη στην εικόνα 70α), ενώ με πορτοκαλί αποχρώσεις διακρίνονται οι ανοδικές κινήσεις στα 700 mb στην βορειοδυτική Ελλάδα και τα δυτικά Βαλκάνια (μπλε βέλη στην εικόνα 70β).



Εικόνα 70: α) Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Οι πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές σχετικής υγρασίας. β) Πίεση στην μέση στάθμη της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις.

Με κόκκινο βέλος στην εικόνα 71α διακρίνεται μια ζώνη παραμόρφωσης, η οποία στις εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm διακρίνεται ως μια ζώνη με ενδιάμεσους τόνους του γκρι χωρίς (ή ασθενή) δυναμικό στροβιλισμό. Η ζώνη αυτή προέρχεται από το μετασχηματισμό της ροής του ανέμου της ανώτερης τροπόσφαιρας και αλλάζει σχήματα από τη ροή του ανέμου (Georgiev and Santurette, 2005). Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο άνεμος στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι βορειοανατολικός στην ανατολική της πλευρά και δυτικός στη δυτική πλευρά (όπως φαίνεται με άσπρο βέλος στην εικόνα 66β).

Με πράσινα βέλη (εικόνα 71α) διακρίνεται η περιοχή με αυξημένη υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα με ανοικτούς τόνους του γκρι. Με κίτρινο βέλος διακρίνονται με πολύ ανοικτούς τόνους του γκρι κάποια υψηλά νέφη. Από τα κεντρικά Βαλκάνια και νοτιότερα ο αέρας στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι πολύ θερμός και ξηρός γιαυτό στις εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm απεικονίζεται με μαύρο χρώμα.

Όπως φαίνεται στο κανάλι των 6.2 μm (εικόνες 71 α έως και δ) από τις 12:00 έως τις 17:00 UTC αναπτύχθηκαν νεφικά κύτταρα στις περιοχές Α και Β που είναι εντελώς ξηρές και μακριά από κάποιο όριο υγρού-ξηρού αέρα. Η ανάπτυξη των κυττάρων είναι αργή και όχι έντονη γεγονός που οφείλεται στην έλλειψη υγρασίας στα ανώτερα στρώματα.



Εικόνα 71: Κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm στις α) 12:00 UTC, β) 13:00 UTC γ) 15:00 UTC δ) 17:00 UTC στις 22 Αυγούστου 2009. Ο αριθμός με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 71β είναι η θερμοκρασία λαμπρότητας του καναλιού στα 6.2 μm. Τα πράσινα βέλη (εικόνα 71α) δείχνουν την περιοχή με αυζημένη υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα, το κίτρινο βέλος δείχνει τα υψηλά νέφη και το κόκκινο κάποιες ζηρές ζώνες μέσα σε υγρή περιοχή.

Στα 7.3 μm (εικόνα 72) τα κύτταρα αναπτύσσονται σε περιοχή με μικρές ποσότητες υγρασίας. Συγκεκριμένα, στις 15:00 UTC φαίνονται τα κύτταρα στις περιοχές Α, Β που υπάρχουν πολύ μικρές ποσότητες υγρασίας.

Γενικά ισχύει ότι, όταν η θερμοκρασία λαμπρότητας στο κανάλι στα 6.2 μm είναι θερμότερη από την κρίσιμη τιμή των -39 °C, τότε η αέρια μάζα στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι αρκετά ξηρή ενώ αντίστοιχα όταν ταυτόχρονα η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι ψυχρότερη από -19 °C, τότε η αέρια μάζα στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι υγρή. Επομένως όταν ισχύουν ταυτόχρονα οι δυο αυτές συνθήκες υπάρχει δυναμική αστάθεια, ενώ αν έστω και μια συνθήκη δεν ισχύει τότε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm είναι στους -27 °C δηλαδή πολύ θερμότερη από -39 °C αλλά η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι 2009). Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο αέρας τόσο στα

ανώτερα όσο και στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι ξηρός, επομένως δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.

Παρατηρώντας τις εικόνες στα 7.3 μm διακρίνεται πολύ αμυδρά η ανωμεταφορά με τη μορφή υγρασίας στις ορεινές περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας στις 12:00 UTC (κόκκινα βέλη στην εικόνα 72α) ενώ δύο ώρες αργότερα διακρίνονται τα καταιγιδοφόρα Cb (εικόνα 72γ). Στην εικόνα στα 6.2 μm στις 12:00UTC (εικόνα 71α) δεν διακρίνεται καθόλου η ύπαρξη υγρασίας αλλά διακρίνονται μόνο τα καταιγιδοφόρα Cb να αναπτύσσονται πάνω από εντελώς ξηρή περιοχή δύο ώρες αργότερα στις περιοχές A, B (εικόνα 71γ).



Εικόνα 72: Κανάλι υδρατμών στα 7,3 μm στις α) 12:00 UTC, β) 13:00 UTC, γ) 15:00 UTC, δ) 17:00 UTC στις 22 Αυγούστου 2009. Ο αριθμός με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 72β είναι η θερμοκρασία λαμπρότητας του καναλιού στα 7.3 μm. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν την ύπαρζη υγρασίας στην ηπειρωτική Ελλάδα.

Στην εικόνα 73 με τις διαφορές του καναλιού 6 από το κανάλι 5, παρατηρείται ότι τα κύτταρα αναπτύχθηκαν σε σχετικά φωτεινή περιοχή με θερμοκρασία -17 °C που σημαίνει ότι το κύριο στρώμα υγρασίας βρίσκεται σε ύψος 600-700 mb. Όπως αναφέρθηκε και πριν η θερμοκρασία

λαμπρότητας στα 6.2 μm είναι πολύ μεγαλύτερη από -39 °C και η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι επίσης μεγαλύτερη από τους -19 °C οπότε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.



Εικόνα 73: Διαφορά καναλιών 5-6 στις α) 12:00 UTC, β) 13:00 UTC, γ) 15:00 UTC, δ) 17:00 UTC στις 22 Αυγούστου 2009. Ο αριθμός με κόκκινο χρώμα στην εικόνα 73β είναι η διαφορά του καναλιού 6 από το 5.

Όπως φαίνεται στο προϊόν RGB των αερίων μαζών (πορτοκαλί βέλος στην εικόνα 74α) τα κύτταρα αναπτύχθηκαν σε πολύ ξηρή και θερμή αέρια μάζα (πορτοκαλί χρώμα). Με μπλε βέλος διακρίνεται η ψυχρή και υγρή μάζα και με ροζ βέλη οι ξηρές και ψυχρές ταινίες. Με πράσινα βέλη σε θαλάσσιες περιοχές διακρίνονται θερμές και υγρές αέριες μάζες.

Στις 15:00 και 17:00 (εικόνες 74γ και δ), διακρίνονται (με πράσινα βέλη) οι πράσινοι τόνοι, δηλαδή η θερμή και υγρή αέρια μάζα μέσα στην οποία σχηματίστηκαν με οι καταιγίδες στις περιοχές Α, Β αλλά και πάνω από άλλες ηπειρωτικές περιοχές. Νωρίτερα η αέρια μάζα στις ίδιες περιοχές ήταν θερμή και ξηρότερη (πορτοκαλί αποχρώσεις) αλλά απέκτησε υγρασία εξαιτίας των ανοδικών κινήσεων και της μεταφοράς υγρασίας από κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας.



Εικόνα 74: Αέριες μάζες στις 22 Αυγούστου 2009 στις 12:00, 13:00, 15:00, 17:00 UTC. Το πορτοκαλί βέλος στην εικόνα 74α δείχνει την πολύ ζηρή και θερμή αέρια μάζα, το μπλε βέλος την ψυχρή και υγρή μάζα και το ροζ βέλος οι ζηρές και ψυχρές ταινίες. Τα πράσινα βέλη δείχνουν τις θερμές και υγρές αέριες μάζες.

Συνοπτικά την συγκεκριμένη ημέρα αναπτύχθηκαν πολύ λίγα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και μόνο στην βορειοδυτική Ελλάδα τα οποία δεν είχαν έντονη ανάπτυξη, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην ολική έλλειψη υγρασίας στην μέση και κυρίως στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Επίσης δεν υπήρχε δυναμική αστάθεια ούτε στροβιλισμός.

Πάντως η παρουσία ξηρού αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα άφησε την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει ανεπηρέαστη και θερμάνει αρκετά την κατώτερη τροπόσφαιρα και το έδαφος στην βορειοδυτική Ελλάδα και αυτό σε συνδυασμό με τη σύγκλιση των πλούσιων σε υγρασία ανέμων στα χαμηλά στρώματα σε συνδυασμό με το μέτριο δείκτη CAPE, ευνόησε τις ανοδικές κινήσεις. Η ανάπτυξη των καταιγιδοφόρων κυττάρων έγινε όπως ήταν φυσικό πάνω από ορεινές περιοχές επειδή ο ανυψούμενος αέρας έφτανε πιο εύκολα στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς.

4.1.4 Τέταρτη περίπτωση

Στις **19 Αυγούστου 2009** από τις μεσημεριανές ώρες αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα συστήματα στην Βουλγαρία, στην Ελλάδα και στη Ρουμανία. Τις πρώτες πρωινές ώρες ο καιρός ήταν αίθριος στις περισσότερες περιοχές των Βαλκανίων και μόνο στις ορεινές περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας, της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας (κίτρινα βέλη) εμφανίστηκε ρηχή ανωμεταφορά με τη μορφή Cu στις 8:00 UTC, όπως φαίνεται στο ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης (εικόνα 75α). Τα υψηλά νέφη στην Ρουμανία (μπλε βέλος) δεν ερευνώνται από την παρούσα εργασία. Στις 15:00 UTC (εικόνα 75β) διακρίνονται τα καταιγιδοφόρα νέφη Cb (κόκκινα βέλη) τα οποία κατά την κατακόρυφη ανάπτυξη τους έφτασαν σε μεγάλο ύψος. Σε ορισμένες περιπτώσεις διακρίνεται καθαρά το νέφος τύπου Ci που καλύπτει τις κορυφές τους, παρασυρόμενο από τους ανέμους της ανώτερης τροπόσφαιρας. Τα νέφη Cb αναπτύχθηκαν κυρίως στις πρωινές ώρες δεν είχαν περεταίρω ανάπτυξη (κίτρινα βέλη στην εικόνα 75β).

Η μέγιστη διάρκεια ζωής των καταιγίδων έφτασε τις 9 ώρες καθώς στις 10:00 διακρίνεται το πρώτο κύτταρο (κόκκινο βέλος στην εικόνα 75γ) στο κανάλι 10 του MSG στα 12 μm ενώ στις 19:00 UTC (εικόνα 75δ) οι καταιγίδες διαλύθηκαν αφήνοντας στην περιοχή μόνο χαμηλά νέφη (κίτρινα βέλη).





Εικόνα 75: Ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις α) 8:00 και β)15:00 UTC (τα Cb δείχνονται με κόκκινα βέλη και τα Cu με κίτρινα) και υπέρυθρο κανάλι στα 12μm στις γ) 10:00 και δ) 19:00 UTC, στις 19 Αυγούστου 2009

Στο χάρτη με τις ισουψείς και τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια των 500 mb (εικόνα 76α) παρατηρείται ότι οι δυτικές περιοχές των Βαλκανίων καλύπτονται από το μπροστινό τμήμα μιας ράχης ισοϋψών (λευκό βέλος). Η θερμοκρασία της επιφάνειας των 500 mb κυμαίνεται μεταξύ -12 και -14 °C (κόκκινο βέλος) στις κεντρικές (που αναπτύχθηκαν οι καταιγίδες) και βόρειες περιοχές. Στην επιφάνεια των 850 mb (εικόνα 76β) η θερμοκρασία στα κεντρικά Βαλκάνια (κίτρινο βέλος) κυμαίνεται μεταξύ 15 και 18 °C. Η διαφορά θερμοκρασίας των δύο αυτών επιφανειών είναι περίπου στους 27 με 29 °C και η υψομετρική τους διαφορά στα 3000 μέτρα. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι η θερμοβαθμίδα του αέρα στα κεντρικά Βαλκάνια ξεπερνά την τυπική θερμοβαθμίδα τους υγρού κορεσμένου και του υγρού ακόρεστου αέρα οπότε υπάρχει αστάθεια η εκδήλωση της οποίας ευνοεί, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, την εμφάνιση καταιγίδων. Η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb τόσο στις 6:00 όσο και στις 12:00 UTC (εικόνες 76γ και δ) είναι ελαφρώς θετική στις περιοχές με τις καταιγίδες αλλά δεν φαίνεται να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των καταιγίδων σε αυτή την περίπωση.





Εικόνα 76: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 19 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ) και δ) μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb την 19 Αυγούστου 2009 στις 6:00 και 12:00 UTC, αντίστοιχα. Σε όλες τις εικόνες το λευκό τετράγωνο δείχνει την περιοχή ενδιαφέροντος.

Στο χάρτη επιφάνειας (εικόνα 77) παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος (μαύρο τετράγωνο) βρίσκεται στις νότιες παρυφές ενός αντικυκλώνα ενώ στην περιοχή της Τουρκίας υπάρχει ένα χαμηλό. Ένα ψυχρό μέτωπο κινείται προς τα νότια στην περιοχή των βόρειων Βαλκανίων, το οποίο όμως δεν επηρεάζει τη γένεση των καταιγίδων που μελετώνται στην παρούσα εργασία.

Στο χάρτη με τις ισουψείς και τον αεροχείμμαρο στα 300 mb (εικόνα 78) παρατηρείται ότι ο αεροχείμμαρος διασχίζει τον Ατλαντικό ωκεανό και στη συνέχεια περνάει βορειότερα από την περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 77: Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 19 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Η περιοχή ενδιαφέροντος περικλείεται στο μαύρο τετράγωνο.



Εικόνα 78: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας των 300 mb με ισουψείς (μαύρες γραμμές) στις 19 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων.

Στο χάρτη με τη ροή του ανέμου και την απόκλιση στα 300 mb (εικόνα 79α) παρατηρείται με κόκκινο βέλος ότι στα κεντρικά Βαλκάνια και την κεντρική Ελλάδα η απόκλιση είναι θετική, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές είναι ελαφρώς αρνητική. Οι άνεμοι στις περιοχές με τις καταιγίδες είναι από βόρειες διευθύνσεις πολύ μικρής έντασης. Από το χάρτη με το σχετικό στροβιλισμό (εικόνα 79β) στην επιφάνεια των 300 mb παρατηρείται ότι στις περιοχές με τις καταιγίδες είναι ελαφρώς αρνητικός (κόκκινο βέλος) ενώ νοτιότερα αναπτύσσονται καταιγίδες σε περιοχές με ελαφρώς θετικό σχετικό στροβιλισμό (μαύρο βέλος). Στο χάρτη με τον άνεμο και το σχετικό στροβιλισμό στα 500 mb (εικόνα 80) παρατηρείται ότι στις περιοχές με τις καταιγίδες από τα βόρεια με μικρή ταχύτητα, ενώ ο στροβιλισμός στις ίδιες περιοχές είναι αρνητικός (μαύρο βέλος).



Εικόνα 79: Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου και δείχνονται με κόκκινο βέλος) και β) άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό σχετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό που στην εικόνα δείχνεται με κόκκινο βέλος) στις 19 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 80: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό και δείχνονται στην εικόνα με μαύρο βέλος) στις 19 Αυγούστου 2009, 12:00 UTC.

Στο χάρτη με τον άνεμο και τον δείκτη αστάθειας CAPE (εικόνα 81) παρατηρείται ότι στις περιοχές της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας υπάρχει σύγκλιση του βορειοανατολικού με τον βορειοδυτικό άνεμο (μαύρη έλλειψη) ενώ ο δείκτης CAPE στις ίδιες περιοχές είναι πολύ μικρός και δεν φαίνεται να επηρεάζει τη γένεση και ανάπτυξη των καταιγίδων. Η σχετική υγρασία στα 1000 mb είναι αυξημένη στα κεντρικά Βαλκάνια (μαύρο βέλος στην εικόνα 82), παράγοντας που διευκολύνει την ανάπτυξη των καταιγίδων στις περιοχές που οι άνεμοι στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας συγκλίνουν.



Εικόνα 81: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης αστάθειας CAPE (j/kg) με αποχρώσεις στις 19 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Η έλλειψη δείχνει την περιοχή όπου οι άνεμοι συγκλίνουν. Οι γαλάζιες και πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μέτριες τιμές και οι κίτρινες και κόκκινες σε μεγάλες τιμές του δείκτη.



Εικόνα 82: Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 19 Αυγούστου 2009 στις α) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη υγρασία.

Στον χάρτη με τις κατακόρυφες κινήσεις στα 700 mb, παρατηρούνται ανοδικές κινήσεις στα κεντρικά Βαλκάνια (εικόνα 83α). Συγκεκριμένα, οι καταιγίδες αναπτύσσονται στις περιοχές με ανοδικές κινήσεις στη Ρουμανία (μαύρο βέλος) και επίσης σε περιοχές με ανοδικές κινήσεις στη Βουλγαρία (μπλε βέλος). Η σχετική υγρασία στην ίδια επιφάνεια (εικόνα 83β) είναι αυξημένη στις περισσότερες περιοχές των Βαλκανίων (όπως φαίνεται με πράσινο χρώμα στην εικόνα 83β) και κατά συνέπεια και στις περιοχές με τις καταιγίδες (κίτρινο βέλος).



Εικόνα 83: α) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 9 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις και δείχνονται με κόκκινο βέλος και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις. Το μαύρο βέλος δείχνει τις ανοδικές κινήσεις που προκάλεσαν καταιγίδες στη Ρουμανία και το μπλε, το όριο ανοδικών καθοδικών κινήσεων Βουλγαρία β) Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 19 Αυγούστου 2009, 12:00 UTC (οι πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μεγάλες σχετικές υγρασίες και με κίτρινο βέλος). Στην εικόνα 84 απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος στο κανάλι στα 6.2 μm από τις 10:00 έως τις 13:00 UTC, ανά μισή ώρα. Διακρίνεται μια σχετικά γρήγορα κινούμενη προς τα νότια ξηρή ζώνη (κόκκινο βέλος στην εικόνα 84α). Η ξηρή αυτή ζώνη είναι μια ζώνη παραμόρφωσης, που αναγνωρίζεται στις εικόνες στο κανάλι υδρατμών σαν μια σκούρα ζώνη, χωρίς δυναμικό στροβιλισμό, που δεν συνδέεται με αεροχείμμαρο και αλλάζει σχήματα επηρεαζόμενη από την ανώτερη ροή του ανέμου (Georgiev and Santurette, 2005).

Στις 10:00 UTC (εικόνα 84α) αναπτύχθηκαν νεφικά κύτταρα ανωμεταφοράς στις περιοχές A, B πάνω σε ένα απότομο όριο ξηρού-υγρού αέρα και σε σχετικά υγρή περιοχή αντίστοιχα. Η περιοχή B νωρίτερα ήταν ξηρή λόγω της κίνησης της ζώνης προς τα νότια, έτσι η ηλιακή ακτινοβολία κατάφερε να εισχωρήσει ανεμπόδιστη και να θερμάνει τα κατώτερα στρώματα. Μια ώρα αργότερα αναπτύχθηκε το κύτταρο στην περιοχή Γ που είναι υγρή (εικόνα 84γ).

Στις 11:30 (εικόνα 84δ) αναπτύχθηκαν κύτταρα στην περιοχή Δ που είναι σε όριο υγρούξηρού αέρα. Στις 13:00 UTC (εικόνα 84στ) τα κύτταρα στις υγρές περιοχές Β, Γ ενώθηκαν, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν νέα κύτταρα στην περιοχή Α σε όριο υγρού με ξηρό αέρα. Ταυτόχρονα αναπτύχθηκαν νέα κύτταρα στην περιοχή Δ που είναι σε όριο υγρού-ξηρού αέρα, καθώς και περιοχή Ε που επίσης βρίσκεται κοντά σε όριο υγρού-ξηρού αέρα.

Γενικά όπως διακρίνεται στις εικόνες στα 6.2μm, τα καταιγιδοφόρα κύτταρα αναπτύχθηκαν σε περιοχές γύρω από την ζώνη παραμόρφωσης. Συγκεκριμένα καθώς κινείται προς τα νότια, οι βορειότερες περιοχές της είχαν ήδη θερμανθεί από την παρουσία της και άρχισε ανωμεταφορά ενώ στη συνέχεια με την έλευση υγρότερου αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα αναπτύχθηκαν καταιγίδες.

Αντίθετα στις νοτιότερες περιοχές με την παρουσία υγρού αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα πριν από την έλευση της δεν διευκολύνθηκε η θέρμανση των κατώτερων στρωμάτων. Έτσι οι περισσότερες καταιγίδες αναπτύχθηκαν σε όρια υγρού-ξηρού αέρα. Σε όλες τις περιοχές η ανάπτυξη των καταιγίδων είναι έντονη.



Εικόνα 84: Κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος στις 19 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30, γ) 11:00, δ) 11:30, ε) 12:00, στ) 13:00 UTC. Το κόκκινο βέλος στην εικόνα 84α δείχνει την ζηρή ζώνη.

Στην εικόνα 85 στο κανάλι στα 7.3 μm, η εικόνα είναι παρόμοια δηλαδή τα κύτταρα A, B σχηματίστηκαν πάνω σε όριο και σε σχετικά υγρή περιοχή αντίστοιχα (όπως και στο κανάλι στα 6.2μm) στις 10:00 UTC (εικόνα 85α). Ταυτόχρονα διακρίνονται κάποια νέφη ανωμεταφοράς δηλαδή Cu (κόκκινα βέλη) πάνω από τις ορεινές περιοχές της Ρουμανίας που δεν έχουν αναπτυχθεί

αρκετά για να φτάσουν σε μεγάλο ύψος. Για το λόγο αυτό τα νέφη αυτά δεν γίνονται αντιληπτά στην εικόνα των 6.2 μm. Κάποια υψηλά νέφη διακρίνονται πολύ βορειότερα (κίτρινο βέλος).

Στην υγρή περιοχή Γ στο κανάλι στα 7.3 μm το κύτταρο σχηματίστηκε στις 11:00 UTC (εικόνα 85γ) ενώ ταυτόχρονα και στα 6.2 μm στην ίδια περιοχή υπάρχει μεγάλη ποσότητα υγρασίας. Με κόκκινα βέλη διακρίνονται τα νέφη ρηχής ανωμεταφοράς στις ορεινές περιοχές της Ρουμανίας και της Ελλάδας που ταυτόχρονα δεν διακρίνονται στα 6.2 μm, ενώ με κίτρινο βέλος διακρίνονται τα υψηλά νέφη στην Ουκρανία.

Στις 11:30 αναπτύχθηκαν κύτταρα στην περιοχή Δ που είναι πάνω σε όριο υγρού με ξηρό αέρα (εικόνα 85δ) όπως και στα 6.2 μm.

Στις 13:00 UTC (εικόνα 85στ) αναπτύχθηκαν κύτταρα στην περιοχή Ε πάνω σε όριο σχετικά υγρού με σχετικά ξηρό αέρα ενώ και στα 6.2 μm την ίδια χρονική στιγμή τα κύτταρα αναπτύχθηκαν σε όριο υγρού-ξηρού αέρα.

Γενικά τα κύτταρα των καταιγίδων σχηματίζονται σε παρόμοιες συνθήκες ανάμεσα στα δυο κανάλια.





Εικόνα 85: Κανάλι υδρατμών στα 7.3 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος στις 19 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30, γ) 11:00, δ) 11:30,ε) 12:00,στ) 13:00 UTC. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 85ε δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 7.3 μm.

Από τις εικόνες με τις διαφορές του καναλιού 6 από το κανάλι 5, παρατηρείται ότι η αντίστοιχη ξηρή ζώνη στα 6.2 μm στα κεντρικά Βαλκάνια εδώ είναι φωτεινή (κόκκινα βέλη στην εικόνα 86α) που σημαίνει ότι το κύριο στρώμα της υγρασίας στις περιοχές αυτές βρίσκεται στα 600-700 mb. Στις 10:00 UTC (εικόνα 86α) παρατηρείται ότι τα κύτταρα στις περιοχές Α, Β αναπτύσσονται νότια και βόρεια από την φωτεινή περιοχή αντίστοιχα. Στην περιοχή Β, οι καταιγίδες αναπτύσσονται σε όριο φωτεινών με σκοτεινών περιοχών, δηλαδή σε περιοχές με μεγάλη κατακόρυφη βαθμίδα υγρασίας από τα 600-700 μέχρι τα 500 mb. Στην περιοχή Α, οι τόνοι του γκρι είναι σχετικά φωτεινοί, οπότε βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι καταιγίδες αναπτύχθηκαν σε περιοχή με το κύριο στρώμα υγρασίας στα 700-600 mb.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως όταν η θερμοκρασία λαμπρότητας στο κανάλι στα 6.2 μm είναι υψηλότερη από την κρίσιμη τιμή των -39 °C, τότε η αέρια μάζα στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι αρκετά ξηρή ενώ αντίστοιχα όταν ταυτόχρονα η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι χαμηλότερη από -19 °C, τότε η αέρια μάζα στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι υγρή, με συνέπεια να ευνοείται η δυναμική αστάθεια. (Santurette, Georgiev, Piriou 2009)

Στις δύο παραπάνω περιοχές (A, B) οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 6.2 μm είναι -36 °C, δηλαδή υψηλότερες από την κρίσιμη τιμή των -39 °C. Στα 7.3 μm οι θερμοκρασίες λαμπρότητας είναι -19 °C στην περιοχή B και -17 °C στην A. Έτσι βγαίνει το συμπέρασμα ότι στην περιοχή B υπάρχει μόνο οριακά δυναμική αστάθεια λόγω της ύπαρξης σχετικά ξηρής μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα και σχετικά υγρής και θερμής στα κατώτερα στρώματα.

Στις 11:00 (εικόνα 86γ) αναπτύσσεται κύτταρο στην περιοχή Γ που είναι σκοτεινή δηλαδή με στρώμα υγρασίας στα 500mb. Η θερμοκρασία λαμπρότητας στο κανάλι στα 6.2 μm είναι -42 °C και στο κανάλι στα 7.3 η θερμοκρασία λαμπρότητας είναι -18 °C που σημαίνει ότι **στην περιοχή** Γ

δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια εξαιτίας της ύπαρξης υγρής μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα.

Στις 13:00 UTC αναπτύχθηκαν κύτταρα στις περιοχές Δ και Ε. Η πρώτη είναι σχετικά φωτεινή δηλαδή το κύριο στρώμα υγρασίας βρίσκεται στα 700 mb και με θερμοκρασίες λαμπρότητας -30 και -13 °C στα 6.2 και 7.3 μm αντίστοιχα, ενώ στη δεύτερη περιοχή με τους πιο σκούρους τόνους του γκρι, το κύριο στρώμα υγρασίας είναι σε μεγαλύτερα υψόμετρα και με θερμοκρασίες λαμπρότητας - 35 και -15 °C στα 6.2 και 7.3 μm αντίστοιχα. Επομένως βγαίνει το συμπέρασμα ότι σε καμία από τις δύο περιοχές Δ, Ε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια εξαιτίας της ύπαρξης σχετικά ξηρής μάζας στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (παρόλο που το κύριο στρώμα υγρασίας στην περιοχή Δ είναι στα 700 mb, αυτή δεν είναι αρκετή για να δικαιολογήσει την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας).

Πάντως όπως διακρίνεται ανεξάρτητα από το αν μια περιοχή έχει ή όχι δυναμική αστάθεια, οι καταιγίδες αναπτύσσονται πολύ έντονα.





Εικόνα 86: Διαφορά καναλιών 5-6 στην περιοχή ενδιαφέροντος στις 19 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30, γ) 11:00, δ) 11:30, ε) 12:00, στ) 13:00 UTC. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν την ζώνη με το κύριο στρώμα υγρασίας στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας.

Στις εικόνες με το προϊόν RGB των αέριων μαζών (εικόνα 87α), διακρίνεται μια ψυχρή και υγρή αέρια μάζα στην βόρεια Ρουμανία (μοβ βέλος), η σχετικά ψυχρή και υγρή αέρια μάζα στη νότια Βουλγαρία (κίτρινο βέλος), η θερμή και ξηρή ανάμεσα στις δυο παραπάνω περιοχές (κόκκινο βέλος) και η θερμή και υγρή στην περιοχή του Αιγαίου (πράσινο βέλος).

Στις 10:30 UTC (εικόνα 87β) διακρίνονται κάποια νέφη ανωμεταφοράς τα οποία βρίσκονται σε μεσαίο ύψος (πορτοκαλί βέλη). Ιδιαίτερα τα νέφη στην περιοχή της Ρουμανίας σχηματίστηκαν σε ορεινές περιοχές και πάνω στο όριο της ψυχρής και υγρής μάζας βόρεια, με τη θερμότερη και ξηρή νότια. Όπως αναφέρθηκε και πριν, η θερμή και ξηρή μάζα κινείται προς τα νότια οπότε το έδαφος στις ορεινές περιοχές της Ρουμανίας έχει προλάβει να θερμανθεί από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Στη συνέχεια **η έλευση της ψυχρής και υγρής και υγρής αέριας μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη καταιγίδων στην περιοχή Β.** Πάντως και στις περιοχές νοτιότερα από την ξηρή μάζα αναπτύσσονται νέφη ανωμεταφοράς Cu.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 87γ) αναπτύχθηκε μια καταιγίδα στην περιοχή Γ που είναι πολύ ψυχρή και υγρή. Στις 13:00 UTC (εικόνα 87στ) παρατηρείται ότι η θερμή και ξηρή αέρια μάζα έχει κινηθεί νοτιότερα σε σχέση με τις εικόνες που προηγήθηκαν και ότι αναπτύχθηκαν καταιγίδες στις περιοχές Β, Γ που είναι βορειότερα, αλλά και τις περιοχές Α, Δ, Ε που βρίσκονται νοτιότερα και πάνω στο όριο της σχετικά ψυχρής και υγρής με τη θερμή και ξηρή.

Γενικά από τις εικόνες με τις αέριες μάζες παρατηρείται ότι στα όρια θερμής-ξηρής με ψυχρέςυγρές μάζες αναπτύσσονται έντονες καταιγίδες.



Εικόνα 87: Αέριες μάζες στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 10:00, β) 10:30, γ) 11:00, δ) 11:30,ε) 12:00, στ) 13:00 UTC. Η ψυχρή και υγρή αέρια μάζα δείχνεται με μοβ βέλος, η σχετικά ψυχρή και υγρή αέρια μάζα με κίτρινο, η θερμή και ζηρή με κόκκινο βέλος και η θερμή και υγρή με πράσινο βέλος. Τα πορτοκαλί βέλη στην εικόνα 87 β δείχνουν νέφη ανωμεταφοράς.

Συνοπτικά λοιπόν, παρατηρείται ότι την συγκεκριμένη ημέρα καταιγίδες αναπτύχθηκαν σε δυο διαφορετικές περιοχές. Η μια περιοχή είναι βορειότερα από τη ξηρή ζώνη και η άλλη είναι νοτιότερα. Καθώς η κίνηση της ξηρής αυτής ζώνης είναι από βορρά προς νότο, τα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας και το έδαφος θερμάνθηκαν αρκετά στις βόρειες περιοχές και στη

συνέχεια η έλευση της ψυχρής και υγρής αέριας μάζας ευνόησε την δημιουργία αστάθειας και καταιγίδων. Στις νότιες περιοχές οι καταιγίδες αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο σε όρια υγρούξηρού αέρα. Αυτό σημαίνει όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες περιπτώσεις ότι σε τέτοιες περιοχές η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται ανεπηρέαστη προς τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και τα θερμαίνει, έτσι ο αέρας γίνεται ελαφρύτερος και ανυψώνεται και στη συνέχεια με την παρουσία υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα της περιοχής που συνορεύει δημιουργείται το καταιγιδοφόρο νέφος.

Η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα του αέρα στις περιοχές που αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα νέφη Cb, είναι πολύ μεγαλύτερη τόσο από αυτή του υγρού κορεσμένου όσο και του ακόρεστου αέρα που σε συνδυασμό με την σύγκλιση των υγρών ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα (στα 1000 mb μέχρι τα 700mb) και η απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb, οδήγησαν στην δημιουργία έντονων ανοδικών κινήσεων και κατεπέκταση καταιγίδων.

Πάντως άλλοι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη καταιγίδων (συνήθως όμως με την παρουσία μετώπων) την συγκεκριμένη ημέρα είχαν αμελητέα επίδραση. Συγκεκριμένα ο στροβιλισμός, η δυναμική αστάθεια (υπήρχε μόνο στην περιοχή Γ), η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb και ο δείκτης CAPE είχαν πολύ μικρές τιμές.

4.1.5 Πέμπτη περίπτωση

Στις 26 Μαίου 2009 τις πρωινές ώρες ο καιρός ήταν αίθριος πάνω από την Βαλκανική χερσόνησο και υπήρχαν μόνο κάποια νέφη ανωμεταφοράς τύπου Cu πάνω από τις ορεινές περιοχές των δυτικών Βαλκανίων (λευκά βέλη στην εικόνα 88α). Στη συνέχεια πάνω από τις δυτικές ορεινές περιοχές αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα νέφη τύπου Cb (κόκκινα βέλη στην εικόνα 88β). Η ανάπτυξη τους ήταν πολύ έντονη και τα κύτταρα των καταιγίδων πολυάριθμα. Τις μεσημεριανές ώρες κατά την ανάπτυξη τους στην τροπόπαυση τα νέφη Ci των κορυφών τους (anvil cirrus) παρασυρόμενα από τη ροή του ανέμου στην ανώτερη τροπόσφαιρα, κινήθηκαν προς τα νοτιοανατολικά. Αυτό σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό των καταιγίδων, δημιούργησε εντυπωσιακές δορυφορικές εικόνες σε όλα τα κανάλια, απεικονίζοντας μια συνεχή γραμμή καταιγιδοφόρων νεφών που καλύπτει εκατοντάδες χιλιόμετρα στη δυτική ακτογραμμή των Βαλκανίων. Στις βορειότερες περιοχές οι καταιγίδες είχαν πιο έντονη ανάπτυξη από ότι στις νότιες.

Την ίδια ημέρα εκτεταμένες και πολυάριθμες καταιγίδες αναπτύχθηκαν και στη χερσόνησο της Ιταλίας. Στις υπόλοιπες περιοχές των Βαλκανίων τα νέφη ανωμεταφοράς τύπου Cu πάνω από τις ορεινές περιοχές δεν είχαν την ανάλογη ανάπτυξη. Όπως παρατηρείται στις εικόνες στο κανάλι του υπέρυθρου στα 12 μm, τα πρώτα καταιγιδοφόρα Cb αναπτυχτήκαν στις 10:00 UTC (κόκκινο βέλος στην εικόνα 89α), ενώ δώδεκα ώρες αργότερα, οι καταιγίδες διαλύθηκαν και μόνο κάποια χαμηλά και μεσαία νέφη παρέμειναν στην περιοχή (λευκά βέλη στην εικόνα 89β). Με λευκούς τόνους παρατηρείται μια νέα γραμμή καταιγιδοφόρων νεφών να πλησιάζει την περιοχή των Βαλκανίων η οποία προηγείται ενός ψυχρού μετώπου που πλησιάζει την περιοχή.



Εικόνα 88: Ορατό κανάλι στα 0.6 μm α) στις 8:00 και β) στις 14:00 UTC. Τα λευκά βέλη δείχνουν τα νέφη ανωμεταφοράς τύπου Cu και τα κόκκινα τα νέφη Cb.



Εικόνα 89: Υπέρυθρο κανάλι στα 12μm α) στις 10:00 UTC β) στις 22:00 UTC . Το κόκκινο βέλος δείχνει τα Cb και τα λευκά τα χαμηλά και μεσαία νέφη που παρέμεναν ως υπολείμματα των καταιγίδων.

Στον χάρτη με τις θερμοκρασίες και τις ισουψείς στην επιφάνεια των 500 mb (εικόνα 90α), παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα μιας ράχης. Η θερμοκρασία στα 500 mb είναι στους -15 °C σε όλη τη Βαλκανική χερσόνησο. Στην επιφάνεια των 850 mb (εικόνα 90β), η θερμοκρασία στις δυτικές περιοχές είναι 18 °C (μοβ βέλος) και στις ανατολικότερες 10 με 12 °C (μπλε βέλος). Όπως γίνεται αντιληπτό, η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα είναι πολύ μεγάλη στις δυτικές περιοχές. Συγκεκριμένα η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στις επιφάνειες των 500 και 850 mb που απέχουν 3000 μέτρα, είναι 33 °C δηλαδή πολύ μεγαλύτερη από την τυπική κατακόρυφη θερμοβαθμίδα τόσο του υγρού κορεσμένου όσο και του υγρού ακόρεστου αέρα. Αυτό σημαίνει ότι **στις δυτικές** περιοχές των Βαλκανίων υπάρχει έντονη θερμοδυναμική αστάθεια.

Στις ανατολικότερες περιοχές η θερμοβαθμίδα αν και είναι μικρότερη, είναι επίσης μεγαλύτερη από την θερμοβαθμίδα του υγρού κορεσμένου και ακόρεστου αέρα. Αυτό σημαίνει ότι και στις ανατολικές περιοχές υπάρχει θερμοδυναμική αστάθεια, η οποία όμως δεν είναι τόσο έντονη όσο δυτικότερα. Η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb είναι ελαφρώς θετική πάνω από τις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων ιδιαίτερα στις 12:00 UTC (κόκκινα βέλη στην εικόνα 90δ) και συνεισφέρει κάπως στην αύξηση της αστάθειας.

Στον χάρτη με τον αεροχείμμαρο στην επιφάνεια των 300 mb (εικόνα 91), παρατηρείται ότι ό κατερχόμενος του κλάδος περνάει από τις πολύ ανατολικές περιοχές των Βαλκανίων και τη Μαύρη θάλασσα. Ωστόσο δεν φαίνεται να συνεισφέρει στην πολύ έντονη ανάπτυξη των καταιγίδων των δυτικών περιοχών της Βαλκανικής χερσονήσου.

Στο χάρτη με τις ισοβαρείς και τα μέτωπα στη μέση στάθμη της θάλασσας (εικόνα 92) παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος (μαύρο τετράγωνο) καλύπτεται από ένα πεδίο ουδέτερων πιέσεων, το οποίο δεν επηρεάζεται από κάποιο μέτωπο. Επίσης δεν υπάρχει μεγάλη βαροβαθμίδα και οι άνεμοι είναι ασθενείς. Τα μέτωπα της δυτικής Ευρώπης την επόμενη ημέρα κινήθηκαν προς την Βαλκανική χερσόνησο.





Εικόνα 90: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 26 Maίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ) και δ) μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb την 26 Maίου 2009 στις 6:00 και 12:00 UTC, αντίστοιχα. Σε όλες τις εικόνες το λευκό τετράγωνο δείχνει την περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 91: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας των 300 mb με ισουψείς (μαύρες γραμμές) στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων. Το λευκό τετράγωνο δείχνει την περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 92: Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Το μαύρο τετράγωνο δείχνει την περιοχή ενδιαφέροντος.

Στο χάρτη με τον άνεμο και την απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb (εικόνα 93α), παρατηρείται ότι στην περιοχή των δυτικών Βαλκανίων που αναπτύχθηκαν τα καταιγιδοφόρα Cb, ο άνεμος είναι βόρειο-βορειοδυτικός χαμηλής ταχύτητας και η απόκλιση είναι θετική ιδιαίτερα στις κεντρικές περιοχές των δυτικών Βαλκανίων (μαύρο βέλος).

Ο σχετικός στροβιλισμός στα 300 mb (εικόνα 93β) στην περιοχή που αναπτύχθηκαν τα καταιγιδοφόρα σύννεφα είναι ελαφρώς αρνητικός (κίτρινο βέλος). Μόνο στην περιοχή της Μαύρης θάλασσας, της Γαλλίας και των Κάτω Χωρών (κόκκινα βέλη) έχει μεγάλες θετικές τιμές. Αυτό είναι λογικό καθώς ο αεροχείμμαρος περνάει από αυτές τις περιοχές με κυκλωνική φορά (εικόνα 91). Στο χάρτη με τον άνεμο και το σχετικό στροβιλισμό στα 500 mb (εικόνα 94) παρατηρείται ότι ο άνεμος στην περιοχή των καταιγίδων είναι πολύ μικρής έντασης. Ο σχετικός στροβιλισμός στην επιφάνεια αυτή είναι αυξημένος στις ίδιες περιοχές με την επιφάνεια των 300 mb, καθώς και στις νοτιότερες περιοχές των δυτικών Βαλκανίων (μοβ βέλος).



Εικόνα 93: a) Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και δείχνονται με κόκκινα βέλη και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό στροβιλισμό) στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 94: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 26 Μαίου 2009, 12:00 UTC. Το μοβ βέλος δείχνει τον θετικό στροβιλισμό στην περιοχή της Ελλάδας.

Στο χάρτη με τον άνεμο στα 10 μέτρα και με το δείκτη αστάθειας CAPE (εικόνα 95) παρατηρείται ότι στις περιοχές των δυτικών Βαλκανίων (μαύρη έλλειψη) οι άνεμοι συγκλίνουν και είναι αρκετά υγροί (εικόνα 96) ώστε να συνεισφέρουν στην ανάπτυξη καταιγιδοφόρων νεφών. Ο δείκτης CAPE έχει πολύ μεγάλες (πάνω από 1000) τιμές κυρίως στις βορειότερες περιοχές των δυτικών Βαλκανίων (κόκκινο βέλος).


Εικόνα 95: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης αστάθειας CAPE (j/kg) με αποχρώσεις στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Η έλλειψη δείχνει την περιοχή όπου οι άνεμοι συγκλίνουν. Οι γαλάζιες και πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μέτριες τιμές και οι κίτρινες και κόκκινες σε μεγάλες τιμές του δείκτη και δείχνονται με κόκκινα βέλη.



Εικόνα 96: Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με μικρή σχετική υγρασία.

Στο χάρτη με την σχετική υγρασία στα 700 mb (εικόνα 97α), παρατηρείται ότι είναι πολύ αυξημένη σε ολόκληρη την περιοχή των Βαλκανίων (πράσινοι τόνοι) γεγονός που ευνοεί πολύ την ανάπτυξη των καταιγίδων. Στο χάρτη με τις κατακόρυφες κινήσεις στα 700 mb (εικόνα 97β), παρατηρείται ότι στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων είναι ανοδικές γεγονός που ευνοεί πολύ την

ανάπτυξη καταιγίδων, ενώ σε κάποιες περιοχές είναι πολύ έντονες (κόκκινα βέλη). Επίσης στη Βουλγαρία επικρατούν ανοδικές κινήσεις (ροζ βέλος).



Εικόνα 97: a) Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. β) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 26 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις.

Όπως φαίνεται στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm, μια ξηρή ζώνη (κόκκινα βέλη) διασχίζει τις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων. Η ξηρή αυτή ζώνη είναι μια ζώνη παραμόρφωσης που προέρχεται από μετασχηματισμό της ροής του ανέμου στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Ήδη στις 9:00 UTC (εικόνα 98α) στην περιοχή Α που βρίσκεται στην ξηρή ζώνη αναπτύσσονται τα πρώτα κύτταρα καταιγίδων. Μια ώρα αργότερα (εικόνα 98β), λίγο βορειότερα αναπτύσσονται καταιγιδοφόρα κύτταρα στην περιοχή Β, η οποία είναι με υγρή αλλά ελαφρώς ξηρότερη από τις γειτονικές περιοχές.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 98γ) αναπτύσσονται καταιγίδες στην περιοχή Γ πάνω σε όριο υγρούξηρού αέρα και στην Δ1 που είναι σε ασθενές όριο υγρού-ξηρού αέρα. Στην περιοχή Δ2 η καταιγίδα αναπτύσσεται στις 11:15 UTC πάνω σε ασθενές όριο υγρού-ξηρού αέρα (εικόνα 98δ), η οποία τις προηγούμενες ώρες ήταν ξηρή οπότε τα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας έχουν θερμανθεί περισσότερο από τις γειτονικές λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Στις 11:45 UTC (εικόνα 98στ) παρατηρείται ότι οι καταιγίδες στις περιοχές Β, Γ αναπτύσσονται πολύ έντονα και στις περιοχές Α, Δ πολύ αργά.

Στις 12:00 UTC (εικόνα 98ζ) εμφανίζονται καταιγιδοφόρα κύτταρα στην περιοχή Ε μέσα στην ξηρή ζώνη. Στις 13:00 (εικόνα 98η) τα κύτταρα σε όλες τις περιοχές αναπτύσσονται πολύ έντονα και αυξάνουν τόσο πολύ σε μέγεθος ώστε να ενωθούν και να σχηματίσουν μια γραμμή καταιγίδων στα δυτικά Βαλκάνια. Γενικά παρατηρείται ότι οι καταιγίδες στις βόρειες περιοχές των Βαλκανίων από το ύψος της βόρεια Αλβανίας και βορειότερα αναπτύχθηκαν πολύ πιο έντονα από αυτές στις νότιες περιοχές. Στην Ελλάδα την πιο έντονη ανάπτυξη είχαν οι καταιγίδες πάνω σε όριο υγρούξηρού αέρα στην περιοχή της Πελοποννήσου (περιοχή Δ2) οι οποίες αναπτύχθηκαν αργότερα από τις καταιγίδες στις βορειότερες περιοχές.

Συνοπτικά βγαίνει το συμπέρασμα ότι στις εικόνες στα 6.2 μm, τη μεγαλύτερη ανάπτυξη την είχαν οι καταιγίδες που αναπτύχθηκαν είτε σε όρια υγρού-ξηρού αέρα είτε σε περιοχές με δυναμική αστάθεια (όπως θα αναλυθεί αργότερα) ενώ οι καταιγίδες μέσα την ξηρή ζώνη είχαν την μικρότερη ανάπτυξη. Σε περιοχές με πολύ φωτεινούς τόνους του γκρι δεν αναπτύχθηκαν καταιγίδες.

Στην δορυφορική εικόνα στα 6.2 μm που δείχνει την Ευρώπη (εικόνα 98θ) παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της ηπείρου καλύπτεται από μια ράχη (R). Διακρίνονται επίσης τα μετωπικά νέφη μεγάλου ύψους (μπλε βέλη) στις δυτικές περιοχές της ηπείρου. Με σκούρους τόνους του γκρι διακρίνεται μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης που περικλείει την ήπειρο (δείχνεται με μοβ βέλη) η οποία και υποδεικνύει την θέση του αεροχειμμάρου. Στη Γαλλία και τις Κάτω Χώρες λαμβάνει χώρα ξηρή εισβολή και σχηματίζονται ξηρά δέλτα. Ο θετικός σχετικός στροβιλισμός στις αντίστοιχες περιοχές σημειώνεται με κόκκινα βέλη στην εικόνα 93α. Η ζώνη παραμόρφωσης στην περιοχή των Βαλκανίων δείχνεται με πράσινο βέλος.





Εικόνα 98: Κανάλι υδρατμών 6,2 μm στις 26 Μαίου 2009 στις α) 9:00, β) 10:00, γ) 11:00, δ) 11:15, ε)11:30, στ) 11:45, ζ) 12:00, η) 13:00 UTC. θ) Άποψη ολόκληρης της ηπείρου στο κανάλι στα 6.2μm. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 98η δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Στην δορυφορική εικόνα στα 7.3 μm στις 9:00 UTC (εικόνα 99α), διακρίνονται τα νεφικά κύτταρα στην περιοχή Α που είναι σχετικά ξηρή ενώ ταυτόχρονα στα 6.2 μm τα καταιγιδοφόρα κύτταρα στην ίδια περιοχή αναπτύσσονται επίσης σε ξηρή περιοχή. Στις 10:00 (εικόνα 99β) σχηματίστηκαν κύτταρα στην περιοχή Β που είναι σχετικά υγρή ενώ ταυτόχρονα στα 6.2 είναι σχετικά υγρή αλλά με θερμοκρασία λαμπρότητας στο κρίσιμο όριο για δυναμική αστάθεια των -39 °C. Αυτό είναι ένδειξη δυναμικής αστάθειας και θα μελετηθεί πιο αναλυτικά παρακάτω.

Στις 11:00 (εικόνα 99γ) αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα κύτταρα στην περιοχή Γ που είναι σχετικά υγρή και ταυτόχρονα στα 6.2 μm είναι ξηρή αλλά και πάνω σε όριο με υγρό αέρα. Ταυτόχρονα διακρίνονται καταιγιδοφόρα Cb στην ξηρή περιοχή Δ1 που στην εικόνα στα 6.2 είναι πάνω σε ασθενές όριο ξηρού-υγρού αέρα. Στις 11:15 (εικόνα 99δ) αναπτύχθηκαν καταιγίδες στην περιοχή Δ2 που είναι σχετικά υγρή και ταυτόχρονα και στα 6.2 είναι σε ασθενές όριο υγρού-ξηρού αέρα.

Στις 11:45 (εικόνα 99στ) αναπτύχθηκαν κύτταρα στην σχετικά ξηρή περιοχή Ε η οποία ταυτόχρονα και στα 6.2 μm είναι ξηρή. Στις 13:00 UTC (εικόνα 99η) παρατηρείται ότι οι καταιγίδες στις βορειότερες περιοχές αναπτύχθηκαν πολύ περισσότερο.

Στις δορυφορικές εικόνες στα 7.3 μm διακρίνονται οι γραμμές νεφών ανωμεταφοράς τύπου Cu (πράσινα βέλη στην εικόνα 99β) στη Βουλγαρία και τη Ρουμανία ενώ στις εικόνες στα 6.2 μm δεν γίνονται αντιληπτά. Ταυτόχρονα και την Πελοπόννησο διακρίνονται τα Cu ήδη από τις 10:00 UTC ενώ στις εικόνες στα 6.2 διακρίνονται μόνο πολύ αργότερα όταν έχουν αναπτυχθεί πλήρως σε Cb. Με μπλε βέλος διακρίνονται κάποια νέφη μεγάλου ύψους στη θαλάσσια περιοχή νότια της Ιταλίας.

Συνοπτικά παρατηρείται ότι οι καταιγίδες που αναπτύσσονται πιο έντονα βρίσκονται σε σχετικά υγρές περιοχές στα 7.3 μm, ενώ ταυτόχρονα στα 6.2 βρίσκονται σε όρια υγρού-ξηρού αέρα. Αυτό σημαίνει ότι η υγρασία στην μέση και κατώτερη τροπόσφαιρα είναι αυξημένη, ενώ ταυτόχρονα στην ανώτερη υπάρχει περιοχή με ξηρό αέρα που επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να θερμάνει τα κατώτερα στρώματα και να δημιουργηθεί ανωμεταφορά. Στη συνέχεια ο αέρας που ανυψώνεται συναντάει την υπάρχουσα υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα και ευνοεί την περεταίρω ανάπτυξη της καταιγίδας.





Εικόνα 99: Κανάλι υδρατμών 7.3 μm στις 26 Μαίου 2009 στις α) 9:00, β) 10:00, γ) 11:00, δ) 11:15, ε)11:30, στ) 11:45, ζ) 12:00, η) 13:00 UTC. Τα πράσινα βέλη στην εικόνα 99β δείχνουν τις γραμμές νεφών ανωμεταφοράς τύπου Cu στη Ρουμανία και τη Βουλγαρία και το μπλε κάποια υψηλά νέφη στην Ιταλία. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 99ζ δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Από τις εικόνες που προκύπτουν από τη διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5, παρατηρείται ότι η ξηρή ζώνη που διέρχεται από τις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων έχει φωτεινούς τόνους του γκρι και διαφορά -18 με -20 °C δηλαδή το στρώμα υγρασίας σε αυτή την περιοχή βρίσκεται στα 700 mb και στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα το ποσό της υγρασίας είναι πολύ μικρό. Ταυτόχρονα όμως μέσα σε αυτή τη ζώνη όμως η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι σχετικά μεγάλη οπότε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.

Στις 10:00 UTC (εικόνα 100β) αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα κύτταρα σε δύο περιοχές, την Α και την Β οι οποίες έχουν σχετικά φωτεινούς τόνους του γκρι. Στην περιοχή Β, η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm είναι στους -39 °C και στα 7.3 στους -19 °C οπότε φαίνεται να υπάρχει οριακά δυναμική αστάθεια. Στην περιοχή Α η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι -16 °C δηλαδή η αέρια μάζα στα μέσα και χαμηλά στρώματα είναι σχετικά ξηρή οπότε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια στη συγκεκριμένη περιοχή.

Στις 11:15 (εικόνα 100δ) παρατηρείται ότι στην περιοχή Β όπου υπάρχει δυναμική αστάθεια τα καταιγιδοφόρα νέφη έχουν αναπτυχθεί περισσότερο από ότι στην περιοχή Α. Ταυτόχρονα στην περιοχή Γ αναπτύχτηκαν Cb σε όριο φωτεινών-σκοτεινών τόνων του γκρι. Έτσι βγαίνει το συμπέρασμα στην περιοχή υπάρχει μεγάλη βαθμίδα υγρασίας ανάμεσα στα 700 με 500 mb. Συγκεκριμένα στις δυτικές περιοχές το κύριο στρώμα της υγρασίας είναι στα 700 mb (σχετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι) και στις ανατολικές στα 500-600 mb (σκοτεινοί τόνοι του γκρι). Η θερμοκρασία λαμπρότητας σε αυτή την περιοχή είναι -37 °C στα 6.2 mb και -17 °C στα 7.3 μm, υποδεικνύοντας έτσι ότι δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια. Την ίδια χρονική στιγμή βορειότερα

στην περιοχή Δ1 αναπτύσσονται Cb επίσης σε ασθενές όριο φωτεινών-σκοτεινών τόνων του γκρι. Πάντως στην ίδια περιοχή επειδή η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 mb είναι -17 °C δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.

Μισή ώρα αργότερα αναπτύχθηκαν Cb **στην περιοχή E** (εικόνα 100στ) που είναι σχετικά φωτεινή και έτσι βγαίνει το συμπέρασμα ότι το κύριο στρώμα υγρασίας βρίσκεται ανάμεσα στα 700-600 mb. Επειδή στην ίδια περιοχή η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm είναι -35 °C και στα 7.3 μm είναι -16 °C βαθμούς, βγαίνει το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.









Εικόνα 100: Διαφορά καναλιών 5-6 στις 26 Μαίου 2009 στις α) 9:00, β) 10:00, γ) 11:00, δ) 11:15, ε)11:30, στ) 11:45, ζ) 12:00, η) 13:00 UTC. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 100ζ δείχνουν τις διαφορές ανάμεσα στις θερμοκρασίες λαμπρότητας του καναλιού 6 από το κανάλι 5.

Όπως παρατηρείται στη εικόνα με το προϊόν RGB των αερίων μαζών (εικόνα 101α), με μπλε βέλη σημαίνονται οι αέριες μάζες που είναι ψυχρές και υγρές, με κόκκινο βέλος δείχνεται η ψυχρή και ξηρή μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού στη Μαύρη θάλασσα, με ροζ βέλη δείχνεται η ψυχρή και ξηρή ζώνη στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων και με λευκό βέλος δείχνεται η σχετικά ψυχρή και υγρή αέρια μάζα στις θαλάσσιες περιοχές δυτικά της Ελλάδας και νότια της Ιταλίας.

Τα καταιγιδοφόρα κύτταρα στην περιοχή Α αναπτύσσονται μέσα σε ψυχρή και ξηρή περιοχή στις 10:00 UTC (εικόνα 101α). Ταυτόχρονα στην περιοχή Β τα κύτταρα αναπτύχθηκαν σε όριο ξηρής ψυχρής με υγρή ψυχρή μάζα. Στις 11:00 παρατηρείται ότι τα κύτταρα στην περιοχή Β αναπτύχθηκαν ενώ στην Α έμειναν στάσιμα, επίσης αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα κύτταρα στην περιοχή Γ που βρίσκεται σε όριο ψυχρής-υγρής με ψυχρή-ξηρή μάζα.

Στις 12:00 (εικόνα 101γ) αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα κύτταρα στην περιοχή Δ1 που είναι σε ψυχρή και σχετικά ξηρή μάζα και σε όριο με την ψυχρή και υγρή, αλλά και στην περιοχή Δ2 που είναι σε σχετικά ψυχρή και υγρή αέρια μάζα. Στην περιοχή Ε αναπτύχθηκαν κύτταρα μέσα σε ψυχρή και ξηρή μάζα χωρίς όμως να έχουν μεγαλύτερη ανάπτυξη. Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι τα κύτταρα στις περιοχές αυτές συνεχίζουν να αναπτύσσονται πολύ έντονα ενώ στην περιοχή Α η ανάπτυξη τους είναι πολύ μικρή. Τα νέφη τύπου Cu στην περιοχή της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας αναπτύσσονται σε σχετικά ψυχρή και υγρή και υγρή αίρια μάζα χωρή στη βόρεια Ελλάδα αλλά δεν έχουν μεγαλύτερη ανάπτυξη ως Cb.

Στις 13:00 (εικόνα 101δ) παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη ανάπτυξη την είχαν τα κύτταρα στις περιοχές Β, Γ, Δ1 που βρίσκονται σε όριο ψυχρής υγρής με ψυχρή και ξηρή μάζα αλλά και στην περιοχή Δ2 αν και δεν βρίσκεται σε όριο μεταξύ δυο μαζών με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα η ξηρή ζώνη ήταν πάνω από την περιοχή Δ2 πριν την έναρξη της καταιγίδας έτσι τα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας πρόλαβαν να θερμανθούν αρκετά ώστε να ευνοήσουν την έναρξη της ανωμεταφοράς. Αυτό γίνεται αντιληπτό από την σύγκριση των εικόνων με τις αέριες μάζες στις 10:00 και 13:00 UTC όπου στην πρώτη φαίνεται με κίτρινο βέλος (εικόνα 101α) η ξηρή μάζα και τρείς ώρες αργότερα με πράσινο βέλος η υγρή (εικόνα 101δ). Αντίθετα τα καταιγιδοφόρα κύτταρα στις περιοχές Α, Ε δεν είχαν έντονη ανάπτυξη καθώς βρίσκονται σε ξηρές αέριες μάζες και όχι σε κάποιο όριο.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η ανάπτυξη των καταιγίδων ευνοείται σε όρια ψυχρών–υγρών με ψυχρές και ξηρές αέριες μάζες. Αντίθετα σε περιοχές που δεν βρίσκονται σε όρια δυο μαζών με διαφορετικά χαρακτηριστικά η ανάπτυξη των καταιγίδων είναι πολύ μικρή.



Εικόνα 101: Αέριες μάζες στις α) 10:00, β) 11:00, γ) 12:00, δ) 13:00 UTC στις 26 Μαίου 2009. Με μπλε βέλη δείχνονται οι αέριες μάζες που είναι ψυχρές και υγρές, με κόκκινο βέλος δείχνεται η ψυχρή και ζηρή μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού, με ροζ βέλη δείχνεται η ψυχρή και ζηρή ζώνη και με λευκό βέλος δείχνεται η σχετικά ψυχρή και υγρή. Με κίτρινο βέλος δείχνεται η ζηρή μάζα στην περιοχή της Πελοποννήσου που αντικαταστάθηκε από υγρή η οποία δείχνεται με πράσινο βέλος.

Συνοπτικά λοιπόν, παρατηρείται ότι η περιοχή της Βαλκανικής χερσονήσου καλύπτεται από μια ψυχρή και υγρή αέρια μάζα η οποία διακόπτεται από μια ξηρότερη ζώνη. Αυτή η έλλειψη υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα μέσα στην ξηρή ζώνη, έδωσε τη δυνατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία να θερμάνει τα κατώτερα στρώματα της με αποτέλεσμα τη δημιουργία αστάθειας. Στη συνέχεια τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης στις περιοχές που συνόρευαν με την υγρότερη αέρα μάζα δηλαδή τις B, Γ, Δ1 αλλά και στην περιοχή Δ2 στην ανώτερη τροπόσφαιρα αναπτύχθηκαν σημαντικά, σε αντίθεση με τα νέφη στις περιοχές που δεν συνόρευαν με την υγρή μάζα (A, E) που είχαν μικρότερη ανάπτυξη. Επίσης παρατηρώντας τις δορυφορικές εικόνες στα κανάλια υδρατμών, στην περιοχή B υπήρχε δυναμική αστάθεια δηλαδή είναι και αυτός ένας επιπλέον παράγοντας που βοηθάει στην ανάπτυξη καταιγίδων.

Όσον αφορά την θερμοβαθμίδα ανάμεσα στις επιφάνειες των 500 mb και των 850 mb, είναι πολύ μεγάλη στα δυτικά Βαλκάνια και αυτό είναι ένδειξη θερμοδυναμικής αστάθειας. Στην έναρξη της ανωμεταφοράς βοήθησε σημαντικά η απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb και κατεπέκταση η σύγκλιση των πλούσιων σε υγρασία ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα (1000-700 mb) καθώς και οι μεγάλες τιμές του δείκτη αστάθειας CAPE. Επίσης η παρουσία οροσειρών κατά μήκος των δυτικών Βαλκανίων βοήθησε τον ανυψούμενο αέρα να φτάσει πιο εύκολα στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς. Αντίθετα ο σχετικός στροβιλισμός δεν συνέβαλε στη δημιουργία των καταιγίδων.

4.1.6 Έκτη περίπτωση

Στις 29 Αυγούστου 2009 αναπτύχθηκαν καταιγίδες σε πολλές περιοχές της Βαλκανικής χερσονήσου μετά από συνθήκες αίθριου καιρού. Συγκεκριμένα όπως φαίνεται στις 8:00 UTC στο ορατό κανάλι στα 0.6 μm στην Βαλκανική χερσόνησο ο καιρός ήταν σχεδόν αίθριος παρουσία μόνο κάποιων νεφών ανωμεταφοράς τύπου Cu (κίτρινα βέλη στην εικόνα 102α). Παρατηρώντας την ίδια ώρα το ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης τα Cu βρίσκονται πάνω από τις ορεινές περιοχές (κίτρινα βέλη στην εικόνα 102γ). Στις 13:00 UTC φαίνονται πολυάριθμα Cb στις περισσότερες ορεινές περιοχές των Βαλκανίων και κυρίως στις δυτικές (εικόνες 102β και δ).

Από τις δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο κανάλι στα 12μm παρατηρείται ότι τα πρώτα Cb αναπτύχθηκαν στις 11:00 UTC (εικόνα 102ε) ενώ και στις 23:00 UTC (εικόνα 102η) υπάρχουν ακόμα κάποιες καταιγίδες στη φάση της διάλυσης (μπλε βέλη). Ταυτόχρονα ένα ψυχρό μέτωπο πλησιάζει την Βαλκανική χερσόνησο (κόκκινο βέλος στην εικόνα 102η). Στις 14:00 UTC (εικόνα 102στ), διακρίνονται οι ψυχρές κορυφές των καταιγιδοφόρων κύτταρων που βρίσκονται σε πλήρη ανάπτυξη. Η διάρκεια των καταιγίδων ήταν συνολικά περίπου 12 ώρες.





Εικόνα 102: Δορυφορικές εικόνες στο ορατό κανάλι στα 0.6 μm α) στις 8:00 UTC και β) 13:00 UTC, στο ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις γ) 8:00 UTC και δ) 13:00 UTC, και στο κανάλι υπερύθρων στα 12μm στις ε) 11:00 και στ) 14:00, η) 23:00 UTC. Τα κίτρινα βέλη δείχνουν τα νέφη Cu, τα κόκκινα βέλη δείχνουν τα νέφη Cb και τα μπλε τα υπολείμματα των καταιγίδων που είναι χαμηλά η υψηλά νέφη. Η μαύρη καμπύλη δείχνει την περιοχή που αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα νέφη που προηγούνται του μετώπου (prefrontal convenction).

Στο χάρτη με το γεωδυναμικό ύψος και τη θερμοκρασία στην επιφάνεια των 500 mb (εικόνα 103α), παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος (λευκό τετράγωνο), βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα μιας ράχης στις δυτικές περιοχές ενώ στις ανατολικές η ισοϋψής των 5780 μέτρων κάμπτεται προς τα νότια σχηματίζοντας έτσι έναν μικρό αυλώνα (λευκό βέλος). Η θερμοκρασία είναι στους - 10 με -12°C.

Στην επιφάνεια των 850 mb, παρατηρείται ότι η θερμοκρασία στις δυτικές περιοχές και κεντρικές ξεπερνούν τους 20°C (μπλε βέλη στην εικόνα 103β). Στις ανατολικές περιοχές η θερμοκρασία είναι στους 14 με 15°C. Η διαφορά θερμοκρασίας των παραπάνω επιφανειών ξεπερνά την τυπική κατακόρυφη θερμοβαθμίδα τόσο του υγρού κορεσμένου, όσο και του υγρού ακόρεστου αέρα, ενδεικτικό της ύπαρξης θερμοδυναμικής αστάθειας η οποία είναι μεγαλύτερη στις δυτικές και κεντρικές περιοχές. Η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb, είναι θετική δηλαδή ελαφρώς θερμή αλλά έχει πολύ μικρή τιμή και φαίνεται να μην επηρεάζει τη γένεση και την ανάπτυξη καταιγίδων (εικόνα 103γ και δ).



Εικόνα 103: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 29 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ και δ) Μεταφοράς θερμοκρασίας στα 850 mb στις 29 Αυγούστου στις 6:00 και 12:00 UTC αντίστοιχα. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε θερμή μεταφορά.

Η θέση του πολικού αεροχείμαρρου βρίσκεται ΒΔ της περιοχής ενδιαφέροντος (εικόνα 104) (μαύρο βέλος). Δεν φαίνεται να είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη των καταιγίδων μετά από αίθριο καιρό που μελετώνται στην παρούσα εργασία αλλά μόνο για τις καταιγίδες του ψυχρού μετώπου που πλησιάζει την Βαλκανική χερσόνησο από τις απογευματινές ώρες της ίδια ημέρας καθώς και για τη γραμμή καταιγίδων που προηγείται του ψυχρού μετώπου (prefrontal convection) που διακρίνονται στο ορατό κανάλι (μαύρη έλλειψη την εικόνα 102β).

Στο χάρτη με τις ισοβαρείς και τα μέτωπα στη μέση στάθμη της θάλασσας (εικόνα 105) παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος καλύπτεται από πεδίο χαμηλών πιέσεων με πολύ μικρή βαροβαθμίδα. Το κέντρο χαμηλών πιέσεων στην περιοχή της Αλβανίας είναι πιθανό σημείο σύγκλισης των ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα.



Εικόνα 104: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας (μαύρες γραμμές) των 300 mb στις 29 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων.



Εικόνα 105: Χάρτης με τις ισοβαρείς καμπύλες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 29 Αυγούστου 2009, 12:00 UTC.

Στο χάρτη με τον άνεμο και την απόκλιση στην επιφάνεια των 300 mb, διακρίνονται με μαύρα βέλη οι περιοχές με ελαφρώς θετική απόκλιση και με κόκκινο η περιοχή της βορειοδυτικής Ελλάδας και της Αλβανίας με μεγαλύτερη απόκλιση (εικόνα 106α). Ο άνεμος σε ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος είναι πολύ μικρής έντασης αλλά βορειοδυτικά αυτής βρίσκεται ο αεροχείμμαρος (ροζ βέλος στην εικόνα 106α) ο οποίος συνδέεται με περιοχές πολύ μεγάλης είτε θετικής είτε αρνητικής απόκλισης αλλά και μεγάλες θετικές τιμές σχετικού στροβιλισμού (ροζ βέλος στην εικόνα 106β). Στον χάρτη με το σχετικό στροβιλισμό στα 300 mb (εικόνα 106β), παρατηρείται ότι στα ανατολικά Βαλκάνια αυτός είναι θετικός με μέτριες τιμές (κόκκινο βέλος). Έτσι φαίνεται να συνεισφέρει στην ανάπτυξη των καταιγίδων σε εκείνες τις περιοχές.

Στο χάρτη με τον άνεμο και το σχετικό στροβιλισμό στα 500 mb (εικόνα 107) παρατηρείται ότι η ένταση του ανέμου είναι πολύ μικρή, ενώ και σε αυτή την επιφάνεια ο σχετικός στροβιλισμός έχει μέτριες θετικές τιμές στις ίδιες περιοχές με την επιφάνεια των 300 mb (κόκκινο βέλος).



Εικόνα 106: α) Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) άνεμος σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 29 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 107: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 29 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC.

Στον χάρτη με τους ανέμους στα 10 μέτρα και με τον δείκτη αστάθειας CAPE (εικόνα 109), παρατηρείται ότι στις δυτικές περιοχές υπάρχει σύγκλιση του δυτικού ανέμου με τον ανατολικό

(κόκκινα βέλη) ενώ στα βόρεια που πλησιάζει το ψυχρό μέτωπο, ο ασθενής νοτιοδυτικός συγκλίνει με τον βορειοδυτικό που είναι ισχυρός. Ο δείκτης CAPE είναι μεγάλος στις δυτικές περιοχές (με τιμή πάνω από 1000) και η υγρασία είναι πολύ αυξημένη στα 1000 mb (εικόνα 109). Στις περιοχές που γίνεται σύγκλιση των πλούσιων σε υγρασία ανέμων στα 1000 mb θα αναπτυχθούν οι περισσότερες και πιο έντονες καταιγίδες.

Στο χάρτη με τη σχετική υγρασία στα 700 mb (εικόνα 110α) παρατηρείται ότι είναι αυξημένη στις περισσότερες περιοχές των Βαλκανίων (πράσινες αποχρώσεις) ενώ οι κατακόρυφες κινήσεις είναι έντονα ανοδικές στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων καθώς και σε περιοχές της Βουλγαρίας (κόκκινα βέλη στην εικόνα 110β). Στη Ρουμανία οι κινήσεις είναι καθοδικές (καφέ βέλος).



Εικόνα 108: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης CAPE (j/kg) με γραμμές στις 29 Αυγούστου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τις περιοχές όπου οι άνεμοι συγκλίνουν.



Εικόνα 109: Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 29 Αυγούστου 2009 στις α) 6:00 και β) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη η καθόλου υγρασία αντίστοιχα.



Εικόνα 110: α) Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 29 Αυγούστου 2009, 12:00 UTC. Οι πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε αυζημένη σχετική υγρασία. β) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχ**ύτητες** στα 700 mb (w=dp/dt) στις 29 Αυγούστου 2009, 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις.

Στη δορυφορική εικόνα με την Ευρώπη στα 6.2 μm στις 15:00 (εικόνα 111), παρατηρείται ότι στην περιοχή των Βαλκανίων υπάρχει καθεστώς εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης (μαύρο τετράγωνο). Ένα ψυχρό μέτωπο όπως αναφέρθηκε παραπάνω πλησιάζει την περιοχή ενδιαφέροντος (καφέ βέλος) και δυτικά αυτού διακρίνεται μια ξηρή εισβολή (κόκκινο βέλος στην εικόνα 111 και ροζ βέλος στην εικόνα 106β). Οι καταιγίδες στην περιοχή ενδιαφέροντος δεν σχετίζονται με το ψυχρό μέτωπο παρά μόνο στις πολύ βόρειες περιοχές από τις απογευματινές ώρες και μετά. Τα υψηλά νέφη τύπου Ci που συνοδεύουν το μέτωπο δείχνονται με πράσινο βέλος.



Εικόνα 111: Κανάλι υδρατμών στα 6.2μm στις 29 Αυγούστου 2009 στις 15:00 UTC. Με μαύρο τετράγωνο απεικονίζεται η περιοχή με το καθεστώς εμποδισμού, με μαύρο βέλος η ροή του ανέμου στην περιοχή, με καφέ βέλος το ψυχρό μέτωπο, με κόκκινο βέλος η δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης και με πράσινο βέλος η υψηλή νέφωση του ψυχρού μετώπου.

Στις δορυφορικές εικόνες στα 6.2 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος παρατηρείται στις κεντρικές περιοχές των Βαλκανίων, εξαιτίας του ξηρού βορειοανατολικού ανέμου στην ανώτερη τροπόσφαιρα και των καθοδικών κινήσεων, μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης (με θετικές τιμές στροβιλισμού όπως διακρίνεται και στην εικόνα 106β). Γενικά στις κεντρικές περιοχές των Βαλκανίων η ανώτερη τροπόσφαιρα είναι αρκετά ξηρή.

Στις 10:00 UTC (εικόνα 112α) αναπτύσσονται δυο καταιγιδοφόρα κύτταρα, στη ξηρή περιοχή Α που βρίσκεται εντός της δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης.

Στις 10:30 (εικόνα 112β) αναπτύχθηκαν κύτταρα στην υγρή περιοχή **Β** καθώς και στην υγρή περιοχή **Γ.** Δυτικότερα από την περιοχή **Β** πλησιάζει ένα ψυχρό μέτωπο με υψηλά νέφη και νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης.

Στις 11:00 (εικόνα 112γ) αναπτύχθηκαν κύτταρα στις περιοχές Δ και Ε που είναι ξηρές και νέα κύτταρα στην υγρή περιοχή Γ καθώς και στη Ζ που επίσης είναι υγρή (αλλά με θερμοκρασία λαμπρότητας κάτω από το όριο των -39 βαθμών που είναι αναγκαία συνθήκη για την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας). Η τελευταία βρίσκεται μπροστά από το ψυχρό μέτωπο.

Το είδος ανωμεταφοράς που προηγείται του μετώπου και εμφανίζεται μισή ώρα αργότερα ονομάζεται «ανωμεταφορά προ του ψυχρού μετώπου» και δημιουργείται σαν μια γραμμή καταιγίδων μπροστά από αυτό (γαλάζια βέλη στην εικόνα 112δ). Αυτό συμβαίνει επειδή ο ξηρός αέρας στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας υπερβαίνει τα μετωπικά νέφη (Krennert and Meise 2003). Ο καιρός στην περιοχή αυτή πριν από την ανάπτυξη των καταιγίδων ήταν αίθριος και δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών λαμπρότητας στα 6.2 μm.

Τέλος στις 13:00 UTC (εικόνα 112στ) παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη ανάπτυξη είχαν τα κύτταρα στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων δηλαδή οι Ζ, Γ, Ε καθώς και η περιοχή με τις καταιγίδες που προηγούνται του ψυχρού μετώπου. Αυτό συμβαίνει επειδή η ανωμεταφορά στις περιοχές Ζ, Γ που είναι σχετικά υγρές ευνοείται καθώς υπάρχει δυναμική αστάθεια (όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια) ενώ η περιοχή Ε ήταν αρχικά ξηρή ευνοώντας την θέρμανση των κατώτερων στρωμάτων και την ανωμεταφορά και στη συνέχεια με την έλευση υγρότερου αέρα αναπτύχθηκαν καταιγίδες. Οι κεντρικές και ανατολικές ξηρές περιοχές Α, Β, Δ δεν είχαν την ανάλογη ανάπτυξη.



Εικόνα 112: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm στις 29 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30, γ) 11:00 δ) 11:30, ε) 12:00, στ) 13:00 UTC. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 112ε δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 7.3 μm (εικόνα 113α) παρατηρείται ότι στις 10:00 UTC έχουν αναπτυχθεί κάποια νέφη τύπου Cb στην περιοχή A η οποία είναι σχετικά ξηρή

όπως και στα 6.2 μm. Στις υπόλοιπες περιοχές διακρίνονται νέφη ανωμεταφοράς λιγότερο ανεπτυγμένα κυρίως στις δυτικότερες περιοχές των Βαλκανίων και τη Βουλγαρία (κόκκινα βέλη). Ταυτόχρονα στις εικόνες στα 6.2 μm τα νέφη Cu στις υπόλοιπες περιοχές των Βαλκανίων δεν διακρίνονται, και μόνο στη ξηρή περιοχή Α διακρίνονται τα καταιγιδοφόρα κύτταρα.

Μισή ώρα αργότερα (εικόνα 113β) αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα κύτταρα στις υγρές περιοχές Β, Γ οι οποίες ταυτόχρονα και στα 6.2 μm είναι υγρές.

Στις 11:30 UTC αναπτύχθηκαν κύτταρα στις περιοχές Δ, Ε, Ζ. Η περιοχή Δ είναι μεν σχετικά υγρή στα 7.3 μm (και ξηρή στα 6.2 μm) αλλά με θερμοκρασία λαμπρότητας κάτω από -19 °C που είναι το κρίσιμο όριο για την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας. Η περιοχή Ζ είναι υγρή και στα 7.3 μm και στα 6.2 μm ενώ αντίθετα η Ε είναι ξηρή και στα δυο κανάλια.

Στις 13:00 UTC όπως και στις αντίστοιχες εικόνες στα 6.2 μm, παρατηρείται ότι τη μεγαλύτερη ανάπτυξη την είχαν οι καταιγίδες στις περιοχές στις περιοχές Γ, Ε, Ζ.

Γενικά δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στα δύο κανάλια, καθώς τα καταιγιδοφόρα κύτταρα σχηματίζονται σε όμοιες συνθήκες υγρασίας τόσο στα 6.2 όσο και στα 7.3 μm εκτός από την περιοχή Δ. Το καθεστώς εμποδισμού διακρίνεται πολύ έντονα όπως είναι φυσικό στις εικόνες στα 6.2 μm καθώς είναι χαρακτηριστικό της ανώτερης τροπόσφαιρας, ενώ στα 7.3 μm διακρίνεται πολ δύσκολα. Ακόμα στα 7.3 μm διακρίνονται πολλές γραμμές νεφών ανωμεταφοράς τύπου Cu που δεν έχουν αναπτυχθεί σε Cb και δεν διακρίνονται στα 6.2 μm.





Εικόνα 113: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 7.3 μm στις 29 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30, γ) 11:00 δ) 11:30, ε) 12:00, στ) 13:00 UTC. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 113ε δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Στις εικόνες με τη διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5, παρατηρείται ότι στις 10:00 UTC (εικόνα 114α) στην περιοχή Α που έχει φωτεινούς τόνους του γκρι αναπτύχθηκαν τα πρώτα καταιγιδοφόρα νέφη. Η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm είναι -35 βαθμούς και στα 7.3 μm είναι -18 βαθμούς, οπότε βγαίνει το συμπέρασμα ότι στην περιοχή Α δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια λόγω της υψηλής θερμοκρασίας λαμπρότητας στα 7.3 μm (μεγαλύτερης από την κρίσιμη τιμή των -19 °C).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει υπενθύμιση ότι για να υπάρχει σε μια περιοχή δυναμική αστάθεια πρέπει να έχει φωτεινούς τόνους στην εικόνα με την διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5 και ταυτόχρονα η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm να είναι υψηλότερη από -39 °C (δηλαδή ο αέρας στην ανώτερη τροπόσφαιρα να είναι σχετικά ξηρός) και χαμηλότερη από -19 °C στα 7.3 μm (δηλαδή ο αέρας στην κατώτερη τροπόσφαιρα να είναι σχετικά υγρός).

Στις 10:30 (εικόνα 114β) αναπτύχθηκαν κύτταρα στις περιοχές Β, Γ που είναι σχετικά φωτεινές στις εικόνες διαφοράς του καναλιού 6 από το κανάλι 5 δηλαδή με κύριο στρώμα υγρασίας και στις δύο περιοχές στα 700mb. Οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στις δύο αυτές περιοχές στα 6.2 μm είναι - 40 και -38 °C αντίστοιχα ενώ στα 7.3 μm είναι -19 °C και στις δύο περιοχές. Στην περιοχή Γ υπάρχει δυναμική αστάθεια λόγω της παρουσίας υγρής αέριας μάζας στην κατώτερη τροπόσφαιρα (-19 °C) ενώ παρόλο που και στα 6.2 μm υπάρχει αρκετή υγρασία η θερμοκρασία λαμπρότητας είναι μεγαλύτερη από το όριο των -39 °C που αναφέρθηκε νωρίτερα είναι η κρίσιμη τιμή για την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας, ενώ στην περιοχή Β δεν υπάρχει εξαιτίας της παρουσίας σχετικά υγρής μάζας με θερμοκρασία μικρότερη από το όριο των -39 °C στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 114γ) αναπτύχθηκαν κύτταρα σε φωτεινούς τόνους του γκρι στις περιοχές, Δ, Ε, Ζ. Η διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5 είναι -17 οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το κύριο στρώμα στις περιοχές είναι στα 700 mb. Οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 6.2 και 7.3 μm στην περιοχή Δ είναι -32 και -16 °C αντίστοιχα οπότε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια. Όμοια και στην περιοχή Ε. Στην περιοχή Ζ οι καταιγίδες αναπτύσσονται σε φωτεινούς τόνους στις εικόνες με τη διαφορά του καναλιού 6 από το 5. Αυτό σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία λαμπρότητας που είναι -39 °C στα 6.2 μm και -22 °C στα 7.3 μm, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή Ζ υπάρχει οριακά δυναμική αστάθεια.

Στις 13:00 UTC (εικόνα 114στ) παρατηρείται ότι στις περιοχές Ζ, Ε, Γ οι καταιγίδες είχαν την μεγαλύτερη ανάπτυξη όπως αναφέρθηκε και παραπάνω παρόλο που στην Ε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.





Εικόνα 114: Εικόνες με την διαφορά των καναλιών 5-6 στις 29 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30,γ) 11:00 δ) 11:30, ε) 12:00, στ) 13:00 UTC. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 114ε δείχνουν την διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5.

Στην εικόνα με το προϊόν RGB των αερίων μαζών (εικόνα 115), παρατηρείται μια ψυχρή και ξηρή αέρια μάζα στις ανατολικές περιοχές των Βαλκανίων (κόκκινο βέλος) και μια ψυχρή και υγρή στα βόρεια και ανατολικά Βαλκάνια (μπλε βέλη) καθώς και μια θερμή αέρια μάζα νοτιότερα (πορτοκαλί βέλος).

Στις 12:00 (εικόνα 115ε) παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη ανάπτυξη την έχουν οι καταιγίδες που βρίσκονται εντός της ψυχρής και υγρής αέριας μάζας αλλά και συνορεύουν με την ψυχρή και ξηρή, δηλαδή οι Γ και η Ζ καθώς και η Ε. Στις περιοχές Α, Δ που βρίσκονται μέσα στην ψυχρή και ξηρή αέρια μάζα μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού οι καταιγίδες δεν έχουν μεγάλη ανάπτυξη.



Εικόνα 115: Αέριες μάζες στις 29 Αυγούστου 2009 στις 29 Αυγούστου 2009 στις α) 10:00, β) 10:30,γ) 11:00 δ) 11:30, ε) 12:00, στ) 13:00 UTC.

Συνοπτικά λοιπόν παρατηρείται ότι στις δυτικότερες ορεινές περιοχές των Βαλκανίων υπήρξε έντονη ανάπτυξη των καταιγίδων με μεγαλύτερο αριθμό κυττάρων από ότι στις ανατολικές περιοχές. Οι παράγοντες που βοήθησαν στην έναρξη της ανωμεταφοράς σε αυτές τις περιοχές ήταν η σύγκλιση των ανέμων και η μεγάλη σχετική υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με την παρουσία σχετικά ξηρού αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα, που βοήθησε την ηλιακή ακτινοβολία να θερμάνει τα κατώτερα στρώματα ευνοώντας την δυναμική αστάθεια. Επίσης στις δυτικές περιοχές συνυπάρχουν μάζες με διαφορετικά θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά.

Από τους χάρτες με τις θερμοκρασίες στα 500 και 850 mb, παρατηρείται ότι η θερμοβαθμίδα ανάμεσα στις δύο επιφάνειες είναι τόσο μεγάλη που ευνοεί τη θερμοδυναμική αστάθεια. Ο δείκτης αστάθειας CAPE είναι μεγάλος μόνο στις δυτικές περιοχές. Επίσης το μεγάλο υψόμετρο αυτών των περιοχών βοηθάει το αέρα να φτάσει πιο εύκολα στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς.

Στις περιοχές Α, Δ παρόλο που υπάρχει κάποιο ποσό υγρασίας στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και στροβιλισμός, παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη των καταιγίδων, εντούτοις οι καθοδικές κινήσεις στην περιοχή που λαμβάνει χώρα το καθεστώς εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης δρουν κατά της ανάπτυξης των καταιγίδων.

Αντίθετα στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων, που βρίσκονται στην προπορευόμενη ζώνη του αέρα της ξηρής εισβολής με την θετική απόκλιση στην ανώτερη τροπόσφαιρα και την έντονη οριζόντια βαθμίδα στροβιλισμού, επικρατούν έντονες ανοδικές κινήσεις και ευνοείται η ανάπτυξη καταιγιδοφόρων συστημάτων.

4.1.7 Έβδομη περίπτωση

Στις 23 Μαίου 2009 στην περιοχή της Ελλάδας αναπτύχθηκαν θερμικού τύπου καταιγίδες τις μεσημεριανές ώρες ενώ τις πρωινές ώρες ο καιρός ήταν αίθριος. Όπως φαίνεται στο ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις 9:00 UTC (εικόνα 116α) διακρίνονται μόνο κάποια νέφη τύπου Cu (λευκά) ενώ στις 14:00 UTC (εικόνα 116β) τα νέφη αυτά έχουν αναπτυχθεί κατακόρυφα σε Cb. Ταυτόχρονα κάποια νέφη μεγάλου ύψους (όπως φαίνεται στις εικόνες του υπέρυθρου στα 12μm) διακρίνονται ανατολικότερα και βρίσκονται στις νότιες περιοχές ενός ψυχρού μετώπου (ροζ βέλος). Όπως διακρίνεται στις 14:00 UTC τα νέφη Cb κατά την κατακόρυφη ανάπτυξη τους έχουν φτάσει στην τροπόπαυση και οι κορυφές των οποίων παρασύρονται από την βορειοδυτική ροή και μετακινούνται προς τα νοτιοανατολικά.

Στις εικόνες στο υπέρυθρο στα 12μm στις 10:30 (εικόνα 117α), παρατηρείται η πρώτη ανάπτυξη των νεφικών κυττάρων (με κόκκινο βέλος), στις 14:15 διακρίνονται οι καταιγίδες στη φάση της πλήρους ανάπτυξης (λευκό βέλος στην εικόνα 117β) ενώ στις 19:00 UTC (εικόνα 117γ) έχουν απομείνει μόνο κάποια υπολείμματα των καταιγίδων ως μεσαία και υψηλά νέφη (κίτρινο βέλος).



Εικόνα 116: Ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις α) 9:00 UTC, β) 14:00 UTC στις 23Μαίου 2009.



Εικόνα 117: Υπέρυθρο κανάλι στα 12μm στις α) 10:30, β) 14:15 γ) 19:00 στις 23 Μαίου 2009. Το κόκκινο βέλος δείχνει την πρώτη εμφάνιση νεφών Cb, το λευκό τις καταιγίδες στην πλήρη ανάπτυζη, και το κίτρινο τα υπολείμματα των καταιγίδων.

Στο χάρτη με τις ισουψείς και τις θερμοκρασίες στα 500 mb (εικόνα 117α), παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος (λευκό τετράγωνο) βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα μιας ράχης και η θερμοκρασία είναι -10 με -12°C. Ταυτόχρονα στο χάρτη με τις θερμοκρασίες στα 850 mb, είναι γύρω στους 18 °C στις νότιες περιοχές (μαύρα βέλη). Η διαφορά των θερμοκρασιών ανάμεσα στις δύο παραμένω επιφάνειες που απέχουν 3000 μέτρα είναι 30 °C, δηλαδή η θερμοβαθμίδα του αέρα σε αυτή την περίπτωση ξεπερνά κατά πολύ τόσο την θερμοβαθμίδα του υγρού κορεσμένου όσο και αυτή του υγρού ακόρεστου αέρα οπότε ευνοείται η θερμοδυναμική αστάθεια ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές των Βαλκανίων. Η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb είναι θερμή, παράγοντας που ευνοεί την αστάθεια (μοβ βέλος στην εικόνα 117δ).



Εικόνα 117: Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 23 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ και δ) Μεταφοράς θερμοκρασίας στα 850 mb στις 23 Μαίου 2009 στις 6:00 και 12:00 UTC αντίστοιχα. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε θερμή μεταφορά.

Στον χάρτη με τον άνεμο και την απόκλιση στα 300mb (εικόνα 118α), παρατηρείται ότι ο άνεμος στις περιοχές όπου αναπτύχθηκαν τα καταιγιδοφόρα συστήματα είναι βορειοδυτικός χαμηλής έντασης, και η απόκλιση πάνω από την βόρεια Ελλάδα και την ανατολική Βουλγαρία είναι θετική (κίτρινο βέλος) και αποκτά σχετικά μεγάλη τιμή παράγοντας που ευνοεί πολύ την ανάπτυξη των καταιγίδων.

Στο χάρτη με τον άνεμο και το σχετικό στροβιλισμό στα 300 mb (εικόνα 118β) παρατηρείται ότι είναι ελαφρώς θετικός στις περιοχές που αναπτύχτηκαν οι καταιγίδες (λευκό βέλος) παράγοντας που επίσης ευνοεί την ανάπτυξη των καταιγίδων. Στο χάρτη με τον άνεμο και το σχετικό στροβιλισμό στα 500 mb παρατηρείται ότι οι άνεμοι είναι βόρειοι-βορειοδυτικοί και ο στροβιλισμός αποκτά μεγάλες θετικές τιμές στην βορειοανατολική Ελλάδα και τη Βουλγαρία (κόκκινο βέλος στην εικόνα 119).



Εικόνα 118: Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 23 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC.



Εικόνα 119: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 23 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC.

Στο χάρτη με τον αεροχείμμαρο παρατηρείται ότι βρίσκεται βορειότερα και δυτικότερα από την περιοχή ενδιαφέροντος και δεν επηρεάζει τη γένεση και την ανάπτυξη των καταιγίδων (εικόνα 120).

Στο χάρτη με τα μέτωπα και τις ισοβαρείς στη μέση στάθμη της θάλασσας (εικόνα 121) παρατηρείται ότι η περιοχή ενδιαφέροντος καλύπτεται από ουδέτερο πεδίο πιέσεων με μικρή βαροβαθμίδα και στις βόρειες περιοχές των Βαλκανίων διακρίνεται ένα ψυχρό μέτωπο το οποίο όμως δεν έχει σχέση με την ανάπτυξη των καταιγίδων που μελετώνται στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 120: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας (μαύρες γραμμές) των 300 mb στις 23 Maίoυ 2009 στις 12:00 UTC. Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων.



Εικόνα 121: Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 23 Μαίου 2009, 12:00 UTC.

Στο χάρτη με τον άνεμο στα 10 μέτρα και τον δείκτη αστάθειας CAPE (εικόνα 122), παρατηρείται ότι ο άνεμος στις περιοχές που αναπτύχθηκαν οι καταιγίδες από ασθενής μετατρέπεται σε βορειοδυτικό (κόκκινο βέλος). Δεν είναι ορατή κάποια σύγκλιση των ανέμων. Ο δείκτης αστάθειας πάντως έχει σχετικά μεγάλες τιμές (400 και άνω) στην δυτική και βόρεια Ελλάδα, την

Βουλγαρία, την Σερβία καθώς και τις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων (κίτρινα βέλη). Η σχετική υγρασία στα 1000 mb είναι αυξημένη στις περισσότερες περιοχές των Βαλκανίων και αυτός ο παράγοντας ευνοεί την ανάπτυξη των καταιγίδων.

Στον χάρτη με τις κατακόρυφες κινήσεις στα 700 mb, παρατηρείται ότι στην περιοχή που αναπτύχθηκαν οι καταιγίδες, σε ορισμένες περιοχές στα δυτικά Βαλκάνια καθώς και στα βορειοανατολικά Βαλκάνια επικρατούν έντονες ανοδικές κινήσεις (κόκκινα βέλη στην εικόνα 124α) που ευνοούν την ανάπτυξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης. Στο χάρτη με τη σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb (εικόνα 124β), παρατηρείται ότι στην Ελλάδα και στην ανατολική Βαλκανική χερσόνησο είναι πολύ αυξημένη (μαύρα βέλη).



Εικόνα 122: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης αστάθειας CAPE (j/kg) με αποχρώσεις στις 23 Μαίου 2009 στις 12:00 UTC. Οι γαλάζιες και πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μέτριες τιμές και οι κίτρινες και κόκκινες σε μεγάλες τιμές του δείκτη και δείχνονται με κίτρινα βέλη.



Εικόνα 123: Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 23 Μαίου 2009 στις α) 6:00 και β) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη η καθόλου υγρασία αντίστοιχα.



Εικόνα 124: α) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 23Maίου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις(δείχνονται με κόκκινα βέλη) και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις. β)Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 23Maίου 2009 στις 12:00 UTC. Οι πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές σχετικής υγρασίας και δείχνονται με μαύρα βέλη.

Στην δορυφορική εικόνα στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm (εικόνα 125) διακρίνεται η νεφική ζώνη του ψυχρού μετώπου στην ανατολική Ευρώπη (μπλε βέλος) και του θερμού βορειοανατολικά αυτού (κόκκινο βέλος). Τα νέφη που συνοδεύουν τα μέτωπα είναι μεγάλου ύψους και έχουν πάρει τη μορφή βαροκλινικού φύλλου (μαύρο βέλος).

Δυτικότερα διακρίνεται (πορτοκαλί βέλος) μια ξηρή εισβολή (έντονος σχετικός στροβιλισμός στην εικόνα 118β) ενώ μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης (πράσινο βέλος) διακρίνεται πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο, πάνω στα όρια της οποίας με τον υγρό αέρα στις γειτονικές περιοχές αναπτύσσονται οι καταιγίδες.



Εικόνα 125: Κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm στις 23 Μαίου 2009 στις 10:00 UTC. Το ψυχρό μέτωπο διακρίνεται με μπλε βέλος, τι θερμό μέτωπο με κόκκινο βέλος, το βαροκλινικό φύλο με μαύρο, η ζηρή εισβολή με πορτοκαλί και η δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης με πράσινο βέλος.

Συγκεκριμένα στις 12:00 UTC (εικόνα 126α) διακρίνονται ανεπτυγμένα κύτταρα στις περιοχές Α, Β, Γ, Δ. Στις τρείς πρώτες, τα κύτταρα αναπτύχθηκαν σε όριο υγρού-ξηρού αέρα, ενώ στην Δ αναπτύχθηκαν σε ξηρή περιοχή. Στις 13:00 UTC (εικόνα 126β) αναπτύχθηκαν κύτταρα στην περιοχή Ε σε ασθενές όριο υγρού-ξηρού αέρα ενώ αντίθετα στην Ζ αναπτύχθηκαν νέφη σε ευδιάκριτο όριο.

Μια ώρα αργότερα στις 14:00 UTC (εικόνα 126δ) παρατηρείται ότι τα κύτταρα στις περιοχές που βρίσκονται σε όριο υγρού-ξηρού αέρα, δηλαδή στις Α, Β, Γ, Ε έχουν αναπτυχθεί πολύ έντονα, ενώ στην περιοχή Δ λιγότερο έντονα.

Ταυτόχρονα εμφανίστηκαν νέα κύτταρα στις περιοχές Η, Θ που είναι σχετικά υγρές και στην Ι σε όριο. Στις 15:00 UTC (εικόνα 126στ) παρατηρείται ότι τα κύτταρα στις περιοχές Α, Β, Γ, Ε που βρίσκονται πάνω σε όρια αέρα είχαν την μεγαλύτερη ανάπτυξη, ενώ μεγάλη ανάπτυξη είχαν και στις περιοχές υγρές περιοχές Η, Θ. Αντίθετα στην ξηρή Γ όπως και στις περιοχές Ζ, Ι παρόλο που τα καταιγιδοφόρα νέφη αναπτύχθηκαν σε όρια υγρού-ξηρού αέρα δεν είχαν τόσο έντονη ανάπτυξη.





Εικόνα 126: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α)12:00, β) 13:00, γ) 13:30, δ) 14:00, ε) 14:30, στ) 15:00 στις 23 Μαίου 2009. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 126ε δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Στη δορυφορική εικόνα με το κανάλι υδρατμών στα 7.3 μm στις 12:00 UTC, διακρίνεται ότι, οι περιοχές A, B, Γ είναι πάνω σε όρια υγρού-ξηρού αέρα όπως ακριβώς και στις δορυφορικές εικόνες στα 6.2 μm.

Η περιοχή Δ είναι ξηρή όπως και στα 7.3μm ενώ η περιοχή Ε είναι σχετικά υγρή στο κανάλι στα 7.3 μm ενώ στα 6.2 μm είναι πάνω σε όριο υγρού-ξηρού αέρα και εμφανίζεται στις 12:30 δηλαδή μισή ώρα αργότερα από το κανάλι στα 7.3 μm.

Στις 13:00 UTC όπως διακρίνεται στην δορυφορική εικόνα στα 7.3μm, οι περιοχές Z, H, Θ είναι υγρές ενώ στις αντίστοιχες εικόνες τα 6.2 μm η Z είναι σε όριο υγρού-ξηρού αέρα ενώ οι δυο τελευταίες δεν έχουν αναπτυχθεί αρκετά ώστε να γίνουν ορατές από αυτό το κανάλι. Μισή ώρα αργότερα τα κύτταρα στις περιοχές H, Θ έγιναν ορατά και στις εικόνες στα 6.2μm επίσης είναι υγρές.

Στις 15:00 UTC διακρίνεται το κύτταρο στην περιοχή Ι που είναι σχετικά ξηρή στα 7.3 μm ενώ στα 6.2 μm βρίσκεται σε όριο υγρού-ξηρού αέρα. Επίσης στην εικόνα στα 7.3 μm διακρίνονται πολλά νέφη Cu στις δυτικές περιοχές των Βαλκανίων χωρίς να διακρίνονται στα 6.2 μm.



Εικόνα 127: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 7.3 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος στις a)12:00, β) 13:00, γ) 13:30, δ) 14:00, ε) 14:30, στ) 15:00 στις 23 Μαίου 2009. Οι μπλε αριθμοί στην εικόνα 127ε δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Από τις εικόνες με τη διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5 παρατηρείται ότι στις 12:00 (εικόνα 128α) UTC, τα κύτταρα στην περιοχή Α αναπτύχθηκαν σε όριο φωτεινών-σκοτεινών τόνων του γκρι δηλαδή σε περιοχή με μεγάλη βαθμίδα υγρασίας ανάμεσα στα 700-500 mb. Η θερμοκρασία λαμπρότητας στην περιοχή είναι -40 °C στο κανάλι στα 6.2 μm και -17 °C στο κανάλι στα 7.3 μm δηλαδή ο αέρας στην ανώτερη τροπόσφαιρας είναι σχετικά υγρός ενώ στην κατώτερη τροπόσφαιρα αν και υπάρχει κάποια ποσότητα υγρασίας, δεν είναι αρκετή ώστε να ευνοηθεί η δυναμική αστάθεια (ψυχρότερη θερμοκρασία λαμπρότητας από το όριο των -19 °C στα 7.3 μm αντίστοιχα)

Στις περιοχές B, Γ αν και το κύτταρο αναπτύχθηκε σε φωτεινούς τόνους του γκρι, οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 7.3 μm, είναι θερμότερες από το κρίσιμο όριο των -19 °C οπότε δεν ευνοείται η δυναμική αστάθεια.

Στην περιοχή Ε ισχύει το ίδιο καθώς έχει **σκούρους τόνους του γκρι** στην εικόνα με τη διαφορά ανάμεσα στα δυο κανάλια (-22 °C) και θερμή θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm.

Ομοίως και **στις περιοχές Η, Θ, Ζ, Ι** στις 14:00 (εικόνα 128δ) οι θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι θερμές οπότε δεν υπάρχει δυναμική αστάθεια.




Εικόνα 128: Εικόνες με τις διαφορές των καναλιών 5-6 στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α)12:00, β) 13:00, γ) 13:30, δ) 14:00, ε) 14:30, στ) 15:00 στις 23 Μαίου 2009. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 128ε δείχνουν τις διαφορές των θερμοκρασιών λαμπρότητας ανάμεσα στα 2 κανάλια.

Στις εικόνες με το προϊόν RGB με τις αέριες μάζες παρατηρείται ότι μια ξηρή και σχετικά ψυχρή αέρια μάζα κινείται προς τα νότια (πορτοκαλί βέλος στην εικόνα 129α). Βορειότερα της βρίσκεται μια ψυχρή και υγρή αέρια μάζα (μπλε βέλος) και νοτιότερα της μια σχετικά ψυχρή και υγρή (γαλάζια βέλη στην εικόνα 129α). Κατά την κίνηση της ξηρής αυτής μάζας προς τα νότια η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται προς τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και τα θερμαίνει. Τα καταιγιδοφόρα κύτταρα αναπτύχθηκαν στο όριο της με την ψυχρή και υγρή νοτιότερα. Αυτό συνέβη επειδή καθώς θερμάνθηκαν τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, ευνοήθηκαν οι ανοδικές κινήσεις. Καθώς ο αέρας ανυψώνεται κατακόρυφα, η παρουσία αυξημένης υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας της περιοχής που συνορεύει προς τα νότια βοηθάει στην συμπύκνωση του και την ανάπτυξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης. Αυτή η διαδικασία έγινε στις **περιοχές Α, Β, Γ, Ε που αναπτύχθηκαν στο όριο των δύο αυτών μαζών δηλαδή της ψυχρής και υγρή (**εικόνα 129β).

Αντίθετα το νέφος ανωμεταφοράς που αναπτύχθηκε στην περιοχή Δ, βρίσκεται στην ξηρή αέρια μάζα. Σε αυτή την περίπτωση η ηλιακή ακτινοβολία θέρμανε τα κατώτερα στρώματα και βοήθησε στις ανοδικές κινήσεις ωστόσο το νέφος δεν βρήκε αρκετή υγρασία στα ανώτερα στρώματα για να αναπτυχθεί περισσότερο.

Στις 14:00 UTC (εικόνα 129δ) τα νέφη ανωμεταφοράς στις περιοχές Z και Η βρίσκονται μέσα στην σχετικά ψυχρή και υγρή αέρια μάζα και αναπτύχθηκαν αρκετά όπως διακρίνεται μια ώρα αργότερα αλλά όχι τόσο όσο τα καταιγιδοφόρα κύτταρα στις περιοχές A, B, Γ, Ε που βρίσκονται σε όριο διαφορετικών μαζών.

Ταυτόχρονα διακρίνονται τα κύτταρα στις περιοχές Z σε όριο μεταξύ υγρής ψυχρής και ψυχρής ξηρής αέριας μάζας και στην I μέσα σε ξηρή και ψυχρή αέρια μάζα. Κανένα από τα δύο κύτταρα όπως παρατηρείται μια ώρα αργότερα (εικόνα 129στ) δεν είχε έντονη ανάπτυξη (αν και αυτό στην περιοχή Z είχε ευνοϊκές συνθήκες για να εξελιχθεί σε καταιγίδα μεγάλων διαστάσεων).



Εικόνα 129: Εικόνες με το προϊόν RGB των αερίων μαζών στην περιοχή ενδιαφέροντος στις a) 12:00, β) 13:00, γ) 13:30, δ) 14:00, ε) 14:30, στ) 15:00 στις 23 Μαίου 2009. Η ζηρή και σχετικά ψυχρή αέρια μάζα δείχνεται με πορτοκαλί βέλος, η ψυχρή και υγρή αέρια μάζα δείχνεται με μπλε βέλος και η σχετικά ψυχρή και υγρή δείχνεται με γαλάζια βέλη.

Στην εικόνα 130 παρατηρείται μια συνολική άποψη της ανατολικής Ευρώπης με το προϊόν RGB των αερίων μαζών. Με κόκκινο βέλος παρατηρείται το ψυχρό μέτωπο που κινείται προς τα ανατολικά και με μπλε ο ψυχρός και υγρός αέρας που το ακολουθεί. Αμέσως δυτικότερα ακολουθεί ο ψυχρός και πολύ ξηρός αέρας μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού (πορτοκαλί βέλος) που συνδέεται με την παρουσία αεροχείμμαρου. Μέσα στον πολύ ξηρό αυτό αέρα αναπτύσσονται νέφη Cb (μαύρο βέλος). Μπροστά από το ψυχρό μέτωπο διακρίνονται τα υψηλά νέφη που το συνοδεύουν (ροζ βέλος) και στην βορειοανατολική περιοχή του διακρίνεται η υψηλή νέφωση του θερμού μετώπου (μοβ βέλος).



Εικόνα 130: Εικόνα με το προϊόν RGB των αερίων μαζών στην περιοχή ενδιαφέροντος στις 14:00 UTC. Το κόκκινο βέλος δείχνει το ψυχρό μέτωπο, το μπλε δείχνει τον ψυχρό και υγρό αέρα, το πορτοκαλί βέλος δείχνει τον ψυχρό και πολύ ζηρό αέρα μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού. Τα νέφη Cb δείχνονται με μαύρο βέλος. Τα υψηλά νέφη του ψυχρού μετώπου, δείχνονται με ροζ βέλος η υψηλή νέφωση του θερμού μετώπου με μοβ βέλος.

Συνοπτικά λοιπόν τη συγκεκριμένη ημέρα, τα νέφη αναπτύχθηκαν κυρίως στην Ελληνική περιοχή ευνοούμενα από την έντονη θερμοδυναμική αστάθεια, τη θερμή μεταφορά στα 850 mb, την απόκλιση στα 300 mb (που ευνοεί τις ανοδικές κινήσεις παρόλο που δεν έλαβε χώρα σύγκλιση των ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα), και την ύπαρξη στροβιλισμού τόσο στα 300 όσο και στα 500 mb. Επίσης, η σχετικά υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα (1000-700 mb) ήταν αυξημένη, όπως και οι ανοδικές κινήσεις στα 700mb.

Τα κύτταρα αναπτύχθηκαν πολύ έντονα σε περιοχές που βρίσκονται πάνω σε όρια υγρού-ξηρού αέρα στο κανάλι στα 6.2 μm, δηλαδή σε περιοχές που υπήρχε μεγάλη κατακόρυφη βαθμίδα της υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα και συνόρευαν δύο αέριες μάζες διαφορετικών θερμουγρομετρικών χαρακτηριστικών. Η δυναμική αστάθεια την συγκεκριμένη ημέρα δεν βοήθησε την ανάπτυξη των καταιγίδων.

Τα κύτταρα στις περιοχές που δεν βρισκόταν στο όριο δυο διαφορετικών μαζών δεν αναπτύχθηκαν έντονα, ειδικά αυτά των δυτικών Βαλκανίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις συγκεκριμένες περιοχές δεν ευνόησαν την ανάπτυξη και άλλοι παράγοντες όπως η έλλειψη μεγάλων ποσοτήτων υγρασίας στα 700 mb, η ουδέτερη μεταφορά θερμοκρασίας στα 850mb, ενώ δεν υπήρξε απόκλιση στην επιφάνεια των 300mb. Αυτοί είναι οι λόγοι που το κύτταρο στην περιοχή Z δεν αναπτύχθηκε έντονα αν και βρισκόταν σε όριο υγρού-ξηρού αέρα.

4.1.8 Όγδοη περίπτωση

Στις **20 Ιουνίου 2009** αναπτύχθηκαν καταιγιδοφόρα συστήματα στην Ελλάδα μετά από συνθήκες αίθριου καιρού. Στις 8:00 UTC (εικόνα 131α) ο καιρός πάνω από την Ελλάδα και τα νότια Βαλκάνια ήταν αίθριος και μόνο κάποια νέφη ρηχής ανωμεταφοράς τύπου Cu αναπτύχθηκαν πάνω από τις ορεινές περιοχές (λευκά βέλη). Ταυτόχρονα διακρίνονται κάποια μεσαία νέφη στην περιοχή του Ιονίου (ροζ βέλος) όπως διακρίνεται με μέσες αποχρώσεις του γκρι στην αντίστοιχη εικόνα στο υπέρυθρο στα 12μm (δεν τοποθετείται η εικόνα στην παρούσα εργασία).

Τις μεσημεριανές ώρες και συγκεκριμένα στις 13:00UTC (εικόνα 131β) αναπτύχθηκαν πολύ έντονα καταιγιδοφόρα νέφη τύπου Cb (κόκκινα βέλη) ενώ τα μεσαία νέφη παρέμειναν στάσιμα πάνω από την θάλασσα. Κατά την ανάπτυξη τους τα Cb καθώς έφτασαν σε μεγάλο ύψος συνενώθηκαν σχηματίζοντας μέσης κλίμακας κατακόρυφης ανάπτυξης νεφικά συστήματα (MCSs) τα νέφη Ci των κορυφών των οποίων παρασύρθηκαν από την ροή της ανώτερη τροπόσφαιρας προς τα βορειοδυτικά (καφέ βέλος). Στα βορειοδυτικά Βαλκάνια διακρίνονται κάποια νέφη ανωμεταφοράς από το ψυχρό μέτωπο που διασχίζει την περιοχή (μπλε βέλη). Στις 14:30 UTC (εικόνα 131γ) η εικόνα είναι παρόμοια δηλαδή τα νέφη Ci του άκμονα κινούνται προς τα βορειοδυτικά, και τα Cb είναι στην φάση της ανάπτυξης. Ταυτόχρονα αναπτύσσονται νέα Cb στην Βουλγαρία και την Αλβανία ενώ τα μετωπικά νέφη κινούνται ανατολικότερα.

Όπως διακρίνεται στις εικόνες του IR στα 12μm, στις 19:00 και 21:00 UTC (εικόνα 131ε και στ), οι καταιγίδες στην περιοχή της Ελλάδας βρίσκονται στη φάση της διάλυσης (κίτρινα βέλη) ενώ στα κεντρικά Βαλκάνια διακρίνονται στη φάση της ανάπτυξης κάποια καταιγιδοφόρα νέφη (πράσινα βέλη). Συνολικά οι καταιγίδες στην Ελλάδα διήρκεσαν περίπου έξι ώρες.



Εικόνα 131: Ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης στις α) 8:00 UTC, β) 13:00 UTC, γ) 14:30 UTC και υπέρυθρο στα 12μm στις δ) 17:00, ε) 19:00, στ) 21:00 στις 20 Ιουνίου 2009. Τα λευκά βέλη δείχνουν τα νέφη ρηχής ανωμεταφοράς Cu, το ροζ βέλος δείχνει κάποια μεσαίου ύψους νέφη, το μπλε βέλος τα νέφη ανωμεταφοράς του μετώπου, τα κόκκινα βέλη δείχνουν τα Cb, τα καφέ δείχνουν τα Ci, τα πράσινα βέλη τα Cb που αναπτύχθηκαν τις βραδινές ώρες, και τα κίτρινα τα υπολείμματα των καταιγίδων που μελετήθηκαν.

Στο χάρτη με τις ισουψείς και τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια των 500 mb (εικόνα 132α), διακρίνεται ο αυλώνας που καλύπτει την περιοχή ενδιαφέροντος. Η θερμοκρασία στην Ελλάδα και τα νοτιοδυτικά Βαλκάνια είναι στους -15 °C (μοβ βέλος στην εικόνα 132α). Την ίδια χρονική στιγμή στα 850 mb η θερμοκρασία είναι στους 15°C (ανοικτό πράσινο βέλος στην εικόνα 132β). Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες περιπτώσεις, η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στις δύο αυτές επιφάνειες είναι 3000 μέτρα επομένως η διαφορά θερμοκρασίας που είναι 30 °C, είναι πολύ

μεγαλύτερη τόσο από την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα του υγρού κορεσμένου αέρα όσο και του υγρού ακόρεστου. Επομένως ευνοείται η θερμοδυναμική αστάθεια. Σύμφωνα με τους χάρτες στα 850 mb, η μεταφορά θερμοκρασίας στην περιοχή ενδιαφέροντος έχει πολύ μικρές τιμές και δεν επηρεάζει την ανάπτυξη των καταιγίδων που ερευνώνται, αλλά μόνο τις καταιγίδες του ψυχρού μετώπου στα βορειοδυτικά Βαλκάνια καθώς εκεί έχει πολύ μεγάλες τιμές και ευνοεί την αστάθεια (κόκκινο βέλος στην εικόνα 132δ).



Εικόνα 132 Χάρτες με γεωδυναμικά ύψη (μαύρες γραμμές) και θερμοκρασίες (άσπρες γραμμές και χρωματική κλίμακα) στις επιφάνειες των α) 500 mb και β) 850 mb στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και τα πράσινα και γαλάζια σε χαμηλότερες. γ και δ) Μεταφοράς θερμοκρασίας στα 850 mb στις 20 Ιουνίου 2009 στις 6:00 και 12:00 UTC αντίστοιχα. Τα κίτρινα και πορτοκαλί χρώματα αντιστοιχούν σε θερμή μεταφορά. Η περιοχή ενδιαφέροντος είναι εντός του λευκού τετραγώνου.

Στον χάρτη με την απόκλιση και τον άνεμο στα 300 mb (εικόνα 133α), παρατηρείται ότι η απόκλιση στην Ελλάδα και γενικά τα δυτικά Βαλκάνια έχει μικρές θετικές τιμές (κόκκινο βέλος), παράγοντας που ευνοεί την αστάθεια. Στην περιοχή του μετώπου διακρίνεται με κόκκινους τόνους η πολύ μεγάλη θετική απόκλιση. Ο άνεμος στην Ελλάδα είναι νοτιοανατολικός χαμηλής έντασης. Στο χάρτη με το σχετικό στροβιλισμό στα 300 mb (εικόνα 133β), παρατηρείται ότι στην Ελλάδα έχει πολύ μεγάλες θετικές τιμές (κίτρινο βέλος). Στον χάρτη με τον άνεμο και το σχετικό στροβιλισμό στα 500 mb, παρατηρείται ότι η ροή είναι νοτιοανατολική και αποκτά κυκλωνική τροχιά καθώς

πλησιάζει το χαμηλό των υψών. Ο σχετικός στροβιλισμός όπως και στην επιφάνεια των 500 mb είναι θετικός και έχει μεγάλες τιμές (πορτοκαλί βέλος στην εικόνα 134).



Εικόνα 133 Άνεμος με βέλη και απόκλιση με αποχρώσεις (τα κίτρινα και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε μεγάλη και πολύ μεγάλη απόκλιση του ανέμου) και β) άνεμος και σχετικός στροβιλισμός με αποχρώσεις στα 300 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Το κίτρινο βέλος δείχνει την περιοχή έντονου θετικού στροβιλισμού στην περιοχή μελέτης. Το κόκκινο βέλος δείχνει την ελαφρώς θετική απόκλιση στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 134: Άνεμος και σχετικός στροβιλισμός στα 500 mb (τα πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα αντιστοιχούν σε θετικό στροβιλισμό και τα μπλε και μοβ σε αρνητικό) στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Το πορτοκαλί βέλος δείχνει την περιοχή έντονου θετικού στροβιλισμού στην περιοχή μελέτης.

Στο χάρτη με τον αεροχείμμαρο στα 300 mb (εικόνα 135) παρατηρείται ότι η θέση του είναι βορειότερα και δυτικότερα από την περιοχή ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα κινείται προς τα νοτιοανατολικά και στην περιοχή της Ιταλίας αλλάζει διεύθυνση προς τα βορειοανατολικά. Καθώς περνάει από τα βορειοδυτικά Βαλκάνια ένα ψυχρό μέτωπο στην επιφάνεια της θάλασσας διασχίζει τα βορειοανατολικά Βαλκάνια δημιουργεί νέφη ανωμεταφοράς. Στο χάρτη με τις ισοβαρείς και τα μέτωπα στην επιφάνεια της θάλασσας, διακρίνεται ένα χαμηλό συνοδευόμενο από ψυχρό μέτωπο, που διασχίζει τα βορειοδυτικά Βαλκάνια (πορτοκαλί βέλος στην εικόνα 136) και προκαλεί νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης που όμως δεν σχετίζεται με τις καταιγίδες που αναπτύχθηκαν στην Ελλάδα την Αλβανία τα Σκόπια και τη Βουλγαρία. Σε αυτές τις περιοχές, η θερμοδυναμική αστάθεια και ο έντονος θετικός στροβιλισμός από την παρουσία ενός καθεστώτος εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης στην ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (σύγκλιση πλούσιων σε υγρασία ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα, ανοδικές κινήσεις, παρουσία ορίων υγρού-ξηρού αέρα στο κανάλι υδρατμών στα 6.2μm) που θα αναλυθούν στην συνέχεια ήταν υπεύθυνοι για ην δημιουργία καταιγίδων.



Εικόνα 135: Αεροχείμμαρος και γεωδυναμικό ύψος επιφάνειας (μαύρες γραμμές) των 300 mb στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC . Τα χρώματα υποδηλώνουν την θέση του αεροχείμμαρου και οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ανέμων.



Εικόνα 136: Χάρτης με τις ισοβαρείς επιφάνειες στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας (λεπτές μαύρες γραμμές) και μέτωπα (έντονες μαύρες γραμμές) στις 20 Ιουνίου 2009, 12:00 UTC. Το πορτοκαλί βέλος δείχνει τη θέση του ψυχρού μετώπου.

Στο χάρτη με τον άνεμο στα 10 μέτρα (εικόνα 137) παρατηρείται ότι είναι νοτιοδυτικός στην περιοχή της Ελλάδας και στα νοτιοανατολικά Βαλκάνια. Σύγκλιση ανέμων παρατηρείται στα κεντρικά και δυτικά Βαλκάνια καθώς και στις περιοχές της ανατολικής Στερεάς και Θεσσαλίας (πορτοκαλί βέλη), παράγοντας που ευνοεί την ανωμεταφορά και ενισχύει την ανάπτυξη των καταιγίδων. Ο δείκτης αστάθειας CAPE είναι μεγάλος στη δυτική Ελλάδα (πάνω από 900) και γενικότερα στα δυτικά Βαλκάνια και σε περιοχές των κεντρικών Βαλκανίων (μαύρα βέλη) και επίσης ευνοεί την ανάπτυξη των καταιγίδων.



Εικόνα 137: Άνεμος στα 10 μέτρα με βέλη και δείκτης αστάθειας CAPE με αποχρώσεις στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Οι γαλάζιες και πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μέτριες τιμές και οι κίτρινες και κόκκινες σε μεγάλες τιμές του δείκτη.

Όπως φαίνεται στο χάρτη με τις κατακόρυφες κινήσεις στα 700 mb (σκούρα μπλε βέλη στην εικόνα 138α), έντονες ανοδικές κινήσεις επικρατούν στην δυτική Ελλάδα, τα υπόλοιπα δυτικά Βαλκάνια και τη δυτική Βουλγαρία. Στις ίδιες περιοχές η σχετική υγρασία στην συγκεκριμένη επιφάνεια είναι πολύ αυξημένη (πράσινες αποχρώσεις στην εικόνα 138β). Αυτοί οι δυο παράγοντες ευνοούν πολύ την αστάθεια και την ανάπτυξη καταιγίδων. Η σχετική υγρασία στα 1000 mb (εικόνα 139) είναι πολύ αυξημένη τις πρωινές περιοχές σε όλη την Βαλκανική χερσόνησο και τις μεσημεριανές ώρες στις δυτικότερες περιοχές (όπως και στα 700 mb).



Εικόνα 138: α) Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας (λευκές γραμμές) και κατακόρυφες ταχύτητες στα 700 mb (w=dp/dt) στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τιμές δηλαδή κίτρινες και κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε ανοδικές κινήσεις (δείχνονται με σκούρα μπλε βέλη) και οι θετικές τιμές δηλαδή πράσινες γαλάζιες και μοβ αποχρώσεις αντιστοιχούν σε καθοδικές κινήσεις. β)Σχετική υγρασία στην επιφάνεια των 700 mb στις 20 Ιουνίου 2009 στις 12:00 UTC. Οι πράσινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές σχετικής υγρασίας.



Εικόνα 139: Σχετική υγρασία στα 1000 mb στις 20 Ιουνίου 2009 στις α) 6:00 και β) 12:00 UTC. Οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης σχετικής υγρασίας, οι πράσινες σε περιοχές με ενδιάμεσες τιμές και οι μπλε και μοβ σε περιοχές με λίγη η καθόλου υγρασία αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται στη δορυφορική εικόνα στα 6.2 μm στην Ευρώπη, ο αεροχείμμαρος διασχίζει τις κεντρικές και βόρειες περιοχές της ηπείρου (πορτοκαλί βέλη) όπως φαίνεται και η μεγάλη βαθμίδα υγρασίας. Στον κόλπο της Γένοβας (κόκκινο βέλος) διακρίνεται η ξηρή εισβολή και λίγο ανατολικότερα το ψυχρό μέτωπο που την συνοδεύει (μπλε βέλος). Στην Ελλάδα διακρίνεται καθεστώς εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης (λευκό βέλος). Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, στην περίπτωση εμποδισμού λόγω κυκλογένεσης, ο ανατολικός άνεμος του φαινομένου εμποδισμού είναι υγρός εξαιτίας των ανοδικών κινήσεων. Κατά τη διάρκεια της φάσης ωρίμανσης

το χαμηλό των γεωδυναμικών υψών κλείνει αλλά δεν αποκόπτεται από τους δυτικούς ανέμους της γενικής κυκλοφορίας (westerlies), (Santurette and Georgiev 2005).



Εικόνα 140: Δορυφορική εικόνα στα 6.2 μm στις 9:00 UTC στις 20 Ιουνίου 2009. Τα πορτοκαλί βέλη δείχνουν την θέση του αεροχειμμάρου, το κόκκινο βέλος δείχνει την ζηρή εισβολή, το μπλε την θέση του ψυχρού μετώπου, το πράσινο βέλος δείχνει τα ψυχρά νέφη του ψυχρού μετώπου και το λευκό βέλος δείχνει την περιοχή με καθεστώς εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης.

Όπως διακρίνεται στη δορυφορική εικόνα στα 6.2 μm στις 9:00 UTC (εικόνα 141α), κάποια καταιγιδοφόρα κύτταρα φαίνονται αμυδρά στις περιοχές **A**, **B**, **Γ**, **Δ** σε όρια υγρού-ξηρού αέρα. Μισή ώρα αργότερα (εικόνα 141β) αναπτύχθηκαν πολυάριθμα κύτταρα στις ίδιες περιοχές και σε όρια υγρού-ξηρού αέρα καθώς και στην **ξηρή περιοχή E**.

Εκτός από το γεγονός ότι αυτές οι περιοχές είναι σε όρια υγρού-ξηρού αέρα η θέση τους μέσα στον στρόβιλο έχει ιδιαίτερη σημασία. Στην περιοχή υπάρχει καθεστώς εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης, και αυτό δημιουργεί συνθήκες για ανάπτυξη έντονων καταιγίδων σε μια περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συγκεκριμένα, ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας εισβάλει στην τροπόσφαιρα και δημιουργείται μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης (σκούροι τόνοι του γκρι) ευνοώντας έντονες κατακόρυφες κινήσεις. Στις ανατολικές περιοχές της ανωμαλίας (Α, Β, Γ, Δ) αυτής οι κινήσεις είναι ανοδικές και ο άνεμος υγρός νοτιοανατολικός (δημιουργώντας έτσι το όριο αυτό υγρού-ξηρού αέρα καθώς συναντά την δυναμική ανωμαλία) ευνοώντας την δημιουργία καταιγίδων. Στις 11:00 (εικόνα 141δ) τα κύτταρα στις περιοχές Α, Β, Γ, Δ, Ε έχουν αναπτυχθεί έντονα και έχουν μεγάλη έκταση ενώ στις περιοχές Η, Ζ που είναι σχετικά ξηρές αλλά έχουν κάποια ποσότητα υγρασίας, άρχισαν να αναπτύσσονται πολυάριθμα κύτταρα.

Στις 13:00 UTC (εικόνα 141στ) τα κύτταρα στις περιοχές Α, Β, Γ, Δ, Ζ έχουν αναπτυχθεί τόσο πολύ που έχουν ενωθεί ενώ ταυτόχρονα νέα κύτταρα αναπτύσσονται στις περιοχές Ε, Η, Θ που βρίσκονται σε ξηρές περιοχές στο κανάλι στα 6.2 μm που όπως και στις υπόλοιπες περιοχές είναι εντός ξηρών ζωνών.

Στις 15:00 UTC (εικόνα 141η) τα κύτταρα στις προαναφερθείσες περιοχές έχουν αναπτυχθεί πολύ έντονα ενώ συνεχίζουν να αναπτύσσονται συνεχώς νέα κύτταρα μέσα στις ξηρές ζώνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα κύτταρα που αναπτύσσονται σε ξηρές ζώνες και όχι σε κάποιο όριο υγρούξηρού αέρα έχουν πολύ έντονη ανάπτυξη επειδή η υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα μεταφέρεται σε μια περιοχή που πριν ήταν ξηρή, στην οποία έχει ήδη αναπτυχθεί έντονη αναλύσεις των μετεωρολογικών μοντέλων είναι πλούσια σε υγρασία.





Εικόνα 141: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 9:00, β) 9:30, γ) 10:00 δ) 11:00, ε) 12:00, στ) 13:00 ζ) 14:00, η) 15:00 UTC στις 20 Ιουνίου 2009. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 141γ δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Όπως διακρίνεται στην δορυφορική εικόνα στα 7.3 μm στις 9:30 (εικόνα 142β), τα κύτταρα στις περιοχές **A**, **B**, **Γ**, **Δ** αναπτύχθηκαν παρουσία υγρασίας και όχι σε κάποιο όριο όπως στις αντίστοιχες εικόνες στα 6.2 μm. Η περιοχή **Ε είναι ξηρή όπως και στα 6.2 μm**. Στην περιοχή του Ιονίου διακρίνονται κάποια νέφη σε μεσαίο ύψος.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 142δ), τα κύτταρα αναπτύχθηκαν και στις περιοχές Ζ και Η που η πρώτη είναι σχετικά υγρή ενώ η δεύτερη είναι ξηρή όπως και στην αντίστοιχη εικόνα στα 6.2μm.

Στις 13:00 UTC (εικόνα 142στ) διακρίνεται το κύτταρο στην περιοχή Θ που είναι σχετικά υγρή σε αντίθεση με την εικόνα στα 6.2 μm όπου είναι ξηρή.

Στις 15:00 UTC (εικόνα 142η) αναπτύσσονται κύτταρα σε σχετικά ξηρές περιοχές (κόκκινα βέλη) που ταυτόχρονα στα 6.2 μm είναι πολύ ξηρές.

Η βασική διαφορά ανάμεσα στα δύο κανάλια είναι ότι τα κύτταρα στα 6.2 μm συνήθως αναπτύσσονται η σε όρια υγρού-ξηρού αέρα που ως γνωστόν είναι περιοχές που ευνοείται η ανωμεταφορά η σε ξηρές περιοχές που σε συνδυασμό με την παρουσία υγρασίας στα 7.3 μm ευνοείται η δυναμική αστάθεια και συνεπώς και η ανωμεταφορά.



158 02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Εικόνα 142: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι υδρατμών στα 7.3 μm στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 9:00, β) 9:30, γ) 10:00 δ) 11:00, ε) 12:00, στ) 13:00 ζ) 14:00, η) 15:00 UTC στις 20 Ιουνίου 2009. Οι κόκκινοι αριθμοί στην εικόνα 142α δείχνουν τις θερμοκρασίες λαμπρότητας στο συγκεκριμένο κανάλι. Τα κόκκινα βέλη στην εικόνα 142η δείχνουν τα καταιγιδοφόρα κύτταρα που αναπτύσσονται.

Στην εικόνα με τη διαφορά του καναλιού 6 από το 5 στις 9:30 UTC (εικόνα 143β) διακρίνονται οι φωτεινοί τόνοι με τιμές περίπου -19°C στις περιοχές A, B, Γ, Δ, E, Z. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι το κύριο στρώμα υγρασίας σε αυτές τις περιοχές είναι στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Η θερμοκρασία λαμπρότητας είναι στους -35 °C στις τέσσερις πρώτες περιοχές, -33 °C στη Z και -32 °C στην Ε. Οι αντίστοιχες θερμοκρασίες λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι -19 με -20 °C στις περιοχές A, B, Γ, Δ και -12 με -15 °C στις περιοχές Ε, Z.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, οι φωτεινοί τόνοι του γκρι στις εικόνες με την διαφορά του καναλιού 6 από το κανάλι 5 είναι ένδειξη παρουσίας υγρού αέρα στην κατώτερη τροπόσφαιρα και ξηρότερου στην ανώτερη. Αυτό σε συνδυασμό με θερμοκρασία λαμπρότητας ψυχρότερη κάτω από το όριο των -19 °C στα 7.3 μm και θερμότερη από το όριο των -39 °C στα 6.2 μm όπως στις περιοχές A, B, Γ, Δ υποδεικνύει δυναμική αστάθεια. Αντίθετα σύμφωνα με τα παραπάνω στις περιοχές E, Z δεν ευνοείται η δυναμική αστάθεια. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια για να υπάρχει δυναμική αστάθεια σε μια περιοχή πρέπει να έχει φωτεινούς τόνους του γκρι στις εικόνες με την διαφορά του καναλιού 6 από το και στα 7.3 μm να είναι θερμότερη από τους -39 °C και στα 7.3 μm ψυχρότερη από τους -19 °C. Δηλαδή να υπάρχει ξηρός αέρας στην ανώτερη τροπόσφαιρα και υγρός στην κατώτερη.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 143δ) διακρίνονται τα κύτταρα στις φωτεινές περιοχές H, Θ με διαφορές -18 με -20 °C. Η θερμοκρασία λαμπρότητας και στις δύο περιοχές στα 6.2 μm είναι -32 °C

και στα 7.3 μm είναι -13 με -16 °C. Οπότε παρόλο που το κύριο στρώμα υγρασίας σε αυτές τις δυο περιοχές είναι στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, η θερμοκρασία λαμπρότητας στα 7.3 μm είναι υψηλή οπότε δεν ευνοείται η δυναμική αστάθεια επειδή η υγρασία δεν είναι αρκετή.

Στις 15:00 συνεχίζεται η ανάπτυξη των καταιγίδων (κόκκινα βέλη στην εικόνα 143στ) σε φωτεινές περιοχές στις εικόνες με την διαφορά των δύο καναλιών με τιμές -16 °C και θερμοκρασία λαμπρότητας στα 6.2 μm -32 °C και -15 °C στα 7.3 μm. Σε αυτές τις περιοχές παρά την παρουσία ξηρού αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα, ο αέρας στα κατώτερα στρώματα δεν είναι αρκετά υγρός (μεγαλύτερη θερμοκρασία από -19 °C στα 7.3) ώστε να ευνοήσει τη δυναμική αστάθεια.





Εικόνα 143: Διαφορά καναλιού 6 από το κανάλι 5 στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 9:00, β) 9:30, γ) 10:00 δ) 11:00, ε) 13:00, στ) 15:00 UTC στις 20 Ιουνίου 2009. Τα κόκκινα βέλη στην εικόνα 143στ δείχνουν τα καταιγιδοφόρα κύτταρα που αναπτύσσονται. Οι κόκκινοι αριθμό στην εικόνα 143α δείχνουν τις διαφορές στις θερμοκρασίες λαμπρότητας του καναλιού 6 από το κανάλι 5..

Όπως διακρίνεται στις εικόνες με το προϊόν RGB των αερίων μαζών, μια ψυχρή και ξηρή αέρια μάζα μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού βρίσκεται στη θαλάσσια περιοχή του Ιονίου και πάνω από την δυτική Ελλάδα (σκούρα κόκκινα βέλη στην εικόνα 144α). Μια λιγότερο ψυχρή και μικρότερου δυναμικού στροβιλισμού αλλά επίσης ξηρή διακρίνεται βορειότερα (πορτοκαλί βέλος στην εικόνα 144α) και ενδιάμεσα τους μια ψυχρή και υγρή (λευκό βέλος). Οι διαφορετικής προέλευσης ζώνες στροβιλίζονται η μια μέσα στην άλλη. Βορειότερα στην περιοχή της Ρουμανίας διακρίνεται μια ψυχρή και υγρή και υγρή μάζα (λευκά βέλη). Η ξηρή μάζα μεγάλου στροβιλισμού που αναφέρθηκε περιβάλλεται από μια σχετικά ψυχρή και υγρή που εκτείνεται από το Ιόνιο προς το Αιγαίο (γαλάζια βέλη). Στις ανατολικές περιοχές του Αιγαίου διακρίνεται μια θερμή μάζα (πράσινα βέλη).

Μέσα στην ξηρή μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού μάζα αναπτύσσονται οι καταιγίδες στις περιοχές Α, Β, Γ, Δ στις 9:30 UTC (εικόνα 144α). Στην περιοχή Ε υπάρχει μια ξηρή και ψυχρή ζώνη μικρότερου δυναμικού στροβιλισμού.

Στις 11:00 UTC (εικόνα 144β) αναπτύχθηκαν κύτταρα μέσα σε ξηρή και ψυχρή μάζα στις περιοχές Η, Ζ καθώς και στην ψυχρή και υγρή περιοχή ανάμεσα στις Δ, Ζ (κίτρινο βέλος).

Στις 15:00 UTC (εικόνα 144δ) αναπτύσσονται νέα κύτταρα εντός της ψυχρής και ξηρής μάζας (κόκκινα βέλη).

Την συγκεκριμένη ημέρα οι περισσότερες και εντονότερες καταιγίδες αναπτύχθηκαν στην ξηρή μάζα με μεγάλο στροβιλισμό ενώ δεν αναπτύχθηκαν καταιγίδες σε όριο δυο διαφορετικής προέλευσης μαζών.



Εικόνα 144: Προϊόν RGB με τις αέριες μάζες στην περιοχή ενδιαφέροντος στις α) 9:30, β) 11:00, γ) 13:00 δ) 15:00 UTC στις 20 Ιουνίου 2009. Τα σκούρα κόκκινα βέλη στην εικόνα 144α δείχνουν την ψυχρή ζηρή μάζα μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού, το πορτοκαλί βέλος δείχνει μια λιγότερο ψυχρή και μικρότερου δυναμικού στροβιλισμού αλλά επίσης ζηρή αέρια μάζα, η ψυχρή και υγρή αέρια μάζα δείχνεται με λευκό βέλος. Η ψυχρή και υγρή μάζα δείχνεται με λευκά βέλη. Η σχετικά ψυχρή και υγρή δείχνεται με γαλάζια βέλη και η θερμή μάζα με πράσινα βέλη.

Συνοπτικά λοιπόν οι καταιγίδες στην συγκεκριμένη περίπτωση αναπτύχθηκαν μέσα στις ξηρές ζώνες μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού μιας περιοχής σε καθεστώς εμποδισμού εξαιτίας κυκλογένεσης. Στην περιοχή της Ελλάδας η πρώτη εμφάνιση ανωμεταφοράς έγινε σε όρια υγρούξηρού αέρα ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι καταιγίδες αναπτύχθηκαν κυρίως σε ξηρές ζώνες. Η παρουσία υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα όπως φαίνεται από δορυφορικές εικόνες αλλά και από αναλύσεις μετεωρολογικών μοντέλων, ευνοεί την ανωμεταφορά ιδιαίτερα στην περιοχή της Ελλάδας όπου όπως αναφέρθηκε και πριν υπήρχε δυναμική αστάθεια και έντονος θετικός σχετικός στροβιλισμός. Η απόκλιση στα 300 mb είναι θετική αν και έχει μικρές τιμές και σε συνδυασμό με την σύγκλιση των ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα στις περιοχές βορειότερα της Ελλάδας βοηθούν την ανωμεταφορά. Επίσης λόγω της μεγάλης θερμοβαθμίδας ανάμεσα στις επιφάνειες των 500-850 mb ευνοείται η θερμοδυναμική αστάθεια και οι ανοδικές κινήσεις.

4.2 Στατιστική ανάλυση

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια στατιστική ανάλυση με σκοπό να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά της ανώτερης τροπόσφαιρας, (παρουσία ξηρών ζωνών όπως ζωνών παραμόρφωσης ή λανθάνουσων ανωμαλιών ή δυναμικών ανωμαλιών τροπόπαυσης, ξηρών εισβολών η άλλων χαρακτηριστικών όπως στροβίλων, καθεστώτων εμποδισμού, βαροκλινικών φύλων), οι συνθήκες υγρασίας σε όλα τα στρώματα της τροπόσφαιρας και χωρικής της μεταβολής, το είδος των αερίων μαζών και ο άνεμος στην κατώτερη τροπόσφαιρα που ευνοούν περισσότερο την δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης μετά από συνθήκες αίθριου καιρού.

Τα καταιγιδοφόρα κύτταρα που αναπτύσσονται μετά από συνθήκες αίθριου καιρού τις καλοκαιρινές ημέρες σχετίζονται άμεσα με τις εικόνες στο κανάλι υδρατμών και χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τις συνθήκες υγρασίας στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες συνθήκες υγρασίας καθώς και σύγκλισης ανέμων στα χαμηλότερα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά σε όρια περιοχών υψηλής και χαμηλής υγρασίας στο κανάλι υδρατμών είναι περισσότερο πιθανό να σχετίζονται με την ανάπτυξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και καταιγίδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία σε μια ξηρή περιοχή στην ανώτερη τροπόσφαιρα, διέρχεται ανεμπόδιστη προς τα κατώτερα στρώματα έτσι βοηθάει στη θέρμανσή τους. Στη συνέχεια ο θερμότερος και ελαφρύτερος αέρας κατά την άνοδο του αναμιγνύεται με την υγρασία στις γειτονικές περιοχές της ανώτερης τροπόσφαιρας, έτσι τροφοδοτεί μια καταιγίδα. Όπως είναι φυσικό η ρηχή ανωμεταφορά είναι πιο εύκολο να αναπτυχθεί πάνω από ορεινές και ημιορεινές περιοχές.

Συνολικά μελετήθηκαν 36 περιπτώσεις εμφάνισης καταιγίδων μετά από αίθριο καιρό στα Βαλκάνια και στην Ελλάδα για τους καλοκαιρινούς μήνες του 2009. Στον πίνακα 2, οι 36 αυτές περιπτώσεις ταξινομήθηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά στο κανάλι υδρατμών στις περιοχές εμφάνισης των νεφών όπως λανθάνουσα ανωμαλία τροπόπαυσης, ζώνη παραμόρφωσης, καθεστώς εμποδισμού, βαροκλινικό φύλλο, στρόβιλος, δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης ή ξηρή εισβολή. Στον πίνακα 3 φαίνεται η κατανομή του αριθμού των νεφικών κυττάρων με βάση τα χαρακτηριστικά της υγρασίας του αέρα που επικρατούσαν στην περιοχή ανάπτυξης τους κατά την πρώτη ανωμεταφορά.

Συγκεκριμένα, με βάση τα στοιχεία του πίνακα 2 και της εικόνας 145:

- Σε 19 περιπτώσεις εμφανίστηκαν νεφικά κύτταρα σε λανθάνουσα ανωμαλία τροπόπαυσης.

- Σε 26 περιπτώσεις εμφανίστηκαν κύτταρα σε ζώνη παραμόρφωσης.

- Σε 18 περιπτώσεις αναπτύχθηκαν νεφικά κύτταρα που σχετίζονται με ύπαρξη καθεστώτος εμποδισμού (blocking regime).

- Σε 7 περιπτώσεις υπήρχε στην περιοχή μια ξηρή ζώνη που σχετίζεται με την παρουσία έντονου θετικού στροβιλισμού δηλαδή μια δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης ή ξηρή εισβολή. Από αυτές μόνο μια ήταν ξηρή εισβολή η οποία ευνόησε την ανάπτυξη καταιγίδων μετά από συνθήκες αίθριου καιρού.

-Σε 6 περιπτώσεις στην περιοχή υπήρχε βαροκλινικό φύλο το οποίο δεν επηρέασε την ανάπτυξη των καταιγίδων.

- Σε 4 περιπτώσεις υπήρξε στροβιλισμός δυο διαφορετικής προέλευσης και κατά συνέπεια διαφορετικών θερμικών και υγρομετρικών ιδιοτήτων αερίων μαζών και τα κύτταρα των καταιγίδων αναπτύχθηκαν στα όρια υγρών με τις ξηρές περιοχές.

Συνήθως οι ζώνες παραμόρφωσης συνυπάρχουν με λανθάνουσες ανωμαλίες και καθεστώτα εμποδισμού. Πολύ σπάνια συνυπάρχουν λανθάνουσες ανωμαλίες με ξηρές εισβολές και βαροκλινικά φύλλα

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3 και την εικόνα 146 η πρώτη εμφάνιση ανωμεταφοράς έγινε:

-Στο 65.2 % των κυττάρων μετά από συνθήκες αίθριου καιρού έστω σε ασθενές όριο ξηρούυγρού αέρα στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm.

-Στο 13.15 % σε ξηρή περιοχή και το 21.7 % σε περιοχή με μεγάλη υγρασία στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm.



Εικόνα 145: Χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών στις περιοχές που εμφανίστηκαν νέφη κατακόρυφης ανάπτυζης στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν(σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζονται περισσότερα από 1 χαρακτηριστικά).

Ημερομηνία	Λανθ. ανωμαλία	Ζώνη παραμόρφωσης	Καθεστώς εμποδισμού	Δυν. Ανωμ./ ξηρή εισβολή	Βαρ.φύλλο	Στρόβιλος
10 Μαΐου						
11 Μαΐου		•	•			
12 Mαΐου	•	•				
18 Μαΐου	•	•	•			
19 Μαΐου	•	•	•			
20 Μαΐου	•	•	•			
21 Μαΐου	•	•	•			
23 Μαΐου		•		•	•	
25 Μαΐου	•					
26 Μαΐου	•	•				
27 Μαΐου	•					
5 Ιουνίου		•				
9 Ιουνίου	•	•		•		•
11 Ιουνίου	•	•		•		
19 Ιουνίου	•		•	•		•
20 Ιουνίου		•	•	•		•
1 Ιουλίου	•	•	•			
2Ιουλίου		•	•			
3 Ιουλίου	•					
5 Ιουλίου		•				
6 Ιουλίου	•	•				

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών στις περιοχές που εμφανίστηκαν νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

16 Ιουλίου		•	•		•	
17 Ιουλίου	•		•			
31 Ιουλίου	•	•	•			
3Αυγούστου						
4Αυγούστου	•		•		•	•
15Αυγούστου		•			•	
16Αυγούστου			•			
17Αυγούστου		•	•			
18Αυγούστου	•	•				
19Αυγούστου		•				
22Αυγούστου						
23Αυγούστου		•			•	
28Αυγούστου	•	•	•	•	•	
29Αυγούστου		•	•	•		
4Σεπτεμβρίου		•	•			



Εικόνα 146: Σχετική συχνότητα με τις συνθήκες υγρασίας στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm κατά την εμφάνιση των καταιγιδοφόρων κυττάρων μετά από αίθριο καιρό στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Πίνακας 3: Κατανομή του αριθμού των νεφών κατακόρυφης ανάπτυζης με βάση τα χαρακτηριστικά της υγρασίας του αέρα στην περιοχή ανάπτυζης σε κάθε περίπτωση από τις 36 που μελετήθηκαν.

ημερομηνία	κύτταρα σε όριο	κύτταρα εκτός ορίου	σε σχετικά ξηρή περιοχή	σε υγρή περιοχή
10 Μαΐου	12	7	5	2
11 Μαΐο υ	11	3	2	1
12 Μαΐου	14	6	4	2
18 Μαΐο υ	14	3	2	1
19 Μαΐο υ	12	12	6	6
20 Μαΐου	8	16	2	14
21 Μαΐο υ	3	2	0	2
23 Μαΐου	9	4	1	3

25 Μαΐου	16	7	1	6
26 Μαΐου	6	3	2	1
27 Μαΐο υ	9	1	0	1
5 Ιουνίου	3	1	0	1
9 Ιουνίου	4	0	0	0
11 Ιουνίου	7	2	1	1
19 Ιουνίου	10	0	0	0
20 Ιουνίου	21	0	0	0
1 Ιουλίου	13	1	0	1
2 Ιουλίου	21	4	1	3
3 Ιουλίου	20	7	0	7
5 Ιουλίου	16	4	0	4
6 Ιουλίου	6	26	4	22
16 Ιουλίου	7	6	3	3
17 Ιουλίου	11	8	8	0
31 Ιουλίου	3	4	0	4
3 Αυγούστου	2	5	4	1
4 Αυγούστου	9	2	0	2
15 Αυγούστου	14	6	6	0
16 Αυγούστου	0	3	0	3
17 Αυγούστου	12	0	0	0
18 Αυγούστου	6	2	1	1
19 Αυγούστου	7	3	0	3
22 Αυγούστου	0	4	4	0
23 Αυγούστου	4	5	5	0
28 Αυγούστου	8	3	0	3
29 Αυγούστου	5	11	2	9
4 Σεπτεμβρίου	6	4	2	2
σύνολο	329	175	66	109

Από τη μελέτη των αερίων μαζών τις ημέρες των καταιγίδων παρατηρείται ότι ευνοϊκή συνθήκη ανάπτυξης μιας καταιγίδας είναι η συνύπαρξη δυο αερίων μαζών με διαφορετικά θερμοϋγρομετρικά χαρακτηριστικά. Σε πολλές περιπτώσεις ακόμα και μια μικρή ζώνη διαφορετικών θερμοϋγρομετρικών χαρακτηριστικών μέσα σε μια διαφορετικής φύσεως αέρια μάζα είναι ικανή για την ανάπτυξη μεγάλου αριθμού καταιγίδων. Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις όπου οι δυο διαφορετικών ειδών αέριες μάζες αλληλεπιδρούν με αποτέλεσμα η μια να αποκτά χαρακτηριστικά της άλλης. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, όταν η αλληλεπίδραση μιας ψυχρής-υγρής με μια θερμή-ξηρή αέρια μάζα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας θερμής και υγρής μάζας στο όριο των δυο προϋπαρχόντων μαζών.

Στον πίνακα 4 και την εικόνα 147 παρουσιάζονται τα θερμοϋγρομετρικά χαρακτηριστικά των αερίων μαζών που επικρατούσαν στην περιοχή ενδιαφέροντος και που ήταν υπεύθυνες για την ανάπτυξη των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης για τις 36 περιπτώσεις που ερευνήθηκαν. Ο πίνακας 3 δίνει πληροφορίες μόνο για την υγρασία του αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα στο υψόμετρο των 300 mb. Ο πίνακας 4 δίνει δύο επιπλέον πληροφορίες από τον προηγούμενο, τη θερμοκρασία μιας αέριας μάζας η οποία βρίσκεται στο ύψος των 500 mb, καθώς και την ύπαρξη ή μη σημαντικών τιμών δυναμικού στροβιλισμού, με την παρουσία κεραμιδί χρώματος δηλαδή την ύπαρξη ψυχρής και πολύ ξηρής αέριας μάζας.

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 147, στο 58% των περιπτώσεων τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης, στην αρχή τους τουλάχιστον, αναπτύχθηκαν σε όριο ψυχρής-υγρής με ψυχρή και ξηρή περιοχή (όριο κόκκινης με μπλε περιοχή στις εικόνες RGB «Αέριες μάζες»). Αμέσως μετά σε συχνότητα εμφάνισης (14%) νεφών είναι οι περιοχές σε όριο ψυχρής-υγρής με θερμή μάζα (όριο πορτοκαλί με μπλε περιοχή).

Πάντως δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις εμφάνισης σε μια αέρια μάζα χωρίς αλληλεπίδραση με άλλη (20 % συνολικά) όπως για παράδειγμα μέσα σε ψυχρή-ξηρή (κόκκινη περιοχή) ή ψυχρή-υγρή (μπλε περιοχή) ή θερμή και ξηρή (πορτοκαλί περιοχή) ή θερμή-υγρή αέρια μάζα (πράσινη περιοχή).

Τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και οι καταιγίδες πολύ σπάνια αναπτύσσονται απουσία υγρασίας μάζας (μόλις στο 6 % των περιπτώσεων αναπτύσσονται κύτταρα σε ξηρή μάζα), όπως για παράδειγμα στις περιπτώσεις ψυχρής-ξηρής με θερμή και ξηρή αέρια μάζα. Η απουσία ψυχρής μάζας επίσης μειώνει σημαντικά τις πιθανότητες εμφάνισης καταιγίδας (μόλις 11 % των περιπτώσεων αναπτύσσονται κύτταρα με απουσία ψυχρής μάζας) όπως για παράδειγμα σε όριο θερμής και υγρής με θερμή και ξηρή μάζα.



Εικόνα 147: Σχετική συχνότητα με τα καταιγιδοφόρα κύτταρα που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικής προέλευσης αέριες μάζες στις 36 περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Πίνακας 4: Λέριες μάζες που επικρατούσαν στην περιοχή εμφάνισης των νεφών κατακόρυφης ανάπτυζης των 36

ημερομηνία	αέριες μάζες
10 Μαΐου	όριο ψυχρής-ζηρής με ψυχρή-υγρή μάζα
11 Μαΐου	όριο ψυχρής-ξηρής με ψυχρή-υγρή μάζα
12 Μαΐου	όριο ψυχρής-ξηρής με ψυχρή-υγρή μάζα και μέσα στην ξηρή
	όριο ψυχρής-ξηρής με ψυχρή-υγρή μάζα στη Ρουμανία και το
18 Μαΐου	ίδιο στα δυτικά Βαλκάνια
19 Μαΐου	όριο ψυχρής-ξηρής με ψυχρή-υγρή μάζα
20 Maïon	σε πολύ ψυχρή και υγρή μάζα στη Ρουμανία και σε ελαφρώς θερμότερη και ξηρότερη στην Ελλάδα που συνορεύει με ψυχρή και υγοή
21 Maïov	σε σχετικά ψυχρή και υγρή στη Ρουμανία και σε πολύ ψυχρή και υγρή στα Σκόπια και την Αλβανία
23 Μαΐο υ	όριο ψυχρή ξηρής με ψυχρή υγρή
25 Μαΐου	όριο σχετικά ψυχρής-ξηρής με ψυχρή-υγρότερη
26 Μαΐο υ	όριο ψυγρής ξηρής που είναι σαν ζώνη μέσα σε ψυγρή υγρή
27 Μαΐου	μέσα σε ψυχρή υγρή
5 Ιουνίου	μέσα σε ψυχρή σγετικά ξηρή
9 Ιουνίου	στρόβιλος ξηρής θερμής με υγρή και σχετικά ψυχρή και καταιγίδες στο όριο
11 Ιουνίου	όρια ψυχρών και ξηρών με ψυχρών και υγρών ζωνών
19 Ιουνίου	όριο σχετικά ψυχρής και ξηρής με σχετικά ψυχρή και υγρή (στρόβιλος)
20 Ιουνίου	μέσα σε ψυχρή και ξηρή και αργότερα σε ψυχρή-υγρή
1 Ιουλίου	σε ψυχρή και υγρή και σε ψυχρή και ξηρή
2 Ιουλίου	όριο ψυχρής-υγρής με θερμή-ξηρή αέρια μάζα
3 Ιουλίου	σε ψυχρή υγρή στα Βαλκάνια και μέσα σε θερμή ξηρή στην Ελλάδα
5 Ιουλίου	όριο ψυχρής και υγρής αέριας μάζας στα δυτικά Βαλκάνια με την σχετικά θερμή και ξηρή στα κεντρικά και σε όριο ψυχρής- υγρής με σχετικά θερμή-ξηρή και στην Ελλάδα επίσης
6 Ιουλίου	σε ψυγρή-υγρή και σε όρια με ψυγρή και ξηρή αέρια μάζα
16 Ιουλίου	σε όριο ψυχρή-υγρής με ψυχρή και ξηρή στα κεντρικά Βαλκάνια και μέσα σε θερμή και ξηρή στα δυτικά Βαλκάνια.
17 Ιουλίου	όριο ψυχρής-υγρής με θερμή-ξηρή
31 Ιουλίου	όριο ψυχρής υγρής με ξηρή στα βόρεια και μέσα σε ψυχρή και υγρή στα νότια
3 Αυγούστου	όριο θερμή υγρής με θερμή και ξηρή (και παρουσία ψυχρής και υγρής μάζας)
4 Αυγούστου	όριο ψυχρής υγρής με σχετικά ψυχρή και ξηρή
	σε ψυχρή υγρή στα νότια Βαλκάνια, (βορειότερα από την
15 Αυγούστου	Ελλάδα) σε όριο με της θερμή ξηρή στη βόρεια Ελλάδα και σε θερμή υγρή στη νότια Ελλάδα
16 Αυγούστου	Όριο θερμής-υγρής με θερμή-ξηρή
17 Αυγούστου	όριο ψυχρής-υγρής με θερμή-ξηρή (που αποκτά υγρασία στις περιοχές που συνορεύουν)
18 Αυγούστου	οριο ψυχρής-υγρής που πλησιάζει σαν μέτωπο θερμή-ξηρή μάζα
	ψυχρη και ζηρή ενδιάμεσα και καταιγίδες σε όρια με 2 ψυχρές

περιπτώσεων που μελετήθηκαν.

μέσα σε πολύ θερμή και ξηρή που αποκτά υγρασία λόγω ανοδικών κινήσεων από την κατώτερη τροπόσφαιρα

και υγρές μάζες

19 Αυγούστου

22 Αυγούστου

	θερμή και ξηρή αέρια μάζα που αποκτά υγρασία στα ανατολικά
	Βαλκάνια και σε όριο ψυχρής υγρής με σχετικά ψυχρή και ξηρή
23 Αυγούστου	δυτικότερα
28 Αυγούστου	όριο ψυχρής-ζηρής με ψυχρή-υγρή
29 Αυγούστου	μέσα σε ψυχρή-υγρή και σε όρια με θερμή και ζηρή
	σε όριο θερμής και ξηρής με θερμή και υγρή μάζα στην Ελλάδα
	και σε όριο θερμής και ξηρής με ψυχρή και υγρή στην
4 Σεπτεμβρίου	Βουλγαρία

Στον πίνακα 5 και την εικόνα 148 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που βγήκαν μελετώντας τις εικόνες με τις διαφορές του καναλιού 6 από το κανάλι 5. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται το υψόμετρο του κύριου στρώματος υγρασίας ανάλογα με τις διαφορές και τους τόνους του γκρι στις περιοχές που αναπτύχθηκαν τα καταιγιδοφόρα νέφη. Αυτό γίνεται για να προσδιοριστεί το κατάλληλο ύψος της υγρασίας που ευνοεί την ανωμεταφορά.

Παρατηρείται ότι στο 89 % των περιπτώσεων (εικόνα 148) οι καταιγίδες αναπτύσσονται κυρίως σε περιοχές με ανοιχτούς τόνους του γκρι δηλαδή σε περιοχές με το κύριο στρώμα υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα και συγκεκριμένα στα 700mb. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια η παρουσία του κύριου στρώματος στην κατώτερη τροπόσφαιρα και ξηρού αέρα στην ανώτερη, ευνοεί την δυναμική αστάθεια και την δημιουργία καταιγίδων.

Οι περιπτώσεις που αναπτύσσονται σε όρια με σχετικά σκοτεινότερους τόνους (δηλαδή με μεγάλη βαθμίδα της υγρασίας στα 700-500 mb) είναι πιο σπάνιες αλλά όχι ασυνήθιστες. Γενικά σε ανέφελες περιοχές με φωτεινούς τόνους του γκρι το ποσοστό σχετικής υγρασίας είναι μεγάλο στα 700 mb, και αυτό παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός νέφους κατακόρυφης ανάπτυξης.



Εικόνα 148: Σχετική συχνότητα εμφάνισης κυττάρων ανωμεταφοράς ανάλογα με το υψόμετρο του κύριου στρώματος υγρασίας στην ατμόσφαιρα στις 36 περιπτώσεις που μελετήθηκαν μετά από συνθήκες αίθριου καιρού όπως προκύπτει από τις διαφορές του καναλιού 6 από το κανάλι 5.

Πίνακας 5: Τα χαρακτηριστικά στις εικόνες της διαφοράς καναλιών 56. Η πρώτη στήλη δείχνει τις ημέρες που μελετήθηκαν, η δεύτερη την διαφορά των δυο καναλιών σε παρένθεση και σε τόνους του γκρι και η τρίτη το υψόμετρο του κύριου στρώματος υγρασίας για κάθε περίπτωση.

Ημερομηνία	Διαφορά καναλιών 5-6	Κύριο στρώμα υγρασίας
	σχετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι (-	
10 Μαΐου	19°C)	υγρασία στα 700-600 mb
	σχετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι (-	
<u>11 Μαΐου</u>	20°C)	υγρασία στα 700-600 mb
	σχετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι	υγρασία στα 700 mb στην
10 Matter	στην Ελλαδα (-1/°C) και	Ελλαδα και στα /00-600mb στη
12 Matov	σκοτείνοτερη -20 στη Ρουμανία	ρουμανία
	ορία σχετικά φωτείνων περιοχών	$700,600$ reg 500 mb $\sigma\tau$ m
	$\mu \epsilon \tau \mu \eta = 19 \ \mu \epsilon \pi 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \epsilon \tau \nu \epsilon \zeta \ \mu \epsilon$	Ρουμανία μεγάλη υγοασία στα
	τόνοι (-19 ° C) στα δυτικά	700-600 mb στα δυτικά
18 Maïon	Βαλκάνια	Βαλκάνια
10 11 0000	σε φωτεινές περιογές με τιμή -17	
19 Μαΐου	°C	υγρασία στα 700-600 mb
	σε περιοχές με φωτεινούς τόνους	
	του γκρι στη Ρουμανία και την	
20 Μαΐου	Ελλάδα με τιμή -19°C	υγρασία στα 700-600 mb
	σε όριο σχετικά φωτεινών(-19) και	όριο περιοχής με υγρασία στα
	σκοτεινών τόνων του γκρι με τιμή	700-600 με περιοχή με υγρασία
21 Μαΐου	23°C	στα 500 mb
		σε περιοχή με υγρασία στα 700-
		600 mb και σε περιοχή με
22 Matter	σε σχετικά φωτεινες περιοχες (-18)	υγρασία στα 500 mb και στο
25 Matou	και σε ορία με σκοτεινότερες -23 C	οριο τους
25 Mailon	$\tau_{\rm me} = 18^{\circ} {\rm C}$	υνοασία στα 700 mb
25 11000	σ_{μ}	
26 Maïon	20° C)	υνοασία στα 700-600 mb
201120000	σγετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι με	
27 Μαΐο υ	διαφορά περίπου (-19°C)	υγρασία στα 700-600 mb
	σχετικά ανοιχτοί τόνοι του γκρι (-	
5 Ιουνίου	19°C)	υγρασία στα 700-600mb
		μεγάλη κατακόρυφη βαθμίδα
	όριο σχετικά φωτεινής περιοχής (-	υγρασίας ανάμεσα στα 700-500
9 Ιουνίου	18°C) με σχετικά σκοτεινή (24°C)	mb
11 T /	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	/ 7 00 (00 1
11 Ιουνίου	τιμη -18°C	υγρασια στα 700-600 mb
10 Janutan	σε σχετικά φωτεινη περιοχη με	www.arefa.eea 700 600 mb
17 1000100	ιμη -17 C	07puolu 0 tu 700-000 IID
	-17 °C και σε περιοχή με τιμή	υνοασία στα 700mb και στα
20 Ιουνίου	-19 °C	700-600 mb avtístora
20100000	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	
1 Ιουλίου	τιμή -16 °C	υγρασία στα 700 mb
	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	
2 Ιουλίου	τιμή -16 με -18°C	υγρασία στα 700-600 mb
3 Ιουλίου	φωτεινή περιοχή (-15 με -17°C)	υγρασία στα 700 mb
	σχετικά φωτεινές περιοχές με τιμή	
5 Ιουλίου	-16 με -18°C	υγρασία στα 700-600 mb
	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	
6 Ιουλίου	τιμή -16 με -18°C	υγρασία στα 700-600 mb
	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	
16 Ιουλίου	τιμή -17°C	υγρασία στα 700 mb

	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	
17 Ιουλίου	τιμή -17°C	υγρασία στα 700 mb
	όριο σχετικά σκοτεινής περιοχής (-	
	22°C) με φωτεινή (-17°C)	μεγάλη βαθμίδα υγρασίας στα
	Ρουμανία, σκοτεινή (-22°C) στην	700-500 mb Ρουμανία, υγρασία
31 Ιουλίου	Ελλάδα	στα 500 Ελλάδα
	σχετικά φωτεινοί τόνοι του γκρι (-	
3 Αυγούστου	17°C)	υγρασία 700 mb
	όριο σχετικά φωτεινών με πιο	μεγάλη βαθμίδα της υγρασίας
4 Αυγούστου	σκοτεινές περιοχές (-19 ως -21°C)	στο ύψος των 700 με 500 mb.
	σε σχετικά φωτεινές περιοχές (-16	
15 Αυγούστου	με -18°C)	υγρασία στα 700-600 mb
	σχετικά ανοιχτοί τόνοι του γκρι (-	
16 Αυγούστου	19 με -20°C)	υγρασία στα 700mb
	σχετικά ανοικτοί τόνοι του γκρι (-	
17 Αυγούστου	18 C)	υγρασία στα 700-600mb
	σχετικά φωτεινοί τόνοι (-18 με -	
18 Αυγούστου	20°C)	υγρασία στα 700-600mb
	σχετικά σκοτεινοί τόνοι του γκρι (-	
	23°C) στα βόρεια Βαλκάνια και	
	σχετικά φωτεινοί τόνοι στα νότια	υγρασία στα 500 mb στα βόρεια
19 Αυγούστου	με τιμή -19°C	και στα 700-600 mb στα νότια
	σχετικά φωτεινή περιοχή με τιμή -	
22 Αυγούστου	17°C	υγρασία στα 700mb
	σχετικά φωτεινή περιοχή με τιμή -	
23 Αυγούστου	17°C	υγρασία στα 700mb
	σχετικά φωτεινή περιοχή με τιμή -	
28 Αυγούστου	16 με -17°C	υγρασία στα 700mb
	σχετικά φωτεινές περιοχές με τιμές	
29 Αυγούστου	-17 έως -19°C	υγρασία στα 700-600mb
	σε σχετικά φωτεινή περιοχή με	
4 Σεπτεμβρίου	τιμή -17°C	υγρασία στα 700mb

Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση των κυττάρων ανωμεταφοράς σύμφωνα με τις συνθήκες υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με την υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα και το άνεμο στα 10 μέτρα. WVDRY είναι η παρουσία κάποιας ζηρής ζώνης στο κανάλι υδρατμών (λανθάνουσα ανωμαλία ή ζώνη παραμόρφωσης), WVDYN είναι η παρουσία κάποιας ζηρής ζώνης με μεγάλο δυναμικό στροβιλισμό, MUM είναι η παρουσία υγρασίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα, LM είναι η παρουσία υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα και LCL είναι η σύγκλιση των ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα.

	MUM+	WVDRY+	WVDRY+	WVDRY+	MUM+	MUM+	WVDYN+
Ημερομηνία	LM+LCL	LM+LCL	LM	LCL	LM	LCL	LM+LCL
10-Μαϊ	2	26					
11-Maï		2	60		14		
12-Μαϊ		9	26		4		
18-Maï	8	4	17	3	3		
19-Μαϊ			42		14		
20-Μαϊ	21	18					
21-Μαϊ	26	17					
23-Μαϊ	5	5	6				
25-Μαϊ	9		47				
26-Maï		60					

27-Μαϊ	22		11				
5-Iouv		4					
9-Iouv		4					15
11-Iouv	6						21
19-Iouv	2	4	7				11
20-Iouv	6	4					27
1-Ιουλ			39		11		
2-Ιουλ	20	10	18				
3-Ιουλ			23		2		
5-Ιουλ			36		4		
6-Ιουλ			48		10		
16-Ιουλ			29		4		
17-Ιουλ	3	20					
31-Ιουλ	3	3					
3-Αυγ		10					
4-Αυγ	3	10					
15-Αυγ			32		1		
16-Αυγ	2	2					
17-Αυγ			20				
18-Αυγ			18		2		
19-Αυγ			18		3		
22-Αυγ		6					
23-Αυγ			7				
28-Αυγ	2						34
29-Αυγ	25						23
4-Σεπ		19					
σύνολο	185	233	504	3	72	0	131
ποσοστό	16%	20.6%	44.7%	0%	6.3%	0%	11.6%



Εικόνα 149: Ποσοστό % του συνδυασμού των συνθηκών υγρασίας της ανώτερης τροπόσφαιρας με τις συνθήκες υγρασίας και σύγκλισης ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα που επικρατούσαν τις ημέρες με την ανάπτυζη των καταιγίδων.

Στον πίνακα 6 απεικονίζεται η καταμέτρηση των καταιγιδοφόρων κυττάρων ανά ημέρα και ομαδοποίηση τους ανάλογα με τις συνθήκες υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, όπως απεικονίζονται στις εικόνες στα κανάλια υδρατμών στα 7.3 και 6.2 μm αντίστοιχα, την παρουσία δυναμικών δομών στην ανώτερη τροπόσφαιρα (δυναμική ανωμαλία, ξηρή εισβολή) όπως προκύπτει από τις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι στα 6.2μm, τις συνθήκες υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα (όπως προκύπτει από την διαφορά των δυο αυτών καναλιών και από δεδομένα που προήλθαν από την ανάλυση των μετεωρολογικών μοντέλων) και την σύγκλιση ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα όπως προκύπτει και πάλι από δεδομένα ανάλυσης των μετεωρολογικών μοντέλων και παρατηρήσεις επιφανείας.

Συγκεκριμένα WVDYN (water vapour dynamic) είναι η παρουσία ξηρών ζωνών ή κηλίδων στην ανώτερη τροπόσφαιρα (στο κανάλι υδρατμών στα 6.2μm) που συνδέονται με την μεταφορά

δυναμικού στροβιλισμού και την παρουσία αεροχείμμαρου, όπως δυναμικές ξηρές ζώνες η ξηρές εισβολές.

WVDRY (Water vapor dry) είναι οι ξηρές συνθήκες στην ανώτερη τροπόσφαιρα που συνδέονται με λανθάνουσες ή ζώνες παραμόρφωσης στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm και απουσία σημαντικών ανωμαλιών δυναμικού στροβιλισμού. Η διαφορά από την προηγούμενη περίπτωση είναι ότι εδώ υπάρχει απουσία δυναμικού στροβιλισμού και αεροχείμμαρου.

MUM (moist air at the middle troposphere) είναι η παρουσία αυξημένης υγρασίας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα όπως προκύπτει από δορυφορικές εικόνες στα κανάλια στα 7.3μm, στα 6.2 μm και από την διαφορά τους. **LM** (moist air at the lower troposphere) είναι η αυξημένη υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα όπως καταγράφεται από παρατηρήσεις επιφανείας, δεδομένα ανάλυσης μετεωρολογικών μοντέλων και την διαφορά του καναλιού 6 (7.3μm) από το κανάλι 5 (6.2μm).

LCL (low level convergence line) είναι ένα όριο ανάμεσα σε ξηρό και υγρό αέρα και συνδέεται με σύγκλιση ανέμων στην επιφάνεια. Η πληροφορία αυτή όπως αναφέρθηκε και πριν, προέρχεται από δεδομένα ανάλυσης μετεωρολογικών μοντέλων και παρατηρήσεις επιφανείας.

Από τις 7 ομάδες που χωρίστηκαν τα νεφικά κύτταρα στον πίνακα 6 (διακρίνεται και στην εικόνα 150) παρατηρείται ότι τα περισσότερα βρίσκονται στην **ομάδα 3** (44.7%) που σημαίνει ότι όταν υπάρχει μια σχετικά ξηρή ζώνη στο κανάλι υδρατμών στα 6.2 μm μέσα σε μια ευρύτερη υγρή περιοχή, σε συνδυασμό με αυξημένη υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα, είναι περισσότερο αυξημένες οι πιθανότητες για ανάπτυξη καταιγίδας. Αμέσως μετά ακολουθεί η **ομάδα 2** (20.6%) η οποία δείχνει τα κύτταρα που αναπτύχθηκαν επίσης σε συνθήκες ξηρής μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας και υγρής κατώτερης τροπόσφαιρας όπως και στην προηγούμενη περίπτωση αλλά εδώ σε συνδυασμό με σύγκλιση των ανέμων στα κατώτερα επίπεδα.

Αμέσως μετά σε συχνότητα εμφάνισης νεφών είναι η **ομάδα 1** (16%) όπου ανήκουν τα κύτταρα που αναπτύχθηκαν σε υγρή περιοχή στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με αυξημένη υγρασία και σύγκλιση ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Το 11.6% των κυττάρων σε ξηρή ζώνη μεγάλου δυναμικού στροβιλισμού στην ανώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με αυξημένη υγρασία και σύγκλιση ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα (ομάδα 7) και το 6.3% των κυττάρων αναπτύχθηκαν σε υγρή περιοχή με αυξημένη υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα (ομάδα 7) και το 6.3% των κυττάρων αναπτύχθηκαν σε υγρή περιοχή με αυξημένη υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα στην κατώτερη τροπόσφαιρα (ομάδα 7) και το 6.3% των κυττάρων αναπτύχθηκαν σε υγρή περιοχή με αυξημένη υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα (ομάδα 5). Τέλος στις ομάδες 4 και 6 δεν ανήκουν κάποια κύτταρα (εκτός από 3 στην ομάδα 4) που σημαίνει ότι η απουσία υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα είναι απαγορευτικός παράγοντας για τη δημιουργία ανωμεταφοράς.

Από την ομαδοποίηση των κυττάρων σε αυτές τις εφτά ομάδες, παρατηρείται ότι όταν υπάρχει ξηρός αέρας στην ανώτερη τροπόσφαιρα και υγρός αέρας στην κατώτερη είναι πιο εύκολο να δημιουργηθεί ένα καταιγιδοφόρο νέφος. Η παρουσία όμως ξηρού αέρα στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας δεν είναι απαραίτητος παράγοντας καθώς όπως διαπιστώθηκε και με υγρό αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα μπορεί να δημιουργηθούν τέτοια νέφη. Ο ιδανικός παράγοντας για να γίνει κάτι τέτοιο είναι η συνύπαρξη υγρού-ξηρού αέρα ώστε η καταιγίδα να αναπτυχθεί πάνω στο όριο τους, από την θέρμανση των κατώτερων στρωμάτων της τροπόσφαιρας από την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται ανεμπόδιστα σε περιοχή ξηρού αέρα. Στη συνέχεια τα ανοδικά ρεύματα που δημιουργούνται από το θερμικό αυτό αίτιο με την βοήθεια της υγρασίας στα ανώτερα στην ομάδα 4 είναι ελάχιστα και αυτό δείχνει ότι η απουσία υγρασίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα είναι απαγορευτικός παράγοντας για την δημιουργία καταιγίδων. Επίσης η σύγκλιση του αέρα στα κατώτερα στρώματα βοηθάει την δημιουργία νεφών ανωμεταφοράς αρκεί να είναι πλούσιος σε υγρασία.

Στην τελευταία ομάδα κατατάσσονται τα νεφικά κύτταρα μόνο από έξι μέρες. Αυτό συμβαίνει επειδή το αντικείμενο της έρευνας είναι η ανάπτυξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης μετά από αίθριο καιρό. Τις περισσότερες φορές που υπάρχει μεταφορά στροβιλισμού δηλαδή δυναμική ανωμαλία τροπόπαυσης ή ξηρή εισβολή, υπάρχει και παρουσία αεροχειμμάρου ή ενός τμήματος αυτού, που ευνοεί τη δημιουργία χαμηλού. Η ύπαρξη ενός χαμηλού συνδέεται με διαφορετικού τύπου πιο συμπαγή και εκτεταμένα νέφη τα οποία δεν αποτελούν αντικείμενο της έρευνας. Ωστόσο σε τέσσερις περιπτώσεις του Ιουνίου και δυο του Αυγούστου, στις δορυφορικές εικόνες παρατηρήθηκαν δυναμικές ξηρές ζώνες που ενίσχυσαν την θέρμανση των κατώτερων στρωμάτων της τροπόσφαιρας και στα όρια τους με υγρότερο αέρα αναπτύχθηκαν θερμικές καταιγίδες μετά από αίθριο καιρό.

Είναι άξιο αναφοράς όπως παρατηρείται στην εικόνα 149 το γεγονός ότι στο 45% των κυττάρων αναπτύχθηκαν σε περιοχή όπου δεν φαίνεται κάποια σύγκλιση στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Αυτό οφείλεται στην ανάλυση της 1.5 μοίρας της εικόνας με την διεύθυνση του ανέμου στα 10 μέτρα που χρησιμοποιήθηκε από την ανάλυση του μετεωρολογικού μοντέλου ECMWF. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κάποια από τα κύτταρα που ανήκουν σε αυτή την ομάδα να ευνοήθηκαν τελικά από κάποια σύγκλιση των ανέμων πολύ μικρής κλίμακας στην κατώτερη τροπόσφαιρα που δεν μπορεί να προσομοιωθεί από το συγκεκριμένο μετεωρολογικό μοντέλο.

5. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε δορυφορική ανάλυση των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης που εμφανίστηκαν στην ευρύτερη περιοχή των Βαλκανίων μετά από συνθήκες αίθριου καιρού τους καλοκαιρινούς μήνες από Μάιο έως και Σεπτέμβριο του 2009. Ταυτόχρονα έγινε σύγκριση με εικόνες που δείχνουν τη συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας. Η δορυφορική ανάλυση βασίστηκε στις εικόνες του γεωστάσιμου δορυφόρου MSG δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα δυο κανάλια των υδρατμών. Στόχος της εργασίας ήταν η διερεύνηση των χαρακτηριστικών των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια των υδρατμών, και της σχέσης τους με τη δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης. Τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί να είναι ξηρά (λανθάνουσες, δυναμικές ή ζώνες παραμόρφωσης ή ξηρές εισβολές), υγρά ή με ενδιάμεση περιεκτικότητα σε υγρασία.

Συνολικά μελετήθηκαν 36 περιπτώσεις εμφάνισης νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και εκδήλωσης καταιγίδων, εκ των οποίων παρουσιάζονται οι οκτώ πιο αντιπροσωπευτικές με βάση τα χαρακτηριστικά που εμφάνισαν στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι στα 6.2 μm. Αρχικά εξετάστηκαν οι συνοπτικές συνθήκες, που οδήγησαν στη δημιουργία τους και στη συνέχεια, κυρίως μέσω των δορυφορικών καναλιών των υδρατμών, έγινε προσπάθεια να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά της μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας (στρόβιλοι, ξηρές ζώνες, βαροκλινικά φύλλα) καθώς και οι συνθήκες υγρασίας σε διάφορα υψόμετρα που σχετίζονταν για την ανάπτυξη τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πιο σημαντικά συμπεράσματα, τα οποία ενδεχομένως θα βοηθήσουν στην πρόγνωση μικρής διάρκειας τέτοιων καταιγίδων (nowcasting). Αρχικά παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που συνδέονται με το συνοπτικό-δυναμικό περιβάλλον και στη συνέχεια αυτά που σχετίζονται με τα δορυφορικά κανάλια υδρατμών, την διαφορά τους και του προϊόντος RGB των αερίων μαζών.

α. Συνοπτικά χαρακτηριστικά

 Στις περισσότερες περιπτώσεις, η έναρξη ανωμεταφοράς μετά από συνθήκες αίθριου καιρού δεν σχετίζεται με οργανωμένο χαμηλό ή μέτωπο. Το τυπικό συνοπτικό περιβάλλον είναι μια ράχη ή ένα υψηλό στα 500 mb. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που υπάρχει ράχη στα 500 mb, τα νέφη στις περισσότερες περιπτώσεις, αναπτύσσονται στο μπροστινό (ανατολικό) τμήμα της.

 Ο πολικός αεροχείμμαρος έχει μεσημβρινή συνιστώσα και βρίσκεται συνήθως δυτικότερα και βορειότερα από τις περιοχές που αναπτύσσονται τα νέφη και οι καταιγίδες που ερευνώνται στην παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα διασχίζει τον Ατλαντικό, τη δυτική και τη βόρεια Ευρώπη. Κατά συνέπεια στις περισσότερες περιπτώσεις ο άνεμος στην ανώτερη τροπόσφαιρα, στις περιοχές με τις καταιγίδες είναι ασθενής.

Η θερμοβαθμίδα μεταξύ των επιφανειών των 500 και 850 mb είναι πολύ μεγαλύτερη από την τυπική κατακόρυφη θερμοβαθμίδα του υγρού (κορεσμένου και ακόρεστου αέρα) ευνοώντας την θερμοδυναμική αστάθεια και την ανωμεταφορά. Η μεταφορά θερμοκρασίας στα 850 mb δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο στις περιπτώσεις που ερευνώνται καθώς δεν πλησιάζει κάποιο μέτωπο. Η θέρμανση της κατώτερης τροπόσφαιρας οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία

 Η απόκλιση στην ανώτερη τροπόσφαιρα και η σύγκλιση των ανέμων στην κατώτερη τροπόσφαιρα ιδιαίτερα όταν αυτοί είναι πλούσιοι σε υγρασία είναι παράγοντες που ευνοούν την ανωμεταφορά και τη δημιουργία καταιγίδων. Η παρουσία στροβιλισμού την ανώτερη τροπόσφαιρα βοηθάει επίσης στην ανωμεταφορά χωρίς να είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των νεφών αυτού του τύπου

Επίσης η θέρμανση της κατώτερης τροπόσφαιρας, έχει ως αποτέλεσμα την έναρξη ανωμεταφοράς λόγω του αέρα που γίνεται ελαφρύτερος με αποτέλεσμα να αρχίσει ανοδική κίνηση.
Οι δείκτες αστάθειας με αυξημένες τιμές όπως ο CAPE όταν έχει τιμή πάνω από 500 j/kg είναι ένδειξη για έντονη αστάθεια λόγω θερμικών αιτίων.

Αποτέλεσμα των παραγόντων που αναφέρθηκαν, είναι οι έντονες ανοδικές κινήσεις κυρίως
στις επιφάνειες των 700 και 500 mb και η παρουσίας αυξημένης υγρασίας στην επιφάνεια των 700 mb, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη καταιγίδων.

 Τέλος, η ορογραφία μιας περιοχής παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς σε ορεινές περιοχές ο ανυψούμενος αέρας φτάνει πιο εύκολα στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς από ότι στις πεδινές περιοχές.

β. Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων στα κανάλια υδρατμών, στη διαφορά τους και στο προϊόν RGB των αερίων μαζών.

Όσον αφορά τις δορυφορικές εικόνες στα κανάλια υδρατμών στα 6.2 και 7.3 μm, παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η πρώτη εμφάνιση ανωμεταφοράς γίνεται στο όριο περιοχών υγρού-ξηρού αέρα στα 6.2 μm. Αυτό οφείλεται στην έντονη θέρμανση της κατώτερης τροπόσφαιρας από την ηλιακή ακτινοβολία, στις περιοχές που αέρας ψηλότερα είναι ψυχρός και

ξηρός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση του και σε συνδυασμό με την παρουσία υγρασίας της περιοχής που γειτνιάζει στην ανώτερη τροπόσφαιρα δημιουργείται αναπτύξεις νεφών. Τα όρια υγρού-ξηρού αέρα στις εικόνες των 6.2 μm οφείλονται στην παρουσία ξηρών ζωνών (λανθανουσών, μετασχηματισμένων ή δυναμικών ανωμαλιών τροπόπαυσης), περιοχών με εμποδισμό ροής ή ξηρών εισβολών.

 Συνολικά, δυο στα τρία νεφικά κύτταρα που πρωτοεμφανίζονται σε μια περιοχή είναι σε όρια υγρού-ξηρού αέρα ενώ στη συνέχεια συνήθως αναπτύσσονται μέσα στην υγρή περιοχή.

Αρχικά είναι πιθανόν η κατώτερη τροπόσφαιρα να θερμανθεί σε μια περιοχή που είναι ξηρή στο κανάλι στα 6.2 μm λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και να αρχίσει η ανωμεταφορά. Στη συνέχεια με την έλευση μιας υγρής αέριας μάζας στην μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, ο ανυψούμενος αέρας συναντάει υγρασία η οποία βοηθά σημαντικά στην ανάπτυξη μιας καταιγίδας.

Στις εικόνες με τη διαφορά καναλιών 5-6 (6.2 – 7.3 μm), οι περιοχές με φωτεινούς τόνους του γκρι είναι πλούσιες σε υγρασία στα 700 mb. Σε αυτές τις περιοχές, σε συνδυασμό με την παρουσία υγρού αέρα στο κανάλι στα 7.3 μm (με θερμοκρασία λαμπρότητας μικρότερη από -19 °C) και την παρουσία ξηρής αέριας μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα (με θερμοκρασία λαμπρότητας μεγαλύτερη από -39 °C), ευνοείται η δυναμική αστάθεια και η ανωμεταφορά.

 Στις ανατολικές συνήθως περιοχές μιας δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης, επικρατούν έντονες ανοδικές κινήσεις και ευνοϊκές συνθήκες για καταιγίδες. Η έλλειψη υγρασίας στα ανώτερα στρώματα μπορεί να συνδέεται με μεγάλο δυναμικό στροβιλισμό αλλά και με καθοδικές κινήσεις λόγω της εισβολής στρατοσφαιρικού αέρα μέσα στην τροπόσφαιρα στις δυτικές περιοχές της δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης.

 Η γειτνίαση δυο αερίων μαζών με διαφορετικά θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά, όπως προκύπτει από το χρωματικό συνδυασμό RGB των αερίων μαζών, ευνοεί την ανάπτυξη καταιγίδων.
Τις περισσότερες φορές οι καταιγίδες αναπτύσσονται σε όριο υγρής-ψυχρής με ξηρή και ψυχρή αέρια μάζα. Η απουσία οποιασδήποτε ψυχρής ή υγρής αέριας μάζας είναι απαγορευτική συνθήκη για τη δημιουργία ανωμεταφοράς.

 Ο συνδυασμός δύο η περισσότερων παραγόντων δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες για την ανάπτυξη καταιγίδων. Για παράδειγμα η ύπαρξη μιας ξηρής ζώνης μέσα σε υγρότερη περιοχή στο κανάλι υδρατμών, σε συνδυασμό με σύγκλιση ανέμων και αυξημένη υγρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα ευνοεί την ανωμεταφορά κυρίως στα όρια υγρού-ξηρού αέρα.

γ. Γενικά συμπεράσματα

Οι εικόνες στα κανάλια υδρατμών έχουν υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση δίνοντας έτσι σε πραγματικό χρόνο την εικόνα της μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας η οποία βοηθάει στην μικρής διάρκειας πρόγνωση (nowcasting) καταιγίδων, η ανάπτυξη των οποίων προσομοιώνεται και στα μετεωρολογικά μοντέλα υψηλής χωρικής ανάλυσης. Οι περιοχές με αυξημένη πιθανότητα για έντονη ανωμεταφορά, μπορούν να αναγνωριστούν καλύτερα από την παρουσία ορίων υγρού-ξηρού αέρα στα κανάλια υδρατμών αλλά και από την παρουσία δυναμικής αστάθειας όπως προκύπτει από την διαφορά των καναλιών στα 6.2 και 7.3 μm. Τέλος οι εικόνες στα κανάλια υδρατμών δείχνουν τυχόν σφάλματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των μετεωρολογικών μοντέλων, όπως για παράδειγμα ο λάθος υπολογισμός της θέσης ή του βάθους μια δυναμικής ανωμαλίας τροπόπαυσης, και βοηθούν στη βελτίωση των προγνώσεων που παράγονται από αυτά.

Τα επόμενα χρόνια με την περεταίρω αύξηση της χωρικής και χρονικής ανάλυσης σε σχέση με τις εικόνες από τους δορυφόρους δεύτερης γενιάς (METEOSAT SECOND GENERATION) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και την μεγαλύτερη ανάπτυξη της τεχνολογίας αναμένεται να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο η εικόνα της μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας και να βελτιωθεί η πρόγνωση μικρής διάρκειας.
Βιβλιογραφία-Πηγές

ERTÜRK, G., 2011: MSG SEVIRI Data Processing and Visiualisation Software, MSGView Seminar Thessaloniki, Greece, 1-41

Georgiev, C., and G. Kozinarova, 2007: Usefulness of satellite water vapour imagery in forecasting strong convection: A flash-flood case study. *National Institute of Meteorology and Hydrology, Bulgarian Academy of Sciences 66, Tsarigradsko chaussee, 1784 Sofia, Bulgaria ELSEVIER, 295-303.*

Georgiev, C., 2011: Notes for satellite Image Interpretation and Applications, *EUMeTrain* Online Course 10-30 June 2011, 1-93

Georgiev, C., and P. Santurette, 2005: Notes for Interpretation Guide to MSG Water Vapour channels. *www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p46_s3_04_georgiev_v.pdf*, 100pp.

Kerkmann, J., 2010: Notes for Applications of Meteosat Second Generation (MSG) – The Airmass RGB Product. Eumetsat, 64pp.

Krennert, T., and V. Zwatz-Meise, 2003: Initiation of convective cells in relation to water vapour boundaries in satellite images. *Satellite Department, Central Institute of Meteorology and Geodynamics (ZAMG), Hohe Warte 38, A-1190 Vienna, Austria, ELSEVIER.* 353-366.

Santurette, P., and C. Georgiev, 2005: Weather analysis and forecasting: applying satellite water vapour imagery and potential vorticity analysis. *ELSEVIER*, 1-179.

Santurette, P., C. Georgiev, and C. Piriou, 2009: A diagnostic tool based on MSG $7.3\mu/6.2\mu$ Channels for the analysis and forecasting of deep convection. *5th European Conference on Severe Storms*, 1-2pp. Schmid, J., 2000: The SEVIRI instrument. ESA/ESTEC, 1-10.

Weldon, R. B., and S.J. Holmes, 1991: Water vapour imagery: Interpatation and applications to weather analysis and forecasting, *NOAA technical report. NESDIS 57, NOAA, Department of Commerce, Washington D.C,* 213 pp

Καρακώστας, Θ., 2008: Σημειώσεις δυναμικής μετεωρολογίας. Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.40.

Μακρογιάννης, Τ., και Χ. Σαχσαμάνογλου, 2004: Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας. *Εκδόσεις Χάρις*, σελ.414

Πυθαρούλης, Ι., 2010: Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος Συνοπτικής Μετεωρολογίας του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ. κεφ.6, σελ.45

Φείδας, Χ., 2010: Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος Δορυφορικής Μετεωρολογίας του Μετπατυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ. κεφ.3, σελ. 169

Φείδας, Χ., και Κ. Καρτάλης, 2003: Δορυφορική Μετεωρολογία– Κλιματολογία, Τμήμα Γεωλογίας Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.96

ΕΛΓΑ: Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων – Κέντρο Μετεωρολογικών Εφαρμογών, (URL: <u>http:// www.elga.gr</u>).

Meteorological Chart Site http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/

Meteorological Chart Site <u>www.eumetrain.org</u>

Meteorological Chart Site http://www.eumetsat.int/Home/index.htm

Meteorological Chart Site http://www.gscp.gr

Meteorological Chart Site <u>www.meteociel.fr</u>

Meteorological Chart Site: <u>www.wetter3.de</u>