

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

**Συμβολή στην Έγκαιρη και Έγκυρη Πρόγνωση
Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στον Ελληνικό Χώρο
με τη Χρήση Πολυμεταβλητών Στατιστικών Μεθόδων**

Ηλίας Ε. Χούσος

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2009

Με απόφαση της Γενικής Συνέλευσης Ειδικής Σύνοψης του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Συνεδρία αριθμ. 271/29-3-04), ορίσθηκε **Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**, αποτελούμενη από τους:

Μπαρτζώκα Αριστείδη, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμ. Φυσικής, Επιβλέποντα

Κασσωμένο Παύλο, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμ. Φυσικής, Μέλος

Χατζηαναστασίου Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή Τμ. Φυσικής, Μέλος

Επίσης με απόφαση της Γενικής Συνέλευσης Ειδικής Σύνοψης του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (Συνεδρία αριθμ. 347/30-3-09), ορίσθηκε **Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή**, αποτελούμενη από τους:

Μπαρτζώκα Αριστείδη, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμ. Φυσικής Π.Ι. (Επιβλέπων)

Κασσωμένο Παύλο, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμ. Φυσικής Π.Ι., (Μέλος 3-μελούς ΣΕ)

Χατζηαναστασίου Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή Τμ. Φυσικής Π.Ι., (Μέλος 3-μελούς ΣΕ)

Καρακώστα Θεόδωρο, Καθηγητή Τμ. Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Μπλούτσο Αντώνιο, Καθηγητή Τμ. Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Μιχαλακάκου Παναγιώτα, Καθηγήτρια Τμ. Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων Π.Ι.

Νάστο Παναγιώτη, Επίκουρο Καθηγητή Τμ. Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του ΕΚΠΑ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας και Αλληλεπίδραση Ωκεανών – Ατμόσφαιρας	1
1.1.1. Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας	1
1.1.2. Ωκεάνια Ρεύματα	5
1.1.3. El Nino – Southern Oscillation	6
1.1.4. North Atlantic Oscillation	6
1.2. Κλιματική Αλλαγή και Ατμοσφαιρική Κυκλοφορία.....	7
1.3. Ακραία Καιρικά Φαινόμενα (ΑΚΦ).....	8
1.3.1. Αύξηση της Συχνότητας των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στα Πλαίσια της Κλιματικής Αλλαγής.....	8
1.3.2. Μελέτες για την Πρόγνωση των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων	10
1.3.3. Σύντομη Περιγραφή του Τρόπου Μελέτης των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στην Παρούσα Διατριβή.....	11
2. Δεδομένα και Στατιστικές Μέθοδοι.....	13
2.1. Δεδομένα.....	13
2.2. Γραμμική Συσχέτιση και Γραμμική Συνάρτηση Παλινδρόμησης.....	17
2.3. Παραγοντική Ανάλυση	19
2.4. Ανάλυση κατά Συστάδες	21
2.4.1. Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες	21
2.4.2. Μη Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες K-Means	23
2.4.3. Η Μέθοδος του “Άλματος”	24
3. Ορισμοί Επεισοδίων Ακραίων Καιρικών Φαινομένων και Μεθοδολογία Επεξεργασίας των Δεδομένων.....	27
3.1. Καθορισμός Επεισοδίων Ακραίων Καιρικών Φαινομένων (ΕΑΚΦ).....	27
3.2. Χρήση της Παραγοντικής Ανάλυσης	28
3.3. Χρήση της Ανάλυσης κατά Συστάδες (K-Means).....	29
3.4. Συμπλήρωση Ελλειπουσών Τιμών	33
4. Επεισόδια Ακραίων Μεγίστων και Ελαχίστων Θερμοκρασιών (Θερμά και Ψυχρά Επεισόδια).....	35
4.1. Εισαγωγή	35
4.2. Θερμά Επεισόδια (ΘΕ)	38
4.2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Θερμών Επεισοδίων.....	38
4.2.2. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Θερμά Επεισόδια	43

4.3. Ψυχρά Επεισόδια (ΨΕ).....	67
4.3.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Ψυχρών Επεισοδίων	67
4.3.2. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Ψυχρά Επεισόδια	72
5. Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης (ΕΑΒ).....	91
5.1. Εισαγωγή.....	91
5.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Επεισοδίων Ακραίων Βροχοπτώσεων	95
5.3. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης	100
6. Επεισόδια Χιονόπτωσης (ΕΧ).....	147
6.1. Εισαγωγή.....	147
6.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Επεισοδίων Χιονόπτωσης.....	150
6.3. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Επεισόδια Χιονόπτωσης	155
7. Επεισόδια Ομίχλης (ΕΟ)	191
7.1. Εισαγωγή.....	191
7.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Επεισοδίων Ομίχλης.....	194
7.3. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν επεισόδια ομίχλης	200
8. Συμπεράσματα.....	227
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	
Συνοτομογραφίες.....	231
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	
Αποτελέσματα Παραγοντικής Ανάλυσης για τα Θερμά Επεισόδια.....	233
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	
Εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν την έναρξη έως μία ημέρα μετά τη λήξη των μεγαλύτερων σε διάρκεια επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων	247
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	
Αποτελέσματα της μεθόδου του “άλματος” και επιλογή του πλήθους των ομάδων για κάθε είδος επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων	285
9. Βιβλιογραφία.....	289

1. Εισαγωγή

Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, καύσωνες, παγετοί, χιονοθύελλες, ισχυροί άνεμοι και άλλα, εκτός από τις δυσχέρειες, τις οποίες προκαλούν στις ανθρώπινες δραστηριότητες, πολλές φορές έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες οικονομικές καταστροφές αλλά και απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Εξαιτίας των σοβαρών επιπτώσεων αυτών των φαινομένων εγείρεται η επιτακτική ανάγκη της μελέτης τους σε βάθος, για να εντοπιστούν οι αιτίες, οι οποίες προκαλούν την εμφάνισή τους και να ενισχυθούν οι μέθοδοι έγκαιρης πρόγνωσής τους. Τα τελευταία χρόνια η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα έχει εντείνει τις προσπάθειές της προς αυτή την κατεύθυνση, και η μελέτη των ακραίων καιρικών φαινομένων αποτελεί μία από τις κύριες ενασχολήσεις των μετεωρολόγων.

Κοινός στόχος της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας και των κρατικών φορέων είναι να δημιουργηθούν επιστημονικά εργαλεία, τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα να παράσχουν ακριβή χρονική και χωρική πρόγνωση μίας επικείμενης έντονης καιρικής δραστηριότητας. Τα εργαλεία αυτά θα αποτελούν το πρώτο στάδιο σε έναν μηχανισμό έγκαιρης προειδοποίησης, ο οποίος θα κάνει δυνατή την άμεση λήψη μέτρων για την αντιμετώπισή της, ελαχιστοποιώντας τις κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι να συμβάλει στις προσπάθειες, οι οποίες γίνονται μέχρι τώρα, για την έγκαιρη και έγκυρη πρόγνωση τέτοιων ακραίων καιρικών φαινομένων.

1.1. Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας και Αλληλεπίδραση Ωκεανών – Ατμόσφαιρας

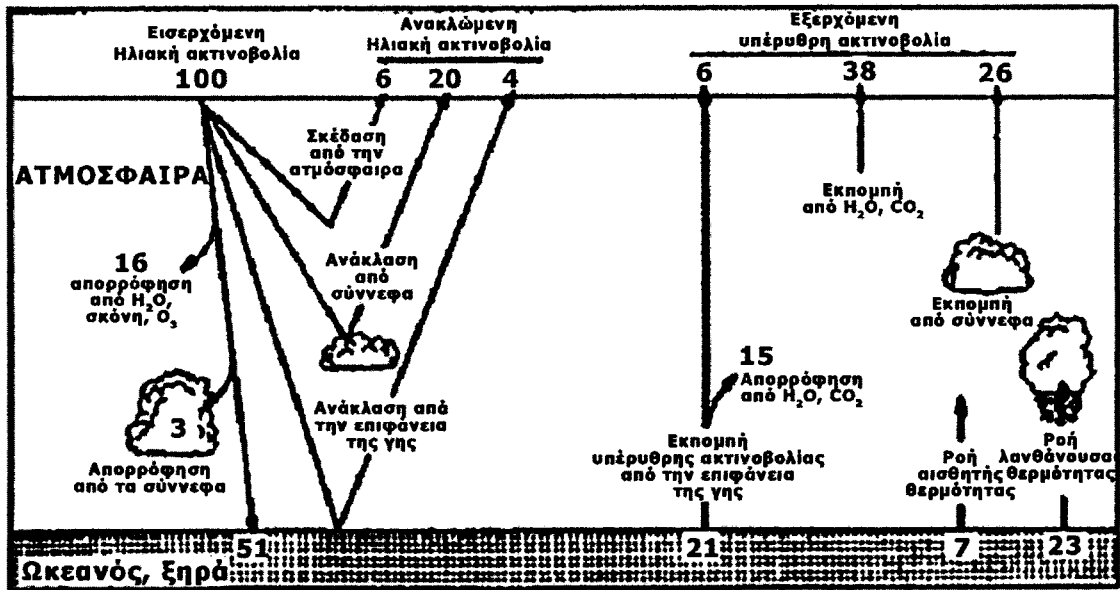
1.1.1. Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας

Η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας καθορίζει τον καιρό και το κλίμα στις διάφορες περιοχές του πλανήτη. Οποιοσδήποτε αλλαγές στο κλίμα, που μπορεί να συνοδεύονται με εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, συνδέονται άμεσα με αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας σε παγκόσμια κλίμακα. Οι κύριοι παράγοντες, οι οποίοι διαμορφώνουν την παγκόσμιας κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης, η διανομή των ξηρών και των θαλασσών καθώς και η περιφορά της γης γύρω από τον ήλιο.

Η ηλιακή ακτινοβολία προσφέρει ενέργεια στο σύστημα γης – ατμόσφαιρας και αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα της διαμόρφωσης της παγκόσμιας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Το ισοζύγιο των ανταλλαγών ενέργειας, που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, μέσα στο σύστημα γης - ατμόσφαιρας φαίνεται στο σχήμα 1.1. Στην κορυφή της ατμόσφαιρας η μέση ενέργεια σε παγκόσμια κλίμακα, που φτάνει από τον ήλιο είναι 340 Wm^{-2} . Το 30% αυτής της ενέργειας εξέρχεται από το σύστημα λόγω της άμεσης ανάκλασης της ακτινοβολίας από τα σύννεφα και την επιφάνεια της γης. Το 19% της ενέργειας απορροφάται άμεσα από την ατμόσφαιρα (σύννεφα, υδρατμοί, σωματίδια, όζον) ενώ το υπόλοιπο 51% απορροφάται από την επιφάνεια της γης (ξηρά, θάλασσα). Η ενέργεια που απορροφάται από την επιφάνεια, επανεκπέμπεται προς το διάστημα σε ποσοστό 6% με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, ενώ το 45% απορροφάται εκ νέου από την ατμόσφαιρα, είτε με απορρόφηση ακτινοβολίας (15%), είτε με τη ροή αισθητής θερμότητας (7%), είτε με τη ροή λανθάνουσας θερμότητας (23%) μέσω εξάτμισης των υδάτων και απελευθέρωσής της στην ατμόσφαιρα από τις συμπυκνώσεις των υδρατμών. Η ατμόσφαιρα συνολικά απορροφά το 64% της συνολικής εισερχόμενης στο σύστημα ενέργειας και το επανεκπέμπει με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας προς το διάστημα.

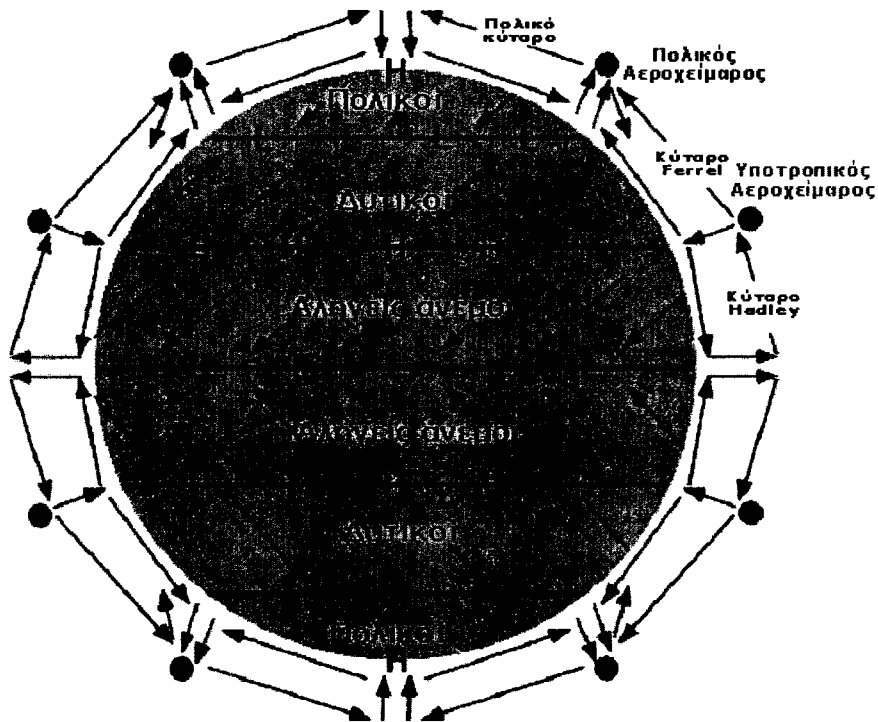
Μικρού μήκους ακτινοβολία

Μεγάλου μήκους Γήινη ακτινοβολία



Σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση του ισοζυγίου ροών ενέργειας στο σύστημα γης - ατμόσφαιρας σε ποσοστιαίες επί τις εκατό μονάδες. Οι 100 μονάδες αντιστοιχούν σε 340W/m^2 , που αποτελεί την μέση ετήσια σε πλανητική κλίμακα ροή ενέργειας από τον ήλιο στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Wallace and Hobbs, 1977).

Η θέρμανση της επιφάνειας της γης λόγω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαφορετική. Αυτό συμβαίνει διότι στους τροπικούς η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σχεδόν κάθετα στην επιφάνεια προσφέροντας περισσότερη ενέργεια στο σύστημα, ενώ στους πόλους προσπίπτει υπό γωνία, προκαλώντας ενεργειακό έλλειμμα. Η περίσσεια ενέργειας στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη και η έλλειψη στους πόλους αντισταθμίζεται με τη μεταφορά θερμότητας προς τους πόλους με την κίνηση αερίων μαζών, δημιουργώντας έτσι το μοτίβο της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Επίσης μεγάλα ποσά θερμότητας μεταφέρονται με τις κινήσεις των υδάτων των ωκεανών δημιουργώντας τα ωκεάνια ρεύματα. Εάν η γη δεν περιστρεφόταν, αέριες μάζες από τους τροπικούς θα ανέρχονταν λόγω της θέρμανσής τους, στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας θα κινούνταν προς τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και θα κατέρχονταν στους πόλους ψυχώμενες προσφέροντας ενέργεια. Στη συνέχεια θα επέστρεφαν επιφανειακά προς τον ισημερινό, δημιουργώντας ένα ενιαίο κύτταρο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, σε κάθε ημισφαίριο. Μία ζώνη χαμηλών πιέσεων θα επικρατούσε στον ισημερινό ή οποία θα έδινε τη θέση της σε ζώνες συνεχώς υψηλότερων πιέσεων προς τους πόλους.



Σχήμα 1.2 Απλοποιημένη απεικόνιση του μοντέλου των τριών κυττάρων για την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην κατώτερη και ανώτερη ατμόσφαιρα (Pidwirny, 2006).

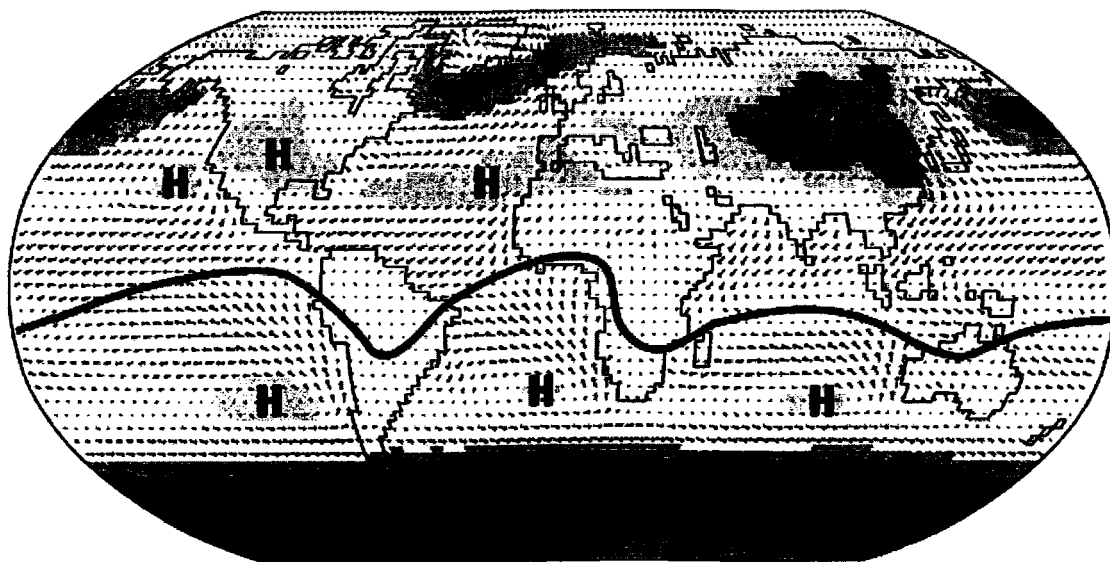
Στην πραγματικότητα, λόγω της περιστροφής της γης, οι αέριες μάζες ανέρχονται στον ισημερινό και καθώς κινούνται προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη εκτρέπονται προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο και κατέρχονται προς την επιφάνεια στα υποτροπικά γεωγραφικά πλάτη. Στην επιφάνεια μέρος των αερίων μαζών επιστρέφει στον ισημερινό. Άλλες αέριες μάζες κινούνται επιφανειακά προς μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη ανερχόμενες όταν φτάνουν στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα, άλλες αέριες μάζες συνεχίζουν την κίνησή τους προς τους πόλους, ώσπου κατέρχονται όταν φτάνουν πάνω από αυτούς. Έτσι, στην πράξη ισχύει το μοντέλο των τριών κυττάρων του Handley, του Ferrel και του Πολικού, για κάθε ημισφαίριο (σχήμα 1.2) με βάση το οποίο θα αναμενόταν στην επιφάνεια μία ζώνη χαμηλών πιέσεων στον ισημερινό, η οποία θα ακολουθούσαν από μία ζώνη υψηλών πιέσεων στα υποτροπικά πλάτη και στη συνέχεια πάλι μία ζώνη χαμηλών πιέσεων στα μεσαία πλάτη, ώσπου στους πόλους θα επικρατούσαν υψηλές πιέσεις. Ωστόσο, δεν συμβαίνει αυτό ακριβώς, καθώς η διανομή των ωκεανών και των ηπείρων στα δύο ημισφαίρια της γης και η εναλλαγή των εποχών προκαλούν αποκλίσεις από αυτό το απλουστευμένο μοντέλο. Στην πραγματικότητα, κυρίως στο βόρειο ημισφαίριο η κατανομή των υψηλών και χαμηλών πιέσεων δεν είναι ζωνική, αλλά διακόπτεται, εξαιτίας της διανομής των ξηρών και των θαλασσών, δημιουργώντας κέντρα χαμηλών και υψηλών πιέσεων. Κατά την εναλλαγή των εποχών αυτά τα κέντρα μετατοπίζονται σε βορειότερα ή νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη και η ένταση των συστημάτων πίεσης μεταβάλλεται.

Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (σχήμα 1.3) στο βόρειο ημισφαίριο επικρατούν δύο ισχυρά συστήματα χαμηλών πιέσεων, το Ισλανδικό χαμηλό στο Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό και των Αλεούτειων νήσων στο Βόρειο Ειρηνικό ωκεανό, τα οποία επηρεάζουν τον καιρό στις δυτικές ακτές των ηπείρων. Στην Σιβηρία επικρατεί ένα εκτεταμένο σύστημα υψηλών πιέσεων το οποίο συνοδεύεται από εξαιρετικά ψυχρές αέριες μάζες, ενώ στην υποτροπική ζώνη εμφανής είναι ο αντικυκλώνας των Αζορών και ο υποτροπικός αντικυκλώνας του Ειρηνικού ωκεανού. Στο νότιο ημισφαίριο, όπου δεν υπάρχει έντονη

εναλλαγή των ξηρών και των θαλασσών, οι χαμηλές πιέσεις των μέσων γεωγραφικών πλατών παρουσιάζουν ζωνική κατανομή, ενώ νοτιότερα του Τροπικού του Αιγόκερω εμφανίζονται ασθενή τα κέντρα των υποτροπικών αντικυκλώνων του νοτίου ημισφαιρίου.

Sea-Level Pressure and Surface Winds

Jan



995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 mb



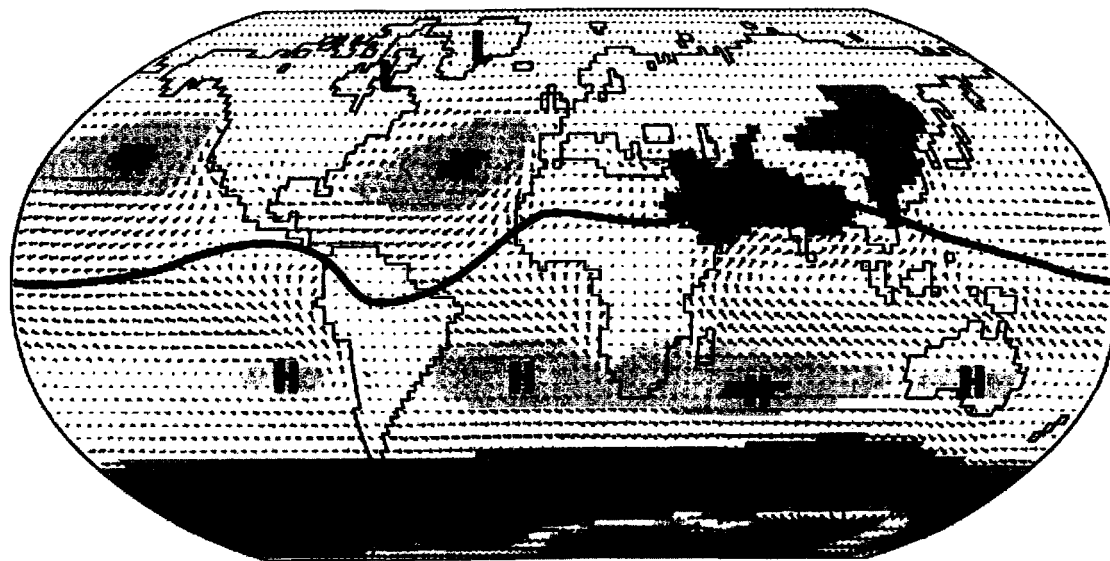
1 2 4 8 16 32 m/sec

Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies

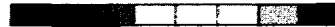
Σχήμα 1.3 Μέση κατανομή των ανέμων επιφανείας για τον μήνα Ιανουάριο και τα κέντρα των συστημάτων ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 1959-1997. Η κόκκινη γραμμή συμβολίζει την ενδοτροπική ζώνη σύγκλισης. (Πηγή: *Climate Lab Section of the Environmental Change Research Group, Department of Geography, University of Oregon - Global Climate Animations*)

Sea-Level Pressure and Surface Winds

Jul



995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 mb



1 2 4 8 16 32 m/sec

Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies

Σχήμα 1.4 Μέση κατανομή των ανέμων επιφανείας για τον μήνα Ιούλιο και τα κέντρα των συστημάτων ατμοσφαιρικής πίεσης για την περίοδο 1959-1997. Η κόκκινη γραμμή συμβολίζει την ενδοτροπική ζώνη σύγκλισης. (Πηγή: *Climate Lab Section of the Environmental Change Research Group, Department of Geography, University of Oregon - Global Climate Animations*).

Κατά το θέρος του βορείου ημισφαιρίου (σχήμα 1.4) οι υποτροπικοί αντικυκλώνες στα δύο ημισφαίρια ενισχύονται και επεκτείνονται ενώ ο Σιβηρικός αντικυκλώνας εξαφανίζεται, εξαιτίας της θέρμανσης της ξηράς. Τα χαμηλά βαρομετρικά του βορείου ημισφαιρίου εξασθενούν και τα κέντρα τους, καθώς και οι επιδράσεις τους, μετατοπίζονται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Στην περιοχή των Ινδιών γίνεται αισθητή η παρουσία ενός κέντρου χαμηλών πιέσεων, που προκαλεί την γνωστή μουσωνική κυκλοφορία και επιδρά σημαντικά στον καιρό της περιοχής και των άλλων γειτονικών περιοχών.

1.1.2. Ωκεάνια Ρεύματα

Τα ωκεάνια ρεύματα με τη σειρά τους συμβάλλουν στη μεταφορά ενέργειας προς τους πόλους και με τις ανταλλαγές θερμότητας με την ατμόσφαιρα, επιδρούν σημαντικά στον καιρό και το κλίμα διαφόρων περιοχών της γης.



Σχήμα 1.5 Ωκεάνια κυκλοφορία. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται τα θερμά επιφανειακά ρεύματα, ενώ με μπλε χρώμα η ροή των ψυχρών υδάτων. (Πηγή: Υδρογραφική Υπηρεσία Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής).

Τα επιφανειακά ωκεάνια ρεύματα (σχήμα 1.5) οφείλουν την ύπαρξή τους στη ροή των ανέμων πάνω από τη θάλασσα. Έτσι στον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό η ροή του ανέμου στον υποτροπικό αντικυκλώνα των Αζορών οδηγεί θερμά ύδατα προς τις ακτές των ανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών, τα οποία στη συνέχεια ακολουθούν ανατολική πορεία προς τις ακτές της δυτικής Ευρώπης, ώσπου φτάνουν μέχρι το βόρειο Ατλαντικό. Αυτό το επιφανειακό ρεύμα, που καλείται ρεύμα του κόλπου του Μεξικού, μεταφέρει θερμότητα στο βόρειο Ατλαντικό διαμορφώνοντας θερμό και υγρό κλίμα στις ακτές της δυτικής Ευρώπης.

Στον Ειρηνικό ωκεανό, στην τροπική και υποτροπική ζώνη οι δυτικοί άνεμοι των υποτροπικών αντικυκλώνων του Ειρηνικού προκαλούν επιφανειακή ροή θερμών υδάτων προς τα δυτικά, ώσπου αυτά φτάνουν στις ακτές της Ινδονησίας και της ανατολικής Αυστραλίας, απελευθερώνοντας θερμότητα στην ατμόσφαιρα και προκαλώντας ανωμεταφορά αερίων μαζών, η οποία συνδέεται με την ανάπτυξη νεφών και βροχοπτώσεων σε αυτές τις περιοχές.

Το ίδιο συμβαίνει και στον νότιο Ατλαντικό, όπου η ροή των αερίων μαζών λόγω του αντικυκλώνα του νοτίου Ατλαντικού προκαλεί θερμό επιφανειακό ρεύμα προς τις ανατολικές ακτές της Νοτίου Αμερικής, το οποίο επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση θερμού και υγρού κλίματος. Αυτές οι συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη της βλάστησης και σε αυτές οφείλει την ύπαρξή του το δάσος του Αμαζονίου, το μεγαλύτερο τροπικό δάσος του πλανήτη.

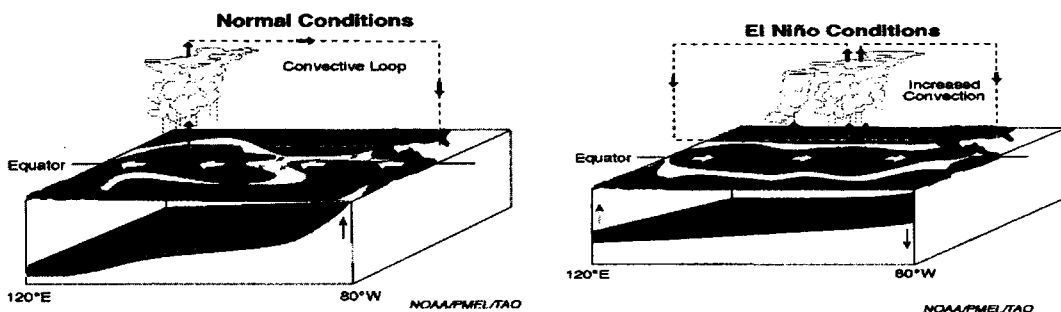
Η απελευθέρωση θερμότητας στην ατμόσφαιρα, από αυτά τα θερμά επιφανειακά ρεύματα, προκαλεί την εξάτμιση των υδάτων και την ψύξη τους, και στους πολικούς τη δημιουργία πάγου, διεργασίες οι οποίες αυξάνουν την πυκνότητά τους λόγω αύξησης της αλατότητας και μείωσης της θερμοκρασίας τους, προκαλώντας την καταβύθισή τους.

Στην περίπτωση του ρεύματος του κόλπου του Μεξικού, τα ψυχρά πλέον ύδατα που καταβυθίζονται, ακολουθούν σε μεγάλο βάθος νότια πορεία προς τον ισημερινό. Η κινητήρια δύναμη πλέον είναι η διαφορά πυκνότητας εξαιτίας της αλατότητας και της θερμοκρασίας τους και το ρεύμα αυτό χαρακτηρίζεται ως ρεύμα θερμοαλατότητας.

Στον Ειρηνικό ωκεανό επίσης συμβαίνει το ίδιο φαινόμενο, προκαλώντας ανατολικό ρεύμα σε μεγάλο βάθος, που οδηγεί σχετικά ψυχρά ύδατα στις ακτές του Περού. Αυτά τα ύδατα χαμηλής θερμοκρασίας, που φτάνουν στις ακτές της νοτίου Αμερικής ευνοούν την ψύξη και καταβύθιση των υπερκείμενων αερίων μαζών προκαλώντας αίθριο καιρό και συνθήκες ξηρασίας. Ομοίως οι δυτικές ακτές της Αφρικής παρουσιάζουν συνθήκες ξηρασίας καθώς επηρεάζονται από τα ψυχρά ύδατα του ρεύματος του νοτίου Ατλαντικού.

1.1.3. El Nino – Southern Oscillation

Η συσσώρευση θερμών υδάτων στον δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό, εξαιτίας των Αληγών ανέμων, δεν είναι μόνιμη. Κάθε 2 με 7 χρόνια οι αληγείς άνεμοι εξασθενούν (Rasmusson and Carpenter, 1982) εξαιτίας μεταβολών στη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης ανάμεσα στο σύστημα χαμηλών πιέσεων της Ινδονησίας και του υποτροπικού αντικυκλώνα στον ανατολικό Ειρηνικό ωκεανό, φαινόμενο που πρώτος το ανακάλυψε ο Sir Gilbert Walker και το ονόμασε κύμανση του Νοτίου Ειρηνικού (Southern Oscillation). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη εξασθένιση του ρεύματος θερμών επιφανειακών υδάτων προς τις ανατολικές ακτές της Ινδονησίας και της Αυστραλίας και τη συσσώρευση θερμών υδάτων στο κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού και στις δυτικές ακτές της νοτίου Αμερικής (Σχήμα 1.6). Αυτό το φαινόμενο που καλείται El Nino έχει ως αποτέλεσμα την επικράτηση ξηρασίας στην Ινδονησία και την Αυστραλία καθώς η ζώνη των βροχοπτώσεων μετακινείται προς το κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού, ικανή να επηρεάσει τις δυτικές ακτές του Περού, όπου υπό κανονικές συνθήκες (La Nina) επικρατεί ξηρασία. Τα δύο φαινόμενα, που αλληλοεξαρτώνται (El Nino και κύμανση Νοτίου Ειρηνικού, ENSO), είναι ικανά να προκαλέσουν δραματικές αλλαγές, μεγάλης κλίμακας στο κλιματικό μοτίβο των περιοχών που επηρεάζουν.

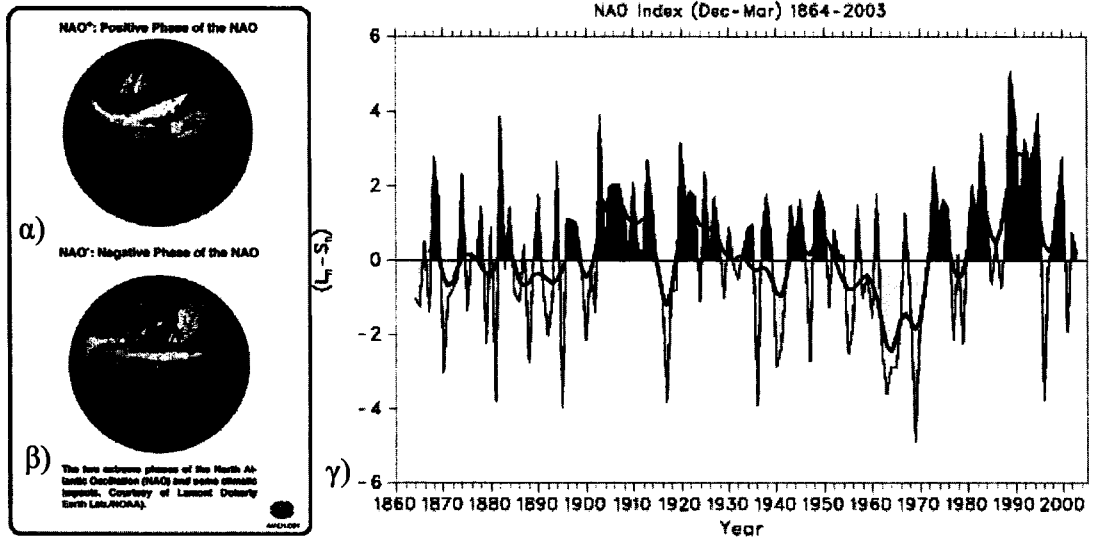


Σχήμα 1.6. Σχηματική περιγραφή των συνθηκών που επικρατούν στις υποτροπικές περιοχές του Νοτίου Ειρηνικού ωκεανού (θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων, επιφανειακή ροή των υδάτων και θέση της ζώνης σύγκλισης) κατά την επικράτηση των φαινομένων La Nina (αριστερά) και El Nino (δεξιά) (www.cotf.edu/ete/modules/el_nino/crwhat.html) Courtesy of NOAA).

1.1.4. North Atlantic Oscillation

Άλλη μία μεγάλης κλίμακας ταλάντωση στην ατμόσφαιρα, που επηρεάζει το κλίμα μίας ευρείας περιοχής όπως είναι η Ευρώπη και η βόρειος Αμερική είναι η κύμανση του βορείου Ατλαντικού (NAO), που αφορά στις μεταβολές στη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης

ανάμεσα στο σύστημα χαμηλών πιέσεων της Ισλανδίας και τον αντικυκλώνα των Αζορών (σχήμα 1.7). Ένα μέτρο αυτών των διαφορών ατμοσφαιρικής πίεσης είναι ο δείκτης NAO, ο οποίος καταδεικνύει την ένταση των αντίστοιχων συστημάτων πίεσης, του χαμηλού της Ισλανδίας και του μόνιμου αντικυκλώνα των Αζορών. Αρνητικές τιμές του δείκτη NAO συνδέονται με εξαιρετικά ψυχρούς χειμώνες στη βορειοδυτική Ευρώπη και ιδιαιτέρως υγρούς για την περιοχή της Μεσογείου. Αντίθετα, θετικές τιμές του δείκτη συνοδεύονται με ήπιους και υγρούς χειμώνες στη δυτική Ευρώπη και ξηρούς στη Μεσόγειο, Στις ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής οι χειμώνες είναι ηπιότεροι και κατά τη θερινή περίοδο λιγότεροι τυφώνες πλήττουν τις νοτιοανατολικές πολιτείες.



Σχήμα 1.7 Σχηματική αναπαράσταση των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στις ανατολικές παρυφές της βορείου Αμερικής και στην Ευρώπη α) κατά τη θετική φάση της κύμανσης του βόρειου Ατλαντικού και β) κατά την αρνητική φάση. γ) Διακύμανση του δείκτη NAO για τον περασμένο αιώνα. Ο δείκτης NAO ορίζεται από τις διαφορές των κανονικοποιημένων τιμών της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας μεταξύ της Λισαβώνας (Πορτογαλία) και του Stykkisholmur/Reykjavik, (Ισλανδία) από το 1864 έως σήμερα, για τη χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος – Μάρτιος). (<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/nao.stat.winter.html>)

1.2. Κλιματική Αλλαγή και Ατμοσφαιρική Κυκλοφορία

Για την επιστημονική κοινότητα, αποτελεί πλέον αδιαμφισβήτητο γεγονός η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος (Wood, 1990; Boer et al., 1992; Congbin Fu et. al, 1999; Kyselý and Domonkos, 2006). Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Αναμφίβολα, η μεταβολή του κλίματος και η εμφάνιση ασυνήθιστων καιρικών φαινομένων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, συνδέεται άμεσα με διαφοροποιήσεις στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία, οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από αλλαγές σε κάποιον ή κάποιους από τους προαναφερθέντες παράγοντες, οι οποίοι διαμορφώνουν την γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

Η επιστημονική κοινότητα, όσον αφορά τις αιτίες των κλιματικών αλλαγών των ημερών μας, εστιάζει τις μελέτες της στις αποχές από τη μέση τιμή και στις τάσεις, που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια, στις τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων οι οποίες συνδέονται με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την απορρόφηση της από την ατμόσφαιρα (Manfred, 1986; Ming-Dha Chou, 1990; Felzer et al., 1995; Lean and Rind, 1998; Hatzianastassiou and Vardavas, 2004; Hatzianastassiou et al., 2005; Kvalevåg and Myhre, 2007; Χατζηαναστασίου κ.α., 2008; Nastos, 2008), καθώς και με τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ των ωκεανών και της ατμόσφαιρας (Lolis et al., 2002; Liu and Wu, 2004; Livezey et al., 2007). Επίσης πολλοί επιστήμονες στρέφονται προς την κατεύθυνση της μελέτης των αλλαγών που συμβαίνουν στα

ωκεάνια ρεύματα (Warner et al., 1990; Frankignoule et al., 2001; Kim and Miller, 2007; Lu et al., 2008).

Χαρακτηριστική είναι η άποψη, που εκφράζουν αρκετοί επιστήμονες (Watson et al., 2001; Bryden et al., 2005), ότι ή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη θα οδηγήσει στην τήξη των πάγων στο βόρειο ημισφαίριο στην περιοχή του Αρκτικού ωκεανού και της Γροιλανδίας μειώνοντας την αλατότητα των υδάτων στον Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό, γεγονός ικανό να προκαλέσει την εξασθένηση του θερμού ρεύματος του κόλπου του Μεξικού. Έτσι τα θερμά ύδατα θα παγιδευτούν στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές και η μόνη διέξοδος της θερμότητας θα είναι η ατμόσφαιρα, προκαλώντας με αυτόν τον τρόπο ισχυρότερη κυκλωνική δραστηριότητα σε αυτές τις περιοχές και κατά συνέπεια αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης τροπικών κυκλώνων (Moore et al., 2008) μεγάλης έντασης και περισσότερο καταστροφικών. Από την άλλη μεριά ένα τέτοιο σενάριο θα προκαλούσε στις δυτικές ακτές της Ευρώπης, την αλλαγή της επικρατούσας μέχρι σήμερα κατάστασης με περισσότερες και εντονότερες ψυχρές εισβολές (Marshall, 2001; Schostakowitch, 1925) και επιπροσθέτως αλλαγή στη διάρκεια της ψυχρής και της θερμής περιόδου.

Ερευνητές έχουν μελετήσει και έχουν καταγράψει αύξηση τόσο στη συχνότητα όσο και στην εμμονή του φαινομένου El Nino από τα μέσα του 1970 και μετά (Trenberth and Hurrell, 1994; An and Wang, 2000). Μία τέτοια μεταβολή αναμφίβολα μπορεί να συνδεθεί με τη μείωση του νετού, που παρατηρήθηκε σε περιοχές όπως η βόρειος Αφρική (Knippertz, 2003), νοτιοανατολική Ασία, Ινδονησία και άλλες τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Επιπροσθέτως, η μείωση της εμφάνισης τροπικών κυκλώνων στον Ατλαντικό ωκεανό και η αύξησή τους στον νοτιοανατολικό Ειρηνικό ωκεανό, μπορεί να συνδεθεί με το ENSO εξαιτίας των επιδράσεων του στην κυκλοφορία της ανώτερης τροπόσφαιρας (Rogers, 1984).

Ακόμη, εξαιρετικά έντονα και επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα στη Δυτική Ευρώπη και στη Μεσόγειο μπορούν να συνδεθούν με τις μεταβολές στο δείκτη NAO. Κατά τη θετική φάση της κύμανσης του Βόρειου Ατλαντικού (NAO), ο αντικυκλώνας των Αζορών εμφανίζεται ενισχυμένος εμποδίζοντας την κίνηση των χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων προς τη δυτική Ευρώπη και τη Μεσόγειο και τις ψυχρές εισβολές από τη βόρεια Ευρώπη. Τον περασμένο αιώνα μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1940 επικράτησε η θετική φάση της κύμανσης, ενώ από τότε μέχρι το 1980 ήταν περισσότερο συχνή η καταγραφή αρνητικών τιμών. Στο τέλος όμως του περασμένου αιώνα η θετική φάση φαίνεται να κυριάρχησε ξανά (σχήμα 7γ), προκαλώντας περιόδους σχετικής ξηρασίας στις μεσογειακές χώρες (Hurrell, 1995; Krichak, and Alpert, 2005; Houssos and Bartzokas, 2006; Lolis, 2008)

1.3. Ακραία Καιρικά Φαινόμενα (ΑΚΦ)

1.3.1. Αύξηση της Συχνότητας των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στα Πλαίσια της Κλιματικής Αλλαγής

Είναι κοινή πεποίθηση πολλών επιστημόνων ότι η μεταβολή του κλίματος δεν μπορεί να είναι ομαλή, αλλά συνοδεύεται από την αύξηση της έντασης και της συχνότητας εμφάνισης ασυνήθιστων καιρικών φαινομένων κυρίως σε τοπικό επίπεδο (Flohn, 1986; Johnny C. L. Chan and Kin Sik Liu, 2004; Meehl et al., 2000; Scaife et al., 2008). Στην τελευταία αναφορά του IPCC (2007), στο 3^ο κεφάλαιο (Trenberth et al., 2007) προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι μετά από το 1950 το πλήθος των επεισοδίων καύσωνα έχει αυξηθεί παγκοσμίως. Αύξηση παρουσιάζεται και στο μέγεθος των εκτάσεων της ξηράς που πλήττονται κάθε χρόνο από ξηρασίες. Αν και τα συνολικά ύψη βροχής πάνω από την ξηρά παρουσιάζουν οριακή μείωση, ο ετήσιος αριθμός των ισχυρών βροχοπτώσεων, οι οποίες προκαλούν πλημμυρικά επεισόδια

παρουσιάζει αύξηση, σε πολλές περιοχές της γης. Ακόμη, μετά το 1970 η συχνότητα των τροπικών καταιγίδων και των τυφώνων έχει αυξηθεί σημαντικά.

Μερικά από τα σημαντικότερα παγκοσμίως ακραία καιρικά φαινόμενα των τελευταίων χρόνων αναφέρονται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization WMO) στο δελτίο τύπου WMO Press Release No.791 (2007). Αυτά είναι ο μεγάλος αριθμός των μουσώνων που έπληξαν την Ινδία το καλοκαίρι του 2007, το πέραςμα του κυκλώνα Gonu από την Αραβική Θάλασσα και τον Περσικό κόλπο στις 6 Ιουνίου του 2007, που προκάλεσε κατολισθήσεις στο Ομάν και το Ιράν και σοβαρές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Ακόμη τα μεγάλα ποσά βροχόπτωσης 24ώρου, που συνέβησαν στην βορειοανατολική Αγγλία (103.1 mm) και στην κεντρική Αγγλία (120.8 mm) στις 25 Ιουνίου και 20 Ιουλίου του 2007 αντίστοιχα και τα δύο κύματα καύσωνα που έπληξαν τις Μεσογειακές χώρες στην νοτιοανατολική Ευρώπη τον Ιούνιο και Ιούλιο του 2007 με μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες άνω των 40°C, που προκάλεσαν θανάτους και καταστροφικές πυρκαγιές. Αλλά και στην Ελλάδα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν πλήξει κατά το παρελθόν την οικονομία της χώρας και έχουν προκαλέσει δυσχέρειες στις δραστηριότητες των πολιτών. Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται ενδεικτικά μερικά από τα πιο πρόσφατα.

Πίνακας 1.1 Μερικά από τα πιο πρόσφατα ακραία καιρικά φαινόμενα που έχουν σημειωθεί στην Ελλάδα.

Τόπος	Ημερομηνία	Φαινόμενο	Πηγή
Αττική	8/7/2002	Ισχυρή βροχόπτωση	Σημειώσεις διατμηματικού μαθήματος «Ακραία Καιρικά Φαινόμενα & Περιβάλλον», ΤΕΙ Κρήτης
Λάρισα	3 – 12/7/2000	Καύσωνας	Σημειώσεις διατμηματικού μαθήματος «Ακραία Καιρικά Φαινόμενα & Περιβάλλον», ΤΕΙ Κρήτης
Δυτική Ελλάδα	17/3/2003	Θυελλώδεις άνεμοι	Σημειώσεις διατμηματικού μαθήματος «Ακραία Καιρικά Φαινόμενα & Περιβάλλον», ΤΕΙ Κρήτης
Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος	27/7/2002	Ανεμοστρόβιλος	Σημειώσεις διατμηματικού μαθήματος «Ακραία Καιρικά Φαινόμενα & Περιβάλλον», ΤΕΙ Κρήτης
Πελοπόννησος Αττική ΒΑ Αιγαίο	23 – 25/11/2005	Ισχυρή βροχόπτωση	http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa112005.pdf
Βόρεια και δυτική Ελλάδα	24/1/2005	Σφοδρή χιονόπτωση	http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa012005.pdf
Αττική Εύβοια Βοιωτία	4 – 6/1/2002	Έντονη συνεχής χιονόπτωση	http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa012002.pdf
Αιγαίο	2/7/2006	Θυελλώδεις άνεμοι	http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa072006.pdf

Ειδικά για την περιοχή της Ελλάδας οι έρευνες, που έχουν πραγματοποιηθεί για τις μεταβολές στη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, αφορούν κυρίως εκείνα τα φαινόμενα που σχετίζονται με υψηλές θερμοκρασίες, ξηρασίες και έντονες βροχοπτώσεις. Οι Φειδάς κ.α. (2002) διαπίστωσαν ότι κατά την θερινή περίοδο υπάρχουν αυξητικές τάσεις της θερμοκρασίας του αέρα στον Ελλαδικό χώρο όχι όμως στατιστικά σημαντικές, και το ίδιο συμβαίνει για τις ετήσιες τιμές. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει το συμπέρασμα ότι η συχνότητα καταγραφής ακραίων υψηλών θερμοκρασιών παρουσιάζει αύξηση, στο οποίο κατέληξαν οι Kostopoulou and Jones (2005) σε μία εκτεταμένη μελέτη, η οποία αφορούσε την ανατολική Μεσόγειο. Στην ίδια μελέτη διαπιστώθηκε ότι αυξητικές τάσεις παρουσιάζει και η διάρκεια των θερμών κυμάτων στην ανατολική Μεσόγειο. Βεβαίως αρκετοί διερευνούν την πιθανότητα αυτές οι τάσεις αύξησης να οφείλονται στην αστικοποίηση των περιοχών, όπου είναι εγκατεστημένοι οι μετεωρολογικοί σταθμοί (Philandras et al., 1999; Φιλάνδρας και Νάστος, 2002). Όμως τα ευρήματα και άλλων ερευνητών, οι οποίοι χρησιμοποίησαν στην ανάλυσή τους δορυφορικά δεδομένα για την μελέτη της θερμοκρασίας της τροπόσφαιρας πάνω από τον Ελλαδικό χώρο

(Σαχσαμάνογλου και Μπλούτσος, 2002) συμφωνούν με την άποψη ότι και στην Ελλάδα υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η οποία είναι άσχετη από την επίδραση της αστικοποίησης, και συμβάλλει στην αύξηση των ακραίων τιμών της θερμοκρασίας.

Αναφορικά με το καθεστώς ακραίων βροχοπτώσεων οι Nastos and Zerefos (2007) διαπίστωσαν ότι στην Αθήνα το ποσοστό υγρών ημερών για τις οποίες το ύψος βροχής ξεπερνά συγκεκριμένα όρια, παρουσιάζει αυξητική τάση μετά τη δεκαετία του 1970, σε αντίθεση με τα ετήσια ποσά βροχόπτωσης στην Ελλάδα που έχουν μειωθεί (Πνευματικός και Κατσούλης, 2000; Καραταράκης και Σκριμιζέας, 2002; Feidas et al., 2007). Οι Τύμβιος και Μιχαηλίδης (2002) σε μία αναλυτική στατιστική μελέτη, η οποία αφορούσε τις χρονικές μεταβολές της βροχόπτωσης στη γειτονική Κύπρο, διαπίστωσαν ότι παρόλη τη μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης η πιθανότητα εμφάνισης ακραίων τιμών βροχόπτωσης είναι αυξημένη την τελευταία 30ετία του περασμένου αιώνα. Οι Maheras et al. (2004) μελέτησαν διεξοδικά τη σχέση των ποσών βροχόπτωσης στην Ελλάδα με τους τύπους κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας στη στάθμη των 500hPa. Διαπίστωσαν ότι για το τελευταίο μισό του περασμένου αιώνα εμφανίζεται τάση μείωσης της κυκλωνικής κυκλοφορίας πάνω από την Ευρώπη, γεγονός που σίγουρα επιδρά στην μείωση των ποσών βροχής κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Ωστόσο, κατά την φθινοπωρινή περίοδο, παρόλη τη μείωση της κυκλωνικής κυκλοφορίας, ο αριθμός των βροχερών ημερών και τα ποσά βροχόπτωσης παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις. Γενικά επικρατεί η άποψη ότι στην νότια Ευρώπη τα ποσά βροχόπτωσης μειώνονται και επίκειται μεγάλη περίοδος ξηρασίας, όμως οι βροχοπτώσεις έχουν αρχίσει να είναι περισσότερο έντονες.

1.3.2. Μελέτες για την Πρόγνωση των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυσμενείς κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων οι επιστήμονες αναζητούν απαντήσεις στα καιρία ερωτήματα των συνθηκών πρόκλησης και της πρόγνωσης ακραίων φαινομένων. Πολλοί επικεντρώνουν τις ερευνητικές τους δραστηριότητες στην ενδεδειγμένη μελέτη μεμονωμένων περιστατικών (π.χ. Doswell et al., 1997; Tayanc et al., 1997). Άλλοι χρησιμοποιούν μετεωρολογικά μοντέλα με τα οποία μπορούν να διερευνούν τις συνθήκες υπό τις οποίες εμφανίζονται συγκεκριμένα περιστατικά ακραίων καιρικών καταστάσεων (π.χ. Pytharoulis et al., 2005; Corazza et al., 2003). Πλήθος ερευνητών χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους εστιάζουν τις μελέτες τους στις συνοπτικές συνθήκες που ευνοούν τέτοια φαινόμενα (π.χ. Cavazos, 2000; Chorlaki et al., 2003; Maheras et al., 2004; Speranza and Tartaglione, 2006).

Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες γίνονται περισσότερο οργανωμένες. Διεθνείς μετεωρολογικοί οργανισμοί και πολυπληθείς επιστημονικές ομάδες, εργάζονται συντονισμένα πάνω στη μελέτη των ακραίων καιρικών φαινομένων με σκοπό τη δημιουργία των καταλληλότερων εργαλείων για την πρόγνωσή τους. Στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμης Πρόγνωσης Καιρού (ECMWF) έχει αναπτυχθεί ένας δείκτης που ονομάζεται Extreme Forecast Index (EFI) και υποδεικνύει τις αποχές των τιμών διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων από την κλιματική τους τιμή λαμβάνοντας υπόψη την εποχή και τον τόπο, προειδοποιώντας για την εμφάνιση ΑΚΦ στην Ευρώπη. Σε μία άλλη προσπάθεια ερευνητικά κέντρα και Πανεπιστήμια Μεσογειακών χωρών σε συνεργασία μεταξύ τους έχουν αναπτύξει ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης ακραίων καιρικών φαινομένων με την ονομασία RISKMED, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις περιοχικές προγνώσεις του μετεωρολογικού μοντέλου MM5 και παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση μέσω του παγκόσμιου ιστού για την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως καταιγίδων καυσώνων θυελλωδών ανέμων και άλλων.

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος STARDEX (Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions) οι συνεργαζόμενοι φορείς εργάστηκαν με

στόχο την αυστηρή και συστηματική σύγκριση και αποτίμηση στατιστικών, δυναμικών και μεικτών μεθόδων αναπαραγωγής και μελέτης των μέχρι πρόσφατα παρατηρηθέντων ακραίων καιρικών φαινομένων και την παραγωγή μελλοντικών σεναρίων για την πρόβλεψη της συχνότητας και έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων σε περιοχές της Ευρώπης. Τελικός σκοπός του προγράμματος ήταν η εφαρμογή των καλύτερων μεθοδολογιών για την παραγωγή αξιόπιστων μελλοντικών σεναρίων, όσον αφορά τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης σε περιοχές της Ευρώπης για τη χρονική περίοδο 2071-2100. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων θα είναι αυξημένες περί το τέλος του 21^{ου} αιώνα (http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/reports/STARDEX_FINAL_REPORT.pdf).

Ακόμη μία μεγάλη Ευρωπαϊκή επιστημονική ομάδα εργάζεται στα πλαίσια του έργου COST733 με σκοπό τη δημιουργία μίας αριθμητικής μεθόδου, που θα συγκρίνει και θα κατηγοριοποιεί τις συνθήκες εμφάνισης συγκεκριμένων καιρικών φαινομένων, εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε χωρική κλίμακα, για οποιαδήποτε περιοχή της Ευρώπης. Τελικός στόχος είναι αυτή η μέθοδος να χρησιμοποιηθεί για την πρόγνωση συγκεκριμένων δυσμενών καιρικών συνθηκών (π.χ. ομίχλες, χιονόπτωση), ακραίων καιρικών φαινομένων καθώς και επεισοδίων ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα.

1.3.3. Σύντομη Περιγραφή του Τρόπου Μελέτης των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στην Παρούσα Διατριβή

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μία προσπάθεια να διαπιστωθούν οι κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν την εμφάνιση 5 διαφορετικών ειδών επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων στην Ελλάδα (θερμά επεισόδια, ψυχρά επεισόδια, επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων, επεισόδια χιονόπτωσης και επεισόδια ομίχλων). Για παράδειγμα, ως θερμό επεισόδιο ορίζεται μία σειρά συνεχόμενων ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραία τιμή ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα. Αναλυτικά οι ορισμοί των επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 3 και σε κάθε ένα κεφάλαιο που διαπραγματεύεται το αντίστοιχο είδος επεισοδίων.

Για κάθε ένα είδος επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων λαμβάνονται οι τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων, που περιγράφουν τη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην Ευρώπη και στη Μεσόγειο, μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων, την ημέρα έναρξης των επεισοδίων και μία ημέρα μετά τη λήξη των επεισοδίων. Με τη χρήση της Παραγοντικής Ανάλυσης πραγματοποιείται μείωση του πλήθους των αρχικών μετεωρολογικών παραμέτρων και καθίσταται δυνατή η περιγραφή της δομής της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια του κάθε επεισοδίου με λιγότερες μεταβλητές. Στη συνέχεια με τη χρήση της Ανάλυσης κατά Συστάδες γίνεται αντικειμενική κατάταξη των δομών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχούν στα επεισόδια, σε ομοιογενείς ομάδες. Με τη δημιουργία μέσων χαρτών των αρχικών μετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε ομάδα προκύπτουν οι κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν το κάθε είδος επεισοδίων.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα και οι στατιστικές μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται στη διατριβή. Στο κεφάλαιο 3 ορίζονται τα επεισόδια ακραίων καιρικών φαινομένων, που μελετώνται και περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθείται. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται κάποια γενικά χαρακτηριστικά (ετήσια διακύμανση, εποχική κατανομή, διάρκεια και άλλα) των θερμών επεισοδίων και περιγράφονται οι κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν τέτοια επεισόδια. Στο ίδιο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά των ψυχρών

επεισοδίων και οι κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν αυτού του είδους τα επεισόδια. Στο 5^ο, 6^ο, και 7^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά και οι κύριοι τύποι εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης, τα επεισόδια χιονόπτωσης και τα επεισόδια ομίχλης αντίστοιχα. Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα της διατριβής.

2. Δεδομένα και Στατιστικές Μέθοδοι

2.1. Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή αποτελούνται από:

1. ημερήσιες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας,
2. ημερήσιες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας,
3. ύψος βροχής 12ώρου σε mm καταγεγραμμένου στις 06:00UTC και στις 18:00UTC και τρίαωρα τηλεγραφήματα:
4. με κωδικούς παρόντος καιρού και
5. κωδικούς παρελθόντος καιρού,

για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002 σε 16 μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), οι οποίοι αναφέρονται στον πίνακα 2.1. Η χωρική κατανομή των σταθμών παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.

Πίνακας 2.1 Οι κωδικοί αριθμοί, οι κωδικές ονομασίες, η θέση και το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών, των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή.

WMO Κωδικός Αριθμός	ICAO Κωδική Ονομασία	Θέση Μετεωρολογικού Σταθμού	Γεωγραφικές Συντεταγμένες	Υψόμετρο (H _a) (m)
16622	LGTS	Αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης	40-31N 022-58E	8
16627	LGAL	Αεροδρόμιο Αλεξανδρούπολης	40-51N 025-55E	7
16632	LGKZ	Αεροδρόμιο Κοζάνης	40-18N 021-47E	634
16641	LGKR	Αεροδρόμιο Κέρκυρας	39-37N 019-55E	2
16642	LGIO	Αεροδρόμιο Ιωαννίνων	39-42N 020-49E	480
16648	LGLR	Αεροδρόμιο Λάρισας	39-38N 022-25E	73
16650	LGLM	Αεροδρόμιο Λήμνου	39-55N 025-14E	5
16667	LGMT	Αεροδρόμιο Μυτιλήνης	39-04N 026-36E	3
16672		Αεροδρόμιο Αγρινίου	38-36N 021-21E	24
16682	LGAD	Αεροδρόμιο Ανδραβίδας	37-55N 021-17E	10
16710	LGTP	Αεροδρόμιο Τρίπολης	37-32N 022-24E	644
16716	LGAT	Αεροδρόμιο Αθηνών (Ελληνικό)	37-54N 023-44E	28
16732		Νάξος	37-06N 025-23E	9
16749	LGRP	Αεροδρόμιο Ρόδου	36-24N 028-05E	4
16754	LGIR	Αεροδρόμιο Ηρακλείου	35-20N 025-11E	37
16756		Ιεράπετρα	35-00N 025-44E	13

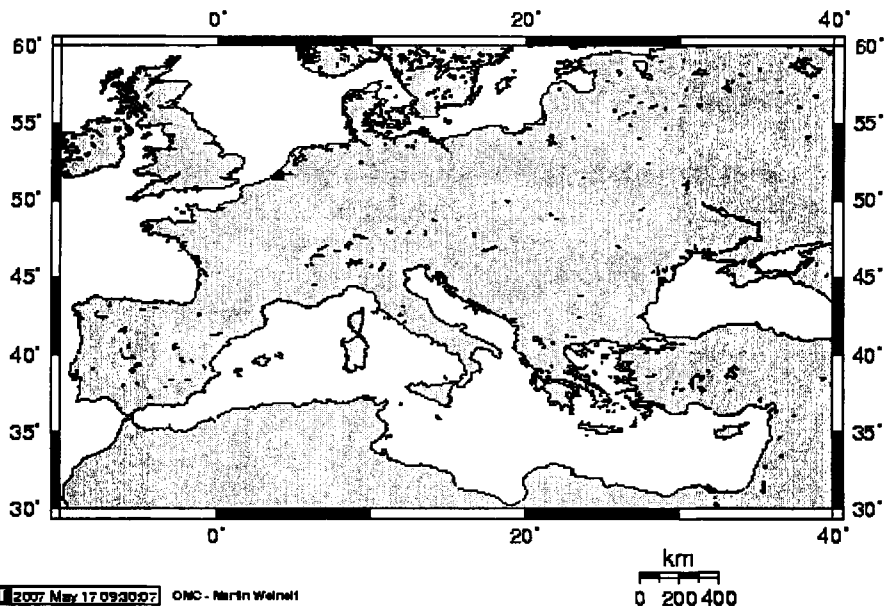


Σχήμα 2.1. Χωρική κατανομή των μετεωρολογικών σταθμών, των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή.

Επίσης, για την ίδια περίοδο και για τις ώρες 00:00UTC, 06:00UTC, 12:00UTC και 18:00UTC, χρησιμοποιούνται δεδομένα από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (European Center of Mesoscale Weather Forecast), τα οποία αφορούν σε τιμές:

- 1) ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας,
- 2) θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa,
- 3) πάχους του ατμοσφαιρικού στρώματος 1000 – 500hPa,
- 4) θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa και
- 5) γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa

σε 273 σημεία πλέγματος. Τα πλεγματικά σημεία καλύπτουν την Ευρώπη και τη Μεσόγειο από 30°Β έως 60°Β γεωγραφικό πλάτος και 10°Δ έως 40°Α γεωγραφικό μήκος, διατεταγμένα ανά 2.5° ως προς το γεωγραφικό πλάτος και ανά 2.5° ως προς το γεωγραφικό μήκος (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Η περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου, από 10° Δ έως 40° Α γεωγραφικό μήκος και από 30° Β έως 60° Β γεωγραφικό πλάτος η οποία καλύπτεται από τα 273 σημεία πλέγματος, διατεταγμένα ανά 2.5° ως προς το γεωγραφικό μήκος και πλάτος.

Από τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ, στις χρονοσειρές των ημερήσιων μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών, διαπιστώνεται η ύπαρξη ελλειπουσών τιμών, οι οποίες αποτελούν ποσοστό περί το 3% του συνόλου των δεδομένων (πίνακας 2.2). Στο μετεωρολογικό σταθμό της Λήμνου το ποσοστό των ελλειπουσών τιμών φτάνει το 38% περίπου.

Πίνακας 2.2. Το πλήθος των ελλειπουσών τιμών για τις χρονοσειρές της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας των 16 μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ, για τη χρονική περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002.

Μετεωρολογικός Σταθμός	WMO Κωδικός Αριθμός	Πλήρες Σύνολο Τιμών	Πλήθος ελλειπουσών τιμών μέγιστης θερμοκρασίας	Ποσοστό	Πλήθος ελλειπουσών τιμών ελάχιστης θερμοκρασίας	Ποσοστό
Θεσσαλονίκη	16622	16436	504	3,1%	507	3,1%
Αλεξανδρούπολη	16627	16436	6	0,0%	4	0,0%
Κοζάνη	16632	16436	99	0,6%	3	0,0%
Κέρκυρα	16641	16436	17	0,1%	16	0,1%
Ιωάννινα	16642	16436	576	3,5%	40	0,2%
Λάρισα	16648	16436	0	0,0%	1	0,0%
Λήμνος	16650	16436	6240	38,0%	5997	36,5%
Μυτιλήνη	16667	16436	42	0,3%	3	0,0%
Αγρίνιο	16672	16436	126	0,8%	108	0,7%
Ανδραβίδα	16682	16436	490	3,0%	495	3,0%
Τρίπολη	16710	16436	0	0,0%	0	0,0%
Αθήνα	16716	16436	0	0,0%	3	0,0%
Νάξος	16732	16436	6	0,5%	6	0,0%
Ρόδος	16749	16436	2	0,0%	2	0,0%
Ηράκλειο	16754	16436	1	0,0%	0	0,0%
Ιεράπετρα	16756	16436	145	0,9%	136	0,8%
Συνολικά		262976	8254	3,1%	7321	2,8%

Ελλιπή δεδομένα παρουσιάζονται και στις χρονοσειρές υψών βροχής 12ώρου των 16 μετεωρολογικών σταθμών (πίνακας 2.3). Ιδιαίτερα για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της

Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας οι χρονοσειρές του ύψους βροχής περιορίζονται στη χρονική περίοδο 1/9/1959 έως 31/8/2002, ενώ για το μετεωρολογικό σταθμό της Λήμνου στην περίοδο 1/9/1974 έως 31/8/2002.

Πίνακας 2.3. Τα ποσοστά των ελλειπουσών τιμών για τις χρονοσειρές των υψών βροχής 12ώρου των 16 μετεωρολογικών σταθμών της EMY, για τη χρονική περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002.

Μετεωρολογικός Σταθμός	WMO Κωδικός Αριθμός	Πλήρες Σύνολο Τιμών	Ποσοστό ελλειπουσών τιμών
Θεσσαλονίκη	16622	32870	3.0%
Αλεξανδρούπολη	16627		0.0%
Κοζάνη	16632		0.3%
Κέρκυρα	16641		0.0%
Ιωάννινα	16642		0.0%
Λάρισα	16648		0.0%
Λήμνος	16650		36.5%
Μυτιλήνη	16667		0.1%
Αγρίνιο	16672		0.7%
Ανδραβίδα	16682		3.0%
Τρίπολη	16710		0.0%
Αθήνα	16716		0.0%
Νάξος	16732		0.0%
Ρόδος	16749		0.0%
Ηράκλειο	16754		0.0%
Ιεράπετρα	16756		0.7%

Πίνακας 2.4 Τα ποσοστά των διαθέσιμων τηλεγραφημάτων των 16 μετεωρολογικών σταθμών της EMY, για τη χρονική περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002.

Μετεωρολογικός Σταθμός	WMO Κωδικός Αριθμός	Περίοδος Δεδομένων	Ποσοστό Διαθέσιμων Τηλεγραφημάτων
Θεσσαλονίκη	16622	1959-2002	95.0%
Αλεξανδρούπολη	16627	1957-2002	97.0%
Κοζάνη	16632	1957-2002	84.0%
Κέρκυρα	16641	1957-2002	100.0%
Ιωάννινα	16642	1957-2002	83.0%
Λάρισα	16648	1957-2002	100.0%
Λήμνος	16650	1974-2002	62.0%
Μυτιλήνη	16667	1957-2002	94.0%
Αγρίνιο	16672	1957-2002	62.0%
Ανδραβίδα	16682	1959-2002	94.0%
Τρίπολη	16710	1957-2002	87.0%
Αθήνα	16716	1957-2002	100.0%
Νάξος	16732	1957-2002	95.0%
Ρόδος	16749	1957-2002	100.0%
Ηράκλειο	16754	1957-2002	100.0%
Ιεράπετρα	16756	1957-2002	62.0%

Για τους 16 μετεωρολογικούς σταθμούς δεν είναι διαθέσιμα όλα τα τρίωρα τηλεγραφήματα. Αρκετά τηλεγραφήματα λείπουν από του μετεωρολογικούς σταθμούς της Κοζάνης, των Ιωαννίνων και της Τρίπολης, ενώ πολλά είναι τα ελλιπή τηλεγραφήματα στους

μετεωρολογικούς σταθμούς της Λήμνου του Αγρινίου και της Ιεράπετρας, στους οποίους τα διαθέσιμα αποτελούν περίπου το 62% του συνολικού πλήθους για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002.

2.2. Γραμμική Συσχέτιση και Γραμμική Συνάρτηση Παλινδρόμησης

Πολλές φορές είναι αναγκαία η χρήση κάποιας απλής μεθοδολογίας, η οποία να δίνει το βαθμό της γραμμικής συσχέτισης δύο ποσοτικών τυχαίων μεταβλητών. Ένα μέτρο της συμμεταβλητότητας δύο τυχαίων μεταβλητών X και Y είναι η συνδιακύμανση, η οποία συμβολίζεται με $Cov(X, Y)$ και ορίζεται από τη σχέση

$$Cov(X, Y) = E[(X - EX)(Y - EY)] = EXY - EXEY$$

όπου το E είναι ένας τελεστής που δίνει τη μέση τιμή της μεταβλητής.

Η συνδιακύμανση είναι θετική όταν τα $X-EX$ και $Y-EY$ τείνουν να έχουν το ίδιο σημείο με μεγάλη πιθανότητα και αρνητική όταν τα $X-EX$ και $Y-EY$ τείνουν να έχουν αντίθετο σημείο με μεγάλη πιθανότητα (Παπαϊωάννου και Λουκάς, 1990).

Για δύο τυχαίες μεταβλητές ο θεωρητικός συντελεστής συσχέτισης συμβολίζεται με $\rho(X, Y)$, ή απλά ρ και ορίζεται από τη σχέση

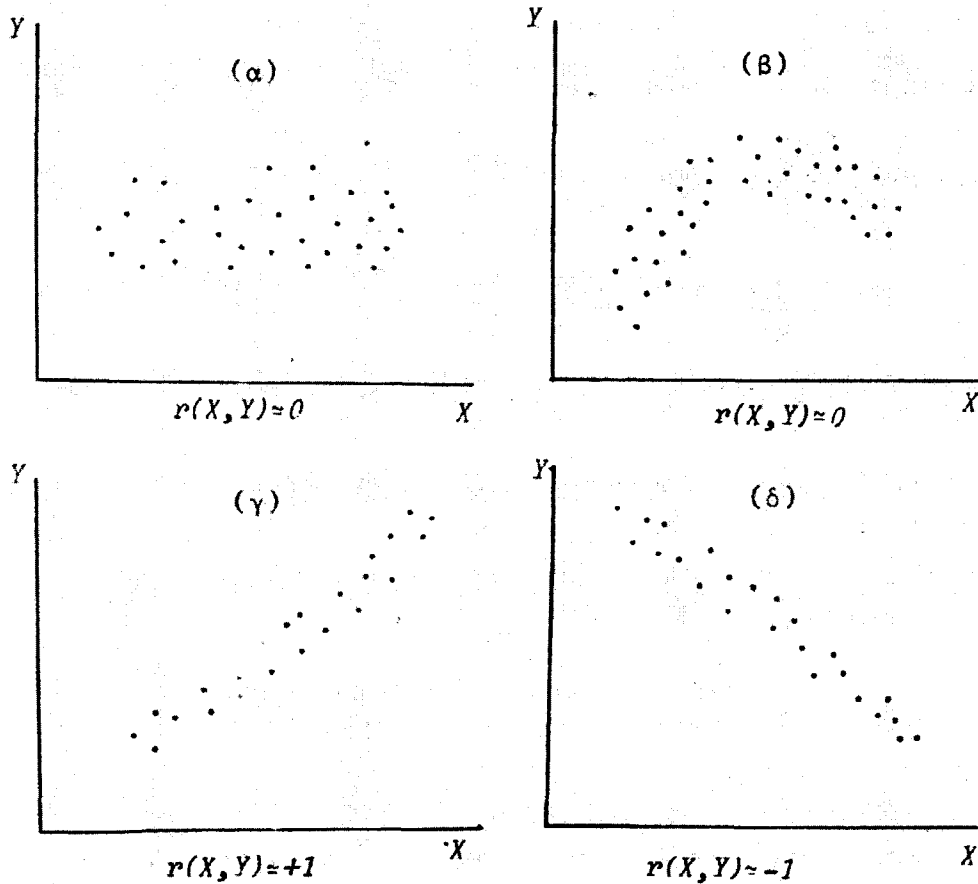
$$\rho(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{VarX \cdot VarY}} \quad (2.1)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης αφαιρεί, κατά κάποιο τρόπο, την ατομική μεταβλητότητα των X και Y διαιρώντας τη διακύμανση με το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων των X και Y . Είναι καθαρός αριθμός μεταξύ του -1 και του 1 και επιπλέον είναι ένα μέτρο του βαθμού της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δύο τυχαίων μεταβλητών. Όταν $\rho=0$ τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των X και Y , χωρίς αυτό να αποκλείει οι δύο μεταβλητές να συσχετίζονται διαφορετικά, π.χ. καμπυλόγραμμα. Όταν $\rho=\pm 1$ οι δύο μεταβλητές συσχετίζονται γραμμικά με τέλεια σχέση.

Ο θεωρητικός συντελεστής ρ είναι δύσκολο να υπολογιστεί, έτσι στην πράξη εκτιμάται από το δειγματικό συντελεστή συσχέτισης του Pearson, ο οποίος συμβολίζεται με $r(X, Y)$, ή απλά r και για n ζεύγη (X_i, Y_i) αριθμητικών τιμών ορίζεται από τη σχέση

$$r(X, Y) = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.2)$$

Ο δειγματικός συντελεστής r είναι ένας καθαρός αριθμός μεταξύ του -1 και του 1 . Όταν $r(X, Y)=0$ δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των X και Y (σχήμα 2.3α), χωρίς βέβαια αυτό να αποκλείει την ύπαρξη κάποιας άλλης σχέσης, για παράδειγμα καμπυλόγραμμης (σχήμα 2.3β). Όταν $r(X, Y)=+1$ τότε υπάρχει θετική συσχέτιση (σχήμα 2.3γ), ενώ όταν $r(X, Y)=-1$ η γραμμική εξάρτηση των δύο μεταβλητών είναι αρνητική (σχήμα 2.3δ).



Σχήμα 2.3 Παραδείγματα διαγραμμάτων διασποράς δύο μεταβλητών και του αντίστοιχου δειγματικού συντελεστή συσχέτισης

Όταν διαπιστωθεί, με τη βοήθεια του συντελεστή συσχέτισης, ότι δύο τυχαίες μεταβλητές συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους, τότε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να εκτιμηθεί η γραμμική συνάρτηση παλινδρόμησης, με την οποία είναι δυνατό να εκτιμάται η τιμή της μίας μεταβλητής Y εάν είναι γνωστή η τιμή της άλλης μεταβλητής X . Η γραμμική συνάρτηση παλινδρόμησης έχει τη μορφή

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2.3)$$

Τα β_0 και β_1 αποτελούν τους άγνωστους συντελεστές της συνάρτησης, ενώ το ε_i λέγεται τυχαίο σφάλμα και παριστά για δοθείσα τιμή του X_i την απόκλιση της Y_i από την άγνωστη γραμμή παλινδρόμησης. Το β_1 είναι η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης και το β_0 είναι το σημείο όπου η γραμμή παλινδρόμησης τέμνει τον άξονα των Y .

Οι τιμές των παραμέτρων β_0 και β_1 είναι άγνωστες και για να βρούμε καλούς εκτιμητές αυτών των παραμέτρων χρησιμοποιούμε μια τεχνική, γνωστή ως μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Αυτοί οι εκτιμητές των β_0 και β_1 είναι εκείνες οι τιμές $\hat{\beta}_0$ και $\hat{\beta}_1$ που ελαχιστοποιούν τη συνάρτηση

$$Q(\beta_0, \beta_1) = \sum \varepsilon_i^2 = \sum (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i)^2 \quad (2.4)$$

και προκύπτουν από τη λύση του συστήματος των κανονικών εξισώσεων

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_0} = -2 \sum_1^n (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_1} = -2 \sum_1^n X_i (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_i) \quad (2.6)$$

στις οποίες οδηγούμαστε από το μηδενισμό των μερικών παραγόντων

$$\sum Y_i = n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum X_i \quad (2.7)$$

$$\sum X_i Y_i = \hat{\beta}_0 \sum X_i + \hat{\beta}_1 \sum X_i^2 \quad (2.8)$$

Έτσι λοιπόν αυτοί οι εκτιμητές $\hat{\beta}_0$ και $\hat{\beta}_1$ των β_0 και β_1 δίνονται από τις εξισώσεις

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (2.9)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.10)$$

Γνωρίζοντας πλέον τους εκτιμητές των συντελεστών της συνάρτησης παλινδρόμησης είναι φυσικό να μπορούμε να εκτιμήσουμε και την ίδια τη γραμμική συνάρτηση παλινδρόμησης

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \quad (2.11)$$

όπου, \hat{Y} είναι ένας εκτιμητής της μέσης τιμής της μεταβλητής Y όταν δίνεται η τιμή της μεταβλητής X . Έτσι το \hat{Y}_0 είναι η προβλεπόμενη τιμή που αντιστοιχεί στο X_0 και προκύπτει από την εξίσωση $\hat{Y}_0 = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_0$.

2.3. Παραγοντική Ανάλυση

Η Παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis) είναι μία στατιστική μέθοδος, η οποία χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές διαφόρων επιστημονικών πεδίων, με σκοπό να καταστεί δυνατή η αντικατάσταση μεγάλου πλήθους p συσχετιζόμενων αρχικών μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_p από άλλες ασυσχέτιστες μεταξύ τους μεταβλητές F_1, F_2, \dots, F_m πλήθους $m < p$, οι οποίες καλούνται παράγοντες (factors). Οι τιμές των παραγόντων ονομάζονται τιμές επίδοσης (factor scores) και έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα. Οι παράγοντες F_j είναι πολύ λιγότεροι σε πλήθος από τις αρχικές μεταβλητές ($m < p$), αλλά ερμηνεύουν πολύ μεγάλο ποσοστό της αρχικής πληροφορίας. Οι αρχικές μεταβλητές μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικός συνδυασμός των παραγόντων, σύμφωνα με την εξίσωση 2.12.

$$X_i = g_{i1}F_1 + g_{i2}F_2 \dots + g_{im}F_m + e_i \quad (2.12)$$

Στην εξίσωση 2.12 οι συντελεστές $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{im}$ καλούνται φορτία των παραγόντων (factor loadings) και εκφράζουν τη συσχέτιση της X_i μεταβλητής με κάθε έναν από τους παράγοντες. Το άθροισμα $\sum_{j=1, m} g_{ij}^2$ ονομάζεται εταιρικότητα (communality) και εκφράζει το τμήμα της διακύμανσης της X_i μεταβλητής που ερμηνεύεται από τους m παράγοντες. Η διακύμανση του e_i εκφράζει το τμήμα της διακύμανσης της X_i μεταβλητής που δεν μπορεί να ερμηνευτεί από τους m παράγοντες και ονομάζεται ιδιαιτερότητα (specificity) (Manly, 1986).

Οι μαθηματικοί υπολογισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την παραγοντική ανάλυση αποτελούνται από τα παρακάτω βήματα:

1. Εφαρμογή Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες

- ο Κανονικοποίηση των αρχικών p μεταβλητών, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.
- ο Υπολογισμός του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών.
- ο Υπολογισμός των ιδιοτιμών $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ του πίνακα συσχετίσεων και των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_p$. Η ιδιοτιμή λ_j αποτελεί τη διακύμανση της j -οστής κύριας συνιστώσας και τα στοιχεία του ιδιοδιανύσματος \mathbf{b}_j αποτελούν τους συντελεστές, όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.13.

$$Z_j = b_{j1}X_1 + b_{j2}X_2 + \dots + b_{jp}X_p \quad (2.13)$$

2. Υπολογισμός των X_i ως γραμμικό συνδυασμό των κυρίων συνιστωσών (εξίσωση 2.14).

$$X_i = b_{i1}Z_1 + b_{i2}Z_2 + \dots + b_{ip}Z_p \quad (2.14)$$

3. Διατήρηση m κυρίων συνιστωσών

$$X_i = b_{i1}Z_1 + b_{i2}Z_2 + \dots + b_{mi}Z_m + e_i \quad (2.15)$$

όπου το e_i να αποτελεί γραμμικό συνδυασμό των υπολοίπων κυρίων συνιστωσών $Z_{m+1}, Z_{m+2}, \dots, Z_p$.

4. Μετατροπή των κυρίων συνιστωσών Z_j σε παράγοντες, διαιρώντας τις με την τυπική απόκλισή τους, η οποία είναι $\sqrt{\lambda_j}$, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα. Τότε η εξίσωση 2.15 μετασχηματίζεται σε

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i \quad (2.16)$$

όπου $a_{ij} = \sqrt{\lambda_j} b_{ji}$ και $F_j = Z_j \sqrt{\lambda_j}$, οι οποίες μεταβλητές καλούνται προσωρινοί παράγοντες (provisional factors).

5. Ορθογώνια “varimax” περιστροφή των προσωρινών παραγόντων F_j με σκοπό την εύρεση νέων παραγόντων F_j^* , των οποίων τα φορτία θα είναι μεγαλύτερα κατ' απόλυτη τιμή από τα προηγούμενα ώστε η κατάταξη των αρχικών μεταβλητών σε κάποιον παράγοντα να είναι καλύτερη. Αυτό γίνεται εφικτό με τη μεγιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των φορτίων του κάθε παράγοντα $F_j \sum_{i=1,p} a_{ij}^2$, αφού αυτό είναι ένα μέτρο της ολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών, που ερμηνεύει ο κάθε j παράγοντας. Προκύπτει έτσι μία νέα εξίσωση:

$$X_i = g_{i1}F_1^* + g_{i2}F_2^* + \dots + g_{im}F_m^* + e_i \quad (2.17)$$

Στην οποία οι νέοι παράγοντες F_j^* καλούνται περιστραμμένοι παράγοντες (rotated factors). Στη συνέχεια προς χάριν απλότητας οι περιστραμμένοι παράγοντες θα αναφέρονται απλά ως παράγοντες και θα συμβολίζονται με F_j .

Ένα σημαντικό βήμα κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής ανάλυσης είναι η επιλογή του πλήθους m των παραγόντων που θα διατηρηθούν. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορα κριτήρια. Σύμφωνα με ένα από αυτά, το κριτήριο GUTTMAN, το πλήθος των παραγόντων που θα διατηρηθούν πρέπει να είναι ίσο με τον αριθμό των ιδιοτιμών του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών, των οποίων η τιμή τους ξεπερνά την μονάδα. Σύμφωνα με ένα άλλο, το κριτήριο SCREE, πρέπει να διατηρηθούν τόσοι παράγοντες, όσα είναι τα σημεία που αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή, σε ένα διάγραμμα όπου παρατίθενται οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων διατεταγμένες σε φθίνουσα σειρά. Το

κριτήριο LEV ακολουθεί την ίδια λογική όπως και το SCREE με τη μόνη διαφορά, ότι αντί για τις ιδιοτιμές χρησιμοποιείται ο λογάριθμός τους. Το κριτήριο MONTE CARLO ορίζει, ότι το πλήθος των παραγόντων πρέπει να ισούται με τον αριθμό των ιδιοτιμών που είναι μεγαλύτερες από το 95% εκείνων που προκύπτουν από τη χρήση τυχαίων δεδομένων (Horel, 1981; Overland and Preisendorfer, 1982; Jolliffe, 1986; Rogers, 1990). Τα παραπάνω κριτήρια θεωρούνται αυστηρά και στην πράξη, όπως έχει επισημανθεί από αρκετούς ερευνητές (Bartzokas and Metaxas, 1993) ο αριθμός των παραγόντων που θα διατηρηθούν, πρέπει να είναι τέτοιος ώστε τα αποτελέσματα να επιδέχονται φυσική ερμηνεία.

Μία αναλυτική περιγραφή της χρήσης της μεθόδου σε θέματα κλιματολογίας αποτελεί η μελέτη των Metaxas and Bartzokas (1997). Σε αυτήν, η μέθοδος εφαρμόζεται για την εύρεση χωρικών συνδιακυμάνσεων μίας μετεωρολογικής παραμέτρου, με τιμές που καλύπτουν μία ευρεία περιοχή (S-mode), την εξεύρεση τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας με την εφαρμογή της μεθόδου σε συνοπτικές καταστάσεις, που έχουν καταγραφεί στη διάρκεια κάποιας χρονικής περιόδου (T-mode). Τέλος περιγράφεται η εφαρμογή της μεθόδου για εύρεση συνδιακυμάνσεων μεταξύ πολλών μετεωρολογικών παραμέτρων, των οποίων οι τιμές καταγράφονται στον ίδιο τόπο (P-mode).

2.4. Ανάλυση κατά Συστάδες

Η Ανάλυση κατά Συστάδες (Sharma, 1996) αποτελεί μία διαδοσμένη στατιστική μέθοδο, σκοπός της οποίας είναι να κατατάξει ένα πλήθος n παρατηρήσεων, που περιγράφονται από m μεταβλητές, σε k ομάδες, ώστε η κάθε ομάδα να παρουσιάζει όσο το δυνατό μεγαλύτερο βαθμό ομοιογένειας, αλλά και να διαφέρει όσο το δυνατόν περισσότερο από τις υπόλοιπες ομάδες. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού χρησιμοποιούνται οι αποστάσεις των παρατηρήσεων στον m -διάστατο χώρο, ένα μέτρο των οποίων είναι η ευκλείδεια απόσταση όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.18

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{l=1, m} (x_{il} - x_{jl})^2} \quad (2.18)$$

όπου D_{ij} είναι η απόσταση μεταξύ της i και της j παρατήρησης, x_{il} είναι η τιμή της l μεταβλητής για την i παρατήρηση, x_{jl} είναι η τιμή της l μεταβλητής για την j παρατήρηση και m είναι το πλήθος των μεταβλητών, που περιγράφουν κάθε παρατήρηση.

Συνήθως για να αποφευχθεί η επίδραση των διαφορετικών κλιμάκων στις οποίες μετρώνται οι μεταβλητές, οι τιμές των μεταβλητών κανονικοποιούνται, ώστε όλες οι μεταβλητές να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.

Υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές για την κατάταξη των παρατηρήσεων σε ομάδες, η ιεραρχική και η μη ιεραρχική (K-Means).

2.4.1. Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες

Η ιεραρχική τεχνική ξεκινά με την παραδοχή ότι η κάθε παρατήρηση αποτελεί από μόνη της μία ομάδα. Λαμβάνοντας στη συνέχεια υπόψη τις αποστάσεις των παρατηρήσεων μεταξύ τους ομαδοποιεί τις δύο περισσότερο κοντινές. Στη συνέχεια υπολογίζονται εκ νέου οι αποστάσεις των παρατηρήσεων ή των ομάδων μεταξύ τους και ομαδοποιούνται οι 2 περισσότερο κοντινές. Για τον υπολογισμό της απόστασης μίας ομάδας από μία παρατήρηση ή από μία άλλη ομάδα χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι (Καρλής, 2003) μερικές από τις οποίες είναι:

Nearest Neighbor or single linkage: Η μέθοδος του κοντινότερου γείτονα υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα σε δύο ομάδες ως τη μικρότερη απόσταση από μια παρατήρηση μέσα στην μια ομάδα με κάποια παρατήρηση στην άλλη ομάδα.

Furthest neighbor or complete linkage: Σε αυτή τη περίπτωση συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή, η μέθοδος του μακρύτερου γείτονα υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα σε δύο ομάδες ως τη μεγαλύτερη απόσταση από μια παρατήρηση μέσα στην μια ομάδα με κάποια παρατήρηση στην άλλη ομάδα.

Average between groups: Σε αυτή την περίπτωση η απόσταση είναι ο μέσος όρος όλων των αποστάσεων του κάθε σημείου της μίας ομάδας από κάθε σημείο της άλλης ομάδας.

Average within groups: Στην περίπτωση αυτή η απόσταση είναι ο μέσος όρος όλων των αποστάσεων που προκύπτουν όταν ενώσουμε τις δύο ομάδες

Centroid: Η απόσταση υπολογίζεται ως η απόσταση των κέντρων των ομάδων. Η μέθοδος αυτή έχει μερικές καλές ιδιότητες και παράγει συνήθως ομάδες συμπαγείς και ελλειπτικές

Ward method: Η μέθοδος του Ward διαφέρει από τις υπόλοιπες και είναι σχεδιασμένη να ελαχιστοποιεί τη διακύμανση μέσα στις ομάδες. Για κάθε παρατήρηση μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση της (συνήθως ευκλείδεια) από το κέντρο της ομάδας. Αν αθροίσουμε για όλες τις ομάδες έχουμε μια τιμή που είναι το συνολικό άθροισμα. Αρχικά αυτό το άθροισμα είναι 0, αφού κάθε παρατήρηση είναι και μια ομάδα άρα η απόσταση από το κέντρο της είναι 0. Σε κάθε βήμα ενώνουμε τις ομάδες οι οποίες αν ενωθούν οδηγούν στη μικρότερη αύξηση του συνολικού αθροίσματος αποστάσεων. Αυτή η μέθοδος έχει μερικές πολύ καλές ιδιότητες και συνήθως δημιουργεί ομάδες με παρόμοιο αριθμό παρατηρήσεων, γι' αυτό και πολύ συχνά χρησιμοποιείται στην πράξη.

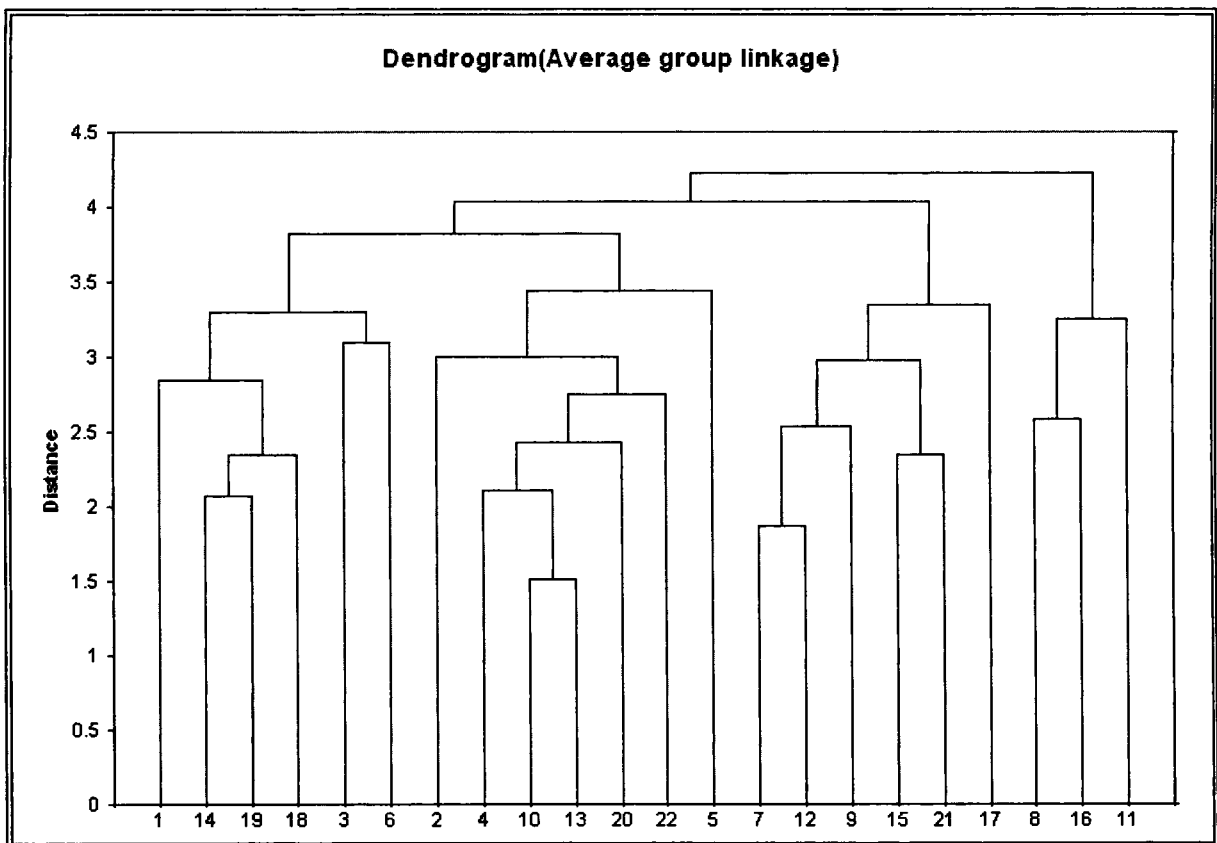
Η ιεραρχική μέθοδος λοιπόν ξεκινάει με πολλές ομάδες, τόσες όσες είναι και οι παρατηρήσεις και καταλήγει σε μία ομάδα, η οποία περιέχει όλες τις παρατηρήσεις. Τα στάδια αυτής της διαδικασίας μπορούν να παρουσιαστούν σε ένα δεντρόγραμμα (σχήμα 2.4), το οποίο όμως μπορεί να είναι δυσανάγνωστο όταν το πλήθος των παρατηρήσεων είναι μεγάλο. Αφού πραγματοποιηθούν όλα τα στάδια ομαδοποίησης ακολουθεί η εκτίμηση του πλήθους των ομάδων που πρέπει να διατηρηθούν. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφοροι στατιστικοί δείκτες οι οποίοι υπολογίζονται σε κάθε στάδιο της ανάλυσης (Sharma, 1996) και δεικνύουν το πλήθος των ομάδων που πρέπει να διατηρηθούν ώστε να είναι αφενός ομοιογενείς και αφετέρου, όσο το δυνατό διαφορετικές μεταξύ τους. Μερικοί από αυτούς τους δείκτες είναι οι παρακάτω, οι οποίοι όμως δεν περιγράφονται αναλυτικά, καθώς δεν χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή.

Root-mean-square standard deviation (RMSSTD), ο οποίος αποτελεί ένα μέτρο της ομοιογένειας των ομάδων, καθώς μικρές τιμές αυτού του δείκτη υποδεικνύουν ομοιογενείς ομάδες.

R-squared (RS), του οποίου οι τιμές υποδεικνύουν τη διαφορετικότητα των ομάδων μεταξύ τους και κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 1. Τιμές κοντά στο 0 δείχνουν ότι οι ομάδες δεν διαφέρουν μεταξύ τους, ενώ τιμές κοντά στο 1 δηλώνουν ότι οι διαφορές των ομάδων μεταξύ τους είναι μεγάλες.

Semipartial R-squared (SPR), για τον οποίο δείκτη μικρές τιμές δείχνουν ότι κάθε νέα ομάδα που δημιουργείται από τη συνένωση δύο άλλων παρουσιάζει μεγάλη ομοιογένεια.

Distance Between Clusters (CD), που δείχνει την απόσταση δύο ομάδων που συνενώνονται και προφανώς μικρές τιμές δηλώνουν ότι η νέα ομάδα θα είναι αρκετά ομοιογενής.



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα δέντρογράμματος όπου φαίνεται η κατάταξη 22 παρατηρήσεων (οριζόντιος άξονας) σε ομάδες. Στον κατακόρυφο άξονα φαίνονται οι ευκλείδειες αποστάσεις των σημείων ή των ομάδων μεταξύ τους (δανεισμένο από www.resample.com/xlminer/help/HClst/HClst_ex.htm).

2.4.2. Μη Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες K-Means

Σε αυτή τη μέθοδο θεωρείται ότι είναι γνωστός ο αριθμός των ομάδων, που πρέπει να διατηρηθούν, εκ των προτέρων. Έτσι, είτε πρέπει αρχικά με κάποιον τρόπο να έχει διαπιστωθεί πόσες ομάδες μπορεί να υπάρχουν στα αρχικά δεδομένα, είτε πρέπει η μέθοδος να εφαρμοστεί πολλές φορές, για διαφορετικά πλήθη ομάδων, και με κατάλληλα κριτήρια να επιλεγεί τελικά το πλήθος των ομάδων, που πρέπει να διατηρηθούν. Τα βήματα της υπολογιστικής διαδικασίας, που ακολουθείται σε αυτή τη μέθοδο, είναι τα εξής.

- I. Επιλογή των αρχικών κέντρων των k ομάδων. Αυτό γίνεται ακολουθώντας διάφορες διαδικασίες η πιο συνηθισμένη από τις οποίες είναι η παρακάτω.
 - i. Επιλογή των k πρώτων παρατηρήσεων ως αρχικά κέντρα.
 - ii. Υπολογισμός των αποστάσεων των κέντρων μεταξύ τους και των αποστάσεων των υπόλοιπων παρατηρήσεων από τα ήδη υπάρχοντα κέντρα.
 - iii. Εάν η απόσταση δύο κέντρων μεταξύ τους είναι μικρότερη από την απόσταση κάποιας παρατήρησης από ένα από αυτά τα κέντρα, τότε από τα δύο κέντρα, αυτό με τη μικρότερη απόσταση από την παρατήρηση, αντικαθίσταται από αυτή την παρατήρηση.
 - iv. Επανάληψη του βήματος ii και iii έως ότου οι αποστάσεις των κέντρων μεταξύ τους να είναι όλες μεγαλύτερες από τις αποστάσεις κάθε παρατήρησης από κάθε κέντρο.

- II. Κατάταξη κάθε παρατήρησης σε μία ομάδα με το κριτήριο η απόσταση της παρατήρησης από το κέντρο της ομάδας να είναι μικρότερη από την απόστασή της από τα κέντρα των άλλων ομάδων.
- III. Μετά την ολοκλήρωση της κατάταξης όλων των παρατηρήσεων, ακολουθεί επαναπροσδιορισμός των κέντρων των ομάδων, λαμβάνοντας ως νέο κέντρο το διάνυσμα των μέσων των παρατηρήσεων της ομάδας.
- IV. Επανάληψη των βημάτων II και III, έως ότου να μην υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα προηγούμενα και στα νέα κέντρα των ομάδων.

Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές της παραπάνω διαδικασίας, όσον αφορά την επιλογή των αρχικών κέντρων (βήμα I), που μπορεί να γίνει με τυχαία επιλογή των παρατηρήσεων, ή με τον καθορισμό τους από τον ερευνητή, αλλά και όσον αφορά τον επαναπροσδιορισμό των κέντρων των ομάδων (βήματα II και III), όπου ο υπολογισμός των νέων κέντρων μπορεί να γίνεται αμέσως μόλις μία παρατήρηση φεύγει από κάποια ομάδα και κατατάσσεται σε κάποια άλλη (running means).

2.4.3. Η Μέθοδος του “Άλματος” (“Jump” Method)

Όπως αναφέρθηκε, ένα δύσκολο σημείο σε αυτή τη μεθοδολογία είναι η επιλογή του πλήθους των ομοιογενών και διαφορετικών μεταξύ τους ομάδων, στις οποίες θα καταταχθούν οι παρατηρήσεις. Για το σκοπό αυτό προτείνονται διάφορες μεθοδολογίες. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι προαναφερθέντες στατιστικοί δείκτες (Sharma, 1996), οι οποίοι σε συνδυασμό και με άλλες μεθόδους, που συνεχώς αναπτύσσονται και εξελίσσονται (Salvador and Chan, 2004), βοηθούν στη διαπίστωση του πλήθους των ομάδων. Άλλοι ερευνητές, πολύ συχνά, εκτελούν μία ιεραρχική κατάταξη των παρατηρήσεων και από τη μελέτη του δενδρογράμματος, των προαναφερθέντων δεικτών, αλλά και της ερμηνείας, που μπορούν να δεχθούν τα αποτελέσματα, καταλήγουν στο πλήθος των ομάδων και στη συνέχεια προβαίνουν στην μέθοδο K-Means για την τελική ομαδοποίηση των παρατηρήσεων (Καρλής, 2003).

Στην παρούσα διατριβή, για την επιλογή του πλήθους των ομάδων, χρησιμοποιείται συμβουλευτικά η μέθοδος του “Άλματος” (“Jump” Method), η οποία προτείνεται από τους Sugar και James (2003) και βασίζεται στον υπολογισμό της στρέβλωσης (distortion), που αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (dispersion) των παρατηρήσεων σε κάθε ομάδα. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο εφαρμόζεται επανειλημμένα η K-Means Ανάλυση κατά Συστάδες, για διαφορετικό πλήθος ομάδων k κάθε φορά. Για κάθε εφαρμογή και εφόσον οι μεταβλητές που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, υπολογίζεται η τιμή της στρέβλωσης d_k από την εξίσωση

$$d_k = \frac{1}{m} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^T \Gamma^{-1} (X - c_x)] \quad (2.19)$$

Στην εξίσωση 2.19 το m είναι το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση, το X είναι μία m -διάστατη τυχαία παρατήρηση, το Γ είναι ο πίνακας των συνδιακυμάνσεων (covariance) των m μεταβλητών που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση, τα c_1, c_2, \dots, c_k είναι τα κέντρα των k ομάδων και c_x το πιο κοντινό κέντρο στην παρατήρηση X . Τότε η στρέβλωση d_k είναι η μέση Mahalanobis απόσταση ανά διάσταση. Στην περίπτωση που οι m μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, ο πίνακας Γ είναι ο μοναδιαίος και η στρέβλωση d_k γίνεται ίση με τη μέση τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση (ή μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

$$d_k = \frac{1}{m} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^2] \quad (2.20)$$

Σε ένα γράφημα του d_k ως προς τον αριθμό k θα μπορούσε κάποιος να διαλέξει τον αριθμό των ομάδων επιλέγοντας το k για το οποίο το d_k θα έπαυε να αλλάζει σημαντικά και η κλίση της καμπύλης στο γράφημα θα γινόταν σχεδόν οριζόντια. Αυτό θα σήμαινε ότι περαιτέρω διαχωρισμός σε ομάδες δεν θα είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη κατάταξη των παρατηρήσεων σε άλλες περισσότερο ομοιογενείς ομάδες, αλλά το σπάσιμο των ήδη ομοιογενών ομάδων σε άλλες μικρότερες.

Βέβαια σε ένα τέτοιο γράφημα είναι αρκετά δύσκολο να αποφασιστεί το ακριβές σημείο όπου η κλίση της καμπύλης γίνεται σχεδόν οριζόντια. Έτσι προτείνεται ο μετασχηματισμός της καμπύλης του d_k με την ύψωσή του σε μία αρνητική δύναμη. Αποδεικνύεται ότι η μετασχηματισμένη καμπύλη παρουσιάζει ένα άλμα για την τιμή του k , που αντιστοιχεί στο καταλληλότερο πλήθος των ομάδων, στις οποίες μπορούν να καταταχθούν οι παρατηρήσεις.

Περαιτέρω μετασχηματισμός της καμπύλης με αφαίρεση μεταξύ τους των συνεχόμενων τιμών των μετασχηματισμένων d_k , για τον υπολογισμό των αλμάτων, οδηγεί σε μία νέα καμπύλη, στην οποία η τιμή του k για την οποία παρουσιάζεται μέγιστη τιμή του άλματος αποτελεί το καταλληλότερο πλήθος ομάδων στις οποίες μπορούν να καταταγούν οι αρχικές παρατηρήσεις.

Τα βήματα που ακολουθούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι τα εξής:

- Επανεπιλεγμένη εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες με τη μέθοδο K-Means, για διαφορετικό πλήθος ομάδων k κάθε φορά.
- Υπολογισμός των στρεβλώσεων d_k για κάθε εφαρμογή της K-Means.
- Επιλογή της δύναμης Y στην οποία θα υψωθεί η d_k για να μετασχηματιστεί. Τυπική τιμή του Y είναι το $Y = m/2$, όπου m το πλήθος των μεταβλητών.
- Υπολογισμός των αλμάτων στη μετασχηματισμένη στρέβλωση $J_k = d_k^{-Y} - d_{k-1}^{-Y}$
- Στο διάγραμμα του J_k ως προς τον αριθμό των k ομάδων, η τιμή k για την οποία αντιστοιχεί η μεγαλύτερη τιμή του J_k αποτελεί το καταλληλότερο πλήθος των ομάδων οι οποίες υπάρχουν στα αρχικά δεδομένα και στις οποίες μπορούν να καταταγούν οι παρατηρήσεις.

Αξίζει να αναφερθεί ότι πολλοί ερευνητές προτείνουν και άλλες μεθοδολογίες τόσο για την κατάταξη των παρατηρήσεων σε ομάδες όσο και για την επιλογή του πλήθους των ομάδων. Αυτές βασίζονται είτε σε Μοντέλα Πρόσμειξης Γκαουσιανών Κατανομών (Gaussian Mixture Models, GMM) (McLachlan and Basford, 1988), σε φασματικές ιδιότητες που μπορεί να υπάρχουν στα αρχικά δεδομένα (Spectral Clustering) (Andrew et. al. 2001; Sanguinetti et al., 2005), και σε αριθμητικές μεθόδους που ονομάζονται Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα και προσπαθούν να προσομοιώσουν τη λειτουργία των νευρώνων του ανθρώπινου εγκεφάλου (Rojas, 1996). Τελευταία, η χρήση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (Artificial Neural Networks) χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά στην κλιματολογία στην προσπάθεια ομαδοποίησης συνοπτικών καταστάσεων ή και πρόγνωσης καιρικών φαινομένων (Holmes et al., 2007; Michaelides et. al., 2007).

3. Ορισμοί Επεισοδίων Ακραίων Καιρικών Φαινομένων και Μεθοδολογία Επεξεργασίας των Δεδομένων

3.1. Καθορισμός Επεισοδίων Ακραίων Καιρικών Φαινομένων (ΕΑΚΦ)

Από τη διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι για να χαρακτηριστεί ένα καιρικό φαινόμενο ως ακραίο αρκεί ή ένταση του να είναι τόση ώστε να προκαλεί σημαντικές καταστροφές σε σχέση κυρίως με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (π.χ. τυφώνες, σίφωνες, κλπ). Είναι αναγκαίο ωστόσο να καθοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η έννοια του ακραίου καιρικού φαινομένου, ώστε τα αποτελέσματα των μελετών, που πραγματοποιούν οι ερευνητές, να έχουν συνέπεια και συνάφεια μεταξύ τους. Συνήθως, στις μετεωρολογικές μελέτες ως ακραίο καιρικό φαινόμενο σε έναν τόπο χαρακτηρίζεται εκείνο για το οποίο οι τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων, που το περιγράφουν, είναι μικρότερες από το 1% ή το 5% ή το 10% ή μεγαλύτερες από το 99% ή το 95% ή το 90% της κατανομής τους για τον τόπο αυτό (Folland et al., 1999; Jones et al., 1999; Holton et al., 2001; Klein Tank and Konnen, 2003; Maheras et al., 2006).

Σκοπός της διατριβής είναι αρχικά να διαπιστωθούν 5 διαφορετικά είδη επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων τα οποία καθορίζονται όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1 στην επόμενη σελίδα. Για κάθε είδος τέτοιων ακραίων και επικίνδυνων καιρικών φαινομένων, επιχειρείται να εξαχθούν αντικειμενικά οι κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα πάνω από την Ευρώπη και τη Μεσόγειο, οι οποίοι ευνοούν την εμφάνισή τους. Έτσι, η παρουσίαση αυτών των τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε ένα Εγχειρίδιο Ακραίων Καιρικών Φαινομένων θα μπορεί να αποτελέσει ακόμη ένα συμβουλευτικό εργαλείο για τον μετεωρολόγο προγνώστη με σκοπό την άμεση και έγκυρη λήψη απόφασης για την εμφάνιση ή όχι κάποιου ακραίου και επικίνδυνου καιρικού φαινομένου. Για την επίτευξη αυτού του στόχου για κάθε είδος ακραίου καιρικού φαινομένου πραγματοποιείται επεξεργασία και ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων με τη μεθοδολογία που περιγράφεται παρακάτω.

Από τα δεδομένα της EMY διαπιστώνονται αρχικά οι ημερομηνίες κατά τις οποίες η μετεωρολογική παράμετρος, που περιγράφει το ακραίο καιρικό φαινόμενο, παρουσίασε ακραία τιμή (π.χ. για τα θερμά επεισόδια η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία να ήταν μεγαλύτερη ή ίση από το όριο του 99% της κατανομής) σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό από τους διαθέσιμους. Αυτές οι ημέρες χαρακτηρίζονται ως ημέρες ακραίου καιρικού φαινομένου. Κάθε σειρά συνεχόμενων τέτοιων ημερών χαρακτηρίζεται ως επεισόδιο ακραίου καιρικού φαινομένου (π.χ. θερμό επεισόδιο). Για κάθε επεισόδιο, από τα δεδομένα του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων, λαμβάνονται οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850hPa, του πάχους στρώματος των 1000 – 500hPa, της θερμοκρασίας στη στάθμη των 500hPa και του γεωδυναμικού ύψους της στάθμης των 500hPa, για την προηγούμενη ημέρα από την έναρξη του επεισοδίου (Ημέρα H-1), για την ημέρα της έναρξης (Ημέρα H), και την επόμενη ημέρα από τη λήξη του επεισοδίου (Ημέρα LHΞHΣ), κατά την 12:00UTC στην περίπτωση των θερμών επεισοδίων, την 06:00UTC στην περίπτωση ψυχρών επεισοδίων, την 18:00UTC στην περίπτωση επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης, την 12:00UTC στην περίπτωση επεισοδίων χιονόπτωσης και την 00:00UTC στην περίπτωση επεισοδίων ομίχλης.

Πίνακας 3.1 Επεισόδια ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία μελετούνται στην παρούσα διατριβή και ο ορισμός του καθενός από αυτά.

Επεισόδιο	Συντομογραφία	Ορισμός
Θερμά Επεισόδια	ΘΕ	Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα σημειώθηκε ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση με την τιμή που αντιστοιχεί στο 99% της κατανομής των μέγιστων θερμοκρασιών στο μετεωρολογικό σταθμό.
Ψυχρά Επεισόδια	ΨΕ	Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα σημειώθηκε ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία μικρότερη ή ίση με την τιμή που αντιστοιχεί στο 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών στο μετεωρολογικό σταθμό.
Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης	EAB	Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα σημειώθηκε ύψος βροχής 24ώρου (από 06:00UTC έως 06:00UTC της επόμενης ημέρας) μεγαλύτερο ή ίσο με την τιμή που αντιστοιχεί στο 95% της κατανομής των υψών βροχής 24ώρου στο μετεωρολογικό σταθμό.
Επεισόδια Χιονόπτωσης	EX	Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα και σε τουλάχιστον μία 3ωρη παρατήρηση στο σταθμό καταγράφηκε κωδικός παρόντος καιρού 22 ή 26 ή 85 ή 86 ή 70 έως 79, ή κωδικός παρελθόντος καιρού 7.
Επεισόδια Ομίχλης	EO	Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ελλάδα και σε τουλάχιστον μία 3ωρη παρατήρηση σε κάθε έναν σταθμό καταγράφηκε κωδικός παρόντος καιρού 41 έως 49, ή κωδικός παρελθόντος καιρού 4.

3.2. Χρήση της Παραγοντικής Ανάλυσης

Για κάθε μία από τις Ημέρες H-1, Ημέρες H και Ημέρες ΛΗΞΗΣ, συντάσσεται ένας πίνακας (σχήμα 2.5) στον οποίο οι στήλες αντιστοιχούν στις τιμές των 5 προαναφερθέντων παραμέτρων στα 273 πλεγματικά σημεία, τα οποία καλύπτουν την Ευρώπη και τη Μεσόγειο (1365 στήλες) και οι γραμμές στις ημερομηνίες των αντίστοιχων ημερών. Έτσι κάθε γραμμή περιέχει τις τιμές των 5 παραμέτρων στα 273 πλεγματικά σημεία κατά τις αντίστοιχες ημερομηνίες των n πλήθους επεισοδίων και στην ουσία περιγράφει την τρισδιάστατη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη συγκεκριμένη ημερομηνία.

Ημέρα H-1	Πλεγματικά σημεία																										
	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273							
Επεισόδιο 1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">Ατμοσφαιρική Πίεση στη ΜΣΘ</div> <div style="text-align: center;">Θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa</div> <div style="text-align: center;">Πάχος στρώματος 1000-500hPa</div> <div style="text-align: center;">Θερμοκρασία στη στάθμη των 500hPa</div> <div style="text-align: center;">Γεωδυναμικό ύψος της στάθμης των 500hPa</div> </div>																										
Επεισόδιο 2																											
...																											
Επεισόδιο n																											

Σχήμα 2.5 Σχηματική αναπαράσταση του πίνακα που συντάσσεται, παράδειγμα για την Ημέρα H-1, στον οποίο η κάθε στήλη περιέχει τις τιμές των 5 παραμέτρων σε κάθε ένα από τα 273 πλεγματικά σημεία. Η κάθε γραμμή περιέχει τις τιμές των 5 παραμέτρων στα 273 πλεγματικά σημεία για κάθε ημερομηνία που αντιστοιχεί στην Ημέρα H-1 του κάθε επεισοδίου. Δύο άλλοι όμοιοι πίνακες συντάσσονται για την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ.

Σε κάθε έναν πίνακα για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, εφαρμόζεται η Παραγοντική Ανάλυση με σκοπό τη μείωση του πλήθους των 1365 αρχικών μεταβλητών (σχήμα 2.6). Κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης αποφασίζεται το πλήθος των παραγόντων, που θα διατηρηθούν κάθε φορά (π.χ. m_1 παράγοντες για την Ημέρα H-1, m_2 παράγοντες για την Ημέρα H και m_3 παράγοντες για την Ημέρα ΛΗΞΗΣ), έτσι ώστε να ερμηνεύουν ποσοστό τουλάχιστον 85% από τη συνολική διακύμανση των αρχικών μεταβλητών (Jolliffe, 1993). Οι τρεις νέοι πίνακες, που προκύπτουν, συνενώνονται (σχήμα 2.7) και στον νέο πίνακα οι γραμμές αντιστοιχούν πλέον στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για κάθε επεισόδιο.

Ημέρα H-1	F1	F2	...	F m_1
Επεισόδιο 1	Τιμές επίδοσης των παραγόντων που ερμηνεύουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών			
Επεισόδιο 2				
...				
...				
...				
Επεισόδιο n				

Σχήμα 2.6 Σχηματική Αναπαράσταση του πίνακα που προκύπτει μετά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης στον πίνακα των αρχικών μεταβλητών (π.χ. για την Ημέρα H-1) και περιέχει τις τιμές επίδοσης του κάθε παράγοντα.

	Ημέρα H-1				Ημέρα H				Ημέρα ΛΗΞΗΣ			
	F1	F2	...	F m_1	F1	F2	...	F m_2	F1	F2	...	F m_3
Επεισόδιο 1	Τιμές επίδοσης παραγόντων											
Επεισόδιο 2												
...												
...												
Επεισόδιο n												

Σχήμα 2.7 Σχηματική αναπαράσταση του ενοποιημένου πίνακα που προκύπτει από τη συνένωση των πινάκων των τιμών επίδοσης των παραγόντων οι οποίοι είχαν προκύψει για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ.

3.3. Χρήση της Ανάλυσης κατά Συστάδες (K-Means)

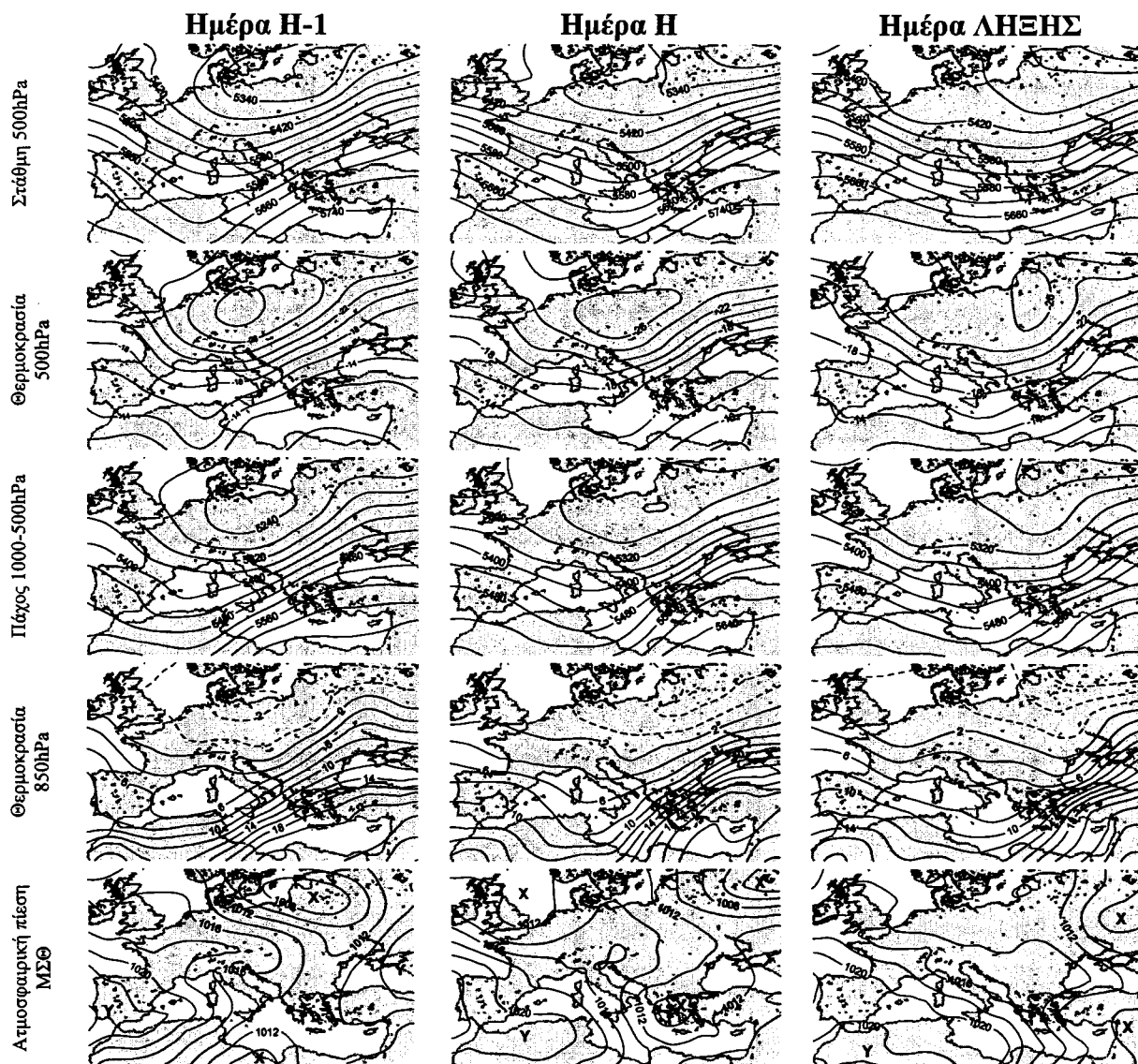
Στον ενοποιημένο πίνακα εφαρμόζεται η Ανάλυση κατά Συστάδες K-Means με σκοπό την αντικειμενική κατάταξη των μορφών της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα, που αντιστοιχούν σε κάθε επεισόδιο, σε ομοιογενείς και όσο το δυνατό διαφορετικές μεταξύ τους ομάδες πλήθους k (σχήμα 2.8) και την ανάδειξη των κύριων τύπων εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν την εμφάνιση του ακραίου καιρικού φαινομένου. Για την επιλογή του πλήθους των ομάδων χρησιμοποιείται

συμβουλευτικά η μέθοδος του “Άλματος”, που αναπτύχθηκε στην ενότητα 2.4.3 πάντα με γνώμονα οι ομάδες που προκύπτουν να επιδέχονται φυσική ερμηνεία.

Για κάθε ομάδα που προκύπτει σχεδιάζονται οι μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ και παρουσιάζονται με χρονική σειρά (σχήμα 2.9). Υπογραμμίζεται ότι σε κάθε ομάδα αντιστοιχεί ένα τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αφορά τόσο στη μορφή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και στη μέση τροπόσφαιρα, όσο και στην εξέλιξή της από μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων έως μία ημέρα μετά τη λήξη τους και περιγράφεται από το σύνολο των 15 μέσων χαρτών (5 μετεωρολογικές παράμετροι x 3 ημέρες). Επίσης, για κάθε ομάδα παρουσιάζονται η εποχική κατανομή των επεισοδίων, η κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους και το ποσοστό των ημερών των επεισοδίων της ομάδας κατά τις οποίες καταγράφηκε το ακραίο φαινόμενο σε κάθε σταθμό. Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζεται μία σχηματική αναπαράσταση ολόκληρης της διαδικασίας.

Ομάδα 1	Ομάδα 2	...	Ομάδα k
Επεισόδιο 1	Επεισόδιο 3		Επεισόδιο 2
Επεισόδιο 38	Επεισόδιο 26		Επεισόδιο η
⋮	⋮		⋮

Σχήμα 2.8 Σχηματική αναπαράσταση της κατάταξης των μορφών της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε ομοιογενείς ομάδες, ύστερα από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες K-Means.

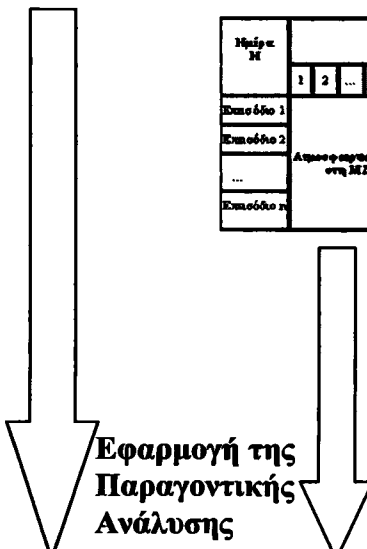


Σχήμα 2.9 Μέσοι χάρτες της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850hPa, του πάχους στρώματος 1000 – 500hPa, της θερμοκρασίας στη στάθμη των 500hPa και του γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa για μία ομάδα μορφών εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που προέκυψε για τα θερμά επεισόδια.

Ημέρα H-1	Παραγοντικά σημεία																								
	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273					
Επεισόδιο 1	Ατμοσφαιρική Πίεση στη ΜΣΘ					Θερμοκρασία στη στέγη των 250hPa					Πίεξη σφαιρικής 1000-500hPa					Θερμοκρασία στη στέγη των 500hPa					Γεωδυναμικό ύψος της στέγης των 500hPa				
Επεισόδιο 2																									
...																									
Επεισόδιο n																									

Ημέρα H	Παραγοντικά σημεία																								
	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273					
Επεισόδιο 1	Ατμοσφαιρική Πίεση στη ΜΣΘ					Θερμοκρασία στη στέγη των 250hPa					Πίεξη σφαιρικής 1000-500hPa					Θερμοκρασία στη στέγη των 500hPa					Γεωδυναμικό ύψος της στέγης των 500hPa				
Επεισόδιο 2																									
...																									
Επεισόδιο n																									

Ημέρα ΔΗΣΗΣ	Παραγοντικά σημεία																								
	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273	1	2	...	273					
Επεισόδιο 1	Ατμοσφαιρική Πίεση στη ΜΣΘ					Θερμοκρασία στη στέγη των 250hPa					Πίεξη σφαιρικής 1000-500hPa					Θερμοκρασία στη στέγη των 500hPa					Γεωδυναμικό ύψος της στέγης των 500hPa				
Επεισόδιο 2																									
...																									
Επεισόδιο n																									



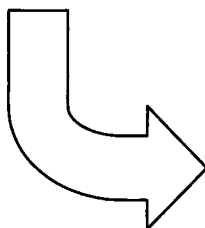
Ημέρα H-1	F1	F2	...	Fm
Επεισόδιο 1	Τιμές επίδοσης των παραγόντων που αμειψήσαν κατά 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών			
Επεισόδιο 2				
...				
...				
Επεισόδιο n				

Ημέρα H	F1	F2	...	Fm
Επεισόδιο 1	Τιμές επίδοσης των παραγόντων που αμειψήσαν κατά 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών			
Επεισόδιο 2				
...				
...				
Επεισόδιο n				

Ημέρα ΔΗΣΗΣ	F1	F2	...	Fm
Επεισόδιο 1	Τιμές επίδοσης των παραγόντων που αμειψήσαν κατά 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών			
Επεισόδιο 2				
...				
...				
Επεισόδιο n				

	Ημέρα H-1				Ημέρα H				Ημέρα ΔΗΣΗΣ			
	F1	F2	...	Fm1	F1	F2	...	Fm2	F1	F2	...	Fm3
Επεισόδιο 1	Τιμές επίδοσης παραγόντων											
Επεισόδιο 2												
...												
...												
Επεισόδιο n												

Εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες



Ομάδα 1	Ομάδα 2	...	Ομάδα k
Επεισόδιο 1	Επεισόδιο 3		Επεισόδιο 2
Επεισόδιο 3B	Επεισόδιο 26		Επεισόδιο n
⋮	⋮		⋮

Σχήμα 2.10 Σχηματική αναπαράσταση της μεθοδολογίας

3.4. Συμπλήρωση Ελλειπουσών Τιμών

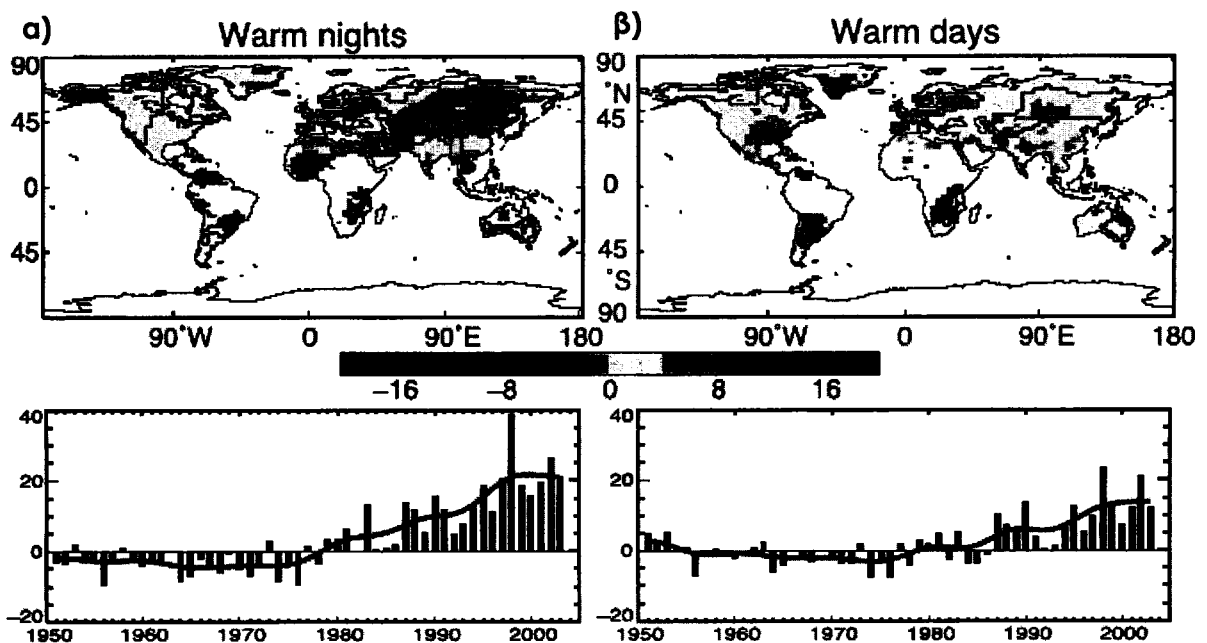
Πριν την εφαρμογή της περιγραφείσας μεθοδολογίας, με σκοπό τη συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών, που διαπιστώθηκαν στα δεδομένα της ΕΜΥ, δημιουργήθηκαν δύο πίνακες συντελεστών συσχέτισης (Pearson Coefficients) των 16 χρονοσειρών των σταθμών για την ημερήσια μέγιστη και την ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία αντίστοιχα. Η συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της γραμμικής σχέσης που συνέδεε τις χρονοσειρές δύο ισχυρά συσχετιζόμενων, συνήθως γειτονικών, σταθμών και η οποία προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης της Παλινδρόμησης. Για το μετεωρολογικό σταθμό της Λήμνου, αν και τα ελλειπή δεδομένα είναι πολλά (38% επί του συνόλου) και αφορούν συνεχόμενες τιμές από το 1957 έως το 1973, ωστόσο οι συντελεστές συσχέτισης με τις χρονοσειρές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του μετεωρολογικού σταθμού της Αλεξανδρούπολης βρέθηκαν να είναι εξαιρετικά μεγάλοι (0.97 για τη χρονοσειρά των μεγίστων θερμοκρασιών και 0.94 για τη χρονοσειρά των ελαχίστων θερμοκρασιών) και για το λόγο αυτό συμπληρώθηκαν όλες οι ελλείπουσες τιμές ακόμη κι αν ήταν πολλές. Στις πλήρεις χρονοσειρές της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του μετεωρολογικού σταθμού της Λήμνου πραγματοποιήθηκε τεστ ομοιογένειας (Alexandersson, 1986) και προέκυψε ότι αυτές είναι ομοιογενείς με βεβαιότητα 99%

Για τις χρονοσειρές των υψών βροχής 12ώρου των 16 μετεωρολογικών σταθμών δεν συμπληρώθηκαν οι ελλείπουσες τιμές, καθώς οι συντελεστές συσχέτισης των χρονοσειρών δεν ήταν μεγάλοι, αφού οι μετεωρολογικοί σταθμοί απέχουν μεταξύ τους αρκετά και η βροχόπτωση πολλές φορές εξαρτάται και από τοπικούς παράγοντες. Εξάλλου η μελέτη δεν αφορά χρονικές τάσεις και μεταβολές, αλλά επικεντρώνεται στις ακραίες τιμές. Για κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό υπολογίστηκαν νέες χρονοσειρές με τιμές υψών βροχής 24ώρου από τις 06:00UTC μίας ημέρας έως τις 06:00UTC της επόμενης ημέρας.

4. Επεισόδια Ακραίων Μεγίστων και Ελαχίστων Θερμοκρασιών (Θερμά και Ψυχρά Επεισόδια)

4.1. Εισαγωγή

Η παγκόσμια θέρμανση, ως αδιαμφισβήτητο γεγονός πλέον, έχει προκαλέσει την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε πλανητική κλίμακα. Η αποχή της μέσης ετήσιας πλανητικής θερμοκρασίας από τη μέση τιμή της πλανητικής θερμοκρασίας της περιόδου 1961-1990 παρουσιάζει συνεχή αυξητική τάση από το 1970 περίπου και μετά και φτάνει τους 0.7°C το έτος 2005 (Trenberth et al., 2007). Είναι επομένως αναμενόμενη η αλλαγή στο θερμοκρασιακό καθεστώς σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Καθώς βέβαια η θέρμανση αυτή δεν είναι ομοιόμορφη, άλλες περιοχές επηρεάζονται σε μεγαλύτερο και άλλες σε μικρότερο βαθμό. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις της θερμοκρασίας παρουσιάζονται στο βόρειο ημισφαίριο πάνω από τις ηπείρους, και λιγότερο πάνω από τους ωκεανούς (Bartzokas and Metaxas 1993), κυρίως ανάμεσα στα γεωγραφικά πλάτη 40°B και 70°B . Από το 1950 και μετά παρατηρείται σε παγκόσμιο επίπεδο μικρή αλλά υπαρκτή αύξηση στον αριθμό των πολύ θερμών ημερών ανά δεκαετία, κατά τις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνούσε το 90% της κατανομής. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις στο βόρειο ημισφαίριο εμφανίζονται κυρίως στη δυτική Ευρώπη και στη Μογγολία σε ποσοστό σημαντικότητας 5% (σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Στον παγκόσμιο χάρτη εμφανίζεται με χρώματα η χωρική κατανομή των τάσεων (εκπερασμένων σε ημέρες ανά δεκαετία) της συχνότητας εμφάνισης α) των πολύ θερμών νυχτών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε το 90% της κατανομής των θερμοκρασιών της περιόδου 1961-1990 και β) των πολύ θερμών ημερών κατά τις οποίες η θερμοκρασία ξεπέρασε το 90% της κατανομής των θερμοκρασιών της περιόδου 1961-1990, υπολογισμένες για την περίοδο 1951-2003. Κάτω από κάθε χάρτη εμφανίζονται οι ετήσιες χρονοσειρές των αποχών του πλήθους των θερμών νυχτών και των θερμών ημερών από το μέσο ετήσιο πλήθος υπολογισμένο για την περίοδο 1961-1990. (Πηγή: Alexander et al., 2006).

Καθώς η Ευρώπη είναι η πιο πυκνοκατοικημένη ήπειρος, έχει μεγάλη σημασία η μελέτη των αλλαγών στο θερμοκρασιακό καθεστώς σε αυτή την περιοχή του πλανήτη. Έτσι πολλοί ερευνητές εστιάζουν τις ερευνητικές τους δραστηριότητες κατ' αρχήν στην αναλυτικότερη περιγραφή του θερμοκρασιακού καθεστώτος σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης, στην

ανάδειξη των αλλαγών, που μπορεί να έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια, στη διερεύνηση των αιτιών και στις επιπτώσεις, που έχουν αυτές οι αλλαγές.

Πολλές μελέτες διαπραγματεύονται τη μεταβλητότητα και τις τάσεις των μεγίστων και ελαχίστων ημερησίων θερμοκρασιών, του ημερήσιου θερμομετρικού εύρους και άλλων θερμοκρασιακών παραμέτρων, σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης (Gajic- Capka and Zaninovic, 1997; Brazdil et al., 1995; Sahsamanooglou and Makrogiannis, 1992; Turkes et al., 2002; Bücher and Dessens 1991; Yan et al., 2002; Piervitali et al., 1997; Nastos et al., 2007a). Οι Weber et al. (1997) εξετάζοντας στη μελέτη τους χρονοσειρές εκατονταετίας μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας 29 μετεωρολογικών σταθμών σε 7 χώρες της κεντρικής Ευρώπης, παρουσίασαν μία αναλυτική περιγραφή του θερμοκρασιακού καθεστώτος σε αυτή την περιοχή και ανέδειξαν τις θερμές περιόδους του 20^{ου} αιώνα. Ακόμη αποκαλύφθηκε ότι κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος παρουσίασε μείωση η οποία οφείλονταν κυρίως στην αύξηση των ελαχίστων ημερησίων θερμοκρασιών. Από την άλλη μεριά, μία μελέτη των Unkasevik et al. (2005) υπέδειξε ότι στην περίπτωση του Βελιγραδίου η αύξηση στη μέση θερινή θερμοκρασία κατά την περίοδο 1975-2003 οφείλονταν στην αντίστοιχη αύξηση των ακραίων μεγίστων θερμοκρασιών.

Βέβαια, μεταβολές στις θερμοκρασιακές παραμέτρους, έχουν ως συνέπεια αντίστοιχες μεταβολές και στη συχνότητα εμφάνισης ακραίων τιμών. Πολλοί ερευνητές, βασίζοντας τις μελέτες τους στη θεωρία των πιθανοτήτων, μελετούν τις ακραίες τιμές των θερμοκρασιακών παραμέτρων. Οι Mearns et al. (1984) αρκετά νωρίς, πριν το τέλος του περασμένου αιώνα, υποστήριξαν ότι σε μία χρονοσειρά θερμοκρασιών, αύξηση στη μέση τιμή κατά 1.7°C μπορεί να προκαλέσει τριπλασιασμό της πιθανότητας εμφάνισης τιμών θερμοκρασίας πάνω από το όριο των 24°C για 5 συνεχόμενες ημέρες. Ο Wagner (1996) ανέπτυξε ένα στατιστικό μοντέλο βασισμένο στη θεωρία των πιθανοτήτων, το οποίο σε συμφωνία με τα πραγματικά δεδομένα αποκάλυψε στατιστικά σημαντικές τάσεις αλλαγών στο πλήθος ακραίων τιμών θερμοκρασίας. Με βάση το υποθετικό Σενάριο Α του IPCC για τις κλιματικές αλλαγές, σύμφωνα με το οποίο οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα αυξάνονται χωρίς περιορισμούς, η εφαρμογή του στατιστικού μοντέλου του Wagner για την πόλη του Βερολίνου έδειξε, ότι ο ρυθμός επανάληψης ακραίων μεγίστων θερμοκρασιών κατά τη θερινή περίοδο αναμένεται να αυξηθεί, ενώ αντίθετα αναμένεται μείωση του αριθμού των πολύ κρύων ημερών κατά το χειμώνα. Η μελέτη των στατιστικών ιδιοτήτων των ακραίων τιμών θερμοκρασίας συνεχίζεται στις ημέρες μας με τη δημιουργία όλο και περισσότερο εξελιγμένων στατιστικών μοντέλων (Parey et al., 2007).

Άλλοι ερευνητές καταπιάνονται με τη δημιουργία και τη μελέτη κλιματικών δεικτών, που αφορούν ακραίες τιμές θερμοκρασίας (Gruza et al, 1999; Heino et al, 1999; Frich et al, 2002). Οι Kostorouli και Jones (2005) υπολόγισαν κλιματικούς δείκτες σχετικούς με ακραίες τιμές θερμοκρασιών για την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και ανέλυσαν τις τάσεις, που παρουσίαζαν αυτοί, για την περίοδο 1958 – 2000. Σύμφωνα με τη μελέτη τους απεκαλύφθησαν αυξητικές τάσεις στις ακραίες τιμές μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας καθώς επίσης και στη διάρκεια των θερμών κυμάτων. Σε συμφωνία με τους προηγούμενους οι Nastos et al. (2007b) συμπεραίνουν ότι, ιδιαίτερα στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα η οποία επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό (Βάρφη κ.α., 2004), η συχνότητα των θερμών εισβολών καθώς και των θερμών ημερών και νυχτών παρουσιάζει αύξηση και παράλληλα μειώνεται η συχνότητα των ψυχρών νυχτών. Από μία περισσότερο πρόσφατη μελέτη των Nastos and Matzarakis (2008) αποκαλύπτεται, επίσης για την κεντρική Ελλάδα, αύξηση του ετήσιου πλήθους των τροπικών ημερών, με θερμοκρασία άνω των 30°C, κυρίως από το 1976 και μετά. Από την άλλη μεριά, από τη μελέτη του πλήθους του ετήσιου αριθμού ημερών μερικού και ολικού παγετού στην Ελλάδα (Κανδύλης κ.α., 2002) προκύπτει

τάση μείωσης κυρίως στη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, όμως από τη δεκαετία του 1970 και μετά είναι εμφανής η τάση αύξησης.

Από το προηγούμενο είναι σαφές ότι το θερμοκρασιακό καθεστώς υπόκειται σε συνεχή μεταβολή με κύρια χαρακτηριστικά την αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας σε πολλές περιοχές της γης και την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων τιμών θερμοκρασίας. Στην προσπάθεια αναζήτησης των αιτιών, που προκαλούν τις μεταβολές στις θερμοκρασιακές παραμέτρους, πολλοί ερευνητές στρέφουν την προσοχή τους στις αλλαγές στο καθεστώς της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Huth et al. 2000; Feidas et al., 2004; Kysely and Huth, 2006; Della-Marta et al., 2007; Carril et al., 2008; Kysely and Huth, 2008). Οι Chorlaki et al. (2003) σε μία μελέτη που αφορούσε στη σύνδεση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας του αέρα στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου με τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, απεκάλυψαν ότι μεταφορά θερμών αερίων μαζών από τα νοτιοδυτικά στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα και η ανατολική ροή στην κατώτερη τροπόσφαιρα συνδέονται με συνθήκες ευστάθειας και κατά συνέπεια αίθριου ουρανού, που συμβάλει στην έντονη θέρμανση της ξηράς και στην εκδήλωση θερμών επεισοδίων κατά τη διάρκεια του θέρους. Οι Maheras et al. (2006) πραγματοποίησαν μία αναλυτική μελέτη που αφορούσε μεταβολές των μεγίστων και ελαχίστων ημερήσιων θερμοκρασιών σε σχέση με τη συχνότητα εμφάνισης τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, βασισμένων στο πεδίο του πάχους στρώματος 1000-500hPa, που είχαν προκύψει από άλλη παλαιότερη μελέτη (Maheras et al. 2000). Από τα αποτελέσματα προέκυψε αύξηση στη συχνότητα των αντικυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας, στην οποία, όπως τονίζεται στη μελέτη, οφείλεται κατά κύριο λόγο η αυξητική τάση της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας. Αντίθετα, η μείωση των ελαχίστων ημερήσιων θερμοκρασιών στην κεντρική και νοτιοδυτική Ελλάδα δεν αποδείχθηκε να έχει σχέση με τις συχνότητες των διαφόρων τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία προσπάθεια να διαπιστωθούν με αντικειμενικό τρόπο οι κύριες μορφές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, οι οποίες ευνοούν την εμφάνιση ακραίων τιμών της μέγιστης και της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 3.

4.2. Θερμά Επεισόδια (ΘΕ)

4.2.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Θερμών Επεισοδίων

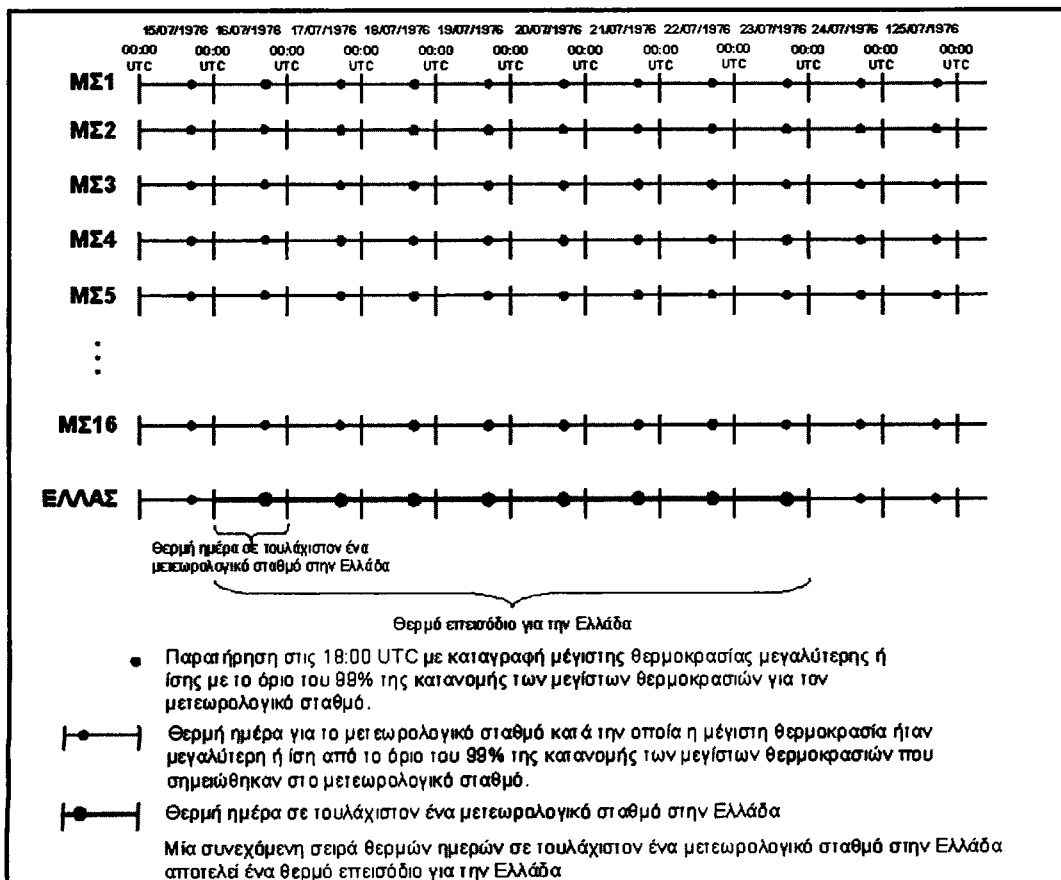
Από τις χρονοσειρές μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, καταγεγραμμένης στις 18:00 UTC, των 16 μετεωρολογικών σταθμών (ΜΣ) στην Ελλάδα, εντοπίζονται εκείνες οι ημερομηνίες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνούσε το όριο του 99% της κατανομής στο ΜΣ και οι ημέρες αυτές χαρακτηρίζονται ως θερμές ημέρες. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε ΜΣ τα όρια του 99% της κατανομής των μεγίστων ημερήσιων θερμοκρασιών, για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002. Ακόμη παρουσιάζονται για κάθε μετεωρολογικό σταθμό το πλήθος των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπέρασε ή ήταν ίση με το όριο και η απολύτως μέγιστη και η απολύτως ελάχιστη των μεγίστων ημερήσιων θερμοκρασιών. Στους περισσότερους ΜΣ το όριο είναι από 34.0°C έως 36.0°C περίπου, εκτός από τη Λάρισα και το Αγρίνιο που φτάνει τους 38.0°C περίπου και τη Νάξο με όριο τους 31.0°C περίπου. Από τις απολύτως μέγιστες θερμοκρασίες η μεγαλύτερη (45.4°C) καταγράφηκε στη Λάρισα. Διαπιστώθηκε ότι για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002 το πλήθος των θερμών ημερών σε τουλάχιστον ένα ΜΣ ήταν 911 ημέρες.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται στη σχηματική αναπαράσταση του σχήματος 4.2, ορίζεται ως θερμό επεισόδιο (ΘΕ) κάθε περίπτωση συνεχόμενων ημερών κατά τις οποίες σε τουλάχιστο ένα ΜΣ η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνούσε το αντίστοιχο όριο. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν 397 τέτοια επεισόδια. Η ετήσια διακύμανση του πλήθους των ΘΕ (σχήμα 4.3) δείχνει ότι τα τελευταία χρόνια το πλήθος των επεισοδίων σε κάθε έτος συχνά ξεπερνά τα 10. Αν και υπάρχει μικρή αυξητική τάση, αυτή δεν αποδεικνύεται να είναι στατιστικά σημαντική (test Mann-Kendall). Ακόμη στο σχήμα 4.4, όπου φαίνεται η ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων σε σχέση με τη διάρκειά τους φαίνεται ότι από το 1977 και μετά συχνά είναι τα επεισόδια διάρκειας 7 ημερών, ενώ τα προηγούμενα έτη σπάνια η διάρκεια των επεισοδίων έφτανε τις 8 ημέρες. Η μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των ΘΕ (σχήμα 4.5) για την περίοδο 1957-2002 δείχνει, όπως είναι αναμενόμενο, ότι τα περισσότερα θερμά επεισόδια ξεκινούν κατά το μήνα Ιούλιο, ενώ και κατά τους φθινοπωρινούς μήνες εμφανίζεται αρκετά μεγάλος αριθμός ΘΕ. Στο σχήμα 4.6 φαίνεται ότι η πλειοψηφία των επεισοδίων έχουν διάρκεια μίας ημέρας και τα περισσότερα από αυτά συμβαίνουν κατά το μήνα Ιούνιο (σχήμα 4.7). Τα ΘΕ που έχουν διάρκεια περισσότερο από μία ημέρα, συμβαίνουν κυρίως κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, για τους οποίους το μεγαλύτερο ποσοστό των ΘΕ έχει διάρκεια από 2 ημέρες και πάνω. Η ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ανά δεκαήμερο (σχήμα 4.8) δείχνει, ότι από το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου μέχρι το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου είναι η περίοδος κατά την οποία συμβαίνουν οι περισσότερες περιπτώσεις θερμών επεισοδίων μεγάλης διάρκειας.

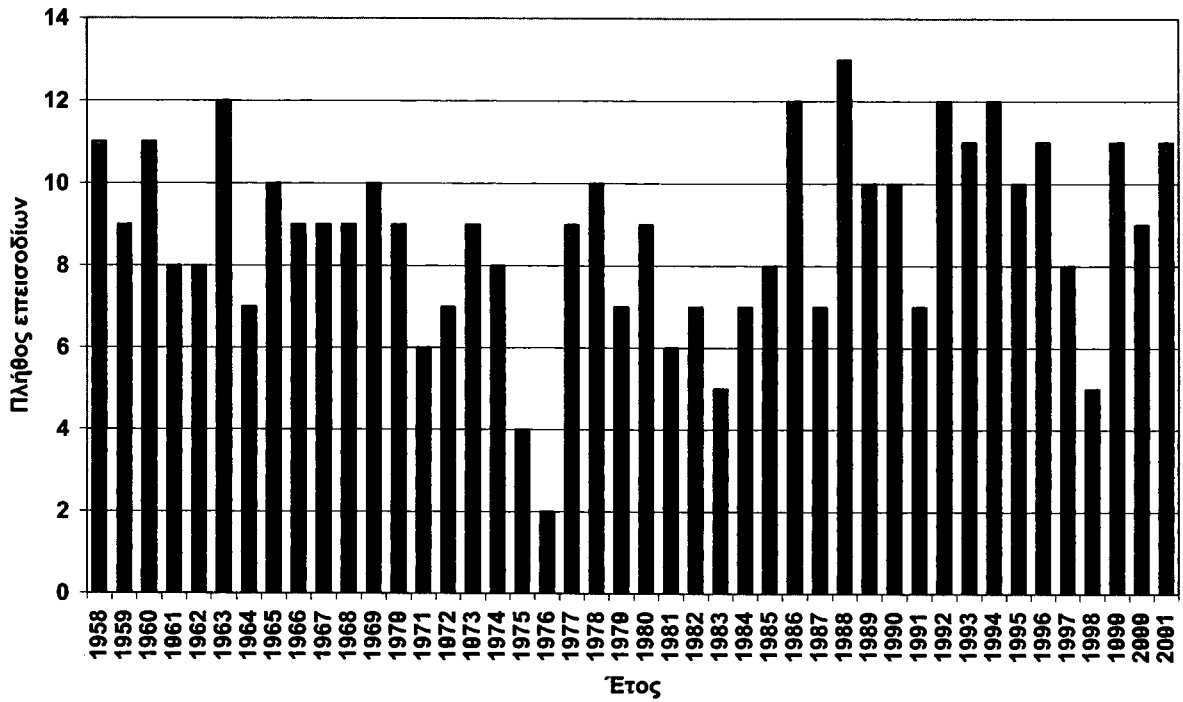
Το επεισόδιο με τη μεγαλύτερη διάρκεια συνέβη το 1998 και ξεκίνησε το τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου (23/7/1998), με διάρκεια 20 ημερών. Στο παράρτημα Γ παρατίθενται χάρτες της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας, όπου φαίνεται η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του επεισοδίου. Οι ακραίες τιμές στις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες άρχισαν να καταγράφονται στους σταθμούς της Αλεξανδρούπολης, της Κέρκυρας και των Αθηνών και στη διάρκεια του επεισοδίου δύο φορές όλοι οι ΜΣ παρουσίαζαν ταυτόχρονα ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες πλην της Ρόδου και της Κρήτης. Με τη δεύτερη μεγαλύτερη διάρκεια θερμό επεισόδιο (17 συνεχόμενες ημέρες) συνέβη το 1962 με έναρξη κατά το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Οι ΜΣ στους οποίους παρουσιάστηκαν ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες ήταν κυρίως παράκτιοι (Αλεξανδρούπολη, Κέρκυρα, Ανδραβίδα, Ρόδος).

Πίνακας 4.1 Τα όρια του 99% της κατανομής των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών σε κάθε ένα από τους 16 Μετεωρολογικούς Σταθμούς στην Ελλάδα για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002. Ακόμη το πλήθος των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπέρασε ή ήταν ίση με το όριο σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό, η απολύτως μέγιστη και η απολύτως ελάχιστη των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών για κάθε ΜΣ για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο.

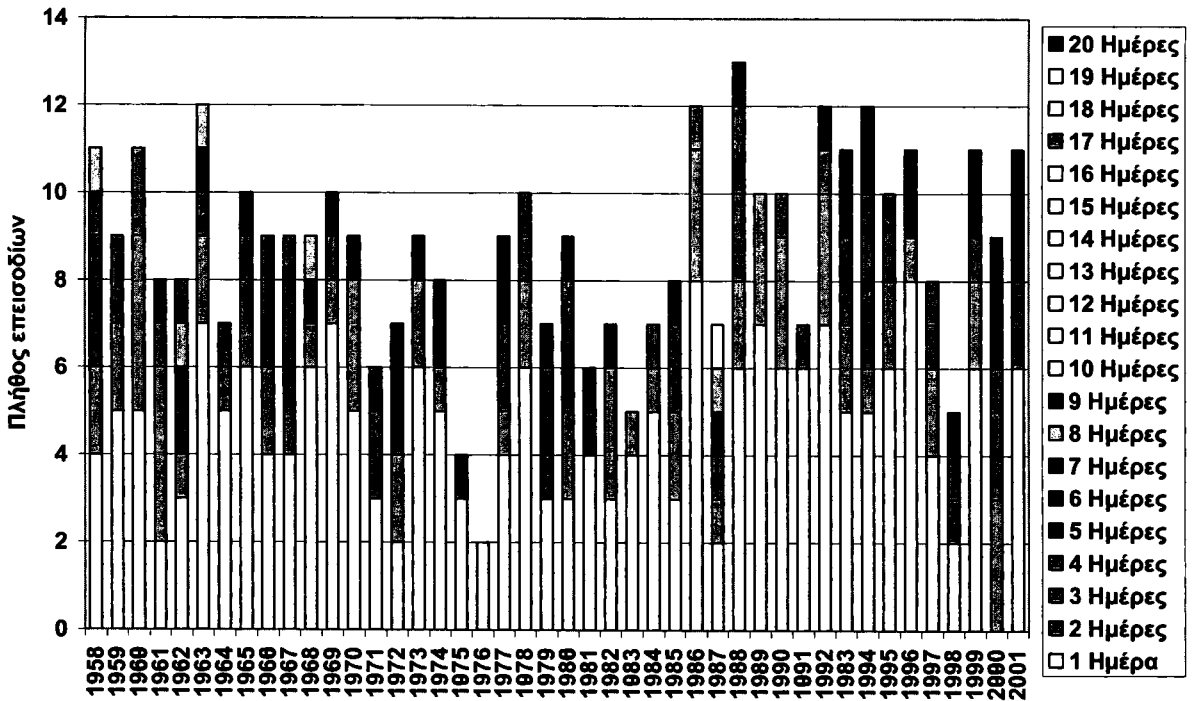
Κωδικός ΜΣ	ΜΣ	Όριο (99%)	Πλήθος Ημερών	Απολύτως Μέγιστη τιμή	Απολύτως Ελάχιστη τιμή
622	Θεσσαλονίκη	35.8	181	42.6	-4.8
627	Αλεξανδρούπολη	34.8	189	39.8	-4.0
632	Κοζάνη	35.0	205	42.2	-10.2
641	Κέρκυρα	35.4	169	42.4	3.4
642	Ιωάννινα	36.0	176	42.4	-3.8
648	Λάρισα	38.4	168	45.4	-10.0
650	Λήμνος	32.7	168	39.4	-2.5
667	Μυτιλήνη	35.2	175	41.4	0.6
672	Αγρίνιο	37.8	166	43.8	3.0
682	Ανδραβίδα	35.0	187	39.8	3.8
710	Τρίπολη	36.2	167	43.0	-5.0
716	Αθήνα	36.0	176	42.0	0.0
732	Νάξος	31.2	182	36.8	3.2
749	Ρόδος	34.6	191	42.0	4.0
754	Ηράκλειο	34.5	165	44.4	4.4
756	Ιεράπετρα	36.6	172	45.0	4.8



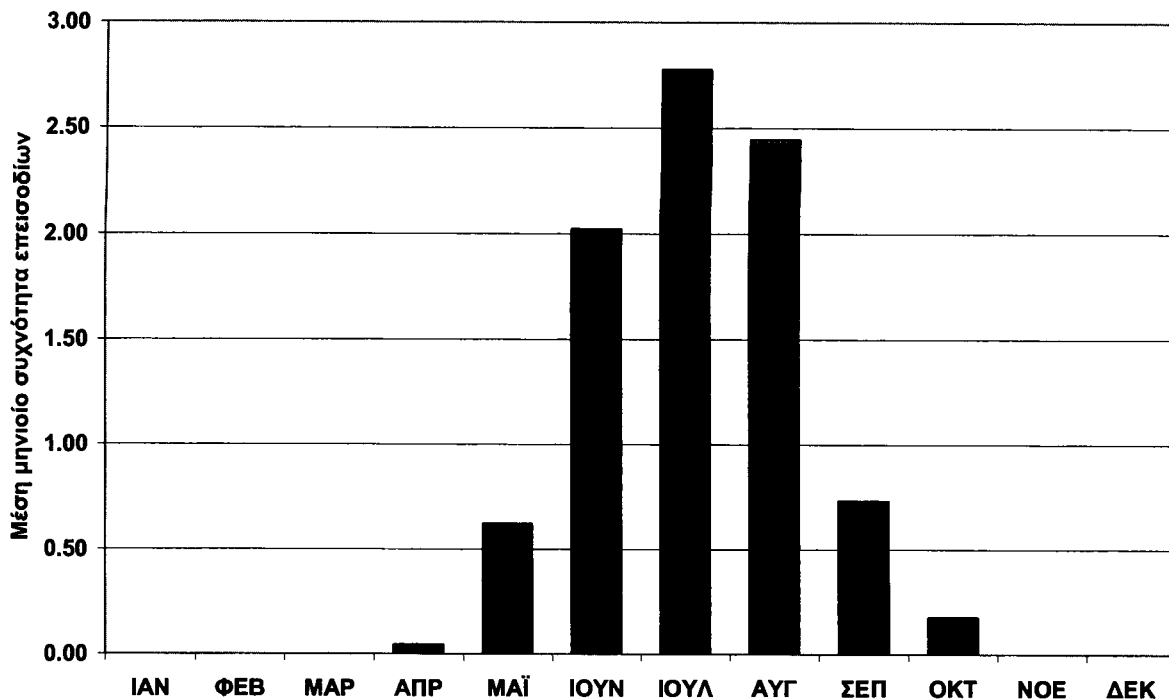
Σχήμα 4.2 Σχηματική αναπαράσταση του ορισμού των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα.



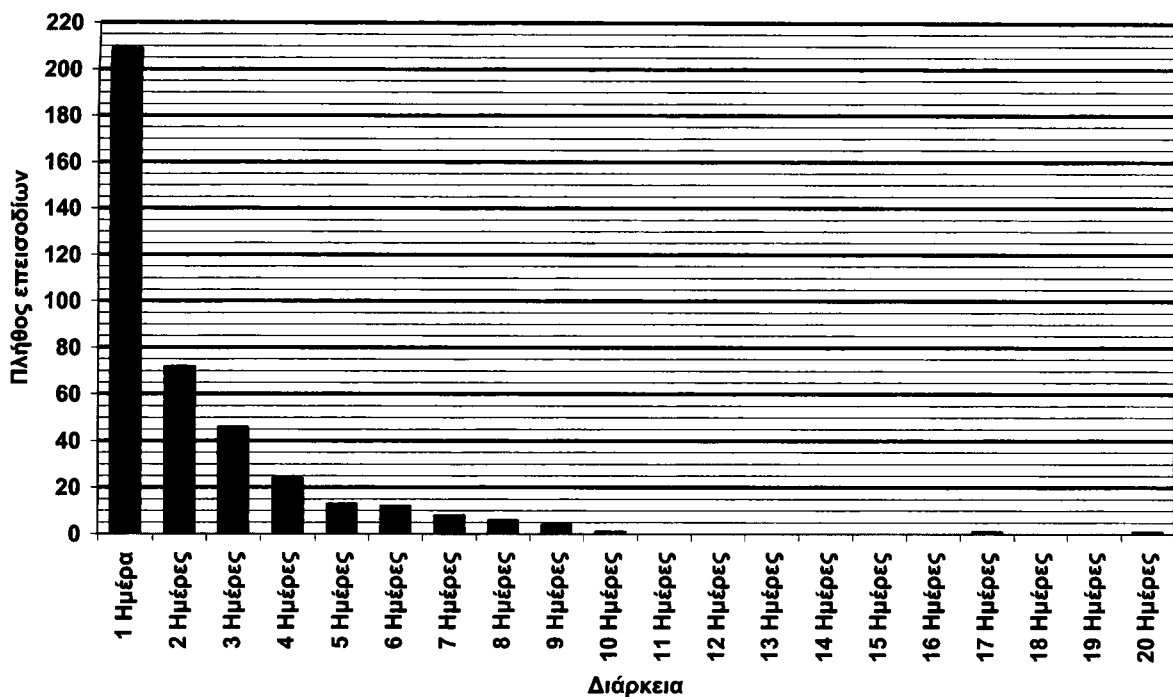
Σχήμα 4.3 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1958-2001.



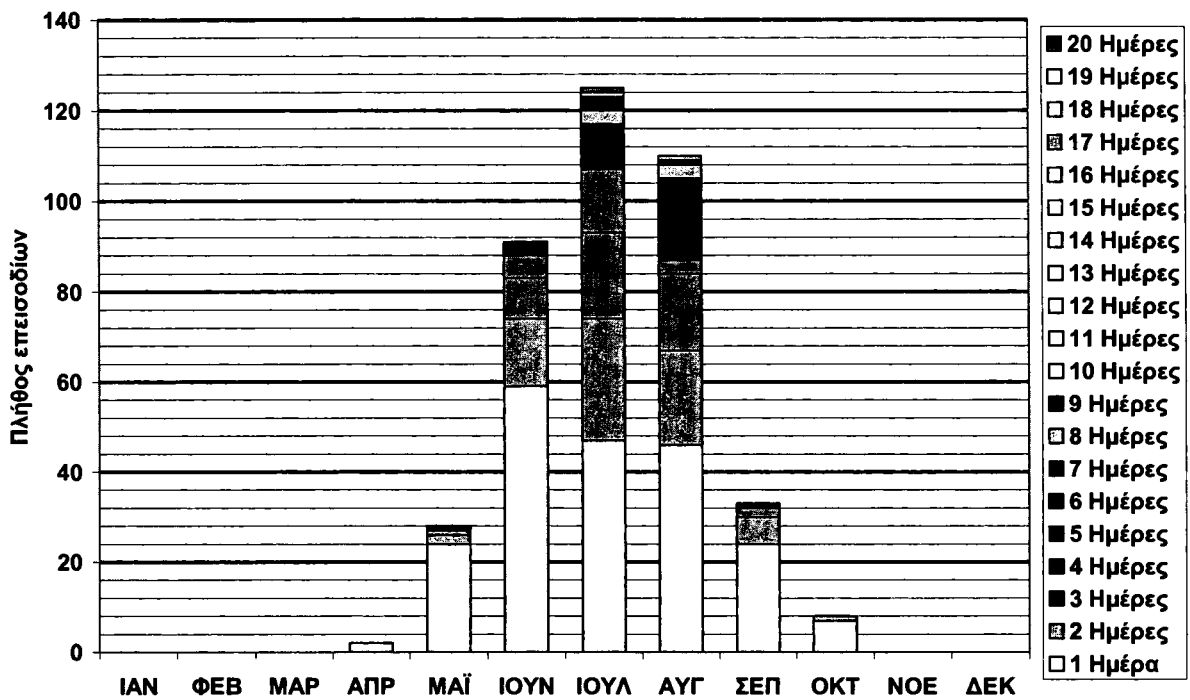
Σχήμα 4.4 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1958-2001. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



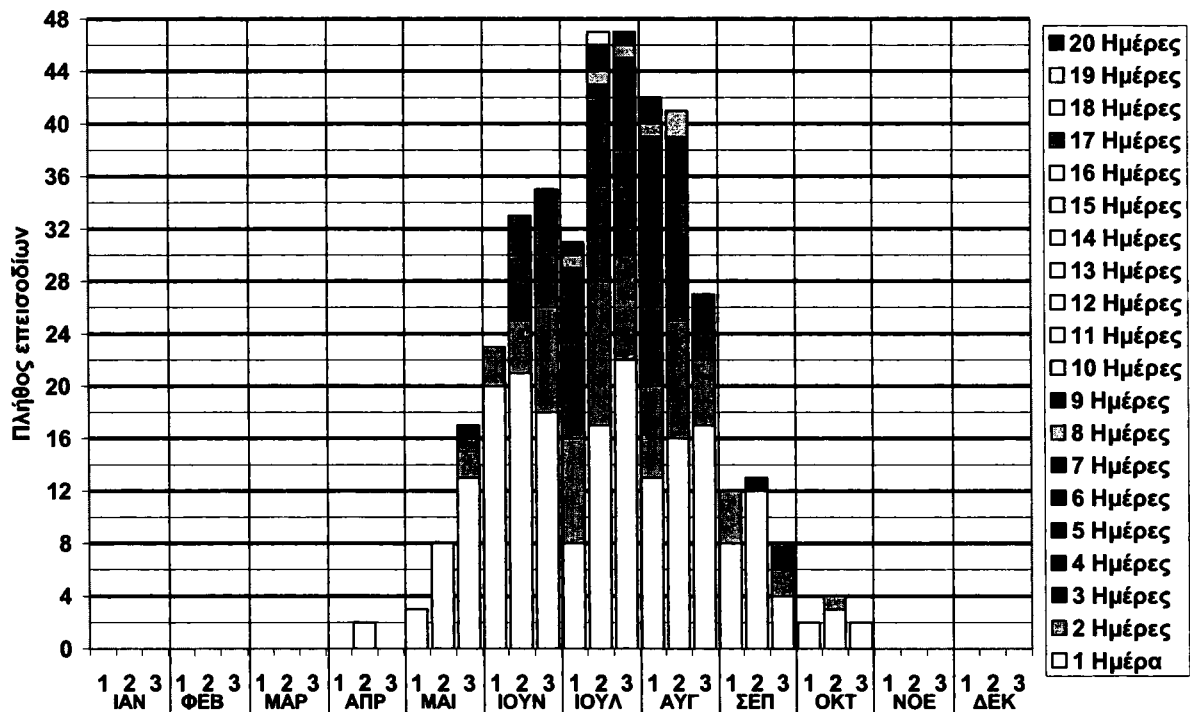
Σχήμα 4.5 Μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου.



Σχήμα 4.6 Κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ως προς τη διάρκειά τους.



Σχήμα 4.7 Ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 4.8 Ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ανά δεκαήμερο, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.

4.2.2. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Θερμά Επεισόδια

Για κάθε ένα από τα θερμά επεισόδια, ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα του ECMWF λαμβάνουμε σε 273 πλεγματικά σημεία τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας της στάθμης των 850hPa, της θερμοκρασίας της στάθμης των 500hPa, του γεωδυναμικού ύψους της στάθμης των 500hPa και του πάχους στρώματος 100-500hPa, στις 12:00UTC μία ημέρα πριν την έναρξη κάθε επεισοδίου (Ημέρα H-1), την ημέρα έναρξης του κάθε επεισοδίου (Ημέρα H) και μία ημέρα μετά τη λήξη του κάθε επεισοδίου (Ημέρα ΛΗΞΗΣ). Δημιουργούνται έτσι τρεις πίνακες 1365 στηλών και 397 γραμμών, για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ αντίστοιχα. Σε κάθε έναν πίνακα, κάθε μία γραμμή από τις 397 αντιστοιχεί στη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στις 12:00UTC για κάθε ένα από τα αντίστοιχα επεισόδια.

Εφαρμόζεται η Παραγοντική ανάλυση (S – mode) σε κάθε έναν από τους πίνακες, με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων. Προκύπτουν 15 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H-1, 16 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H και 16 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας ΛΗΞΗΣ, που ερμηνεύουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών.

Τα πλεγματικά σημεία των χρονοσειρών, που έχουν υψηλά φορτία (>0.6) σε κάποιους παράγοντες, ορίζουν περιοχές στην ατμόσφαιρα, στις οποίες παρουσιάζεται συμμεταβλητότητα των 5 παραμέτρων, που περιγράφουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία κατά τη διάρκεια ΘΕ στην Ελλάδα. Έτσι είναι δυνατό, να περιγραφεί η ατμοσφαιρική κυκλοφορία με τις τιμές επίδοσης των παραγόντων, οι οποίοι αντιστοιχούν σε αυτές τις περιοχές. Στο παράρτημα Β παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των φορτίων των χρονοσειρών των 5 παραμέτρων στα 273 πλεγματικά σημεία για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ και σχολιάζονται οι περιοχές που προκύπτουν.

Μετά την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης δημιουργούνται οι τρεις πίνακες με τις τιμές επίδοσης των παραγόντων, οι οποίοι αντιστοιχούν στην Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ. Σύμφωνα με την μεθοδολογία, που περιγράφηκε στην ενότητα 2.6, αυτοί ενοποιούνται σε ένα πίνακα 47 στηλών και 397 γραμμών. Σε αυτόν, κάθε γραμμή αντιστοιχεί στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του αντίστοιχου θερμού επεισοδίου. Η εφαρμογή στον ενοποιημένο πίνακα της Ανάλυσης κατά Συστάδες αποκαλύπτει 7 ομάδες, αφού ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα της μεθόδου του “άλματος”, που παρουσιάζονται στο παράρτημα Δ και η φυσική ερμηνεία των τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχούν στις 7 ομάδες.

Για κάθε μία ομάδα κατασκευάζονται οι μέσοι χάρτες της ατμοσφαιρικής πίεσης στη ΜΣΘ, της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850hPa, της θερμοκρασίας στη στάθμη των 500hPa, του πάχους στρώματος 1000-500hPa και του γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa, για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ. Αυτοί οι χάρτες παρουσιάζονται στα σχήματα 4.9 έως 4.15 και αποκαλύπτουν 7 κύριους τύπους της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα, οι οποίοι ευνοούν την εκδήλωση θερμών επεισοδίων με την εμφάνιση ακραίων μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, σε τουλάχιστον ένα ΜΣ στην Ελλάδα. Να σημειωθεί ότι κάθε ομάδα αποτελείται από 15 μέσους χάρτες (5 μετεωρολογικές παράμετροι x 3 ημέρες), οι οποίοι περιγράφουν τόσο τη δομή της κατώτερης και μέσης τροπόσφαιρας με την παρουσίαση των μέσων χαρτών των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων, όσο και την εξέλιξη την ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά την ημέρα πριν την έναρξη, κατά την ημέρα έναρξης και κατά την ημέρα

μετά το πέρας των επεισοδίων. Συνεπώς η κάθε ομάδα των 15 μέσων χαρτών εξετάζεται ως ενιαίο σύνολο. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται η εποχική κατανομή των επεισοδίων της κάθε ομάδας, η κατανομή των επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους για κάθε ομάδα καθώς και το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραία τιμή μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της κάθε ομάδας.

1^η Ομάδα (4 ΘΕ 1%). Αυτή η ομάδα ΘΕ αποτελείται από 4 μόνο επεισόδια και αντιστοιχεί σε μία συνοπτική κατάσταση η οποία δύναται να προκαλέσει ακραίες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας μόνο στην περιοχή της Κρήτης (σχήμα 4.9γ), κυρίως κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο (σχήμα 4.9α). Όλα τα επεισόδια αυτής της ομάδας διήρκεσαν μόνο μία ημέρα και η μέση μέγιστη θερμοκρασία στους σταθμούς του Ηρακλείου και τις Ιεράπετρας, για τις ημέρες των επεισοδίων, είναι 36.1°C και 37.0°C αντίστοιχα, μόλις 1.5°C και 0.5°C πάνω από το όριο του κάθε σταθμού (σχήμα 4.17).

Στη στάθμη των 500hPa την προηγούμενη ημέρα εμφανίζεται ένας αυλώνας πάνω από τη δυτική Μεσόγειο. Ψυχρή αέρια μάζα βρίσκεται πάνω από τη βόρεια Ελλάδα κυρίως, ενώ νότια της Ελλάδας επικρατούν θερμότερες αέριες μάζες. Στην επιφάνεια ένα χαμηλό βαρομετρικό σύστημα αρχίζει να δημιουργείται στη βόρεια Ιταλία. Το σύστημα σε όλα τα επίπεδα της τροπόσφαιρας κινείται ταχύτατα ανατολικά και την ημέρα έναρξης του επεισοδίου ο αυλώνας στη στάθμη των 500hPa βρίσκεται πάνω από την κεντρική Μεσόγειο, ενώ στην επιφάνεια το σύστημα χαμηλών πιέσεων έχει μετακινηθεί πάνω από την κεντρική Ελλάδα. Η θέση του προκαλεί νότια ροή στη νοτιοανατολική νησιωτική περιοχή της Ελλάδας με συνέπεια τη μεταφορά θερμών αερίων μαζών πάνω από αυτή την περιοχή και την αύξηση της θερμοκρασίας. Την ημέρα μετά το πέρας των επεισοδίων πάνω από όλο τον Ελληνικό χώρο επικρατεί βόρειο ρεύμα που έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ψυχρότερων αερίων μαζών και τη λήξη των επεισοδίων.

2^η Ομάδα (20 ΘΕ 5%). Τα επεισόδια αυτής της ομάδας εποχικά κατανέμονται αργά την άνοιξη και νωρίς το φθινόπωρο, ενώ η διάρκειά τους είναι κυρίως μίας ημέρας (σχήματα 4.10α και 4.10β). Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε αυτή την ομάδα επηρεάζει ως επί το πλείστον τη νησιωτική Ελλάδα (σχήμα 4.10γ), όπου και παρατηρούνται οι μεγαλύτερες αποχές της μέσης μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας εκείνων των ημερών από τα θερμοκρασιακά όρια των σταθμών (σχήμα 4.18).

Στη στάθμη των 500hPa μία ημέρα πριν και κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων επικρατεί μία έξαρση υψηλών πιέσεων πάνω από την Ελλάδα και θερμές αέριες μάζες με αφρικανική προέλευση κυρίως πάνω από τις νότιες περιοχές. Στην επιφάνεια το πεδίο πιέσεων είναι σχεδόν σταθερό, συνοδευόμενο προφανώς από άπνοια και δημιουργώντας έτσι ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών. Τα θερμά επεισόδια αυτής της ομάδας λήγουν με την επικράτηση ασθενούς βορείου ρεύματος, που προκαλείται από το συνδυασμό των υψηλών πιέσεων πάνω από τη δυτική Ευρώπη και των χαμηλών πιέσεων πάνω από τη Μικρά Ασία και την ανατολική Μεσόγειο.

3^η Ομάδα (98 ΘΕ 25%). Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως θερινός. Η συντριπτική πλειοψηφία των επεισοδίων διαρκεί μία με δύο ημέρες ενώ υπάρχουν και επεισόδια μεγαλύτερης διάρκειας. Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία αυτού του τύπου επηρεάζει κυρίως τη νησιωτική Ελλάδα και τις παράκτιες περιοχές.

Η κυκλοφορία στη μέση τροπόσφαιρα παρουσιάζεται να έχει ζωνική μορφή, ενώ θερμές αέριες μάζες επικρατούν πάνω από τον Ελληνικό χώρο. Στην επιφάνεια πριν την έναρξη των επεισοδίων και κατά τη διάρκεια τους ασθενές σύστημα υψηλών πιέσεων επικρατεί στη δυτική Ευρώπη και σχεδόν σταθερό πεδίο πιέσεων στον Ελληνικό χώρο με μία πολύ μικρή

βόρεια συνιστώσα του ανέμου. Η λήξη των επεισοδίων αυτής της ομάδας επέρχεται με την ενίσχυση των υψηλών / χαμηλών πιέσεων πάνω από τη δυτική Ευρώπη / Μικρά Ασία, που έχει σαν συνέπεια την αύξηση της βαροβαθμίδας πάνω από την Ελλάδα και την επικράτηση αρκετά ισχυρού βόρειου ρεύματος (Ετησίας) που προκαλεί την πτώση της θερμοκρασίας.

4^η Ομάδα (20 ΘΕ 5%). Τα επεισόδια της ομάδας αυτής συμβαίνουν κυρίως αργά την άνοιξη και νωρίς το φθινόπωρο με την πλειοψηφία τους να διαρκεί 1 ημέρα, χωρίς να λείπουν και τα επεισόδια διάρκειας 2 ημερών. Όπως και με τον δεύτερο τύπο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, έτσι και αυτός, που αντιστοιχεί στην 4^η ομάδα, επηρεάζει κυρίως τη νησιωτική Ελλάδα με την μέση μέγιστη θερμοκρασία για τις ημέρες αυτών των επεισοδίων να φτάνει τους 32.4°C για το σταθμό της Νάξου.

Η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στη μέση τροπόσφαιρα χαρακτηρίζεται από ένα σχεδόν αποκομμένο σύστημα χαμηλών πιέσεων στην περιοχή της Γαλλίας και υψηλές πιέσεις πάνω από την Ελλάδα πριν την έναρξη των επεισοδίων αυτής της ομάδας. Στην επιφάνεια ένα αβαθές αλλά εκτεταμένο σύστημα χαμηλών πιέσεων εντοπίζεται στην περιοχή της Ιταλίας, ενώ η κυκλοφορία στην περιοχή της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως αντικυκλωνική. Κατά την έναρξη των επεισοδίων ο αυλώνας χαμηλών πιέσεων στη μέση τροπόσφαιρα έχει κινηθεί ανατολικά πάνω από τη βόρειο Ιταλία και το σύστημα χαμηλών πιέσεων στην επιφάνεια έχει επεκταθεί προς τη δυτική Ελλάδα. Αυτός ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προκαλεί ασθενές νότιο ρεύμα στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, που μεταφέρει θερμές αέριες μάζες Αφρικανικής προέλευσης. Τα θερμά επεισόδια αυτής της ομάδας λήγουν με την επικράτηση χαμηλών πιέσεων στην περιοχή της Ελλάδας και ψυχρών αερίων μαζών βόρειας ηπειρωτικής προέλευσης.

5^η Ομάδα (117 ΘΕ 29%). Αυτή η ομάδα θερμών επεισοδίων είναι η πολυπληθέστερη όλων και αφορά επεισόδια που συμβαίνουν κατά τους καλοκαιρινούς μήνες κυρίως (σχήμα 4.13α) με μεγάλη διάρκεια καθώς περισσότερα από τα μισά διαρκούν από 2 έως και 10 ημέρες (σχήμα 4.13β). Όλη η Ελλάδα επηρεάζεται από τον τύπο κυκλοφορίας αυτής της ομάδας και περισσότερο οι ηπειρωτικές περιοχές, όπως η Κοζάνη, η Λάρισα και η Τρίπολη (σχήματα 4.13γ και 4.16). Χαρακτηριστικό είναι ότι και για την Ιεράπετρα (νότια Κρήτη), αυτός είναι ο τύπος κυκλοφορίας, που ως επί το πλείστον προκαλεί θερμά επεισόδια στην περιοχή.

Στη μέση τροπόσφαιρα (σχήμα 4.13, στάθμη 500hPa) η μορφή της κυκλοφορίας είναι αντικυκλωνική στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου, πριν και κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων. Στην επιφάνεια μία γλώσσα υψηλών πιέσεων προερχόμενη από τον αντικυκλώνα των Αζορών καλύπτει όλη την κεντρική Ευρώπη και Μεσόγειο και την Ελλάδα. Η θερμή αέρια μάζα που ήδη υπήρχε πάνω από την κεντρική Μεσόγειο και την Ελλάδα (σχήμα 4.13, στάθμη 850hPa) γίνεται περισσότερο θερμή, προφανώς εξαιτίας της καθοδικής κίνησης της αέριας μάζας στην περιοχή των υψηλών πιέσεων και κατά συνέπεια της αδιαβατικής της θέρμανσης. Η περαιτέρω ενίσχυση των υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη προκαλεί αύξηση της βαροβαθμίδας και ισχυρό βόρειο ρεύμα πάνω από τον Ελληνικό χώρο, το οποίο επιφέρει τη λήξη των θερμών επεισοδίων με τη μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών.

6^η Ομάδα (22 ΘΕ 6%). Τα λίγα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν αργά την άνοιξη και νωρίς το καλοκαίρι (σχήμα 4.14α) με τη διάρκειά τους να είναι κυρίως μία ημέρα (σχήμα 4.14β). Προκαλούν ακραίες τιμές μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας κυρίως στη νότια νησιωτική Ελλάδα (σχήμα 4.14γ).

Πριν την έναρξή τους ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων βρίσκεται πάνω από τη δυτική Ευρώπη και μία ράχη υψηλών πιέσεων πάνω από τον ελληνικό χώρο (σχήμα 4.14, στάθμη 500hPa). Στην επιφάνεια η ύπαρξη μίας ύφεσης πάνω από την κεντρική Ιταλία σε συνδυασμό με το πεδίο υψηλών πιέσεων πάνω από το Αιγαίο πέλαγος και την Ανατολική Μεσόγειο μεταφέρει θερμές αέριες μάζες στην κεντρική Μεσόγειο. Την ημέρα έναρξης των ΘΕ η

ύφεση έχει μετακινηθεί προς τη βόρειο Ιταλία και στη δυτική Μεσόγειο αρχίζει να αναπτύσσεται ένα κέντρο υψηλών πιέσεων, ενώ οι θερμές αέριες μάζες μετακινούνται προς την Ανατολική Μεσόγειο προκαλώντας τις υψηλές θερμοκρασίες στη νότια νησιωτική Ελλάδα. Την ημέρα λήξης των επεισοδίων οι ενίσχυση του κέντρου των υψηλών πιέσεων και η μετακίνησή του στην κεντρική Μεσόγειο είναι η αιτία της μεταφοράς ψυχρών αερίων μαζών ηπειρωτικής προέλευσης, πάνω από την Ελλάδα.

7^η Ομάδα (116 ΘΕ 29%). Και αυτή η ομάδα επεισοδίων είναι η πολυπληθέστερη μαζί με την 5^η ομάδα. Η έναρξη των θερμών επεισοδίων συμβαίνει το καλοκαίρι κυρίως κατά το μήνα Αύγουστο (σχήμα 4.15α). Περίπου τα μισά ΘΕ της ομάδας έχουν διάρκεια περισσότερο από μία ημέρα, ενώ σε αυτήν ανήκουν τα ΘΕ με τη μεγαλύτερη διάρκεια 20 και 17 ημερών (σχήμα 4.15β). Ο τύπος κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα, επηρεάζει περισσότερο τη βόρειο και δυτική Ελλάδα (σχήμα 4.15γ και σχήμα 4.16), καθώς οι ΜΣ της Αλεξανδρούπολης, της Κέρκυρας, του Αγρινίου και της Ανδραβίδας κατέχουν αυξημένο ποσοστό θερμών ημερών σε σχέση με το συνολικό αριθμό ημερών που διήρκεσαν όλα τα επεισόδια αυτής της ομάδας.

Στη στάθμη των 500hPa η ράχη που εντοπίζεται δυτικά της Ελλάδας και ο αυλώνας ανατολικά της Ελλάδας συνοδεύονται από υψηλές πιέσεις δυτικά και πάνω από την Ελλάδα που αποτελούν επέκταση του αντικυκλώνα των Αζωρών και ιδιαίτερα χαμηλές πιέσεις ανατολικά της Ελλάδας οι οποίες οφείλονται στην επέκταση του Ασιατικού χαμηλού. Αυτός ο τύπος κυκλοφορίας προκαλεί βορειοανατολικό άνεμο ο οποίος στην ανατολική, κεντρική και νότιο Ελλάδα προκαλεί χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες ενώ στην δυτική πλευρά της Πίνδου γίνεται καταβατικός και προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας σε περιοχές δυτικά της οροσειράς. Ακόμη, οι υψηλές θερμοκρασίες στη βόρειο Ελλάδα οφείλονται στην αδιαβατική θέρμανση των αερίων μαζών, που κατολισθαίνουν, εξαιτίας της ύπαρξης του συστήματος υψηλών πιέσεων. Κατά την ημέρα λήξης των επεισοδίων η κυκλωνική κυκλοφορία μετατοπίζεται περισσότερο δυτικά, εξαιτίας της επέκτασης του θερμικού χαμηλού της Ασίας. Αυτό έχει σα συνέπεια τη στροφή του ανέμου σε βόρειο βορειοδυτικό, που προκαλεί τελικά την πτώση της θερμοκρασίας στη δυτική Ελλάδα.

Συμπερασματικά. Ο 1^{ος}, ο 2^{ος}, ο 4^{ος} και ο 6^{ος} τύπος της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που προέκυψαν από την εφαρμογή της Ανάλυσης Κατά Συστάδες, είναι καταστάσεις, οι οποίες εμφανίζονται αργά την άνοιξη και νωρίς το φθινόπωρο. Η διάρκεια των θερμών επεισοδίων, που προκαλούνται, είναι μικρή και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνά την μία ημέρα. Οι περιοχές στις οποίες καταγράφονται ακραίες μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες είναι παράκτιες και ανήκουν κυρίως στη νότια νησιωτική Ελλάδα. Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σπάνια προκαλεί θερμά επεισόδια, καθώς αυτά που κατατάσσονται στις αντίστοιχες ομάδες, δεν ξεπερνούν συνολικά το 17% του συνολικού πλήθους των επεισοδίων. Σε όλους αυτούς τους τύπους η παρουσία μίας ύφεσης στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου προκαλεί τη μεταφορά θερμών αερίων μαζών Αφρικανικής προέλευσης προς το νότιο Αιγαίο πέλαγος, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την καταγραφή ακραίων μεγίστων ημερήσιων θερμοκρασιών στους μετεωρολογικούς σταθμούς αυτής της περιοχής, με βάση τα όρια που έχουν καθοριστεί για κάθε σταθμό. Σε κάθε τύπο η ύφεση διαφέρει ως προς τη θέση της και ως προς την έντασή της.

Ο 3^{ος}, ο 5^{ος} και ο 7^{ος} τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αφορούν την καλοκαιρινή περίοδο, η πρόκληση θερμών επεισοδίων εξαιτίας τους είναι συχνή (83% του συνολικού πλήθους των ΘΕ) και επηρεάζουν ο μιν 3^{ος} τύπος τη νησιωτική Ελλάδα, ο 5^{ος} τύπος ολόκληρη την Ελλάδα, αλλά κυρίως τις ηπειρωτικές περιοχές και ο 7^{ος} τύπος περισσότερο την βόρεια και δυτική Ελλάδα. Τα επεισόδια που αντιστοιχούν σε αυτούς τους τύπους παρουσιάζουν συχνά

μεγάλη διάρκεια. Σε αυτούς του τύπους της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας το σχεδόν σταθερό πεδίο πίεσης πάνω από την Ελλάδα (3^{ος} τύπος) προκαλεί άπνοια που σε συνδυασμό με την παρουσία θερμών αερίων μαζών βοηθά στην εμφάνιση υψηλών θερμοκρασιών. Η παρουσία υψηλών πιέσεων πάνω από την κεντρική Ευρώπη αλλά και την Ελλάδα (5^{ος} τύπος) προκαλεί κατολίπηση των αερίων μαζών και αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια, λόγω αδιαβατικής θέρμανσης. Ο 7^{ος} τύπος, έχει ως κύριο χαρακτηριστικό την επέκταση του Ασιατικού συστήματος χαμηλών πιέσεων προς την ανατολική Μεσόγειο και την βορειοανατολική ροή πάνω από την Ελλάδα, ευνοϊκή συνθήκη για την εκδήλωση θερμών επεισοδίων στη δυτική Ελλάδα καθώς εκεί ο άνεμος είναι καταβατικός και προκαλείται η αδιαβατική θέρμανση των αερίων μαζών που φτάνουν στην περιοχή. Σχεδόν σε όλους τους τύπους η παρουσία υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη ή στην κεντρική Μεσόγειο, σε συνδυασμό με τις χαμηλές πιέσεις στην ανατολική Μεσόγειο προκαλούν βόρειο σχετικά ψυχρό ρεύμα πάνω από την Ελλάδα που προκαλεί την πτώση της θερμοκρασίας και τη λήξη των επεισοδίων.

Στο σχήμα 4.16 παρουσιάζονται για κάθε ΜΣ το ποσοστό των θερμών ημερών για το σταθμό οι οποίες ανήκουν στα επεισόδια που έχουν καταταχθεί σε κάθε ομάδα ως προς το συνολικό πλήθος των θερμών ημερών στο σταθμό. Είναι εμφανές ότι ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ο οποίος αντιστοιχεί στην 5^η ομάδα επηρεάζει κυρίως τη βόρεια (Θεσσαλονίκη, Κοζάνη,), την κεντρική (Λάρισα), την ηπειρωτική χώρα (Τρίπολη) και τη νότια Κρήτη (Ιεράπετρα). Η δυτική ηπειρωτική Ελλάδα (Ιωάννινα, Αγρίνιο), και η Αθήνα, επηρεάζονται τόσο από τον 5^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, όσο και από τον 7^ο τύπο. Ο 7^{ος} τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας δείχνει να συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την πρόκληση καυσώνων στις δυτικές παραλιακές περιοχές της Ελλάδας (Κέρκυρα, Ανδραβίδα). Η Νάξος και το Ηράκλειο φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από τον 3^ο και 5^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ενώ στη Ρόδο και στη Λήμνο οι καύσωνες ευνοούνται κυρίως από τον 5^ο τον 7^ο και λιγότερο από τον 3^ο τύπο.

Στο σχήμα 4.17 για κάθε ΜΣ παρουσιάζονται η μέση μέγιστη θερμοκρασία των θερμών ημερών για κάθε ομάδα και το όριο του 99% της κατανομής των μεγίστων θερμοκρασιών. Ο 5^{ος} τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας είναι αυτός που προκαλεί τις υψηλότερες θερμοκρασίες στη Θεσσαλονίκη, την Κοζάνη, την Κέρκυρα, τα Ιωάννινα, τη Λήμνο, την Τρίπολη, την Αθήνα και τη Ρόδο. Στην Αλεξανδρούπολη και τη Λάρισα ο 6^{ος} και ο 5^{ος} τύπος προκαλούν τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Η Ανδραβίδα δεν πλήττεται από ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες. Στο Ηράκλειο ευνοούνται αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες από το όριο, όταν επικρατεί ο 6^{ος}, ο 3^{ος}, ο 5^{ος} και ο 1^{ος} τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ενώ στην Ιεράπετρα υψηλές θερμοκρασίες ευνοούνται από τον 2^ο, τον 3^ο, τον 4^ο και τον 5^ο τύπο.

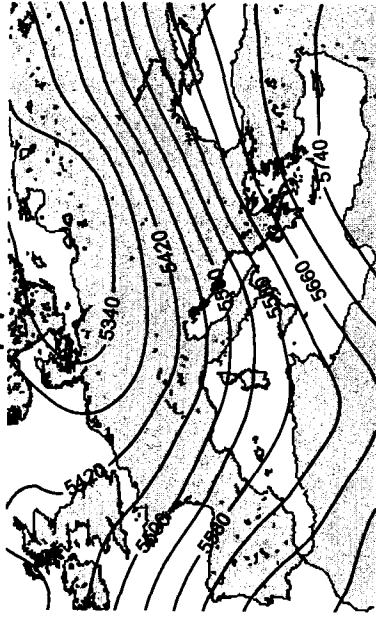
Συγκριτικά. Σε σχέση με άλλες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί, οι οποίες αφορούσαν τη μελέτη των συνοπτικών καταστάσεων κατά τη διάρκεια επικράτησης υψηλών θερμοκρασιών στην Ελλάδα ή σε περιοχές της Ελλάδας, φαίνεται ότι τα αποτελέσματά τους βρίσκονται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής.

Η μικρή αύξηση του πλήθους των θερμών επεισοδίων, που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, συμφωνεί με τα ευρήματα των Makrogiannis et al. (1991), οι οποίοι απεκάλυψαν ότι για την περιοχή της Μεσογείου ο δείκτης ΖΙ (Zonal Index) λαμβάνει αρνητικές τιμές τα τελευταία χρόνια κατά τους θερινούς μήνες κάτι το οποίο σημαίνει αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την Ευρώπη και έξαρση του Ασιατικού χαμηλού, συνθήκες που ευνοούν τους καύσωνες στην Ελλάδα. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Spanos et al. (2003). Ακόμη οι Maheras et al. (2000) αναφέρουν ότι η παρατηρούμενη μικρή αύξηση των καυσώνων στην Ελλάδα μπορεί να οφείλεται στη παρατηρούμενη μείωση της συχνότητας των τύπων κυκλοφορίας, που ευνοούν την εμφάνιση των ετησίων ανέμων.

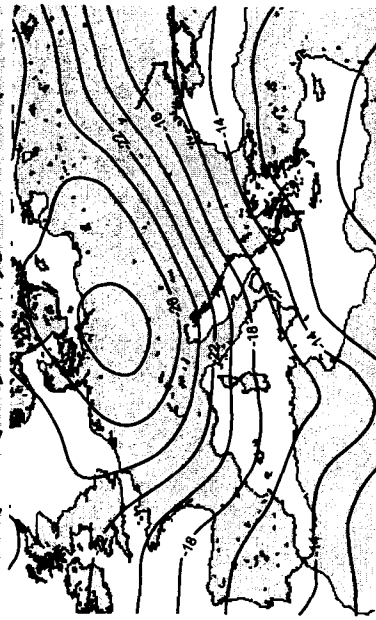
Οι Katsoulis and Hatzianastassiou (2005) καταλήγουν στο γενικό συμπέρασμα ότι η επέκταση του υποτροπικού κυκλώνα των Αζορών προς την δυτική και/ή την κεντρική Ευρώπη και/ή την κεντρική Μεσόγειο αποτελεί βασική αιτία της παρουσίας θερμών εισβολών στην Ελλάδα καθώς ευνοείται η μεταφορά θερμών αερίων μαζών από τη Βόρειο Αφρική αλλά και εξαιτίας της αδιαβατικής θέρμανσης των κατερχόμενων αερίων μαζών στις περιοχές που επικρατεί η αντικυκλωνική κυκλοφορία. Οι ίδιες συνοπτικές συνθήκες και αιτίες προκαλούν τα ΘΕ της 3ης και 5ης ομάδας.

Ο Kassomenos (2003a) κατηγοριοποιώντας συνοπτικές καταστάσεις πίεσης επιφανείας σε συνδυασμό με τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων στην περιοχή των Αθηνών, για θερινή περίοδο (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος), αποκάλυψε ότι η δεύτερη κατηγορία, που προέκυψε σε αυτή τη μελέτη, προκαλεί υψηλές θερμοκρασίες στην πόλη των Αθηνών με μέση μέγιστη θερμοκρασία 33.7°C. Σε μία άλλη μελέτη των Λώλης κ.α. (2004) από την κατηγοριοποίηση των συνοπτικών καταστάσεων της ατμοσφαιρικής πίεσης προέκυψαν για τη θερινή περίοδο 6 τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εκ των οποίων ο 3ος και ο 5ος τύπος είναι παρόμοιοι με τη δεύτερη κατηγορία συνοπτικών καταστάσεων της προηγούμενης μελέτης και ευνοούν υψηλές σχετικά θερμοκρασίες στην Αθήνα. Η συνοπτική κατάσταση αυτής της κατηγορίας είναι ίδια με τη συνοπτική κατάσταση που αντιστοιχεί στην 7η ομάδα (σχήμα 4.15) και παρόμοια με αυτές της Ημέρας Η της 3ης και 5ης ομάδας θερμών επεισοδίων (σχήματα 4.11 και 4.13), στις οποίες ανήκει η πλειοψηφία των θερμών επεισοδίων, που αφορούν την Αθήνα (σχήμα 4.16). Επιπροσθέτως ο τύπος της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί στην 5η ομάδα περιγράφεται και από τους Kassomenos et al. (1998) ως θερινός τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και οι Mihalakakou et al. (2002) τον συσχετίζουν με το φαινόμενο της θερμικής νησίδας στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής κατά τη θερινή περίοδο. Οι Anagnostopoulou et al. (2003) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι μεγάλης διάρκειας καύσωνες κυρίως στη νότιο Ελλάδα οφείλονται στις συνθήκες ευστάθειας και στην αδιαβατική θέρμανση αερίων μαζών, όπως προτείνουν και οι Brikas et al. (2006), εξαιτίας της επέκτασης του αντικυκλώνα των Αζορών στην περιοχή της Μεσογείου. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει στην παρούσα διατριβή κι από τη μελέτη των τύπων της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχούν στην 5η και 7η ομάδα θερμών επεισοδίων, στις οποίες εντάσσονται επεισόδια μεγάλης γενικά διάρκειας συμπεριλαμβανομένων των δύο μεγαλύτερης διάρκειας επεισοδίων 17 και 20 ημερών, και που όπως φαίνεται στο σχήμα 4.16 επηρεάζουν περισσότερο τη νότιο Ελλάδα (Αθήνα, Ανδραβίδα, Τρίπολη, Ρόδο, Ηράκλειο, Ιεράπετρα). Τέλος, οι Karacostas et al. (1992) σε μία μελέτη, που αφορούσε την εξεύρεση τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στη μέση τροπόςφαιρα πάνω από την ανατολική Μεσόγειο, καταλήγουν σε 10 τύπους εκ των οποίων τρεις αφορούν κυρίως τη θερινή περίοδο του έτους, και ένας από αυτούς παρουσιάζει ομοιότητες με τους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της 3ης, 5ης και 7ης ομάδας θερμών επεισοδίων οι οποίες είναι και οι πολυπληθέστερες.

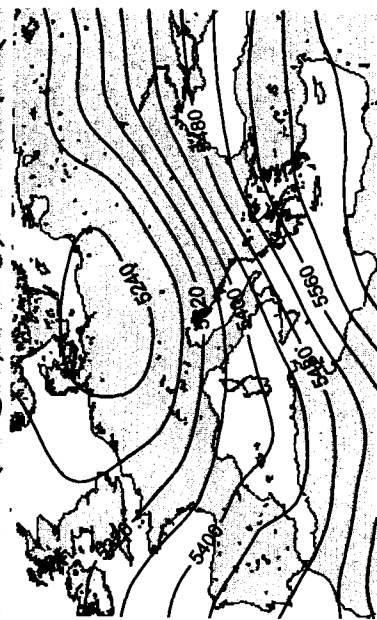
Ημέρα Η-1



Υψόμετρο 500hPa



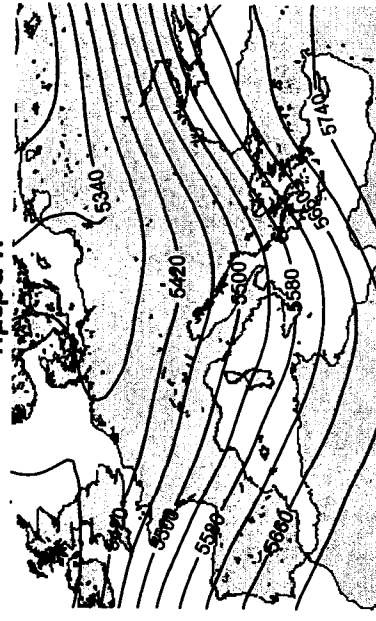
Επιρροκαρπία 500hPa



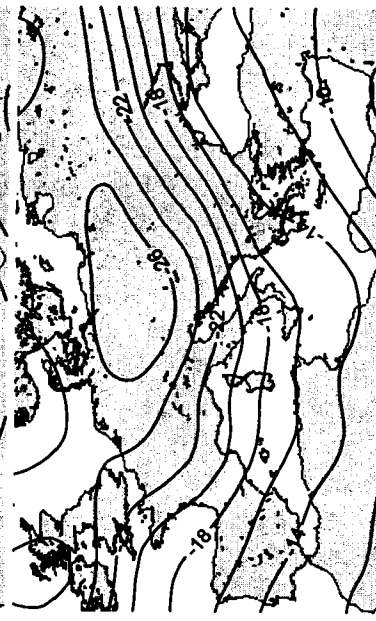
Πάχος 1000-500hPa

1η Ομάδα

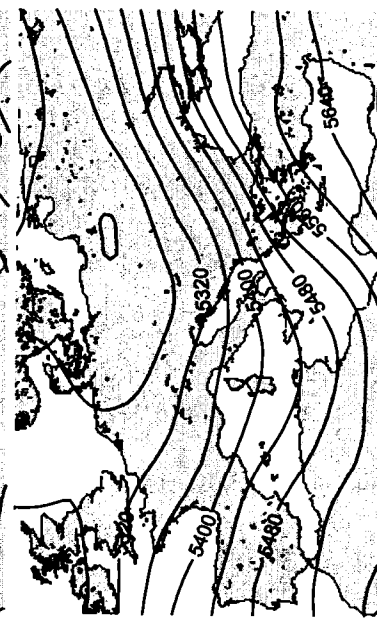
Ημέρα Η



Υψόμετρο 500hPa

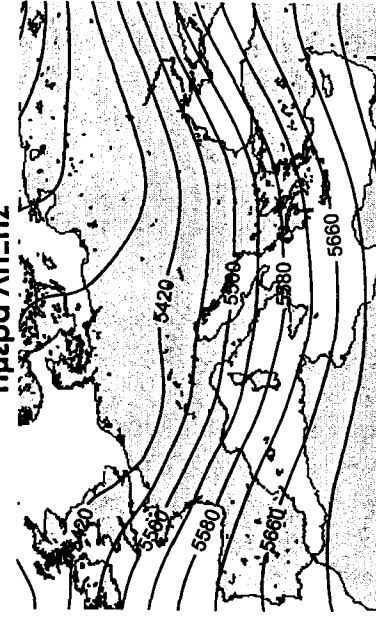


Επιρροκαρπία 500hPa

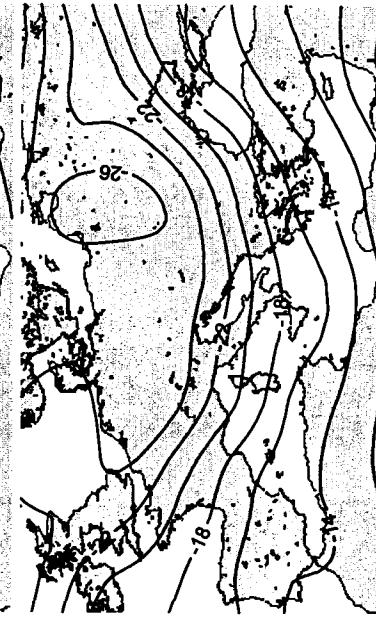


Πάχος 1000-500hPa

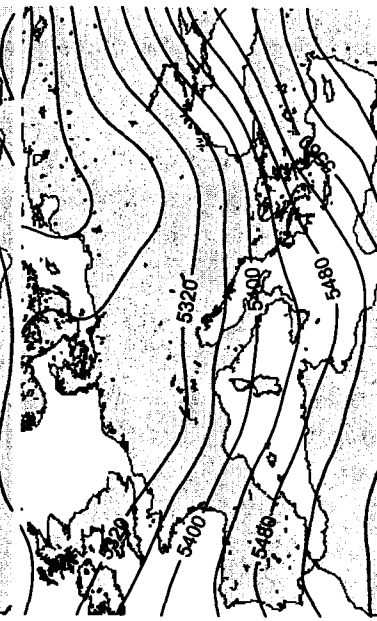
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



Υψόμετρο 500hPa

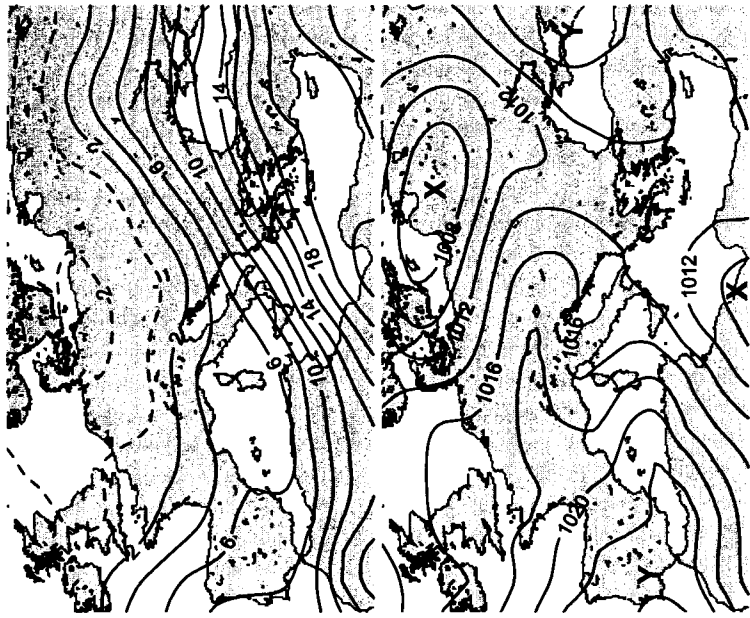


Επιρροκαρπία 500hPa

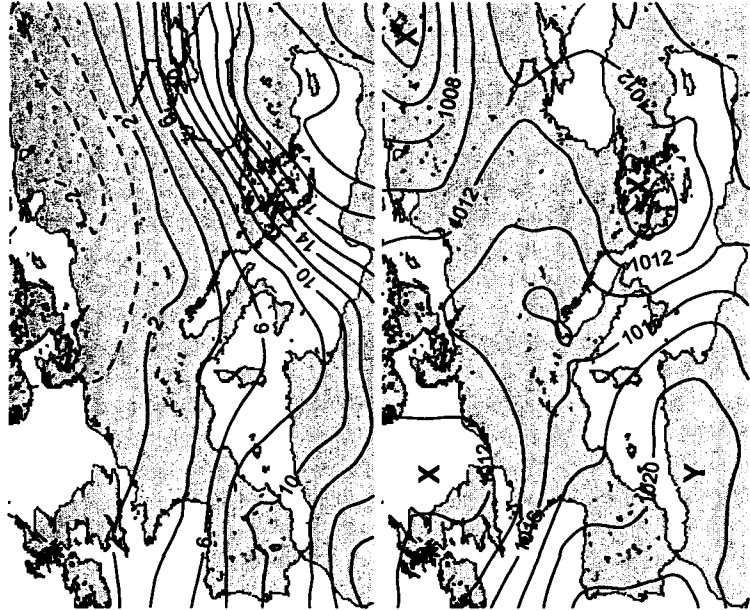


Πάχος 1000-500hPa

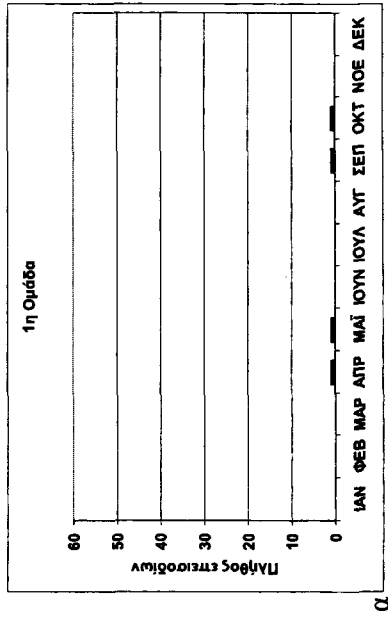
Σχήμα 4.9 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



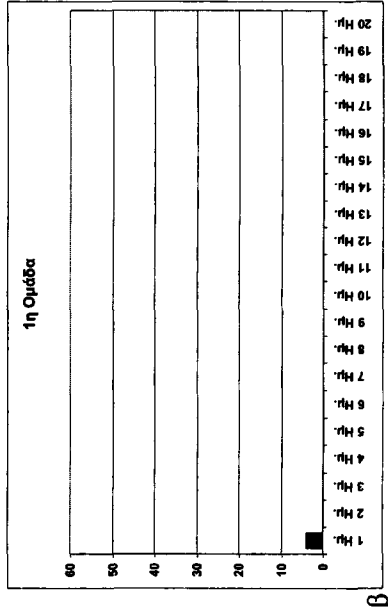
Επιχρυσία 850hPa



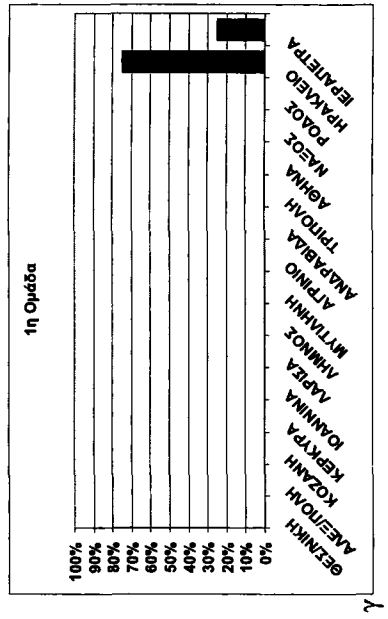
Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ



α)



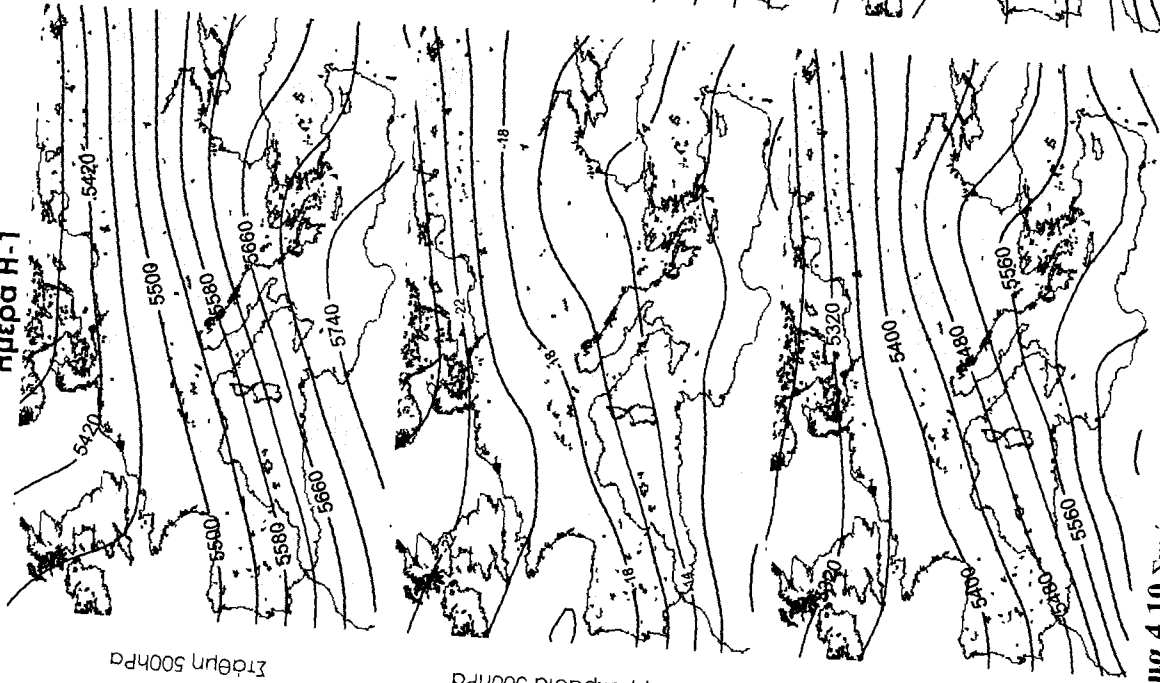
β)



γ)

Σχήμα 4.9 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα ΔΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 1° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα θερμά επεισόδια της 1ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκτησαν τα επεισόδια της 1ης Ομάδας.

Ημέρα Η-1



2^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

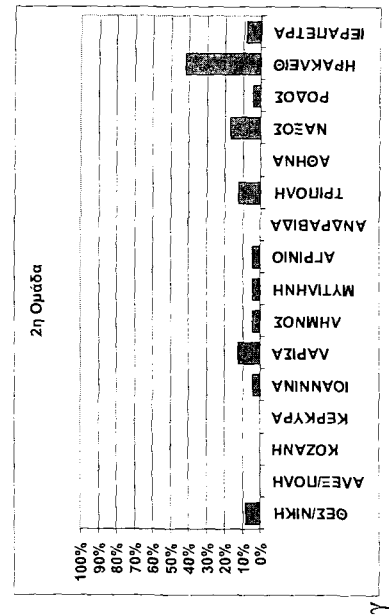
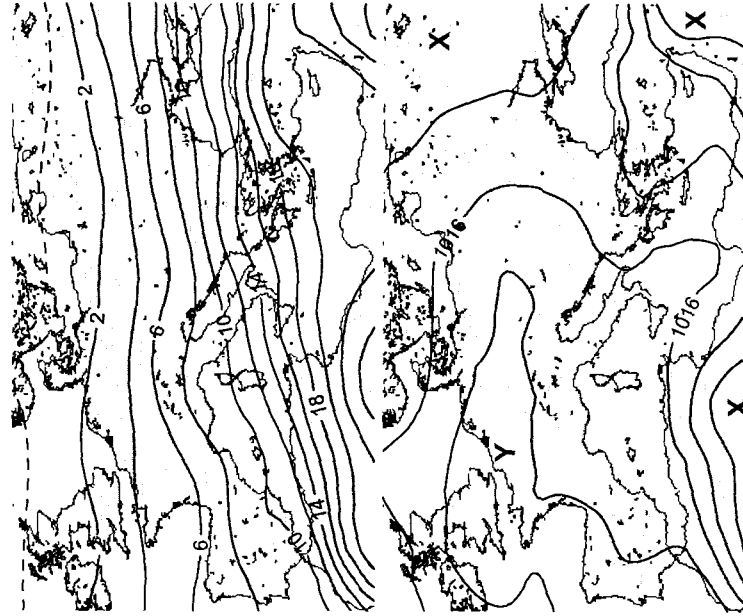
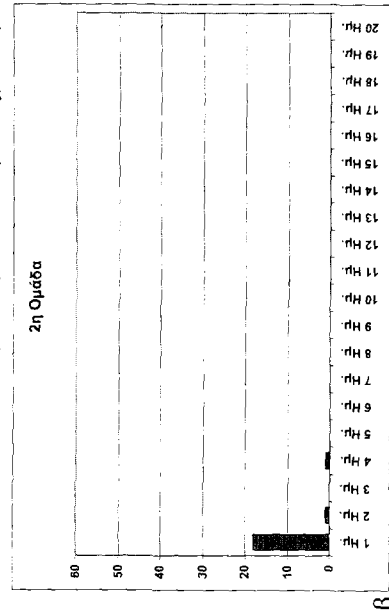
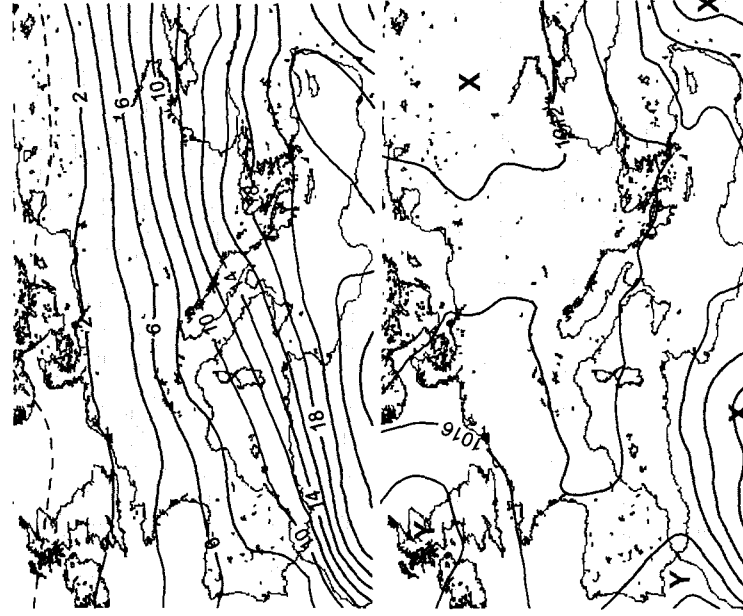
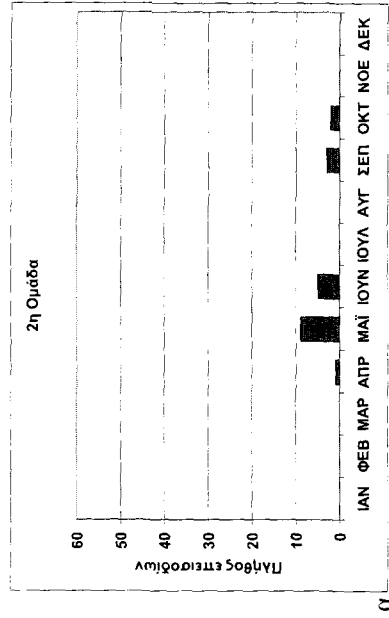
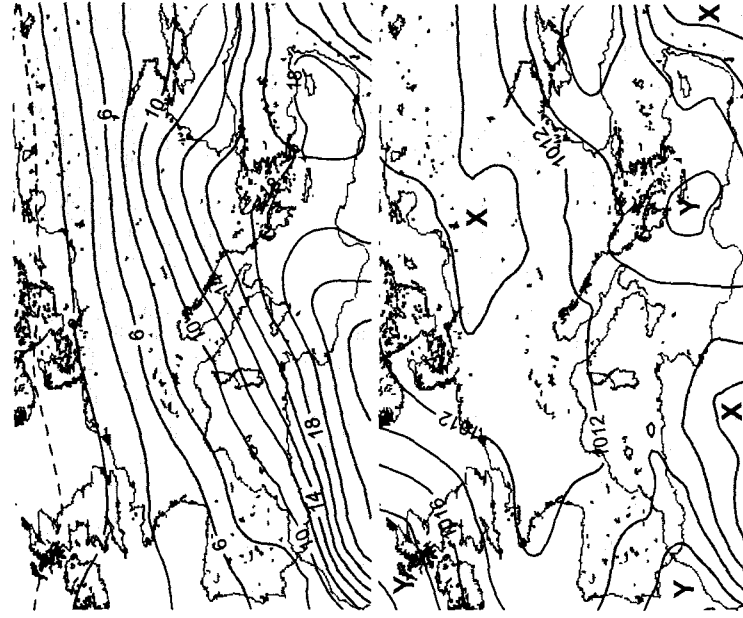


Ίσχύει 500hp

Επιβάρα 500hp

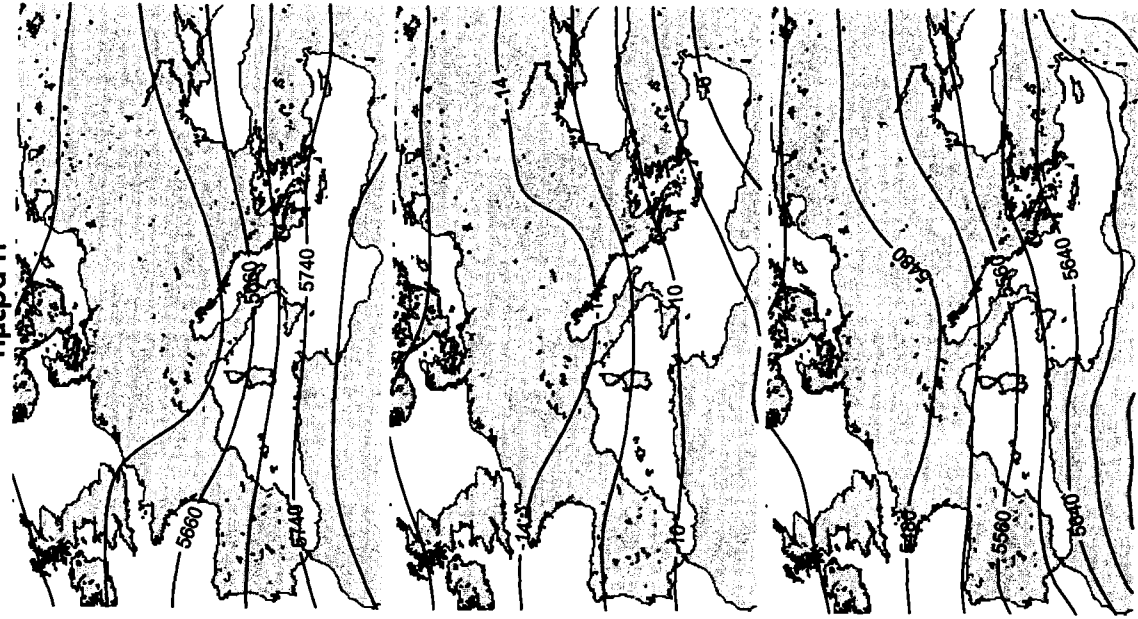
Πόρος 1000-500hp

Σχήμα 4.10 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

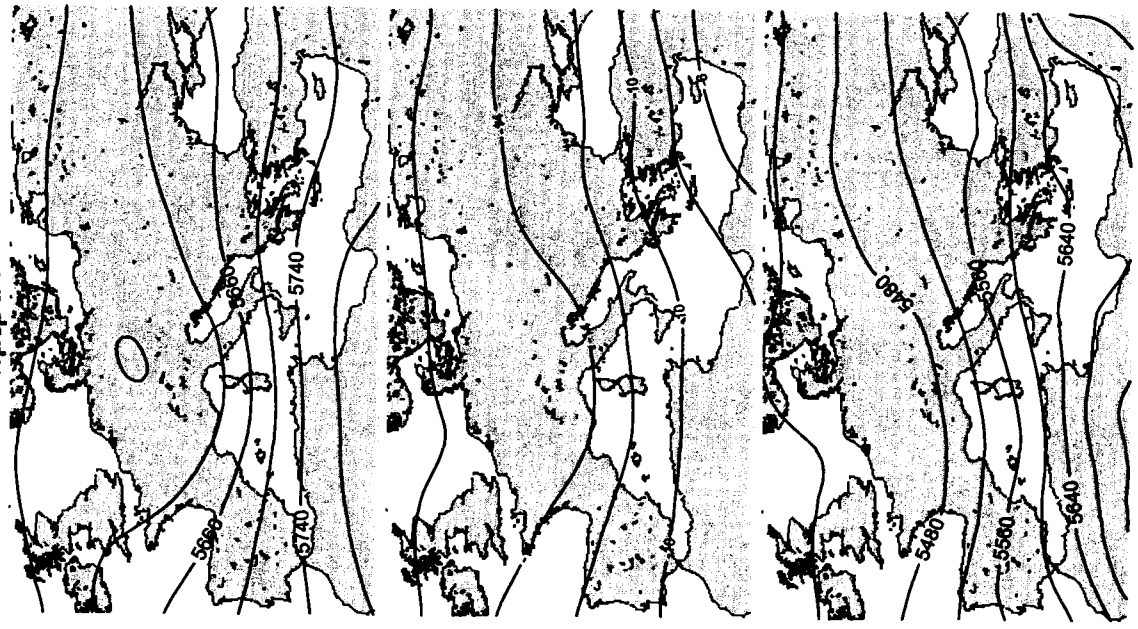


Σχήμα 4.10 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δέχονται τον 2° κύριο τύπο της εξέλιξης της αμμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα θερμά επεισόδια της 2ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκτησαν τα επεισόδια της 2ης Ομάδας.

3η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

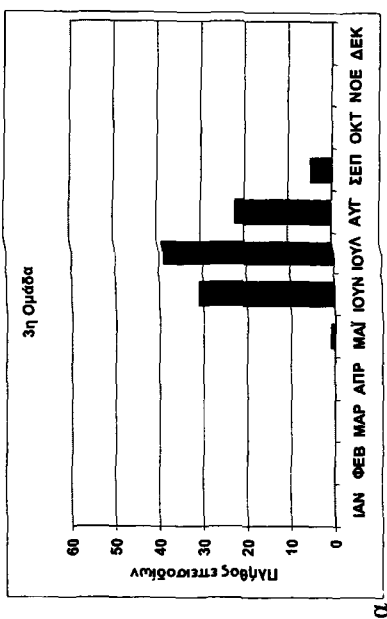
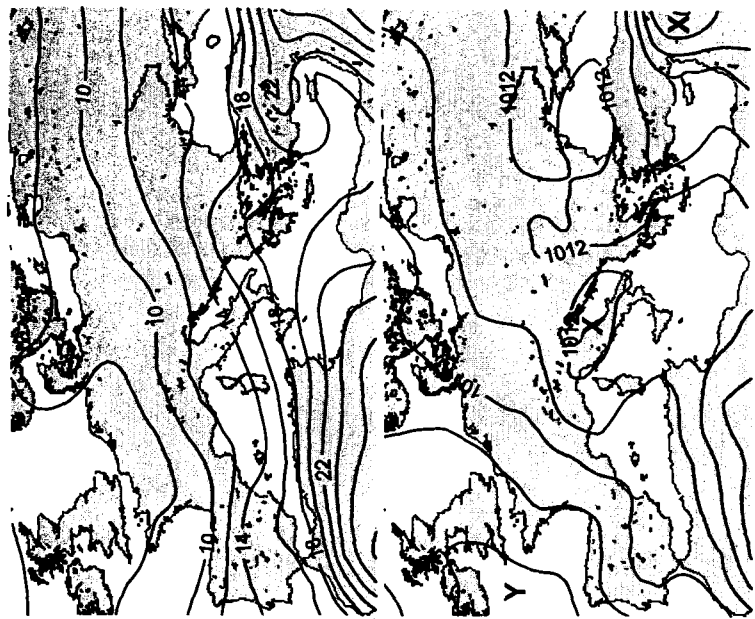


Στάθμη 500hPa

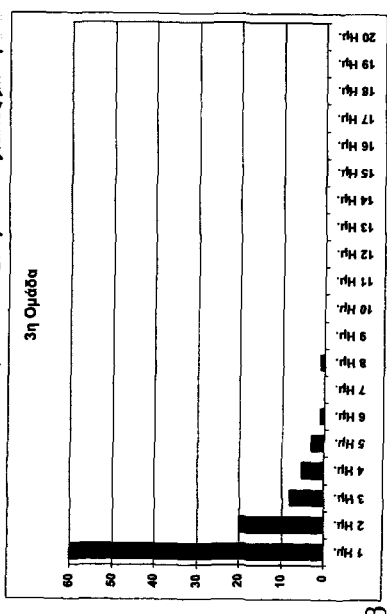
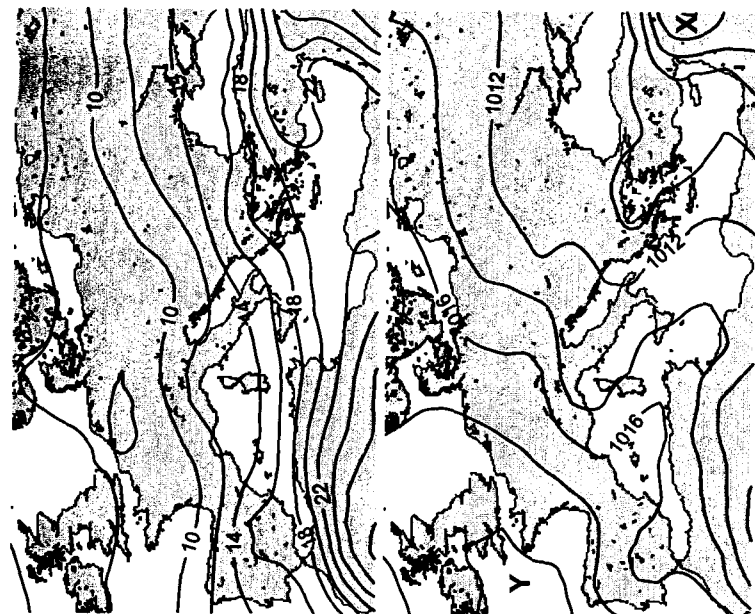
Θερμοκρασία 500hPa

Πίεση 1000-500hPa

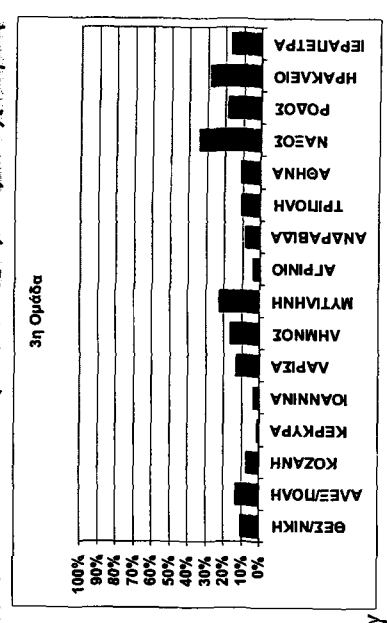
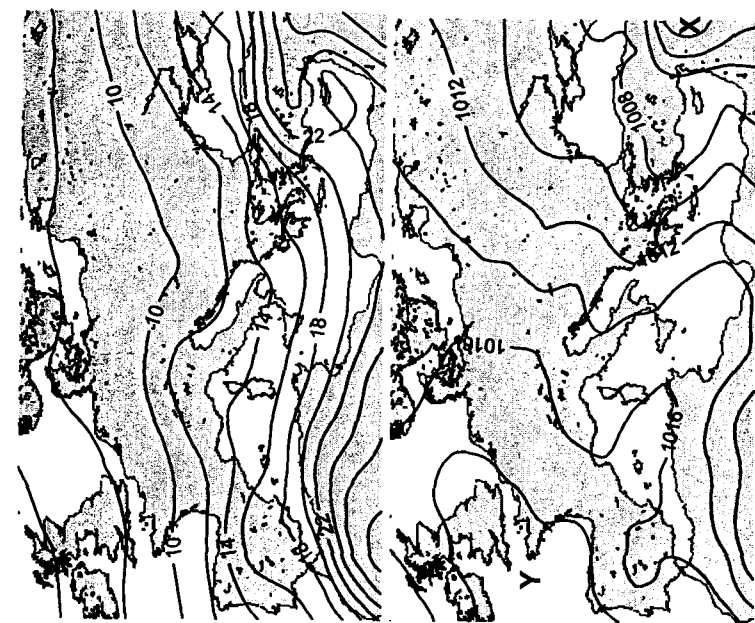
Σχήμα 4.11 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.



α)



β)



γ)

Σχήμα 4.11 Μέσον γάρτες για κάθε μια από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα ΔΙΕΗΣ, που δείχνουν τον 3^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα θερμά επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρτησαν τα επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας.

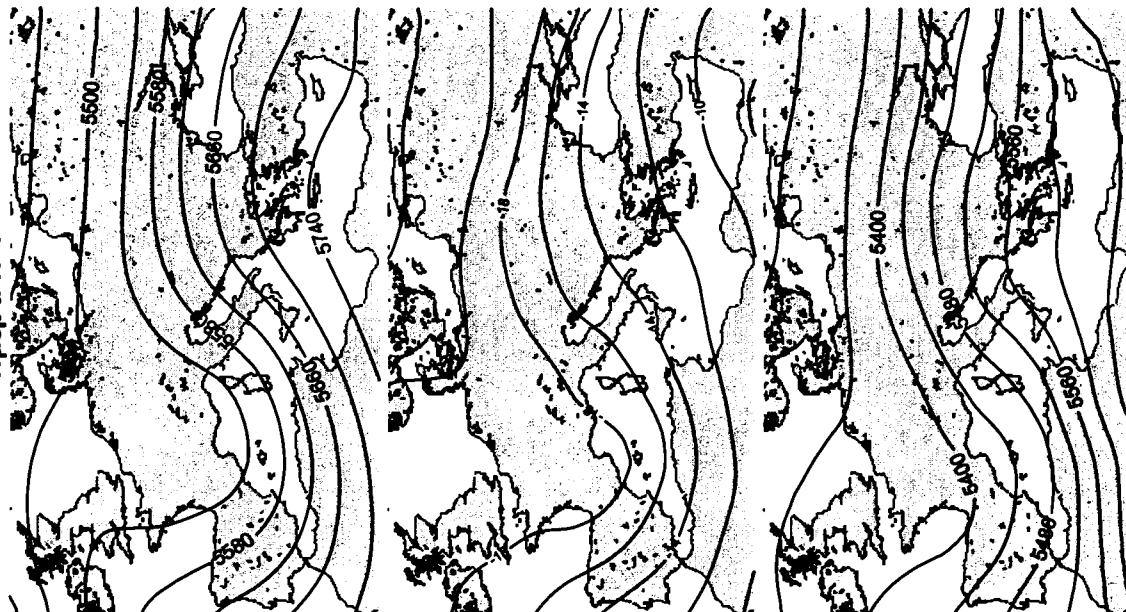
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



4η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

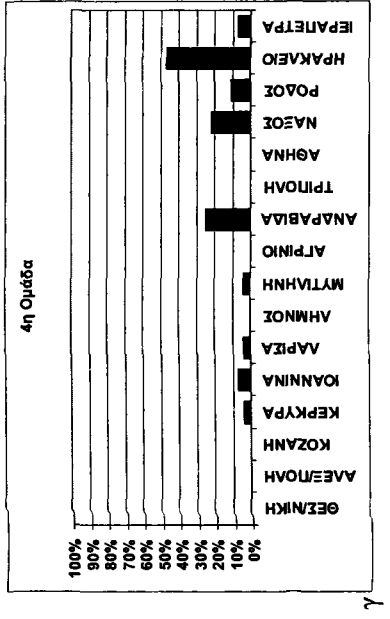
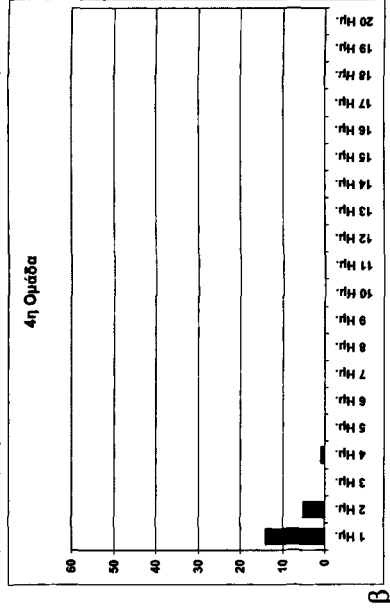
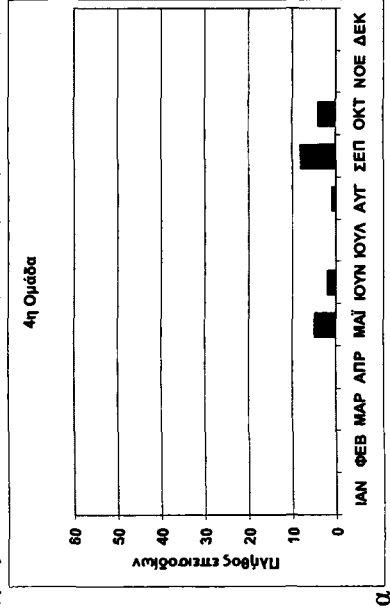
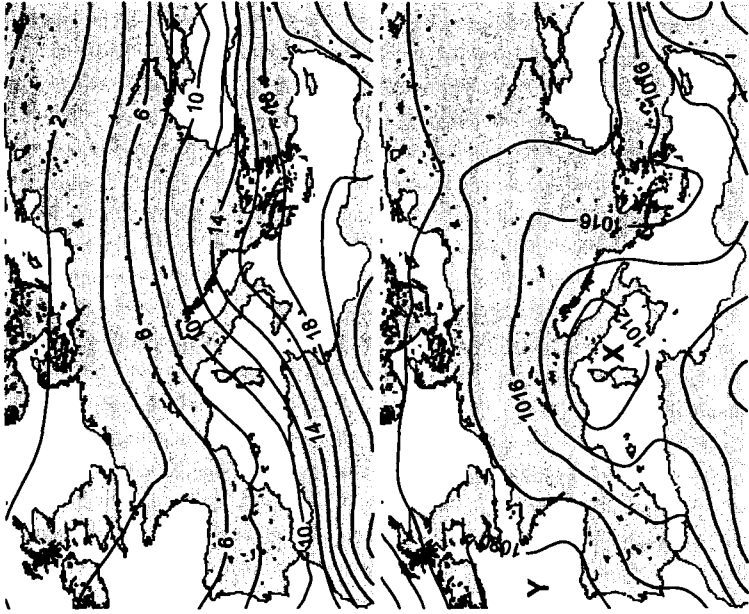


Πάχος 500hPa

Επιγκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 4.12 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Σχήμα 4.12 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, για την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δέχνουν τον 4^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα θερμά επεισόδια της 4^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκτησαν τα επεισόδια της 4^{ης} Ομάδας.

Ημέρα ΛΗΞΗΣ



5η Ομάδα

Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



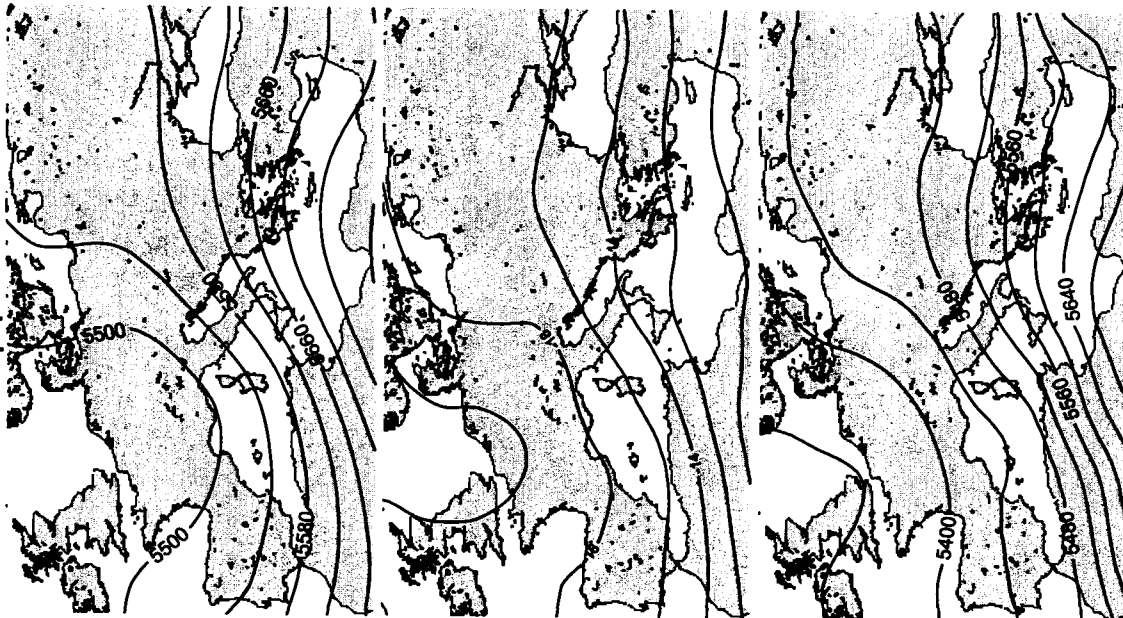
Ίσθμιο 500hPa

Επιμπασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 4.13 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

Ημέρα Η-1



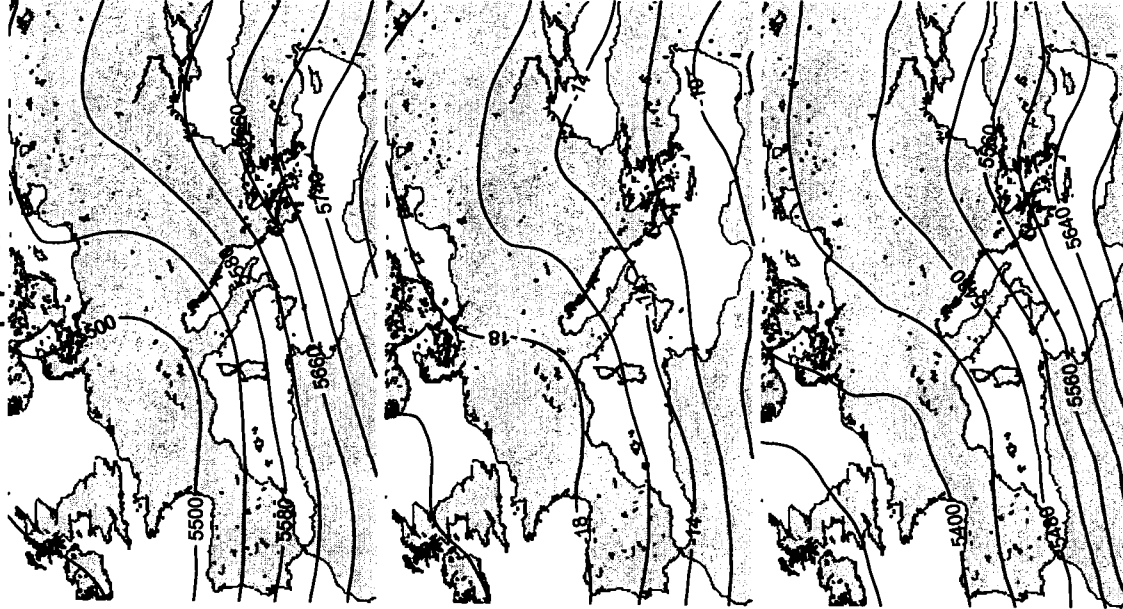
Ισόβαρη 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

Πλάγας 1000-500hPa

6η Ομάδα

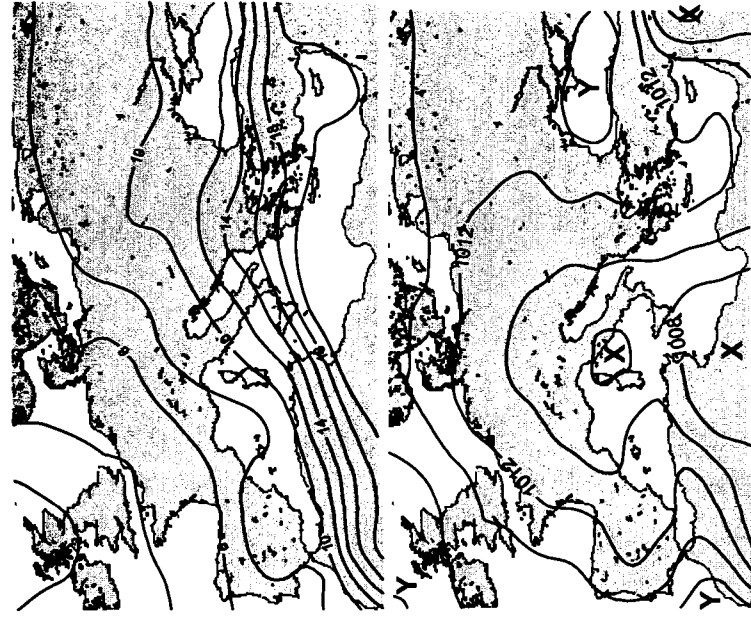
Ημέρα Η



Ημέρα ΛΗΞΗΣ



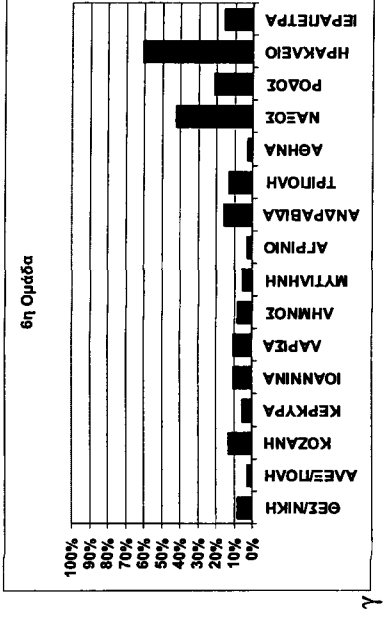
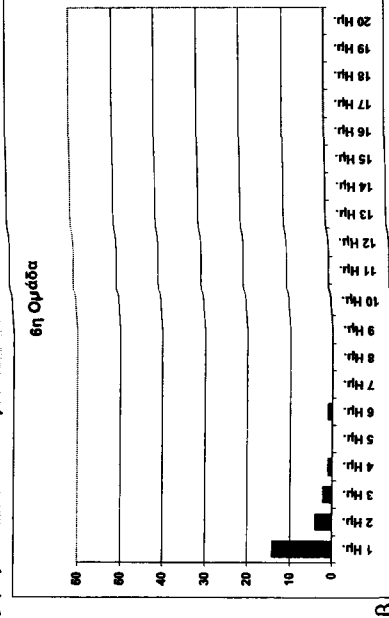
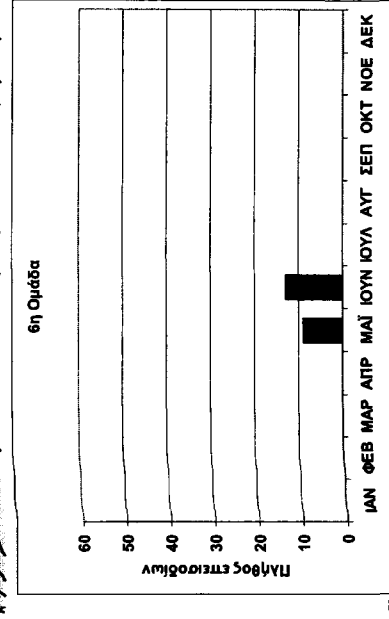
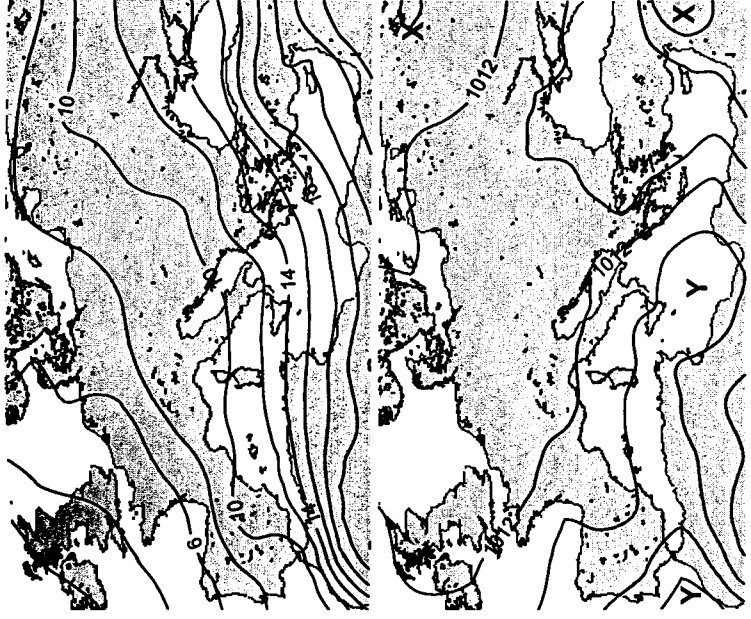
Σχήμα 4.14 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιλεκτά 850hp

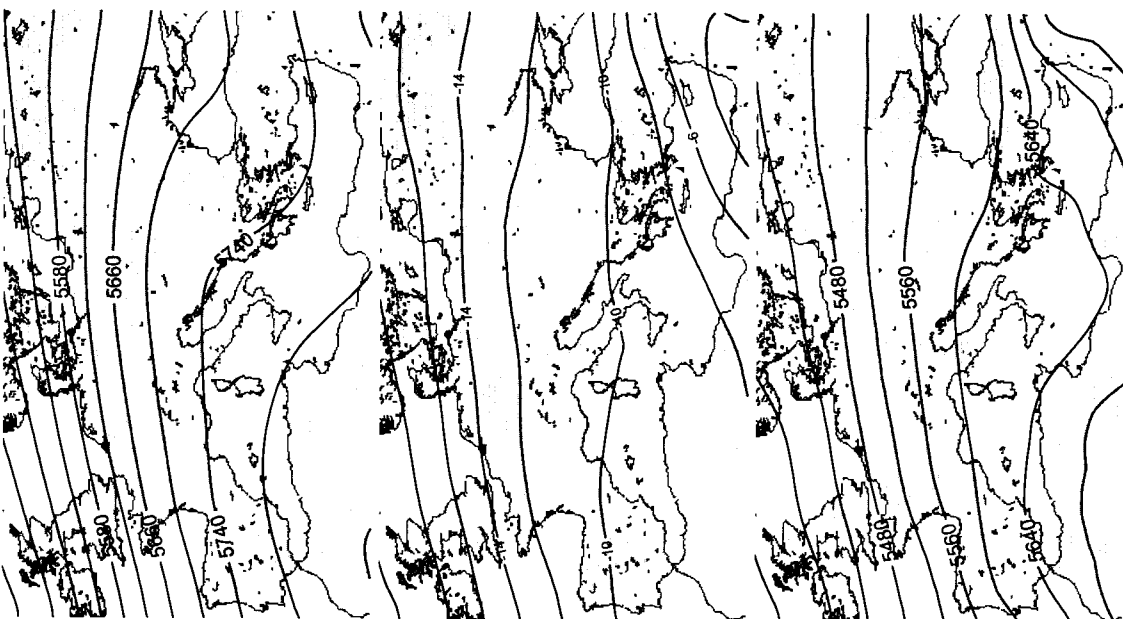


Ατμοσφαιρική πίεση M2



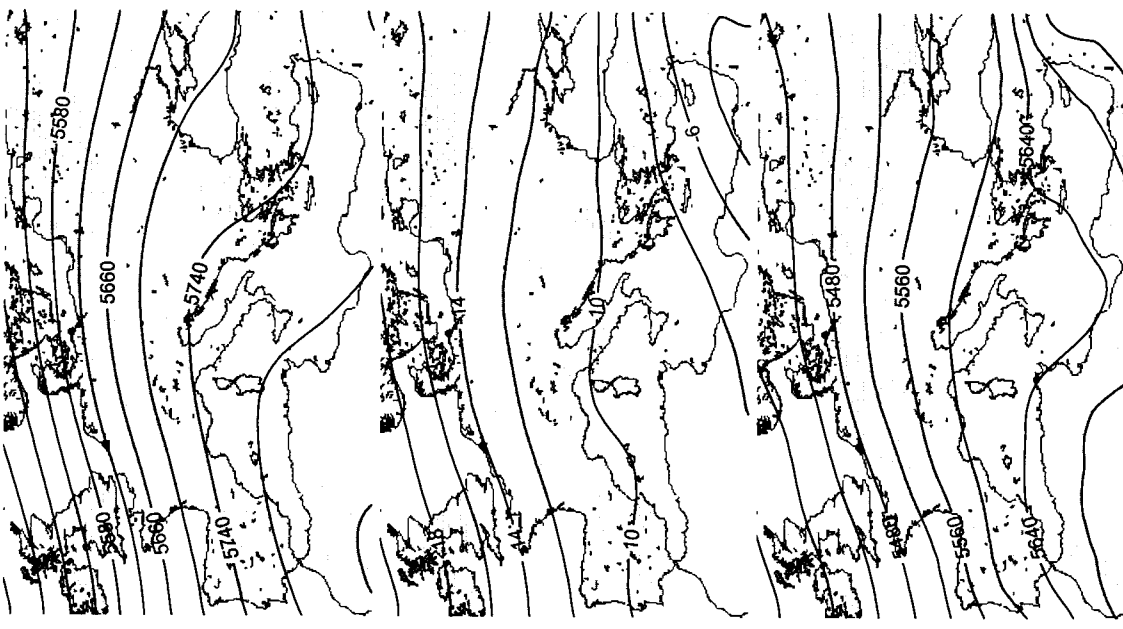
Σχήμα 4.14 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον δ° κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα θερμά επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των θερμών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρτησαν τα επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



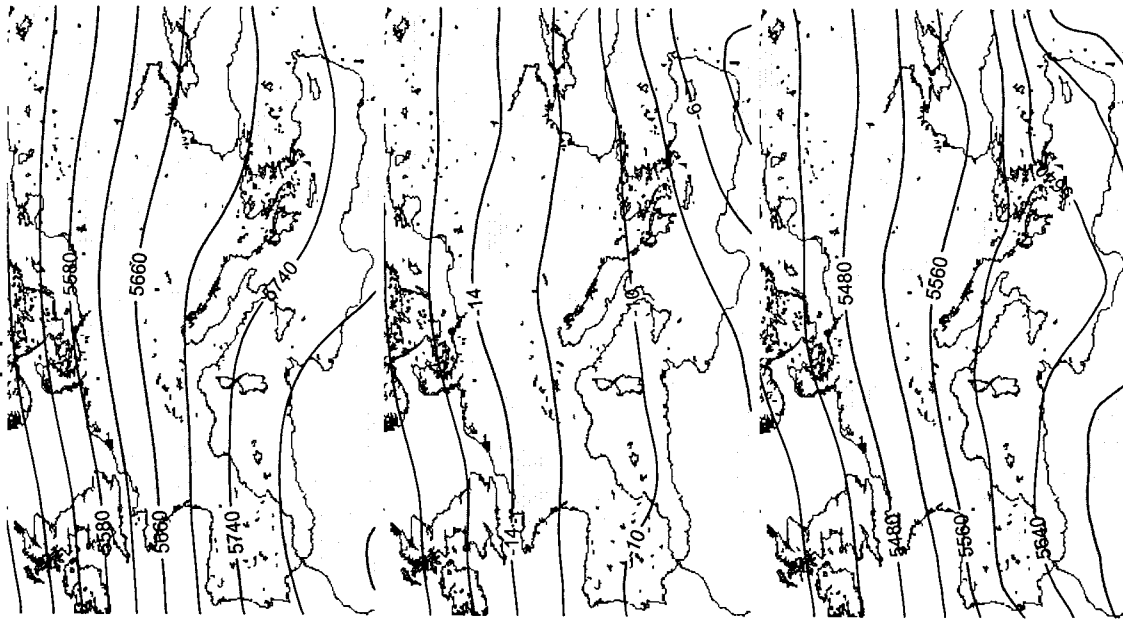
Υψόμετρο 500hPa

7η Ομάδα
Ημέρα Η



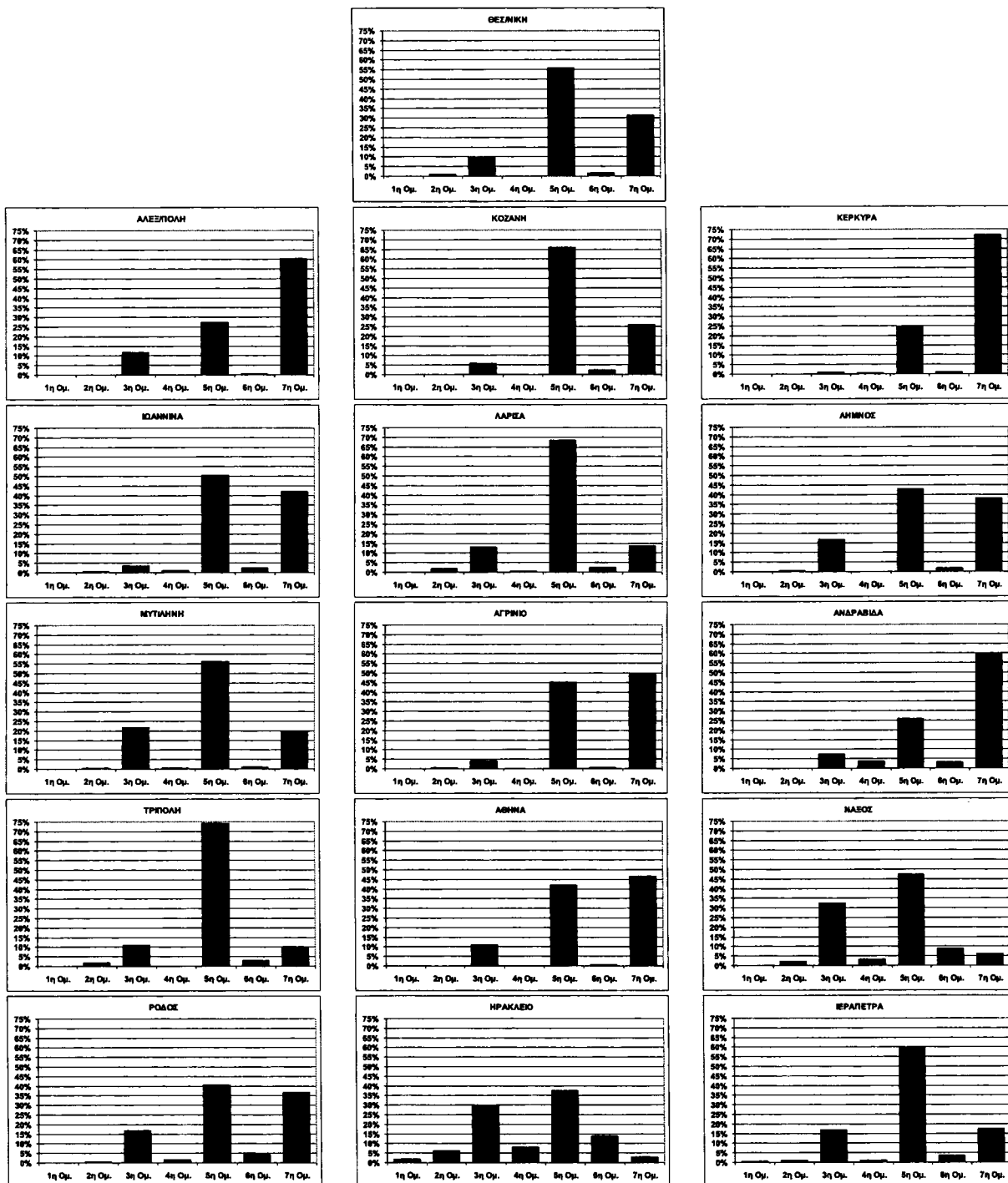
Θερμοκρασία 500hPa

Ημέρα ΛΗΕΗΣ

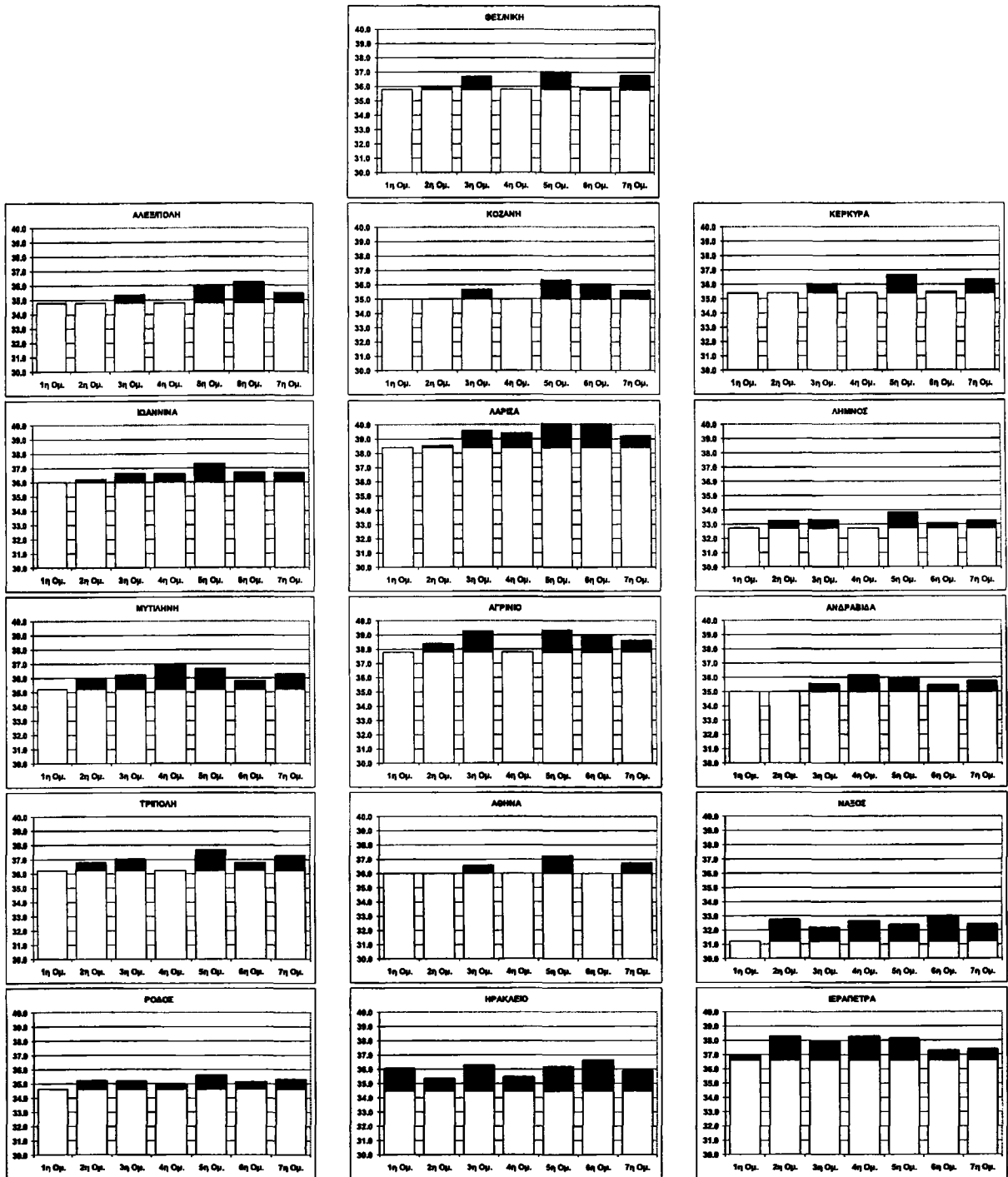


Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 4.15 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

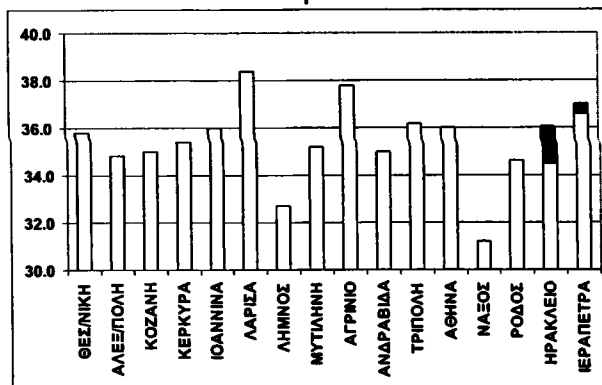


Σχήμα 4.16 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό η ποσοστιαία κατανομή στις ομάδες των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραία ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία στο σταθμό.

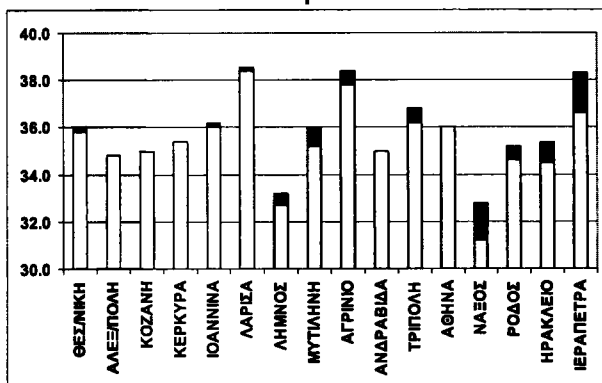


Σχήμα 4.17 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό παρουσιάζεται με τις έγχρωμες στήλες η μέση μέγιστη θερμοκρασία για τις θερμές ημέρες της κάθε ομάδας και με τις λευκές το όριο του 99% της κατανομής των μεγίστων θερμοκρασιών. Στον κατακόρυφο άξονα είναι η θερμοκρασία σε °C.

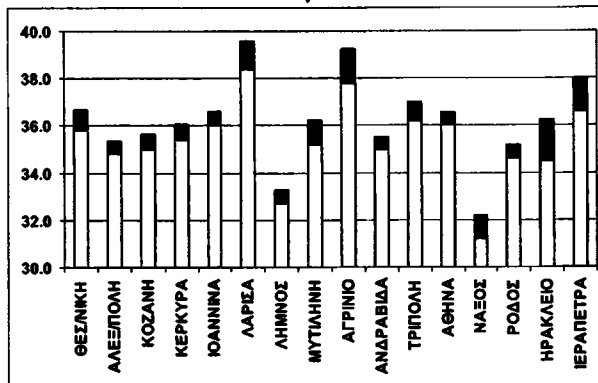
1^η Ομάδα



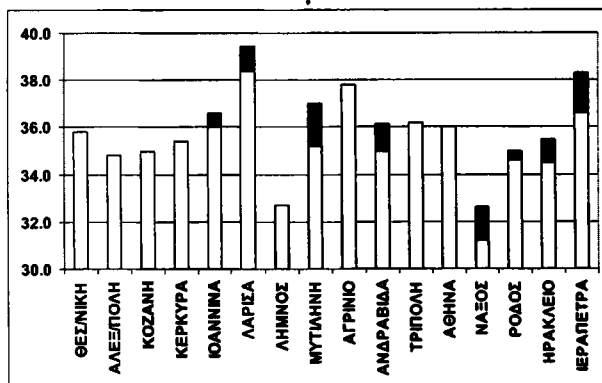
2^η Ομάδα



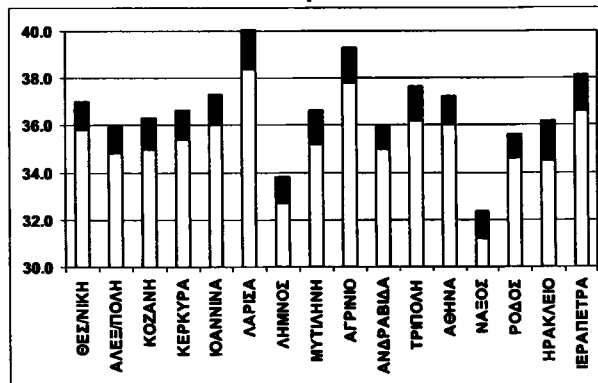
3^η Ομάδα



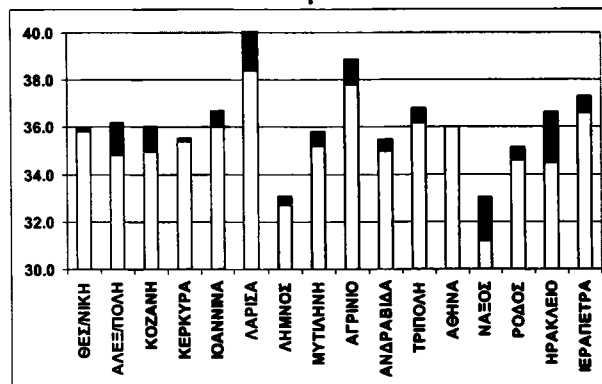
4^η Ομάδα



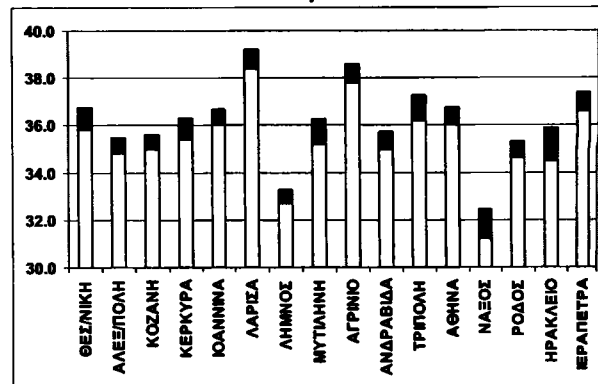
5^η Ομάδα



6^η Ομάδα



7^η Ομάδα



Σχήμα 4.18 Για κάθε ομάδα επεισοδίων και για κάθε σταθμό παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα η διαφορά της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας, για τις ημέρες των επεισοδίων της ομάδας, από το όριο του 99% της κατανομής των μεγίστων θερμοκρασιών για κάθε ΜΣ. Στον κατακόρυφο άξονα είναι η θερμοκρασία σε °C.

4.3. Ψυχρά Επεισόδια (ΨΕ)

4.3.1. Γενικά Χαρακτηριστικά Ψυχρών Επεισοδίων

Από τις χρονοσειρές της ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας καταγεγραμμένης στις 12:00UTC για κάθε έναν από τους 16 ΜΣ στην Ελλάδα καθορίζονται τα όρια του 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών, τα οποία φαίνονται στον πίνακα 4.2. Στις νότιες ηπειρωτικές περιοχές το όριο είναι από 3.0°C έως 4.5°C περίπου, ενώ στις ηπειρωτικές και τις βόρειες περιοχές είναι από -5.0°C έως -6.5°C περίπου. Σε παράκτιες περιοχές το όριο του 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών είναι περίπου από -1.0°C έως 1.0°C. Η μικρότερη απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία έχει σημειωθεί στη Λάρισα και ήταν -21.6°C. Στη συνέχεια εντοπίζονται οι ημερομηνίες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό η ελάχιστη θερμοκρασία δεν ξεπερνούσε το όριο του 1% της κατανομής στον ΜΣ και αυτές οι ημέρες χαρακτηρίζονται ως ψυχρές ημέρες. Διαπιστώθηκε ότι για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002 το πλήθος αυτών των ημερών ήταν 862 ημέρες.

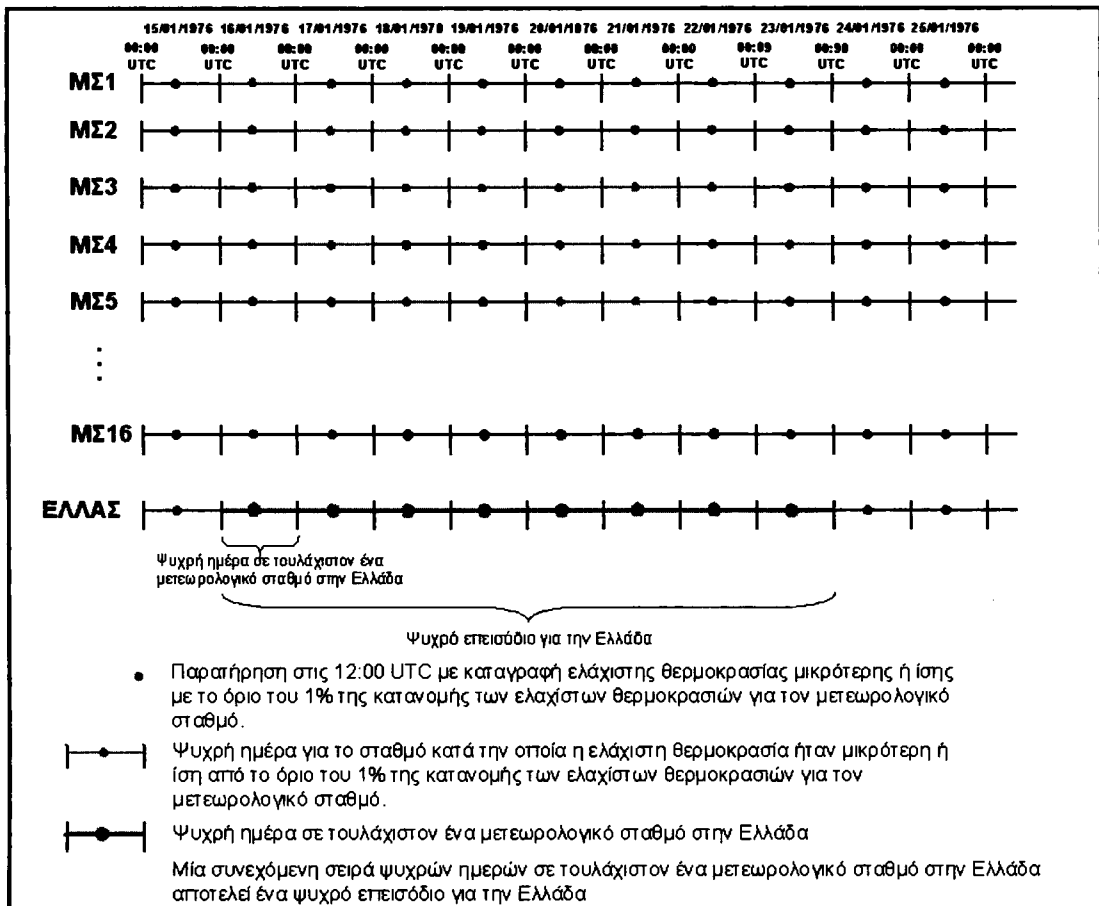
Ως ψυχρό επεισόδιο (ΨΕ) ορίζεται κάθε περίπτωση συνεχόμενων ημερών, κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα ΜΣ η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία δεν ξεπέρασε το αντίστοιχο όριο του ΜΣ. Στο σχήμα 4.19 παρουσιάζεται μία επεξηγηματική γραφική αναπαράσταση του τρόπου ορισμού των ψυχρών επεισοδίων. Προκύπτουν 356 ΨΕ των οποίων η ετήσια διακύμανση με βάση το υδρολογικό έτος (από 1 Σεπτεμβρίου ενός έτους έως 31 Αυγούστου του επόμενου έτους) παρουσιάζεται στο σχήμα 4.20. Το ετήσιο πλήθος των ψυχρών επεισοδίων βρέθηκε ότι δεν εμφανίζει κάποια στατιστικά σημαντική τάση (test Mann-Kendall). Στο σχήμα 4.21, όπου παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων σε σχέση με τη διάρκειά τους, φαίνεται ότι κατά την περίοδο 1993 έως 2001 τα επεισόδια ήταν λίγα σε κάθε έτος, εκτός από τη χρονιά 1999-2000 και η διάρκειά τους ήταν μικρή καθώς σε κανένα έτος δεν ξεπέρασε τις 4 ημέρες. Για τα ψυχρά επεισόδια και τα επόμενα είδη επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων χρησιμοποιείται ως βάση το υδρολογικό έτος καθώς η μέγιστη συχνότητα εμφάνισής τους παρουσιάζεται κατά τη χειμερινή περίοδο. Πολλά επεισόδια έχουν ημέρα έναρξης μία από τις τελευταίες ενός ημερολογιακού έτους και λήγουν κάποια ημέρα του επόμενου ημερολογιακού έτους. Επομένως η χρήση του υδρολογικού έτους κρίνεται καταλληλότερη.

Η μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων για την περίοδο 1957-2002 (σχήμα 4.22) παρουσιάζει ένα μέγιστο το μήνα Ιανουάριο, ενώ η περίοδος των ψυχρών επεισοδίων ξεκινά το μήνα Νοέμβριο και φτάνει μέχρι το μήνα Απρίλιο. Η διάρκεια των ψυχρών επεισοδίων φτάνει μέχρι τις 13 ημέρες, ενώ η πλειοψηφία τους δεν ξεπερνά τις 2 ημέρες (σχήμα 4.23). Στο σχήμα 4.24 είναι εμφανές ότι τα επεισόδια μεγάλης διάρκειας 5 ημερών και άνω συμβαίνουν κατά τους τρεις χειμερινούς μήνες. Το μήνα Ιανουάριο φαίνεται να συμβαίνουν τα ψυχρά επεισόδια πολύ μεγάλης διάρκειας 10 ημερών και άνω. Τα επεισόδια μικρής διάρκειας έως δύο ημερών παρουσιάζουν μέγιστο αριθμό εμφάνισης κατά το τελευταίο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου και κατά το πρώτο δεκαήμερο του Ιανουαρίου (σχήμα 4.25).

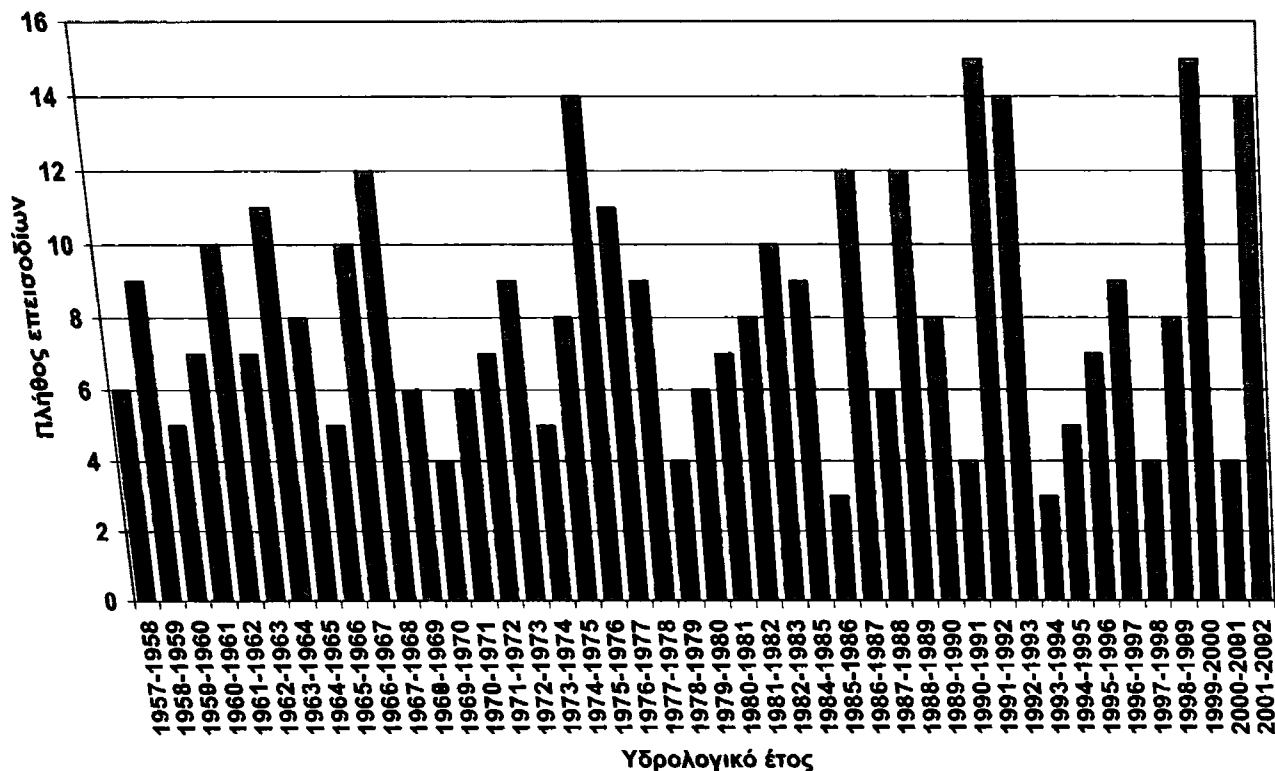
Το επεισόδιο με τη μεγαλύτερη διάρκεια 13 ημερών ξεκίνησε στις 5/1/1990 και έληξε στις 17/1/1990. Κατά τη διάρκειά του καταγράφηκαν ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες σε όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ηπειρωτικής Ελλάδας καθώς και στο μετεωρολογικό σταθμό της Λήμνου. Τις τελευταίες ημέρες του επεισοδίου το δριμύ ψύχος είχε περιοριστεί στην νότιο ηπειρωτική Ελλάδα.

Πίνακας 4.2 Τα όρια του 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών σε κάθε ένα από τους 16 Μετεωρολογικούς Σταθμούς στην Ελλάδα για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002. Ακόμη το πλήθος των ημερών κατά τις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία δεν ξεπέρασε ή ήταν ίση με το όριο σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό, η απολύτως μέγιστη και η απολύτως ελάχιστη των ελαχίστων θερμοκρασιών για κάθε ΜΣ για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο.

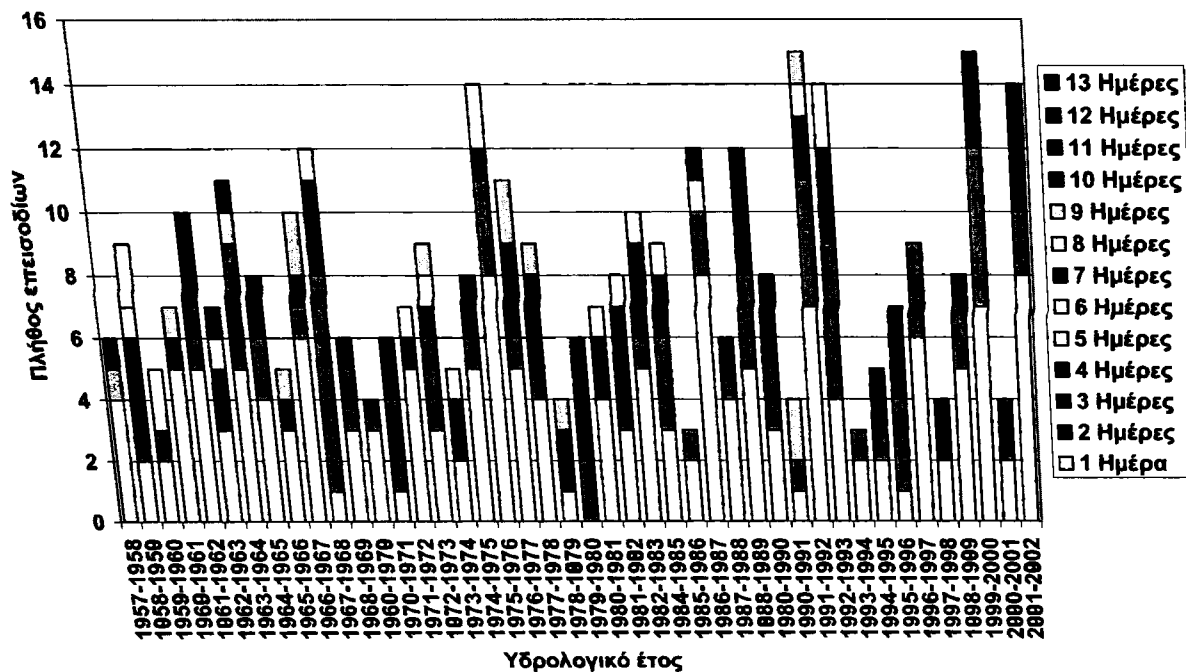
Κωδικός ΜΣ	Μετεωρολογικός Σταθμός	Όριο (1%)	Πλήθος Ημερών	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
622	Θεσσαλονίκη	-5.2	172	27.8	-14.0
627	Αλεξανδρούπολη	-6.2	177	28.4	-14.0
632	Κοζάνη	-8.0	183	25.8	-16.8
641	Κέρκυρα	-1.2	169	26.4	-4.6
642	Ιωάννινα	-6.6	165	26.4	-13.0
648	Λάρισα	-6.4	168	26.6	-21.6
650	Λήμνος	-1.5	166	27.2	-6.5
667	Μυτιλήνη	1.0	185	29.8	-4.4
672	Αγρίνιο	-3.2	179	24.6	-7.8
682	Ανδραβίδα	-1.2	175	26.0	-5.0
710	Τρίπολη	-6.2	170	27.0	-17.0
716	Αθήνα	1.4	167	29.6	-3.2
732	Νάξος	4.6	173	28.0	-1.0
749	Ρόδος	3.2	170	30.8	-4.0
754	Ηράκλειο	4.6	171	29.6	0.2
756	Ιεράπετρα	4.1	165	32.0	0.0



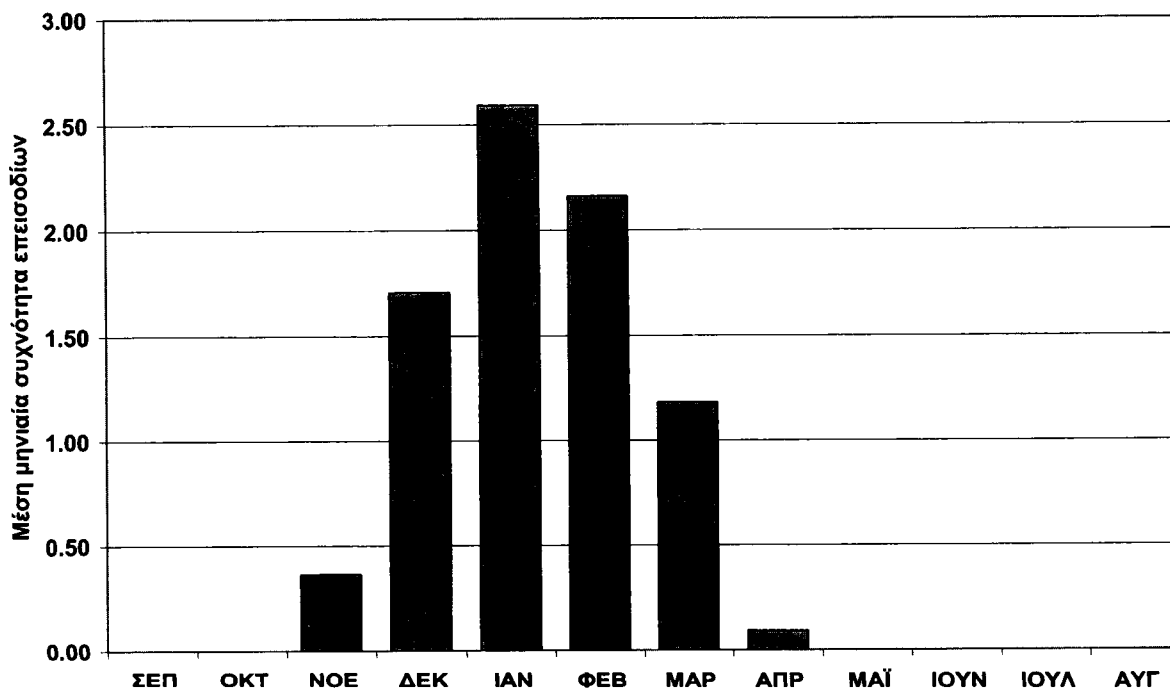
Σχήμα 4.19 Σχηματική αναπαράσταση του ορισμού των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα.



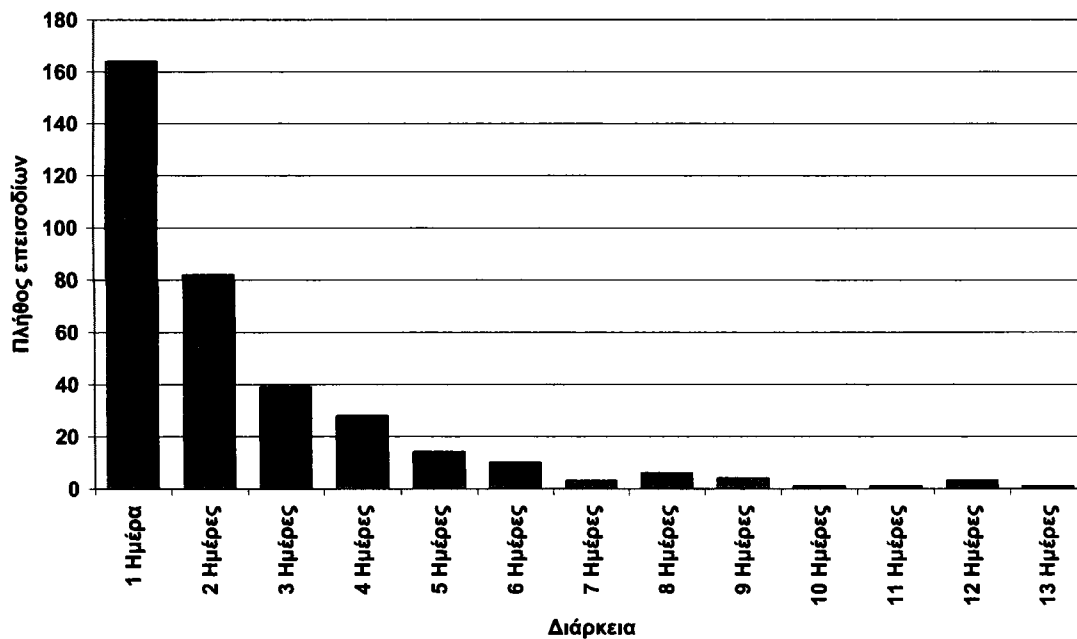
Σχήμα 4.20 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος..



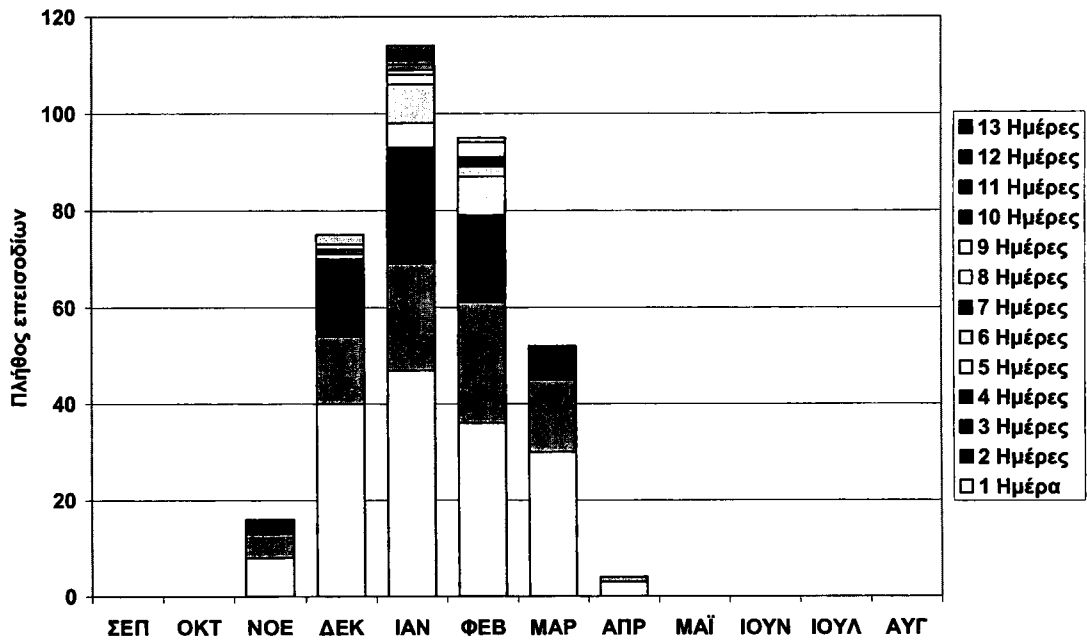
Σχήμα 4.21 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



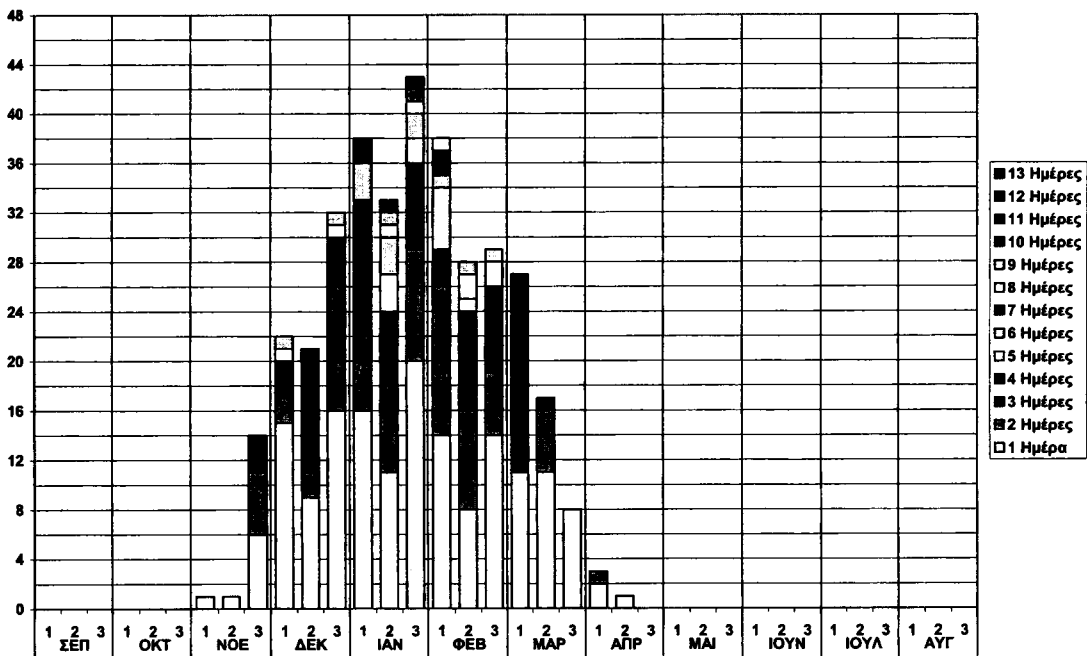
Σχήμα 4.22 Η μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου.



Σχήμα 4.23 Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ως προς τη διάρκειά τους.



Σχήμα 4.24 Ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 4.25 Ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα για την περίοδο 1957-2002, ανά δεκαήμερο, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.

4.3.2. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Ψυχρά Επεισόδια

Για κάθε ένα από τα ψυχρά επεισόδια, ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα του ECMWF λαμβάνουμε τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας της στάθμης των 850hPa, της θερμοκρασίας της στάθμης των 500hPa, του γεωδυναμικού ύψους της στάθμης των 500hPa και του πάχους στρώματος 1000-500hPa, στις 06:00UTC μία ημέρα πριν την έναρξη κάθε επεισοδίου (Ημέρα H-1), την ημέρα έναρξης του κάθε επεισοδίου (Ημέρα H) και μία ημέρα μετά τη λήξη του κάθε επεισοδίου (Ημέρα ΛΗΞΗΣ). Δημιουργούνται έτσι τρεις πίνακες 1365 στηλών και 356 γραμμών, για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ αντίστοιχα. Σε κάθε έναν πίνακα, κάθε μία γραμμή από τις 356 αντιστοιχεί στη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στις 06:00UTC για κάθε ένα από τα αντίστοιχα επεισόδια.

Εφαρμόζεται η Παραγοντική ανάλυση (S – mode) σε κάθε έναν από τους πίνακες, με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων. Προκύπτουν 15 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H-1, 15 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H και 14 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας ΛΗΞΗΣ, που ερμηνεύουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Οι τρεις νέοι πίνακες των τιμών επίδοσης των παραγόντων ενοποιούνται σε έναν πίνακα 44 στηλών και 356 γραμμών. Στον ενοποιημένο πίνακα οι γραμμές αντιστοιχούν στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια κάθε ενός ψυχρού επεισοδίου. Σε αυτόν τον πίνακα εφαρμόζεται η K-Means Ανάλυση κατά Συστάδες και τα 356 επεισόδια ομαδοποιούνται σε 6 ομάδες. Για κάθε ομάδα σχεδιάζονται οι μέσοι χάρτες στις 06:00UTC για κάθε μία παράμετρο για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ και παρουσιάζονται στα σχήματα 4.26 έως 4.31. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται η εποχική κατανομή των επεισοδίων της κάθε ομάδας, η κατανομή των επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους για κάθε ομάδα καθώς και για κάθε σταθμό το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραία τιμή μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της κάθε ομάδας.

1^η Ομάδα (41 ΨΕ 12%): Ο τύπος κυκλοφορίας αυτής της ομάδας συμβαίνει κυρίως νωρίς το χειμώνα και κατά το μήνα Μάρτιο. Περισσότερα από το 50% των επεισοδίων διαρκούν τουλάχιστον 2 ημέρες και όλη η Ελλάδα πλήττεται από δριμύ ψύχος.

Στη στάθμη των 500hPa ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων που εκτείνεται από την Ανατολική Ευρώπη έως τη Νότια Βαλκανική χερσόνησο, συνοδεύεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα από την παρουσία ενός εκτεταμένου συστήματος χαμηλών πιέσεων νοτιοανατολικά της Ελλάδας. Αυτό το σύστημα, σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που αναπτύσσονται ταχέως στην κεντρική Ευρώπη, προκαλούν βορειοανατολική ροή πάνω από τον Ελληνικό χώρο, μεταφέροντας ψυχρές αέριες μάζες. Αυτή η ψυχρή εισβολή είναι εμφανής σε όλο το ύψος της τροπόσφαιρας, όπως φαίνεται από τους χάρτες της θερμοκρασίας των 850hPa των 500hPa και του πάχους στρώματος των 1000 – 500hPa. Την Ημέρα ΛΗΞΗΣ των επεισοδίων η παρουσία στην επιφάνεια μίας ύφεσης νοτιοδυτικά της Ελλάδας, η εξασθένιση των υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη, και η παρουσία συστήματος υψηλών πιέσεων πάνω από τη Ρωσία, προκαλούν ροή ανατολικής διεύθυνσης πάνω από την Ελλάδα και κατά συνέπεια την άνοδο της θερμοκρασίας.

2^η Ομάδα (76 ΨΕ 21%): Τα επεισόδια που κατατάσσονται σε αυτήν την ομάδα συμβαίνουν κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα και κατά το μήνα Μάρτιο. Στην πλειοψηφία τους

διαρκούν το πολύ 2 ημέρες. Ο τύπος κυκλοφορίας αυτής της ομάδας δείχνει να επηρεάζει ελαφρώς περισσότερο περιοχές της δυτικής Ελλάδας όπως είναι το Αργίνιο και η Ανδραβίδα.

Στη στάθμη των 500hPa είναι εμφανής η αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την κεντρική Ευρώπη και η κυκλωνική κυκλοφορία στην Ανατολική Μεσόγειο. Στην επιφάνεια ένας ισχυρός και εκτεταμένος αντικυκλώνας έχει το κέντρο του πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο και σε συνδυασμό με την ύφεση της ανατολικής Μεσογείου προκαλεί στην Ελλάδα την εισβολή ψυχρών αερίων μαζών από τα βορειοδυτικά. Η εξασθένιση των συστημάτων κατά την Ημέρα ΛΗΞΗΣ σηματοδοτεί την αποχώρηση της ψυχρής αέρας μάζας από την περιοχή.

3^η Ομάδα (41 ΨΕ 12%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας συναντάται κυρίως κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Η διάρκεια των επεισοδίων μπορεί να χαρακτηριστεί ως αρκετά μεγάλη καθώς πολλά από αυτά διαρκούν τουλάχιστον 3 ημέρες. Εκτός από την Πελοπόννησο και τη νότια νησιωτική χώρα οι υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας φαίνεται να επηρεάζονται κυρίως από αυτόν τον τύπο κυκλοφορίας.

Ο εκτεταμένος αντικυκλώνας πάνω από την κεντρική Ευρώπη, του οποίου το κέντρο κατά την Ημέρα έναρξης των επεισοδίων εντοπίζεται πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο προκαλεί την επικράτηση ψυχρής αέρας μάζας βόρειας ηπειρωτικής προέλευσης πάνω από την Ελλάδα και την ενίσχυση του βορείου ρεύματος σε συνδυασμό με την ύφεση με κέντρο στην Ανατολική Μεσόγειο. Τα επεισόδια αυτής της ομάδας λήγουν με τη μετακίνηση του κέντρου των υψηλών πιέσεων προς τα δυτικά στη Ρωσία και την εμφάνιση μίας ύφεσης στη δυτική Μεσόγειο η οποία προκαλεί θερμό νότιο ρεύμα πάνω από την Ελλάδα και την υποχώρηση των ψυχρών αερίων μαζών.

4^η Ομάδα (55 ΨΕ 15%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας εμφανίζονται κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο και τον μήνα Μάρτιο. Τα περισσότερα από αυτά διαρκούν μόνο 1 ημέρα. Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας επιδρά κυρίως στην εμφάνιση χαμηλών θερμοκρασιών κυρίως στη νησιωτική χώρα, αλλά και στη βόρειο Ελλάδα.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων, ο συνδυασμός των υψηλών πιέσεων πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο και της ύφεσης στην Ανατολική Ευρώπη ευνοεί τη μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών εξαιτίας του βορειοδυτικού ρεύματος που προκαλεί. Κατά την ημέρα έναρξης του ψυχρού επεισοδίου η κυκλοφορία ζωνικού τύπου στη στάθμη των 500hPa συνοδεύεται από ομαλό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων πάνω από την Ελλάδα ευνοώντας τον αίθριο καιρό κατά τις νυχτερινές ώρες και κατά συνέπεια την πτώση της θερμοκρασίας τις πρώτες πρωινές ώρες εξαιτίας της νυχτερινής ακτινοβολίας της γης. Η ύφεση που σταδιακά δημιουργείται στη Δυτική Μεσόγειο προκαλεί ασθενές νότιο θερμό ρεύμα, το οποίο οδηγεί στη λήξη των επεισοδίων.

5^η Ομάδα (80 ΨΕ 22%): Ο τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας παρουσιάζει μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά το μήνα Ιανουάριο. Αρκετά επεισόδια αυτής της ομάδας συνέβησαν κατά το μήνα Νοέμβριο. Τα επεισόδια διαρκούν κυρίως μία ημέρα, χωρίς όμως να λείπουν και επεισόδια μεγαλύτερης διάρκειας. Χαμηλές θερμοκρασίες επικρατούν σε όλη την Ελλάδα κατά την εμφάνιση αυτού του τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, όμως η περιοχή της Ρόδου δείχνει να επηρεάζεται περισσότερο.

Από τη στάθμη των 500hPa φαίνεται ότι η κυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την Ανατολική Μεσόγειο και η αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από τα Βαλκάνια προκαλούν σε όλο το στρώμα της τροπόσφαιρας μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών πάνω από τον Ελληνικό χώρο. Κατά την ημέρα ΛΗΞΗΣ η αλλαγή της κυκλοφορίας στη μέση τροπόσφαιρα σε ζωνική, και στην επιφάνεια η μετακίνηση του κέντρου υψηλών πιέσεων από τη Βαλκανική χερσόνησο

στη Μικρά Ασία καθώς και ο σχηματισμός μίας ύφεσης στην Ιταλία, προκαλούν ασθενή νότια ροή θερμών αερίων μαζών με συνέπεια τη λήξη των επεισοδίων.

6^η Ομάδα (63 ΨΕ 18%): Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία και η εξέλιξή της σε αυτή την ομάδα αποτελούν μία κατάσταση που εμφανίζεται κυρίως κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Σε αυτή την ομάδα κατατάσσεται το επεισόδιο με τη μεγαλύτερη διάρκεια (13 ημέρες), ενώ τα περισσότερα διαρκούν από 1 έως 3 ημέρες. Η Λάρισα καθώς και η Πελοπόννησος φαίνεται να επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από την επικράτηση αυτού του τύπου κυκλοφορίας.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων ψυχρές αέριες μάζες μεταφέρονται ήδη πάνω από την Βαλκανική χερσόνησο, εξαιτίας του ισχυρού αντικυκλώνα πάνω από την Δυτική Ευρώπη και των υψηλών πιέσεων πάνω από την κεντρική Ευρώπη, που σε συνδυασμό με την ύφεση που έχει το κέντρο της στην Ανατολική Μεσόγειο προκαλούν έντονη βορειοανατολική ροή πάνω από την Ελλάδα. Η εξασθένηση των υψηλών πιέσεων πάνω από την Ευρώπη, και της υφesiακής δραστηριότητας στην Ανατολική Μεσόγειο καθώς και η εμφάνιση υφesiακής δραστηριότητας στην Ιταλία προκαλούν τη σημαντική εξασθένηση του βορείου ψυχρού ρεύματος και την άνοδο της θερμοκρασίας στον Ελληνικό χώρο.

Συμπερασματικά. Όλοι οι τύποι εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που προέκυψαν για τα ψυχρά επεισόδια, παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπως ήταν αναμενόμενο, συμπεριλαμβανομένου και του μήνα Μαρτίου, που συμβατικά ανήκει στην άνοιξη. Διαφέρουν ωστόσο ως προς το χρόνο της μέγιστης συχνότητας εμφάνισής τους, καθώς τα επεισόδια της 1^{ης} και 4^{ης} ομάδας παρουσιάζουν την ίδια πιθανότητα εμφάνισης καθ' όλους τους χειμερινούς μήνες. Οι τύποι κυκλοφορίας της 2^{ης}, της 5^{ης} και της 6^{ης} ομάδας εμφανίζουν μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά το μήνα Ιανουάριο, ενώ ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της 3^{ης} ομάδας συμβαίνει κατά το τέλος της χειμερινής περιόδου με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά το μήνα Φεβρουάριο.

Όσον αφορά στη διάρκεια των επεισοδίων, αυτά που ανήκουν στην 1^η και 3^η Ομάδα διαρκούν αρκετές ημέρες, στο μεγαλύτερο ποσοστό τους περισσότερο από 2 ημέρες. Τα επεισόδια των υπολοίπων τύπων εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας παρουσιάζουν διάρκεια που σπάνια ξεπερνά τις 2 ημέρες.

Σε όλους τους τύπους εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας η πτώση της θερμοκρασίας στην Ελλάδα σε εξαιρετικά χαμηλές τιμές, οφείλεται σε ένα βορειοανατολικό ρεύμα που μεταφέρει ψυχρές αέριες μάζες στην περιοχή. Αυτό προκαλείται από την ύπαρξη μίας ύφεσης στην ανατολική Μεσόγειο και ενός αντικυκλώνα, που βρίσκεται στη δυτική Ευρώπη (1^{ος}, 6^{ος} τύπος) ή στην περιοχή των Βαλκανίων με επέκταση προς την κεντρική Ευρώπη (2^{ος}, 3^{ος}, 4^{ος} τύπος), ή στην περιοχή των Βαλκανίων με επέκταση προς την ανατολική Ευρώπη (5^{ος} τύπος). Οι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν τα ψυχρά επεισόδια στην Ελλάδα, διαφέρουν κυρίως ως προς την ένταση των συστημάτων ατμοσφαιρικής πίεσης που προκαλούν την βορειοανατολική ροή και ως προς τη δομή της μέσης τροπόσφαιρας.

Στο σχήμα 4.32 παρουσιάζονται για κάθε σταθμό το ποσοστό των ψυχρών ημερών που κατετάγησαν σε κάθε ομάδα ως προς το συνολικό πλήθος των ψυχρών ημερών στο σταθμό. Αυτό σε κανένα ΜΣ δεν ξεπερνά το 30% για καμία ομάδα, το οποίο σημαίνει ότι όλοι οι αντίστοιχοι τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μπορούν να προκαλέσουν χαμηλές θερμοκρασίες σχεδόν εξίσου σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας. Ωστόσο, ο 3^{ος} τύπος είναι αυτός που κυρίως ευθύνεται για τις χαμηλές θερμοκρασίες στην Αλεξανδρούπολη, και μαζί με τον 1^ο τύπο και λιγότερο τον 6^ο τύπο ευθύνονται για τις ψυχρές ημέρες στη Θεσσαλονίκη, την Κοζάνη, την Κέρκυρα, τα Ιωάννινα, τη Λήμνο, τη Νάξο και το Ηράκλειο. Η Ρόδος φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από τον 5^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και λιγότερο από τον 3^ο τύπο. Για τη Λάρισα κυρίως ο 6^{ος} και ο 3^{ος} τύπος ευνοούν τις εξαιρετικά

χαμηλές θερμοκρασίες. Η Ανδραβίδα στη νοτιοδυτική Ελλάδα επηρεάζεται περισσότερο από τον 2^ο τύπο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Στο σχήμα 4.33, όπου παρουσιάζονται για κάθε ΜΣ ξεχωριστά οι μέσες τιμές των ελαχίστων θερμοκρασιών των ψυχρών ημερών που κατετάγησαν σε κάθε ομάδα, φαίνεται ότι στη Λάρισα πολύ χαμηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες από το όριο του 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών στο σταθμό καταγράφονται εξαιτίας του 1^{ου} τύπου της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Για την Τρίπολη ο 3^{ος} τύπος είναι αυτός που ευνοεί την καταγραφή εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών.

Συγκριτικά. Αρκετές άλλες έρευνες διαπραγματεύονται τις συνθήκες σε συνοπτική κλίμακα που προκαλούν ή συνδέονται με την καταγραφή χαμηλών θερμοκρασιών σε διάφορες περιοχές τις Ελλάδας. Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουν είναι όμοια με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής.

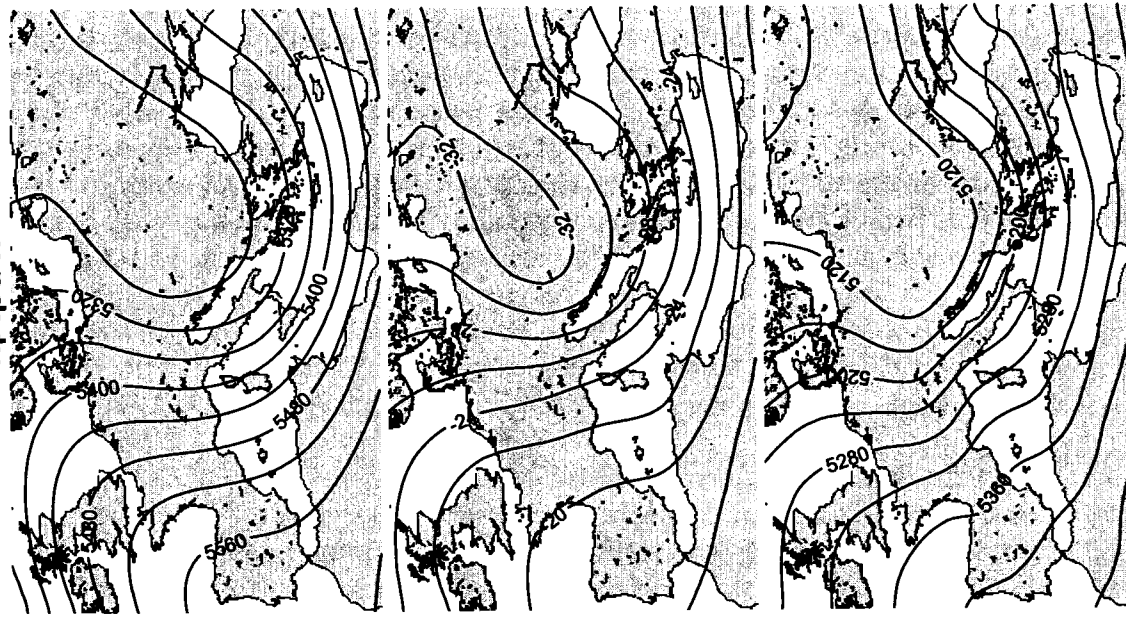
Συγκεκριμένα οι Michailidou et al. (2008) μετά από την επεξεργασία δεδομένων μετεωρολογικών παραμέτρων, που καθορίζουν τις ιδιότητες των αερίων μαζών πάνω από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, και δεδομένων συνοπτικής κλίμακας κατέληξαν σε 6 τύπους καιρού για την Αθήνα και 5 τύπους καιρού για τη Θεσσαλονίκη. Ειδικά ο 3^{ος} τύπος καιρού για την Αθήνα χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες και οι συνοπτική κατάσταση που συνδέεται με την εμφάνισή του χαρακτηρίζεται από κυκλωνική κυκλοφορία στην κατώτερη ατμόσφαιρα νοτιοανατολικά της Ελλάδας. Αυτή η συνοπτική κατάσταση συνδέεται με χαμηλές θερμοκρασίες στην Αθήνα και στη μελέτη του Kassomenos (2003a), στην οποία η 6η κατηγορία συνοπτικών καταστάσεων για το χειμώνα χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες στην Αθήνα. Τα αποτελέσματα και των δύο προηγούμενων μελετών συμφωνούν απόλυτα με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής καθώς η ατμοσφαιρική κυκλοφορία που αντιστοιχεί στην 1η, 2η και 3η ομάδα ψυχρών επεισοδίων (σχήματα 4.26, 4.27 και 4.28) χαρακτηρίζεται από κυκλωνική κυκλοφορία νοτιοανατολικά της Ελλάδας με υψηλές πιέσεις να επικρατούν στην κεντρική Ευρώπη και είναι όμοια με τη συνοπτική κατάσταση που περιγράφεται στις παραπάνω μελέτες. Επιπροσθέτως στις 1η, 2η και 3η ομάδες ανήκουν οι περισσότερες ημέρες κατά τις οποίες καταγράφηκαν χαμηλές θερμοκρασίες στην Αθήνα (σχήμα 4.32). Ομοίως οι Λώλης κ.α. (2004) κατατάσσοντας τις συνοπτικές καταστάσεις της κατώτερης τροπόσφαιρας σε κατηγορίες συνέδεσαν τις χαμηλές θερμοκρασίες στην Αθήνα για τη χειμερινή περίοδο με την επικράτηση αντικυκλωνικής κυκλοφορίας πάνω από την κεντρική Ευρώπη η οποία σε συνδυασμό με κυκλωνική κυκλοφορία στην ανατολική Μεσόγειο προκαλεί βορειοανατολικό ψυχρό ρεύμα πάνω από την Ελλάδα. Και οι Στολάκη και Πακαλίδου (2004) συνδέουν τέτοιου είδους ατμοσφαιρική κυκλοφορία με ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες στη Θεσσαλονίκη. Σε συμφωνία και με αυτή τη μελέτη, για την 3η ομάδα ψυχρών επεισοδίων, που προέκυψε στην παρούσα διατριβή, υπολογίστηκε η μικρότερη μέση τιμή των ελαχίστων θερμοκρασιών -7°C περίπου για την περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Οι Pappas et al. (2004) σε μία μελέτη που αφορούσε τις ψυχρές εισβολές στην Ελλάδα συμπέραναν ότι αυτές οφείλονται κυρίως στην επέκταση του αντικυκλώνα της δυτικής και κεντρικής Ευρώπης προς τα Βαλκάνια, κάτι που φαίνεται να συμβαίνει στους περισσότερους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, οι οποίοι προέκυψαν στην παρούσα διατριβή, ή στην επέκταση του Σιβηρικού αντικυκλώνα πάνω από τα Βαλκάνια, όπως φαίνεται να είναι η περίπτωση της 5ης ομάδας ψυχρών επεισοδίων. Είναι γενικά αποδεκτή η άποψη ότι υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης στη βόρειο ή/και βορειοδυτική Ευρώπη στη διάρκεια του χειμώνα συνδέονται με την επικράτηση χαμηλών θερμοκρασιών στην Αθήνα αλλά και γενικότερα στην Ελλάδα και την ανατολική Μεσόγειο (Metaxas et al., 1993; Metaxas and Bartzokas, 1994; Bartzokas and Metaxas, 1996; Kostopoulou et al., 2002).

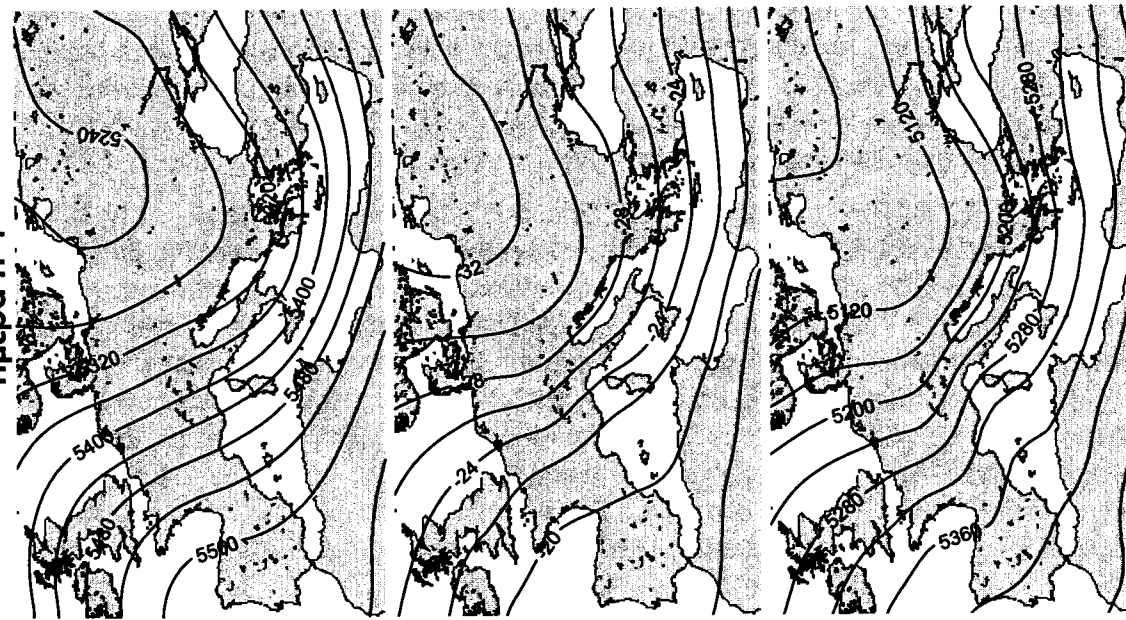
Ημέρα ΛΗΕΗΣ



1η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

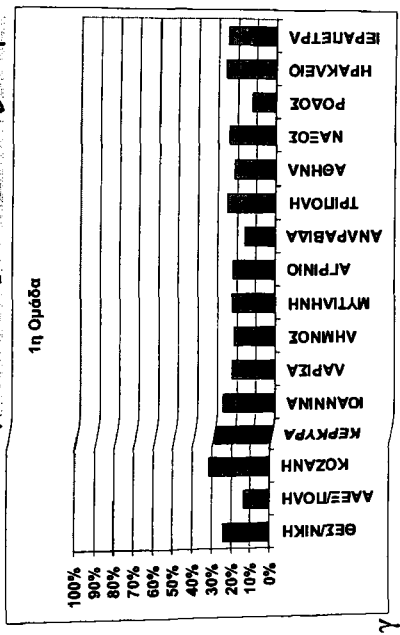
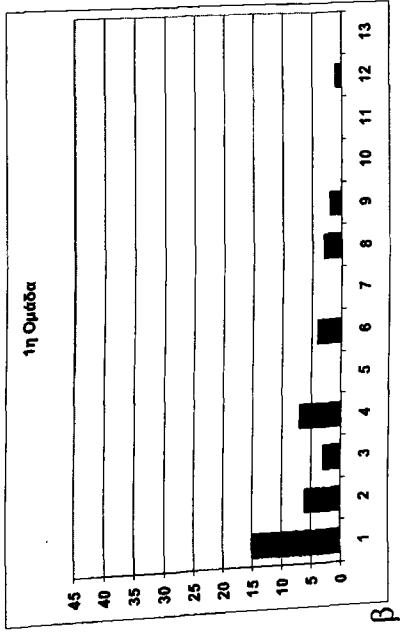
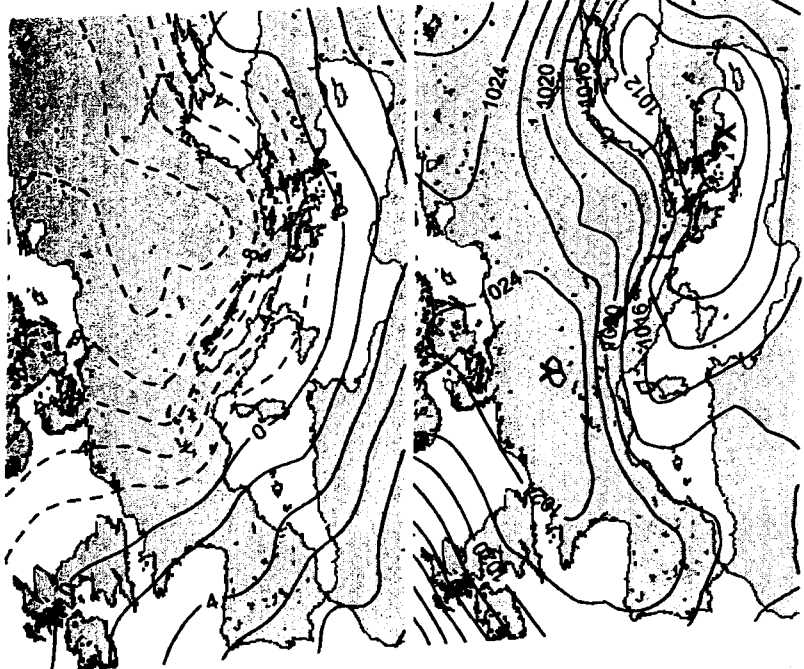
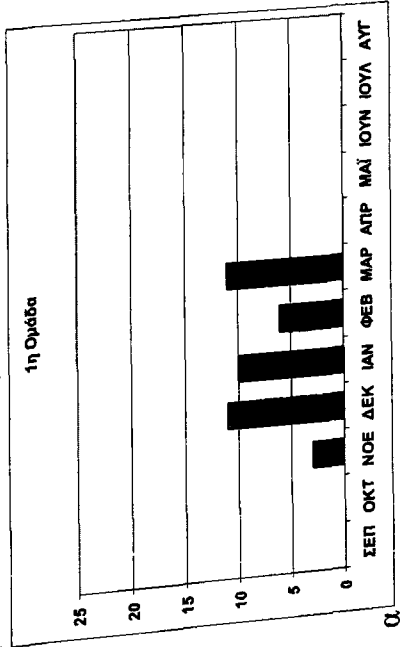
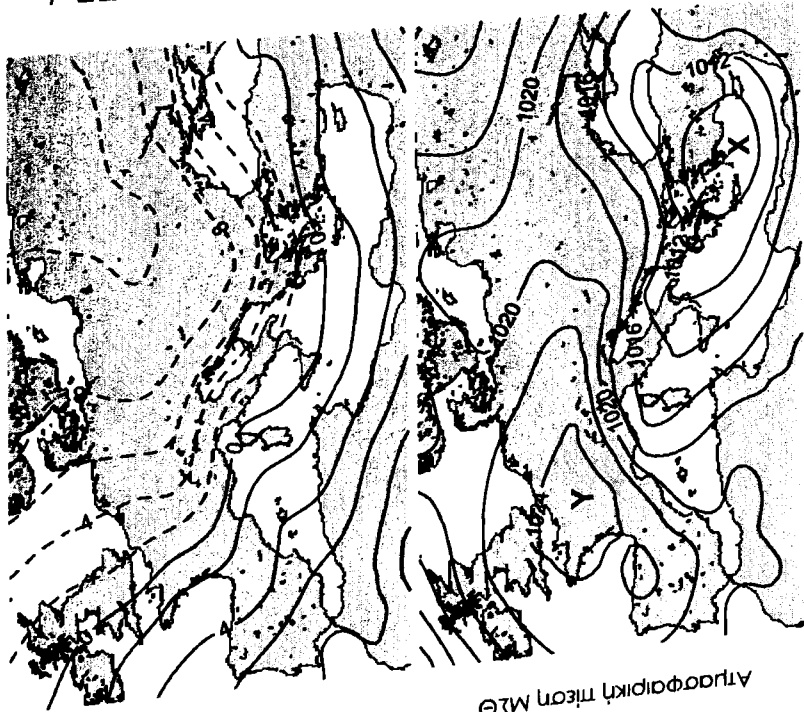


Ίσθμιο 500hPa

Επιτοκασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 4.26 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

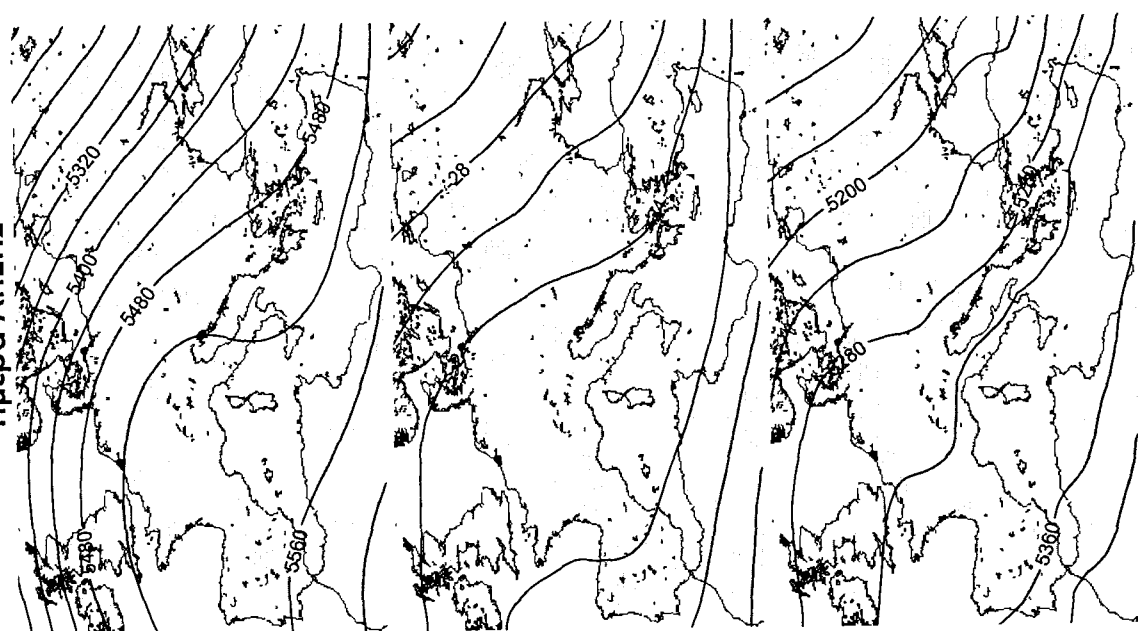


Επιλεκτικά 850hPa

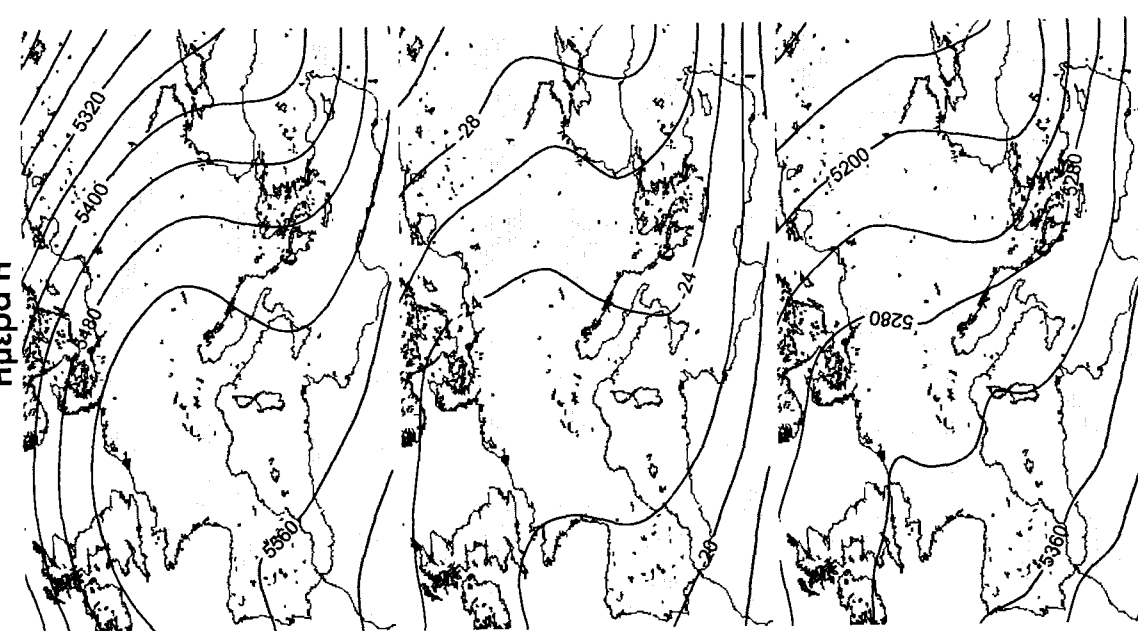
Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ

Σχήμα 4.26 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΔΕΙΞΗΣ, που δείχνουν τον 1^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα ψυχρά επεισόδια της 1^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 1^{ης} Ομάδας.

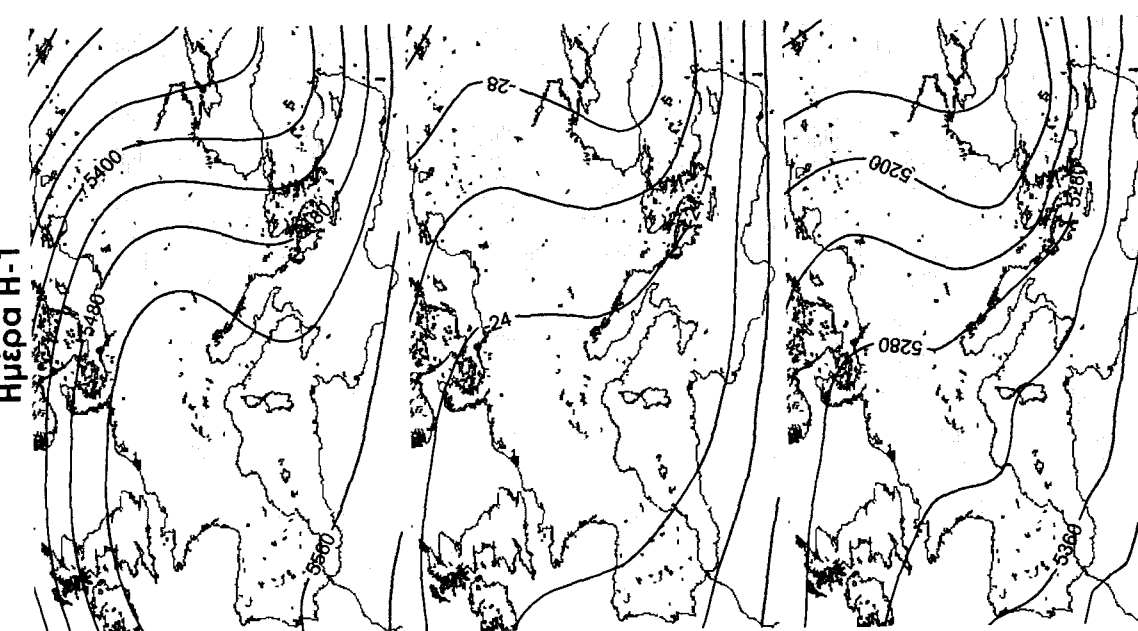
Ημέρα ΛΗΕΗΣ



2^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

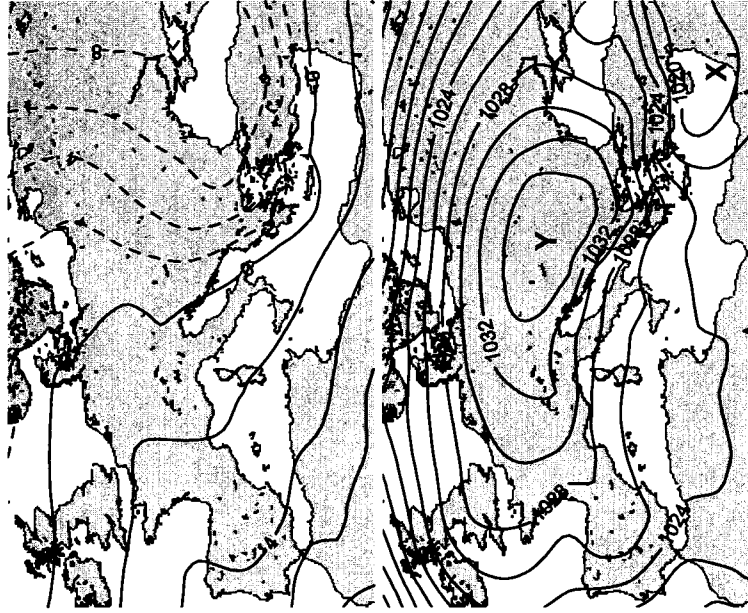


Στάθμη 500hPa

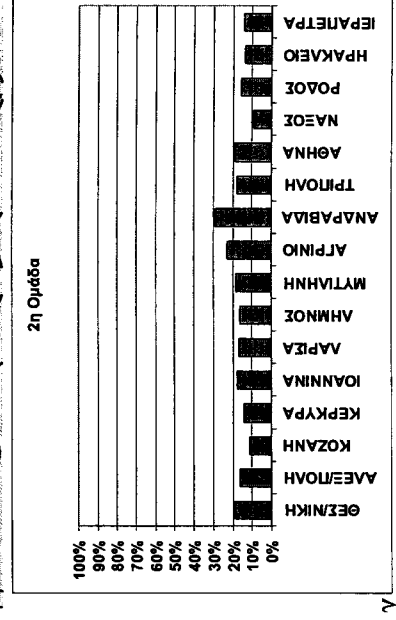
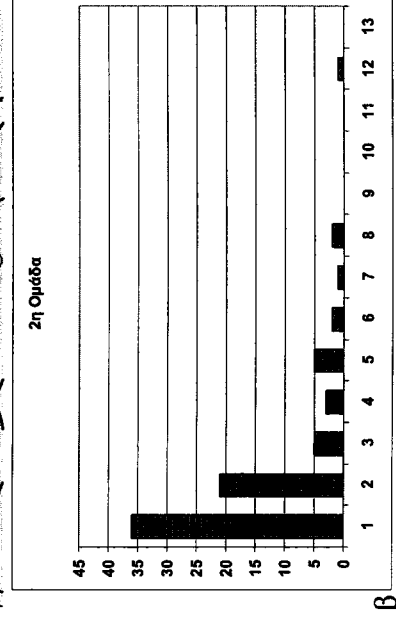
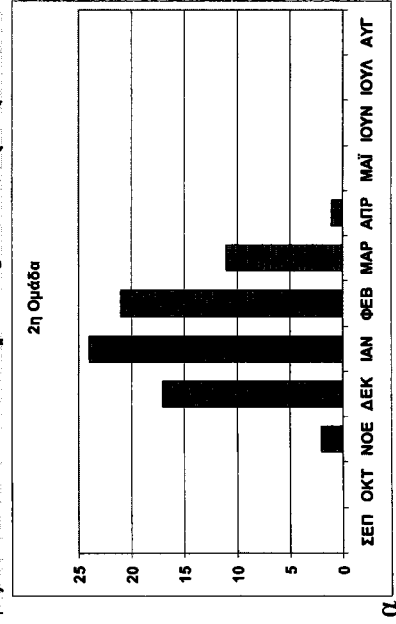
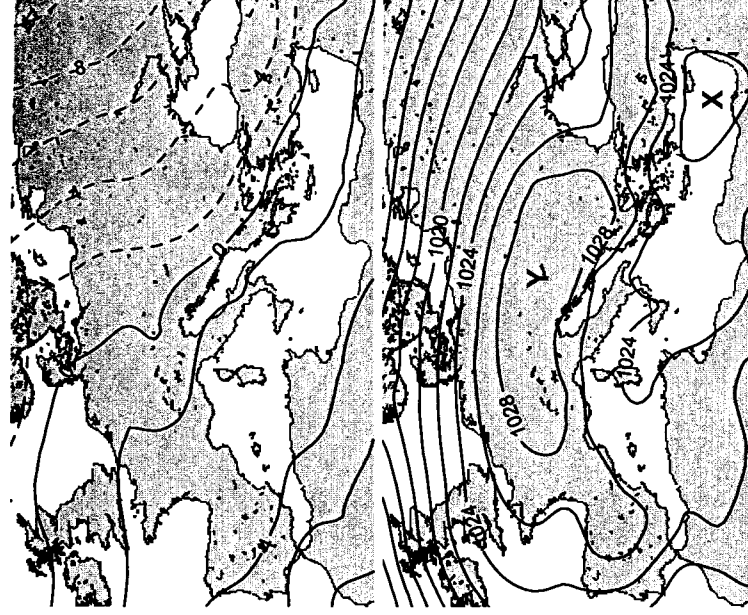
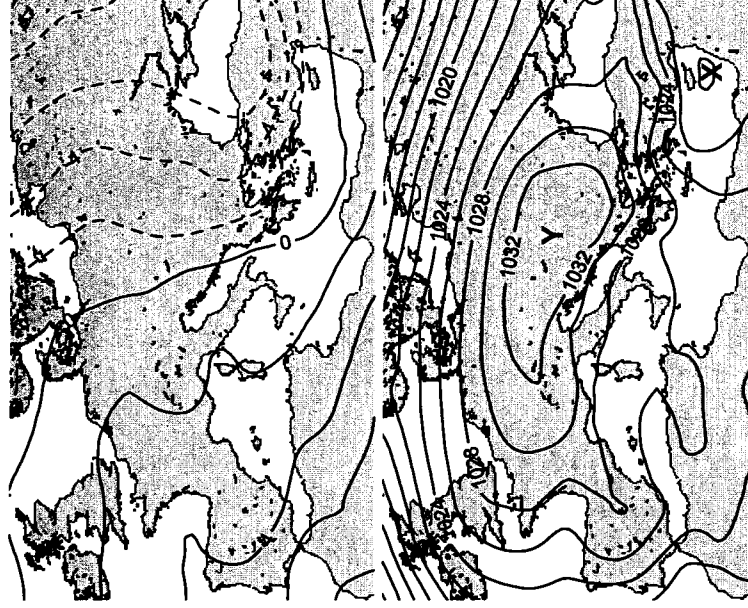
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 4.27 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

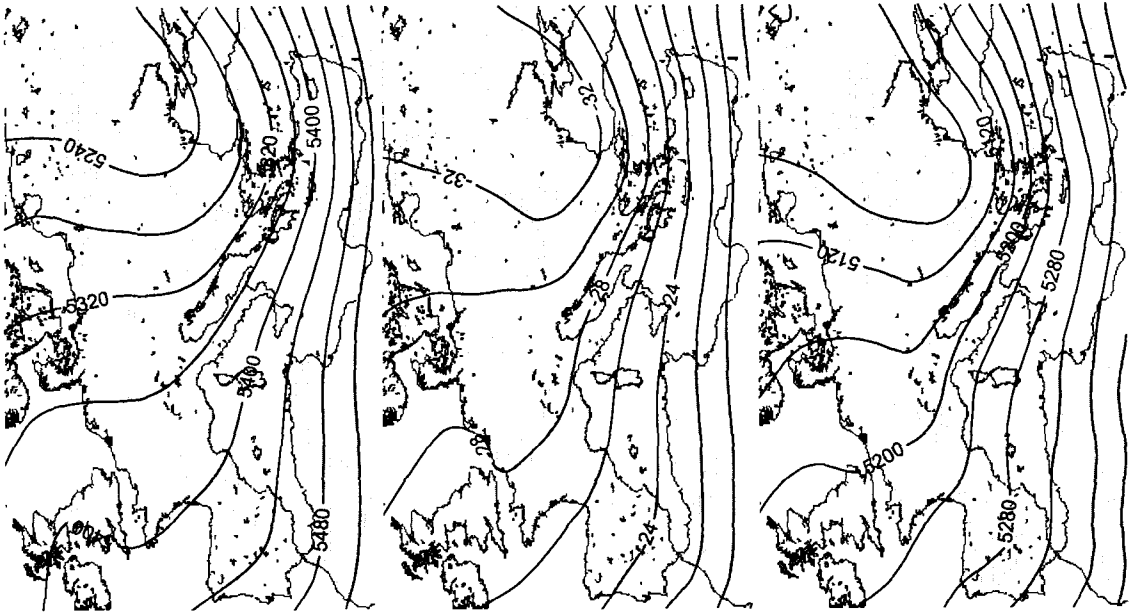


Θερμοκρασία 850hPa

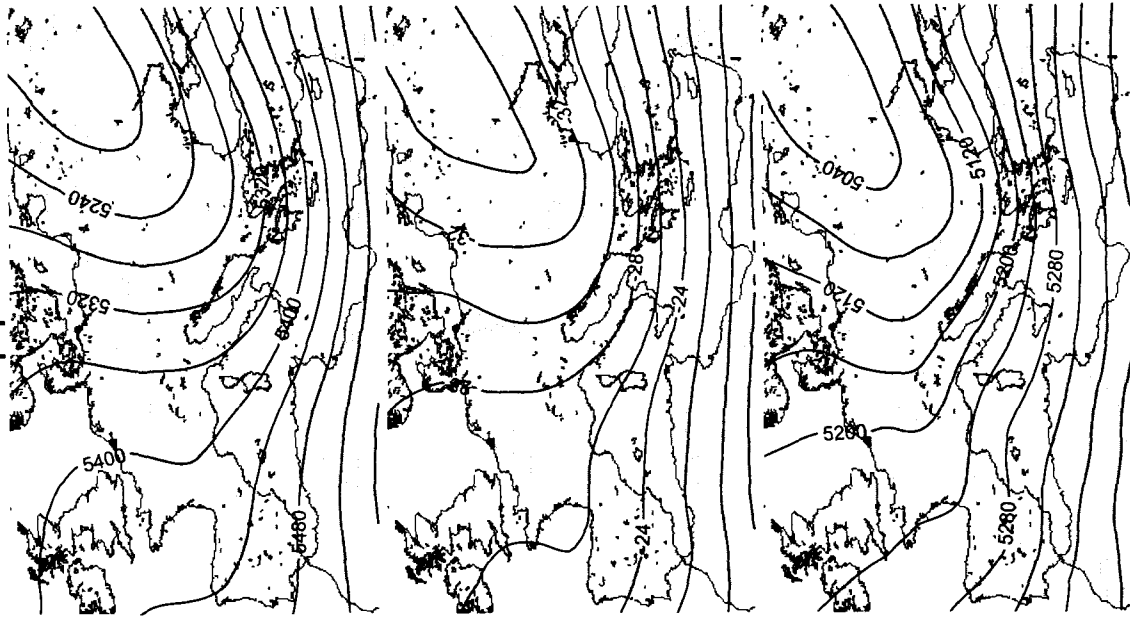


Σχήμα 4.27 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΔΕΙΞΗΣ, που δέχνουν τον 2° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα ψυχρά επεισόδια της 2ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 2ης Ομάδας.

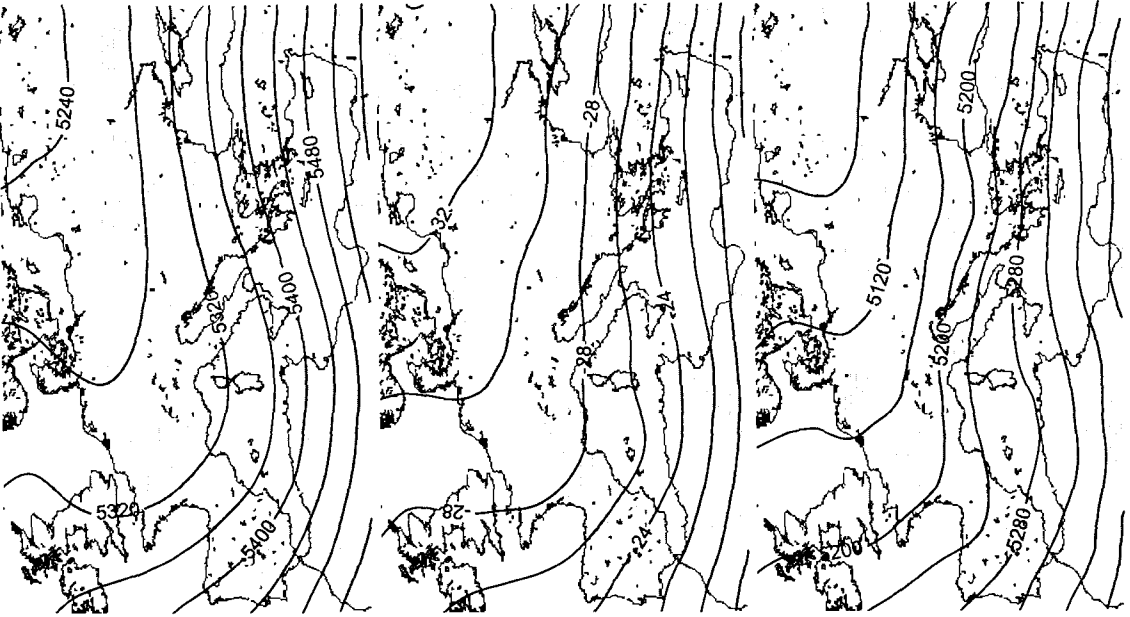
3η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

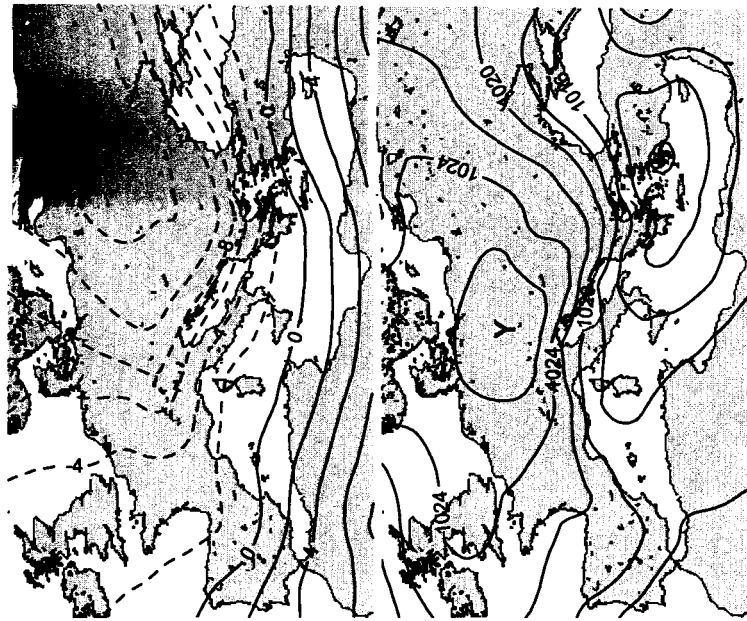


Ίσχύς 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

Ίσχύς 1000-500hPa

Σχήμα 4.28 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιμορφωτής 850hpα

Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣθ

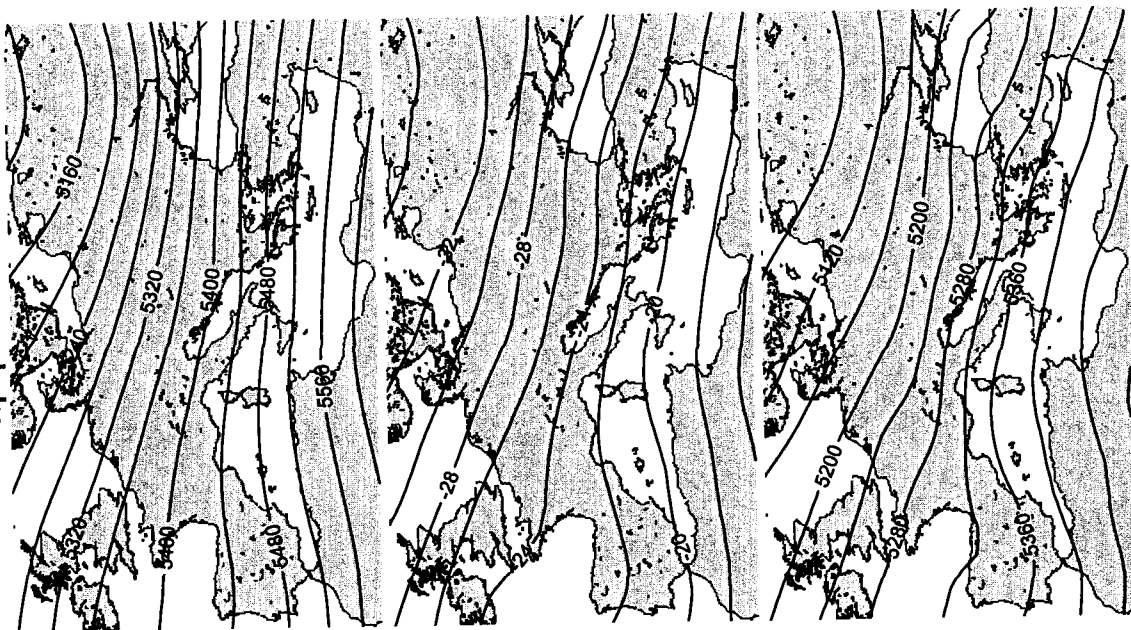
α

β

γ

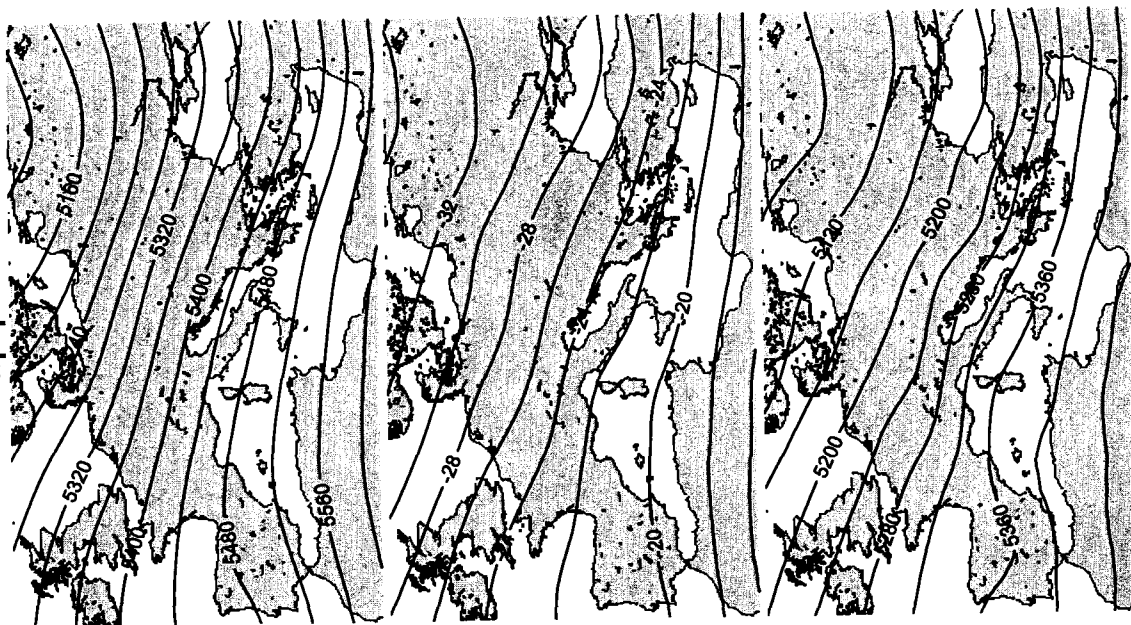
Σχήμα 4.28 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 3^ο κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα ψυχρά επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης της Ανάπτυξης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας.

Ημέρα ΛΗΕΗΣ

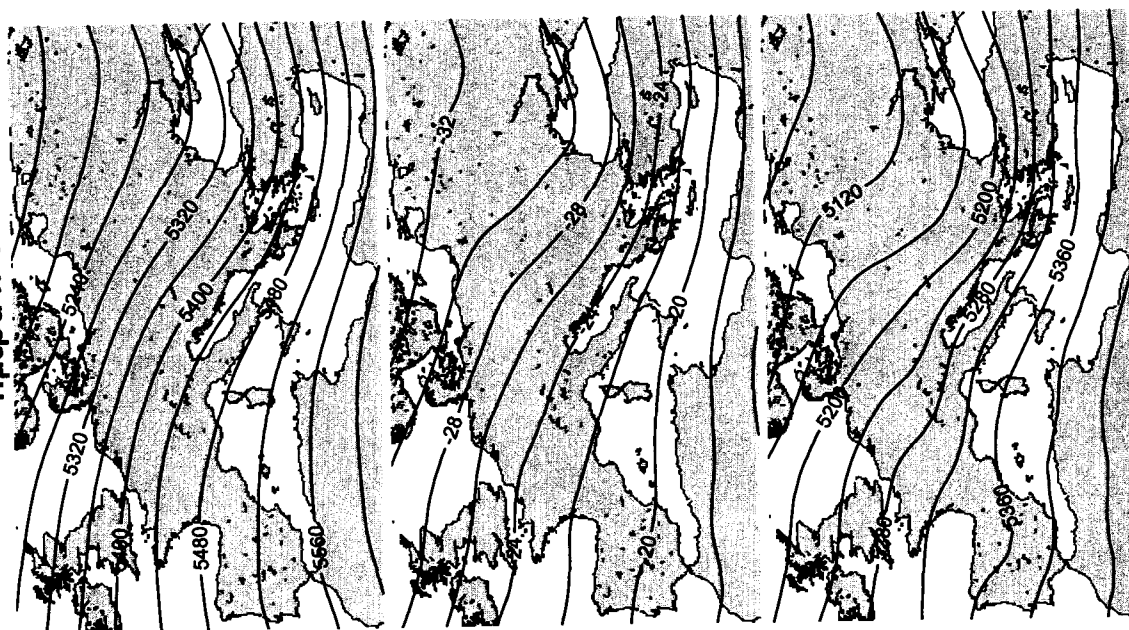


4η Ομάδα

Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

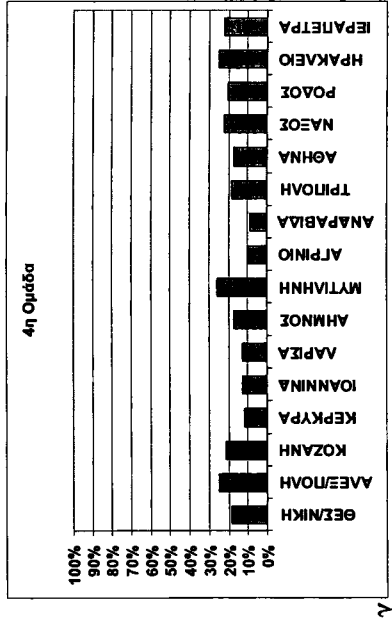
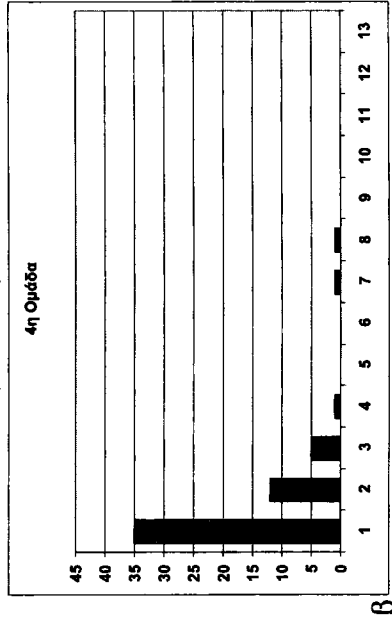
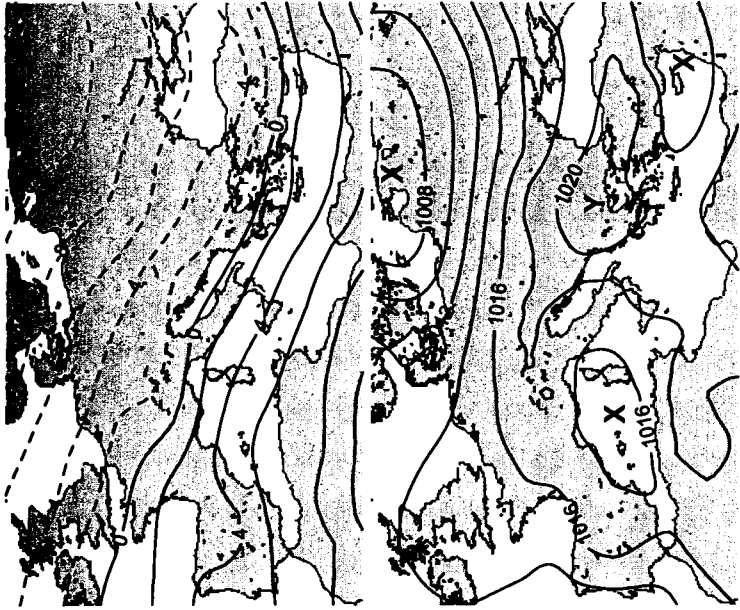
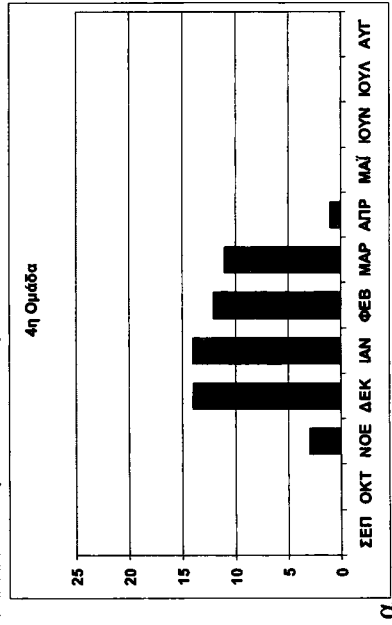
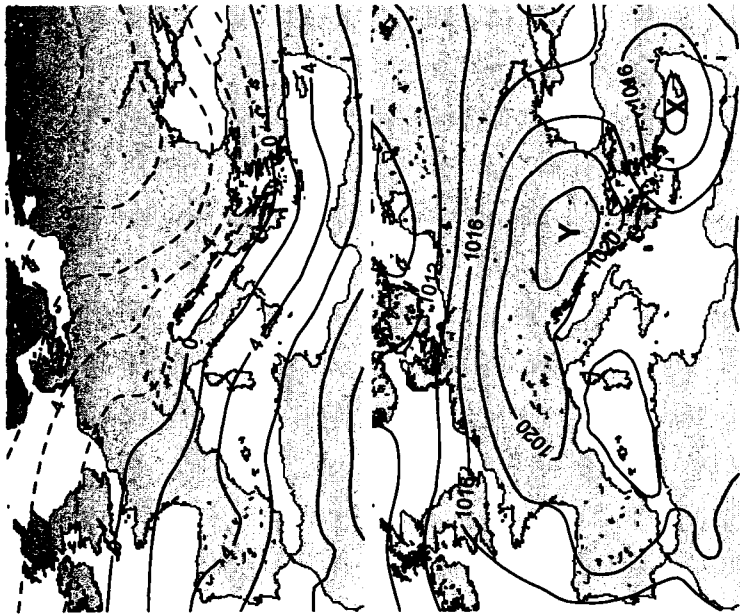


Στάθμη 500hPa

Επιρροή 500hPa

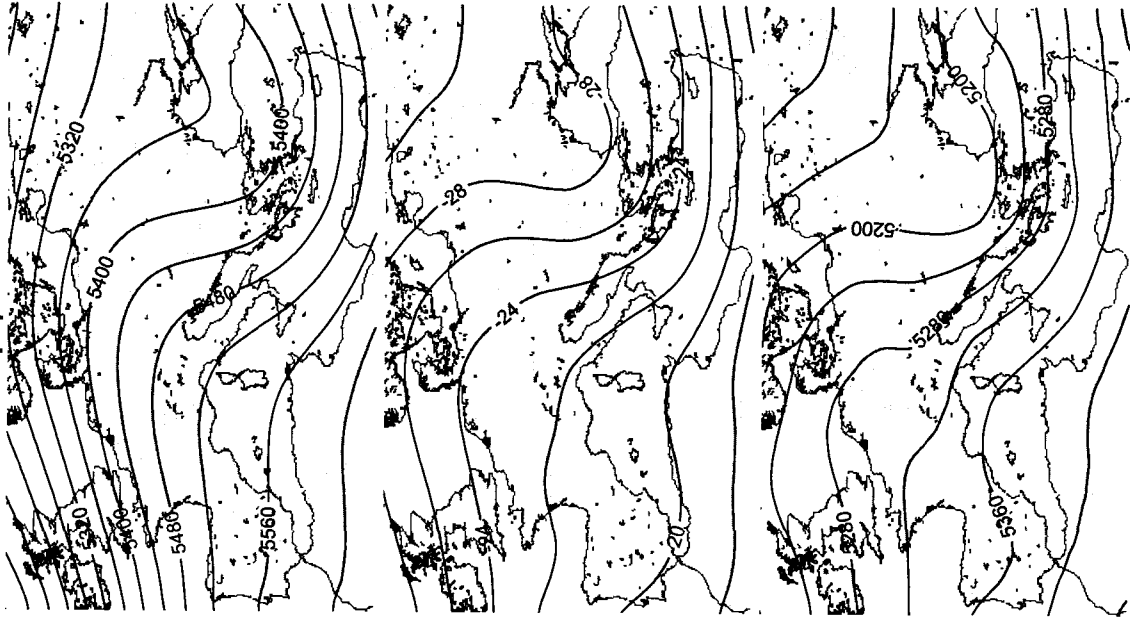
Πίεση 1000-500hPa

Σχήμα 4.29 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



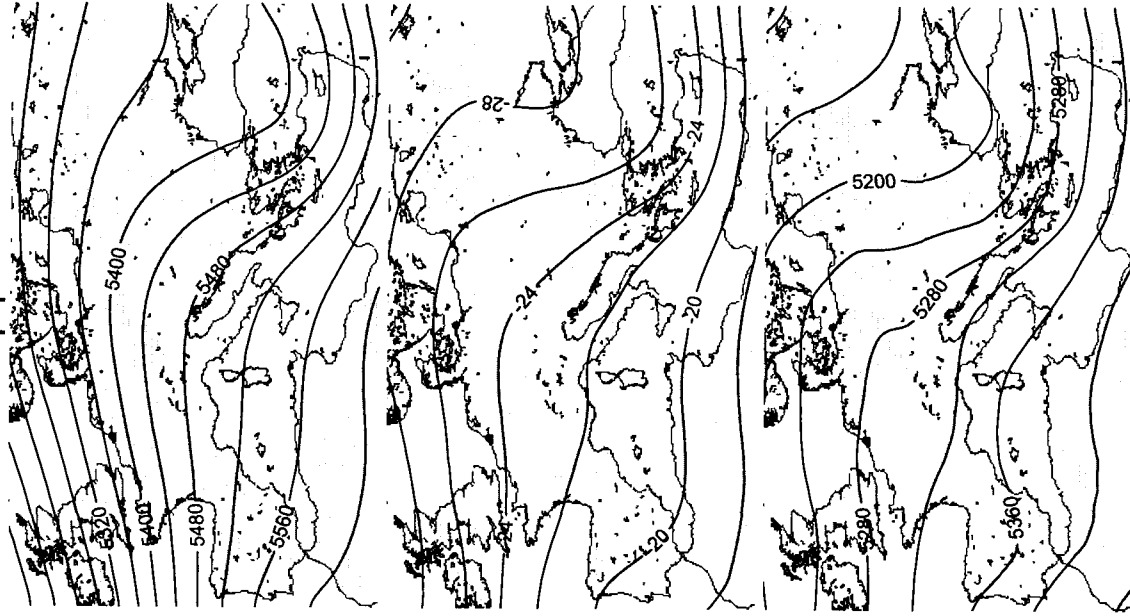
Σχήμα 4.29 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 4^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



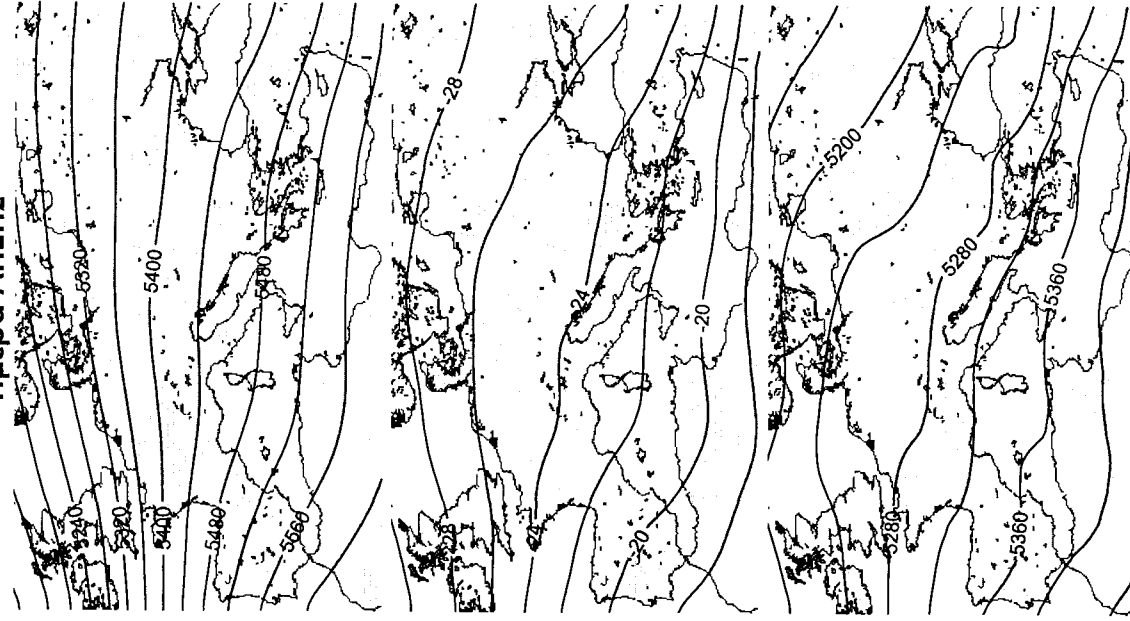
Ίσθμιο 500hPa

5η Ομάδα
Ημέρα Η



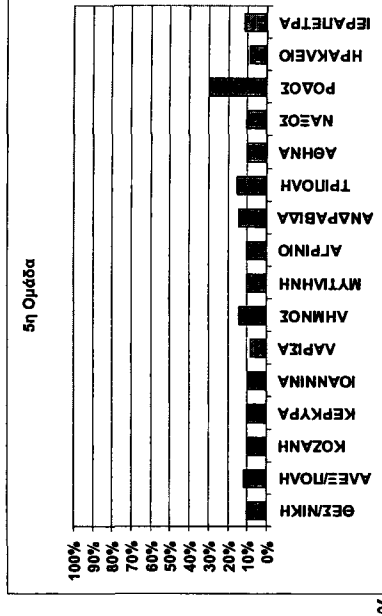
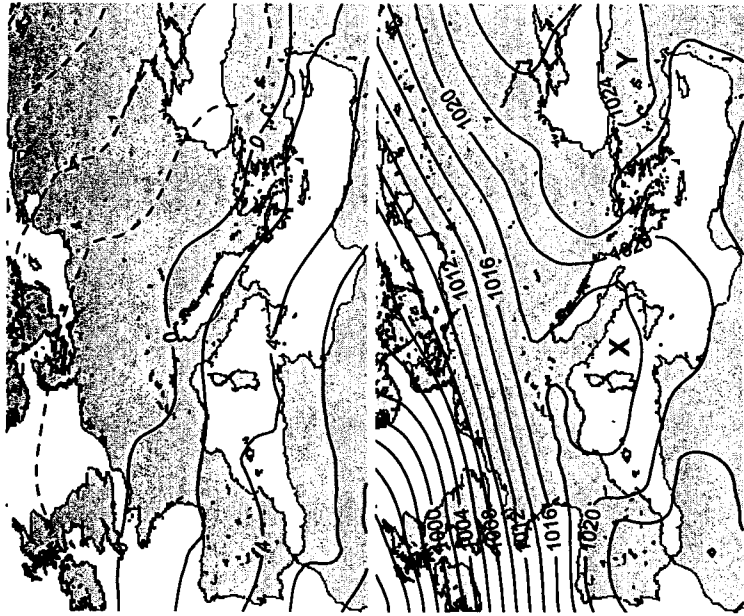
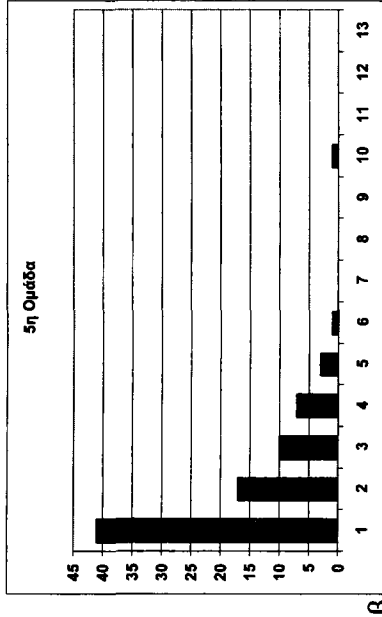
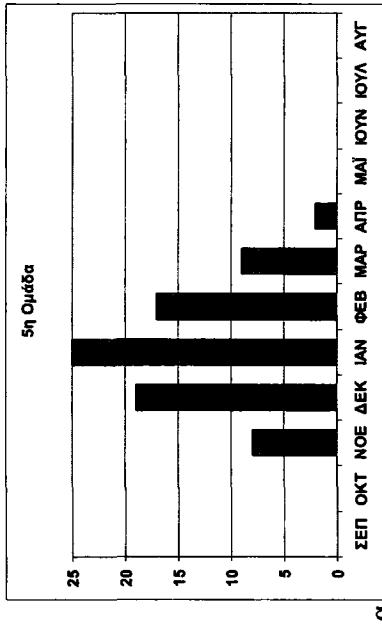
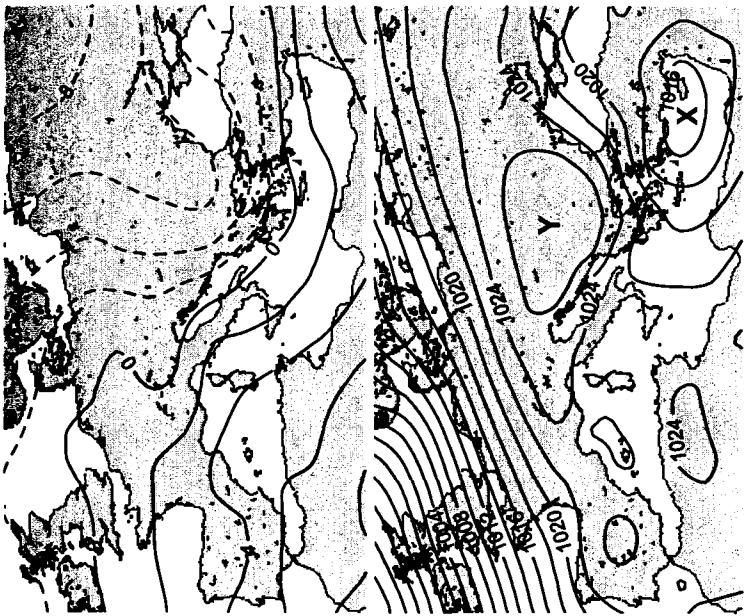
Επιρροή 500hPa

Ημέρα ΛΗΞΗΣ



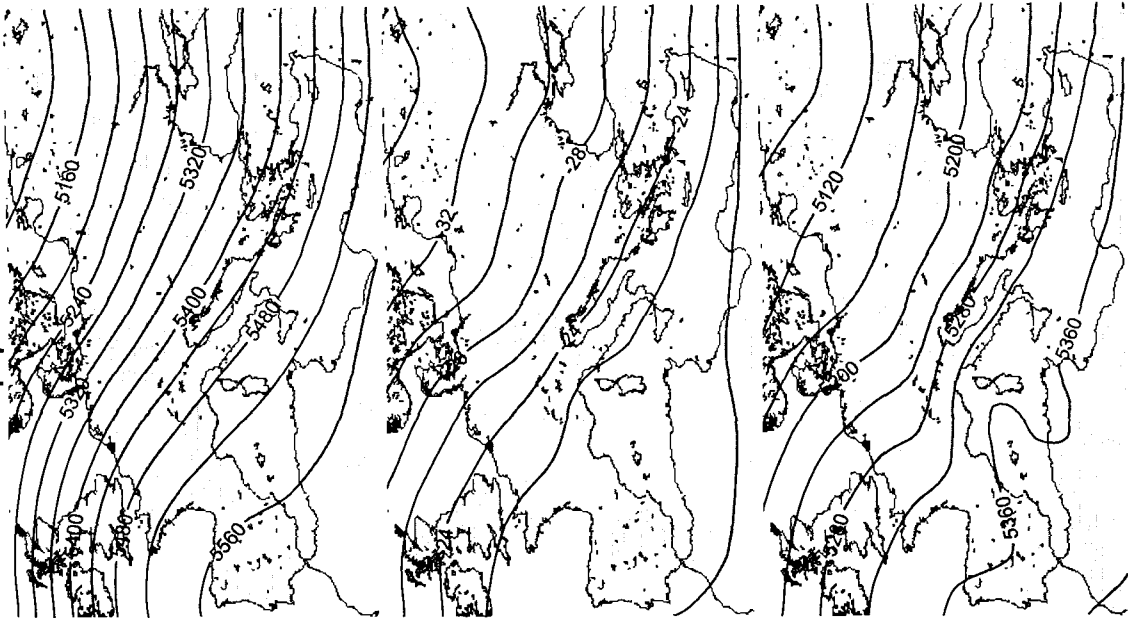
Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 4.30 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

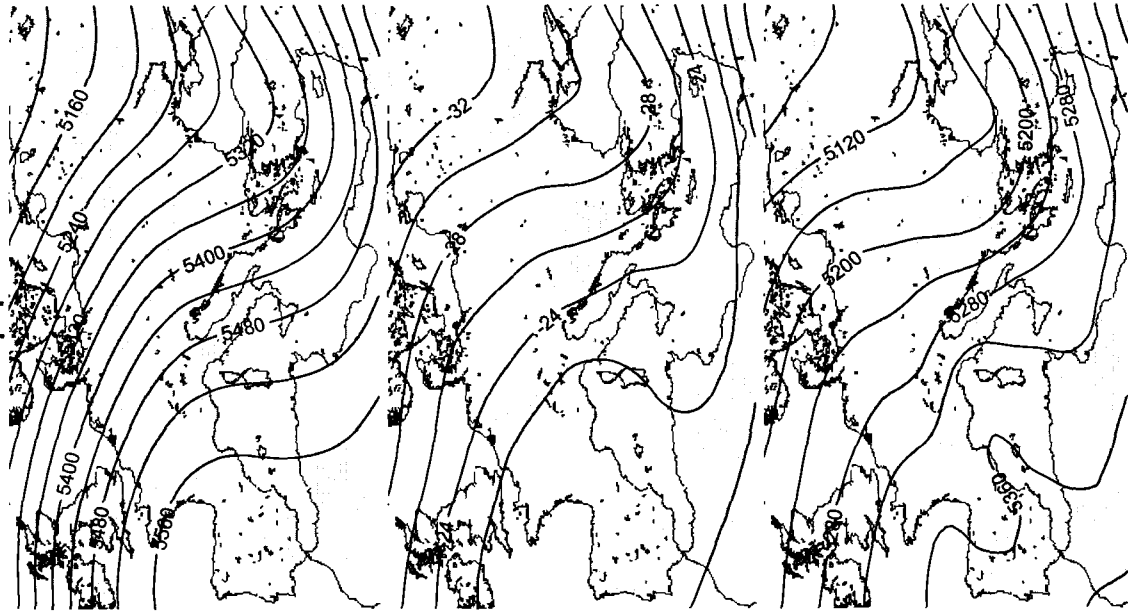


Σχήμα 4.30 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 5° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα ψυχρά επεισόδια της 5ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 5ης Ομάδας.

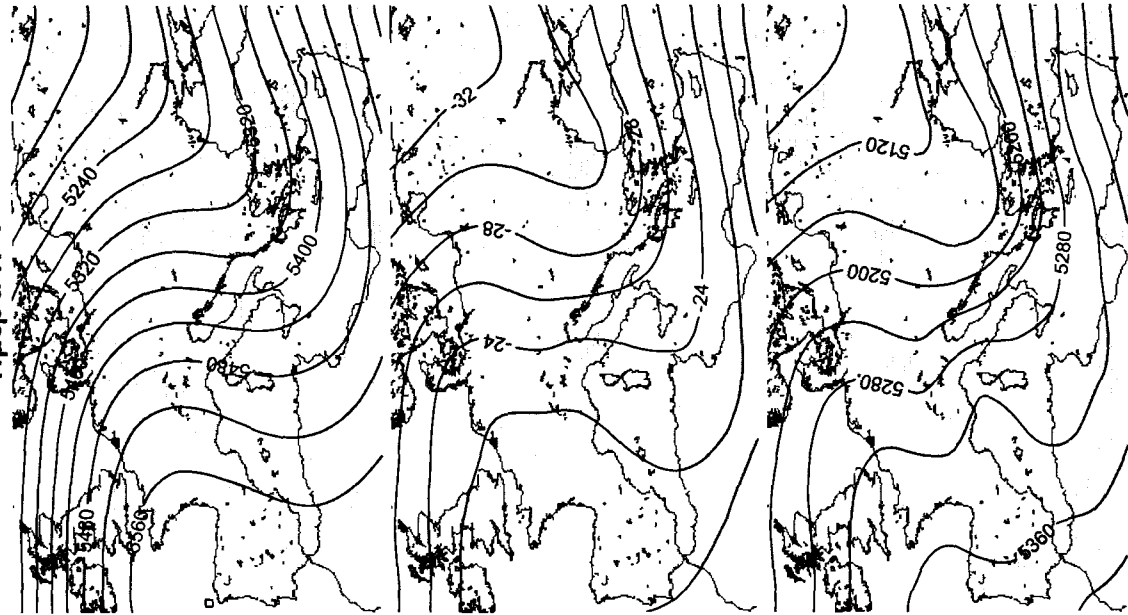
Ημέρα ΛΗΕΗΣ



6^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

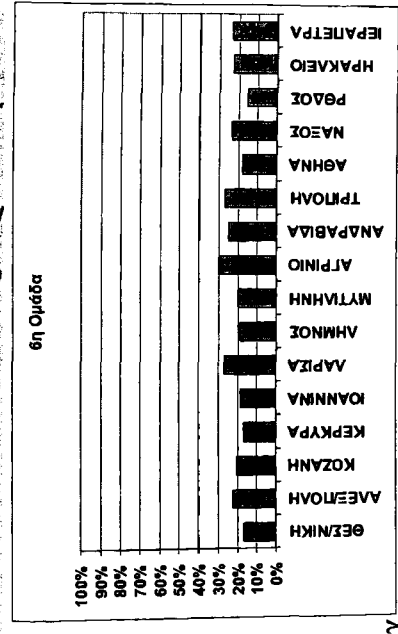
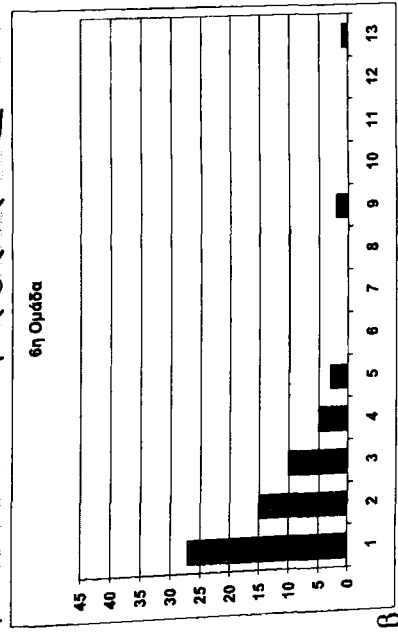
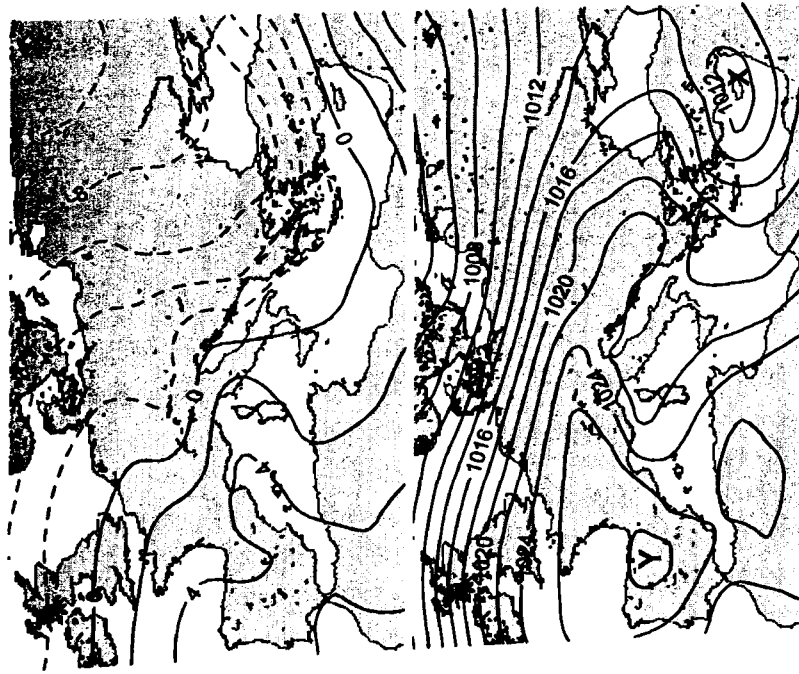
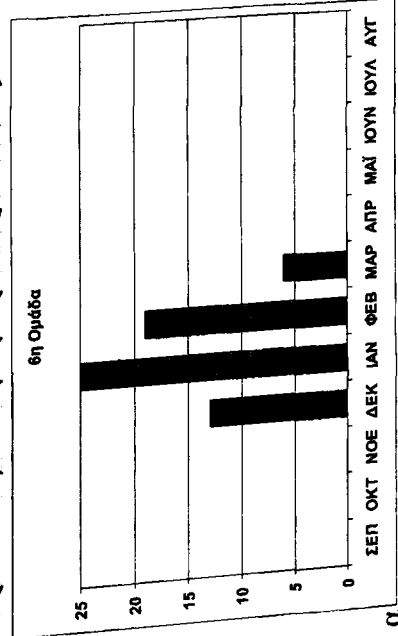
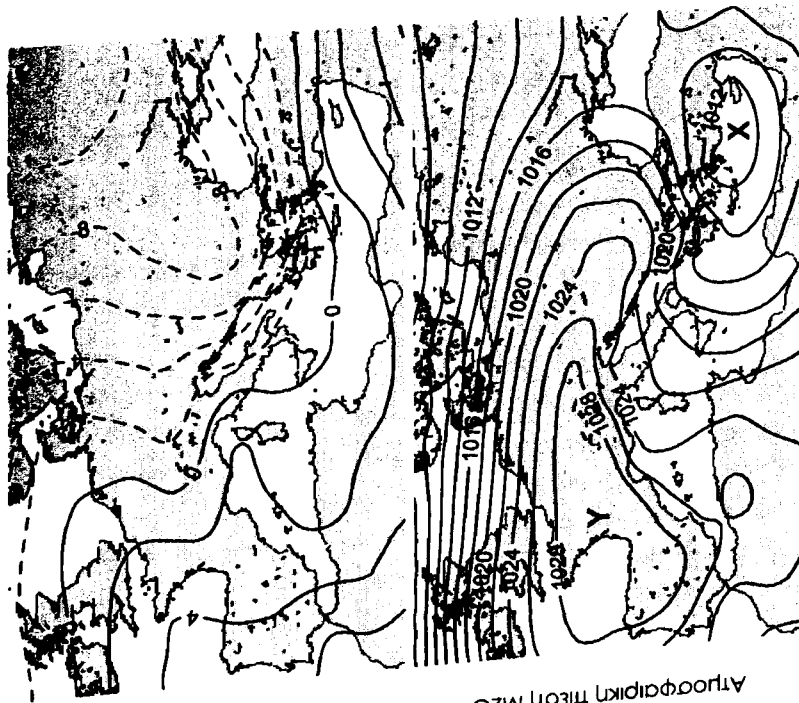


Ισόθερμη 500hPa

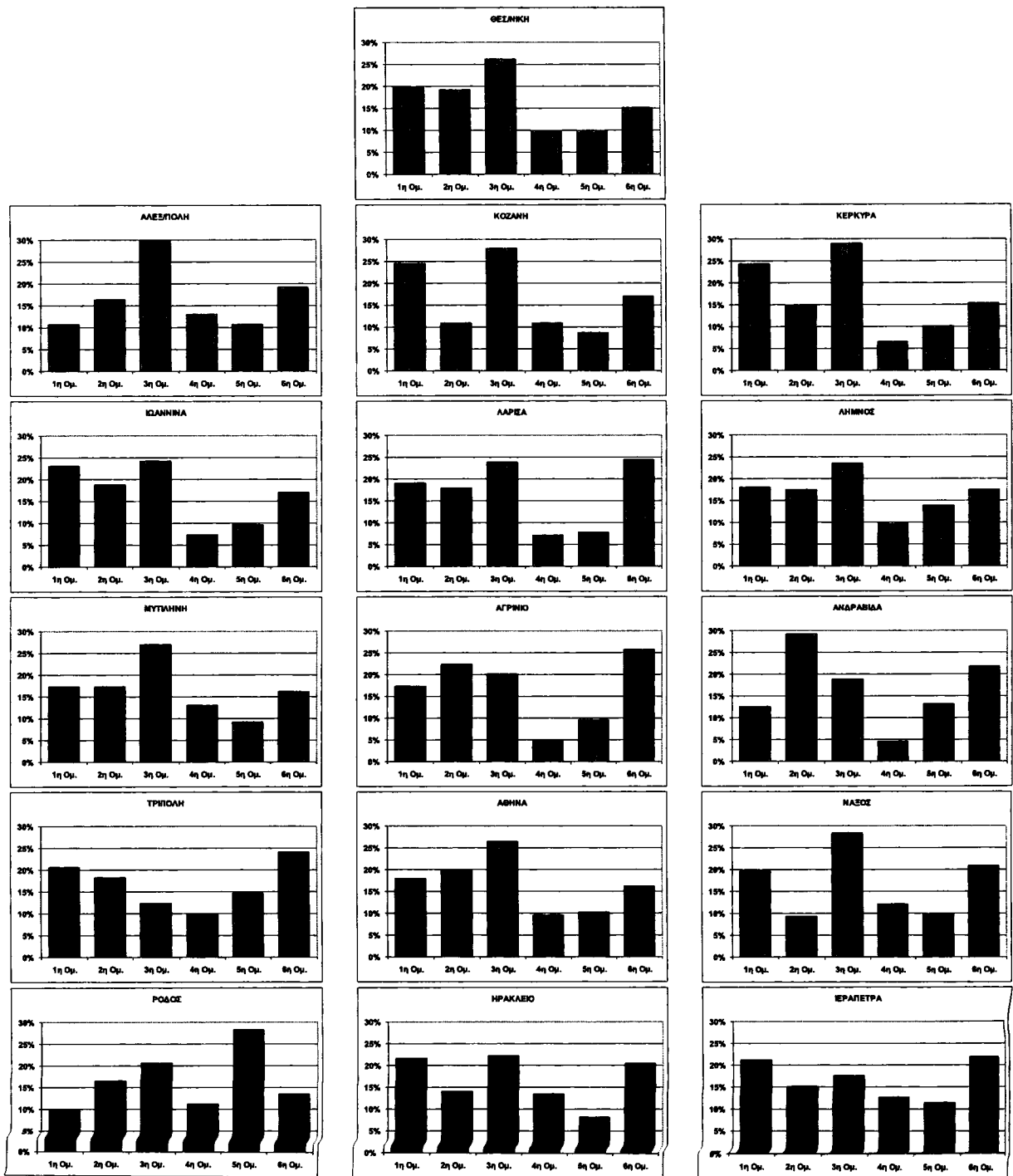
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

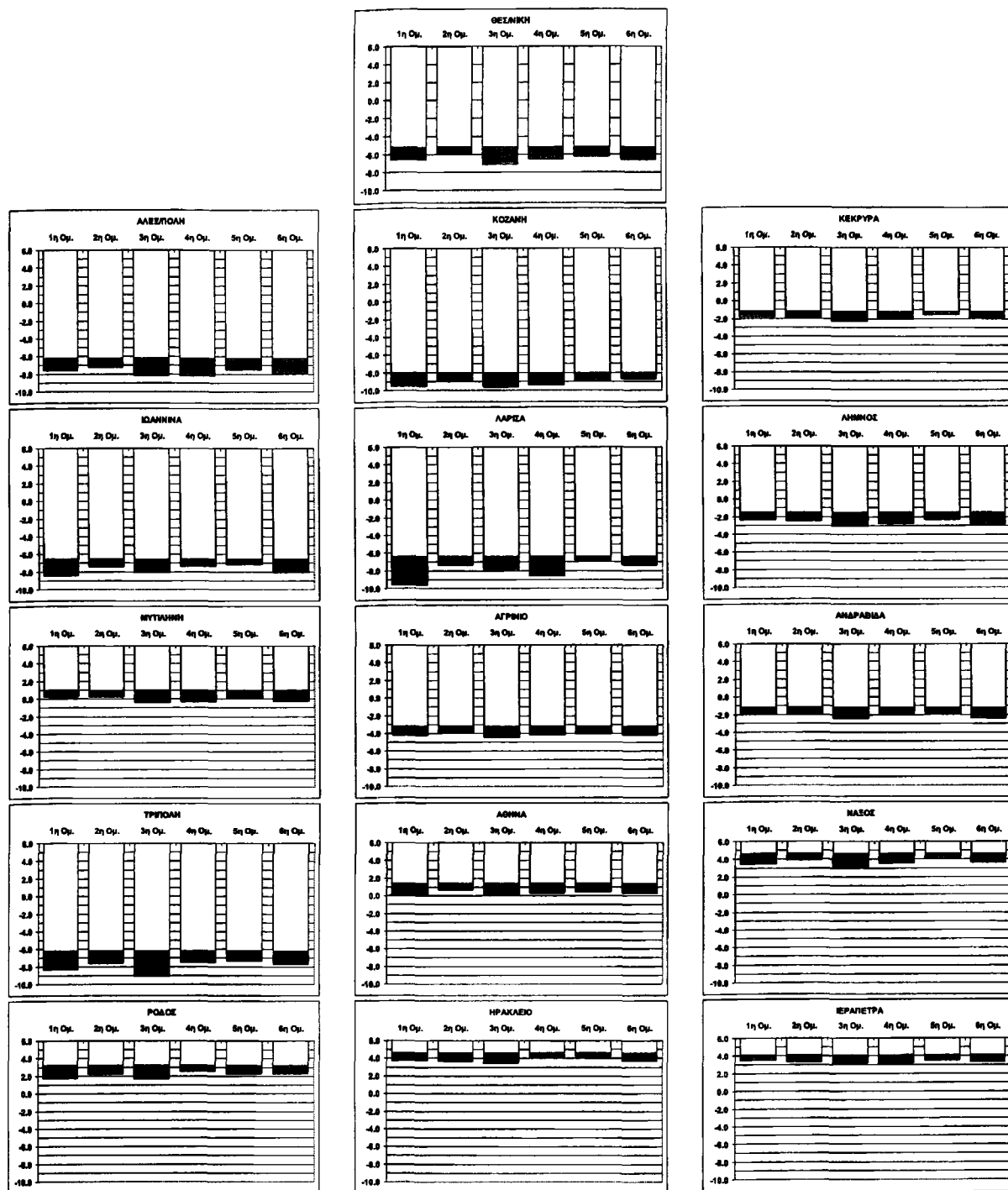
Σχήμα 4.31 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Σχήμα 4.31 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 6^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα ψυχρά επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων. β) Κατανομή του πλήθους των ψυχρών επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραίες τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας.

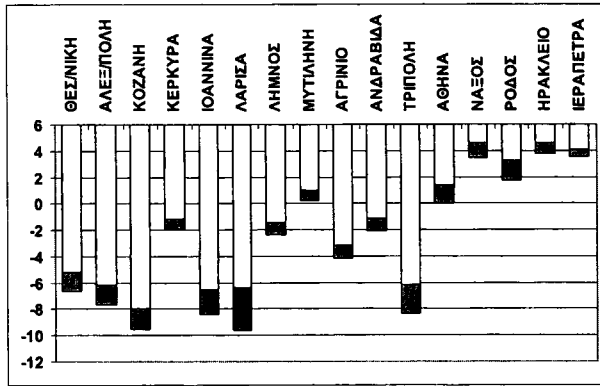


Σχήμα 4.32 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό η ποσοστιαία κατανομή στις ομάδες των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραία ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία στο σταθμό.

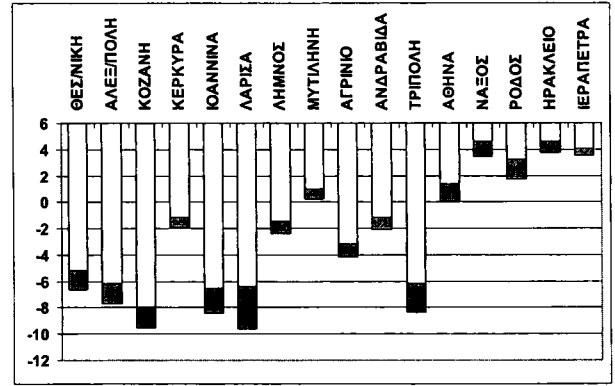


Σχήμα 4.33 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό παρουσιάζεται με τις έγχρωμες στήλες η μέση ελάχιστη θερμοκρασία για τις ψυχρές ημέρες της κάθε ομάδας και με τις λευκές το όριο του 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών. Στον κατακόρυφο άξονα είναι η θερμοκρασία σε °C.

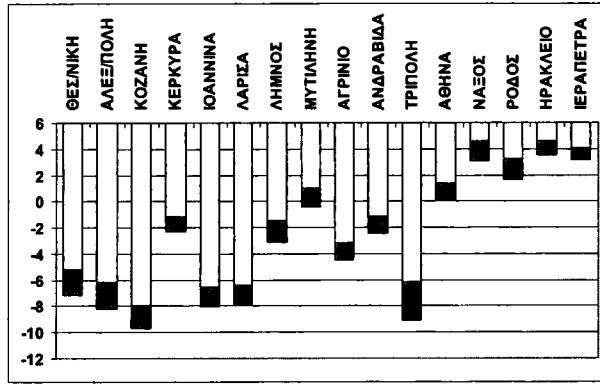
1^η Ομάδα



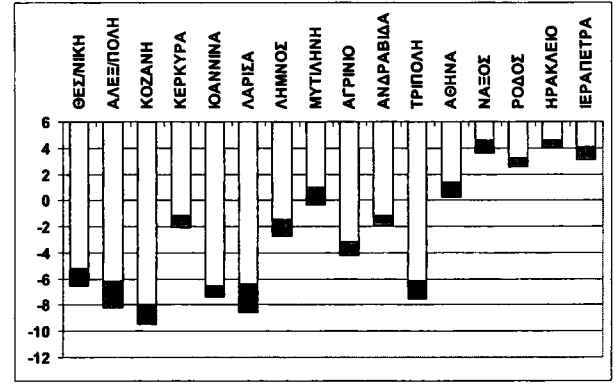
2^η Ομάδα



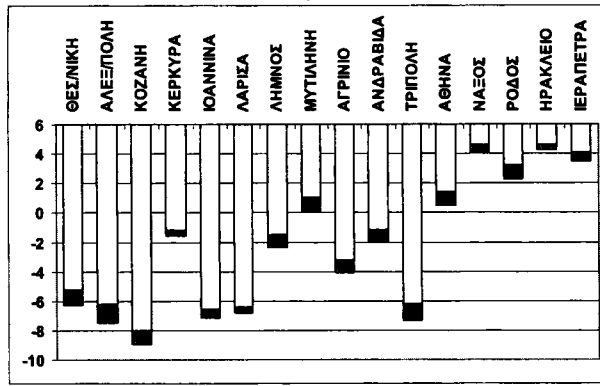
3^η Ομάδα



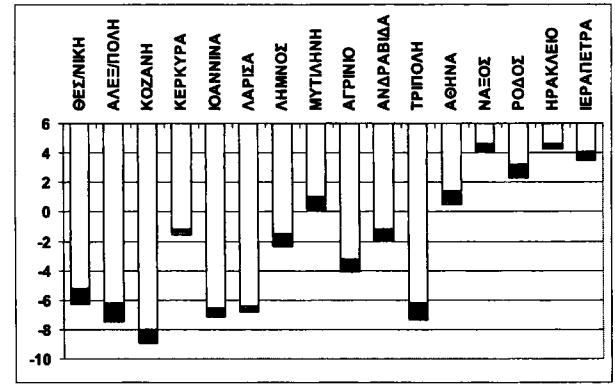
4^η Ομάδα



5^η Ομάδα



6^η Ομάδα

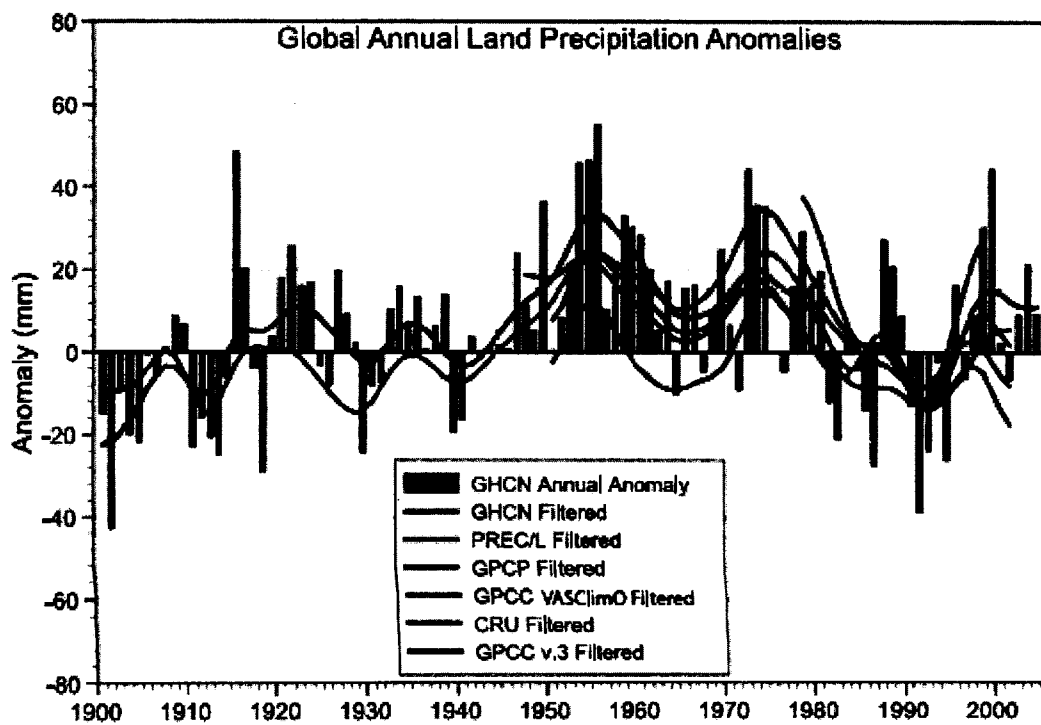


Σχήμα 4.34 Για κάθε ομάδα επεισοδίων και για κάθε σταθμό παρουσιάζεται με μπλε χρώμα η διαφορά της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας, για τις ημέρες των επεισοδίων της ομάδας, από το όριο του 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών για κάθε ΜΣ. Στον κατακόρυφο άξονα είναι η θερμοκρασία σε °C.

5. Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης (EAB)

5.1. Εισαγωγή

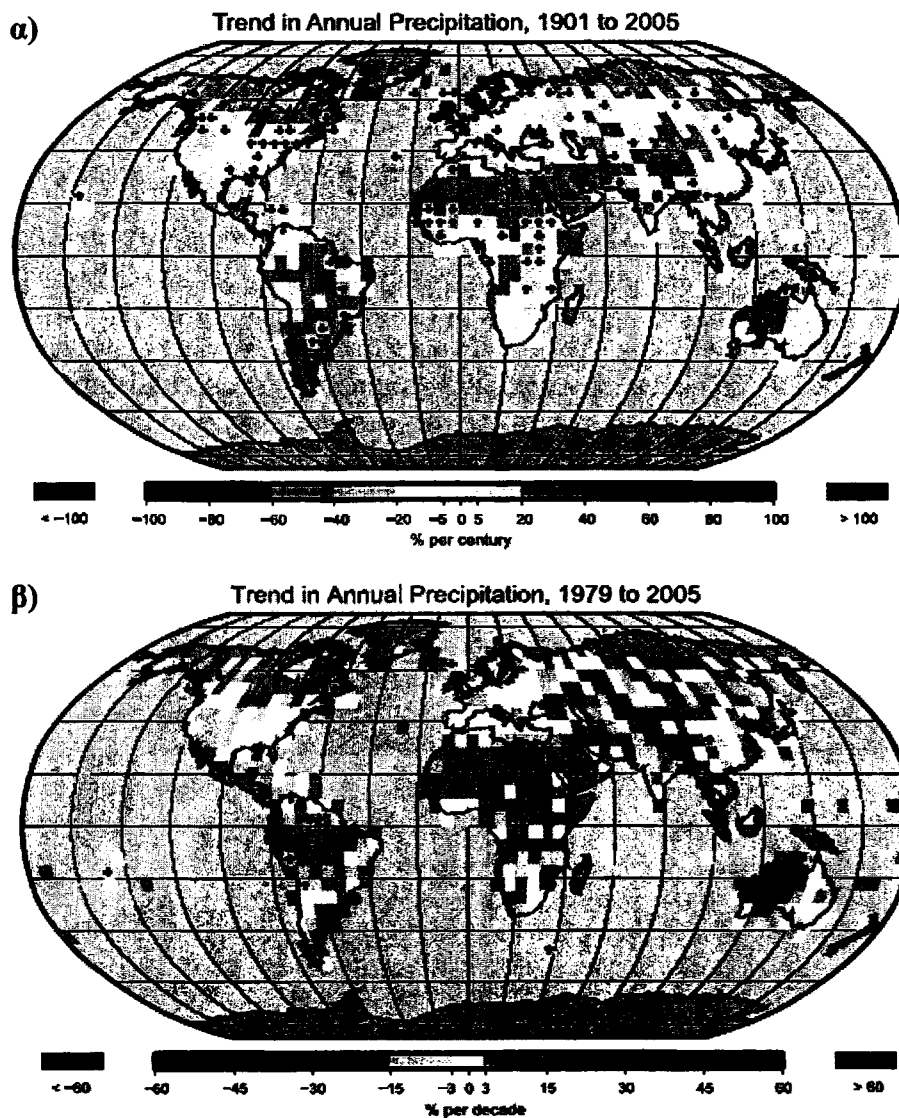
Η κλιματική αλλαγή, που αδιαμφισβήτητα συντελείται σε πλανητική κλίμακα δεν αντικατοπτρίζεται μόνο στην αλλαγή του θερμοκρασιακού καθεστώτος. Αναμενόμενες είναι αλλαγές και σε άλλες παραμέτρους, που καθορίζουν το κλίμα, όπως η νέφωση, η βροχόπτωση και άλλες. Στην πρόσφατη αναφορά του IPCC (Trenberth et al, 2007) αναφέρεται ότι ο υδρολογικός κύκλος σε παγκόσμια κλίμακα θα υποστεί μεταβολές, εξαιτίας μίας περαιτέρω αύξησης της θερμοκρασίας. Κάτι τέτοιο θα έχει ως συνέπεια μεταβολές, τόσο στα ύψη των βροχοπτώσεων, όσο και στη διάρκεια και στην έντασή τους. Στην ίδια αναφορά παρατίθενται αποτελέσματα ερευνών, που αφορούν τις τάσεις των ετήσιων αποχών βροχόπτωσης πάνω από την ξηρά σε παγκόσμια κλίμακα, από τη μέση τιμή βροχόπτωσης της περιόδου 1981 – 2000. Σύμφωνα με αυτές τις έρευνες δεν αποκαλύπτονται στατιστικά σημαντικές τάσεις που να αφορούν όλη τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, όμως σε μικρότερες χρονικές περιόδους παρατηρείται αυξητική τάση μέχρι τη δεκαετία του 1950, στη συνέχεια ακολουθεί μία τάση μείωσης μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 και ανάκαμψη από τότε και έπειτα (σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Η χρονοσειρά των ετήσιων αποχών του νετού (mm) πάνω από την ξηρά σε παγκόσμια κλίμακα από το μέσο όρο των ετήσιων ποσών νετού της περιόδου 1981 – 2000. Οι συνεχείς καμπύλες αντιστοιχούν στις εξομαλυσμένες ανά δεκαετία διακυμάνσεις με τη χρήση υψών νετού από τα αντίστοιχα σει δεδομένων (Trenberth et al., 2007)

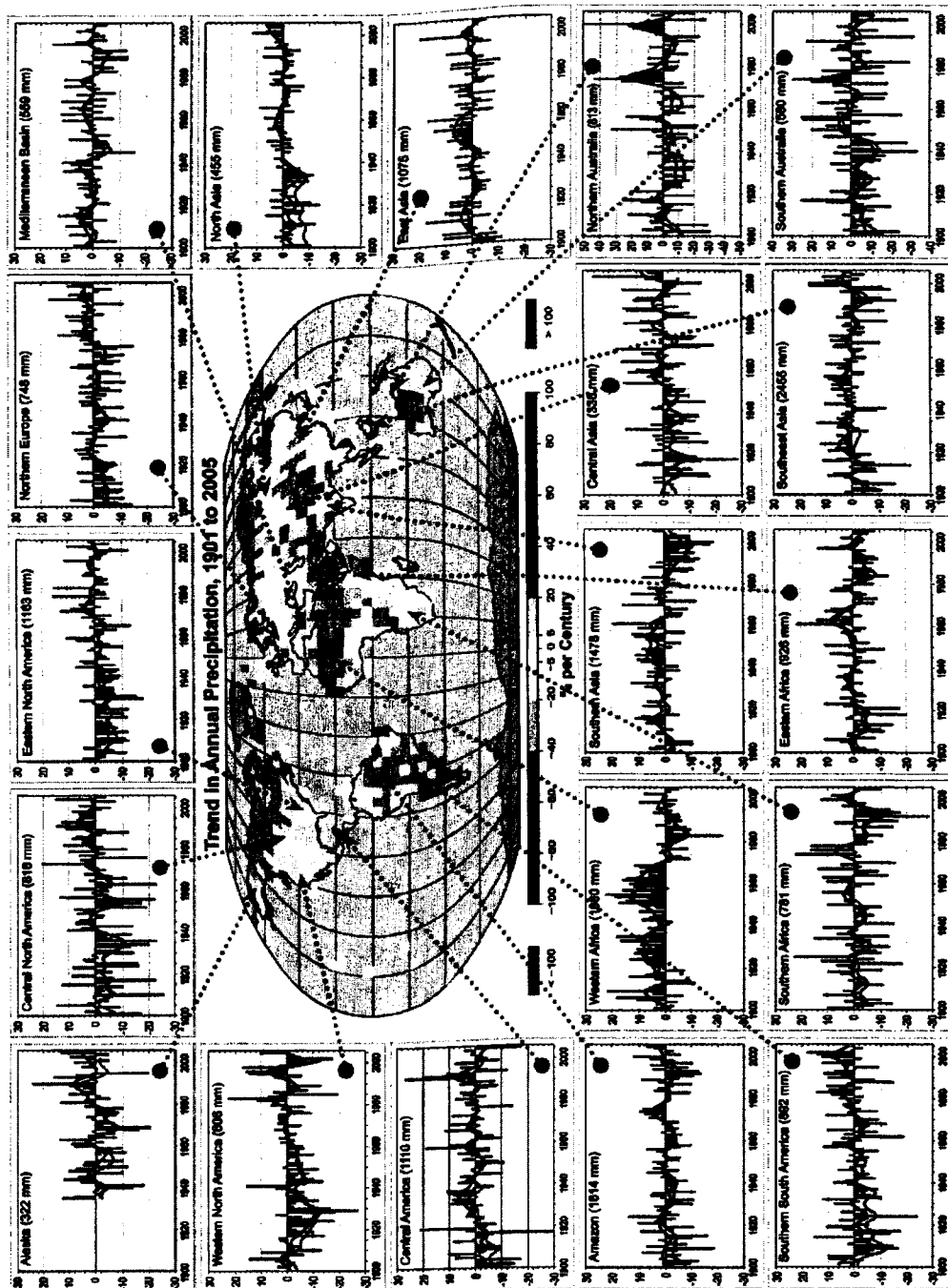
Η χωρική κατανομή των τάσεων (Σχήμα 5.2α) δείχνει ότι για τον περασμένο αιώνα στατιστικά σημαντικές αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται κυρίως στη νότια Λατινική Αμερική στην Ανατολική βόρειο Αμερική και στη δυτική Αυστραλία. Αντίθετα στη δυτική Αφρική τα ύψη των βροχοπτώσεων παρουσιάζουν τάσεις μείωσης, οι οποίες υπολογιζόμενες για όλη την περίοδο του περασμένου αιώνα ξεπερνούν το 20% της μέσης τιμής για την περίοδο 1961 –

1990. Ωστόσο, στη δυτική Αφρική τα τελευταία έτη του περασμένου αιώνα οι τάσεις είναι αυξητικές με ποσοστό αύξησης περί το 10% ανά δεκαετία.



Σχήμα 5.2 Οι τάσεις των ετησίων υψών νετού πάνω από την ξηρά α) για την περίοδο 1901 – 2005 (% ανά αιώνα) και β) για την περίοδο 1979 – 2005 (% ανά δεκαετία), με τη χρήση των δεδομένων GHCN από το NCDC. Τα ποσοστά των τάσεων έχουν υπολογιστεί με βάση τις μέσες τιμές της περιόδου 1961 – 1990. Στις περιοχές με γκρι χρώμα υπάρχουν ελλιπή δεδομένα και στις περιοχές που έχουν την ένδειξη (+) οι τάσεις είναι στατιστικά σημαντικές.

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι χρονοσειρές των ετήσιων υψών βροχόπτωσης εκπεφρασμένων σε ποσοστά % σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου 1961 – 1990 για διάφορες περιοχές της υδρογείου. Όπως τονίζεται στην αναφορά του IPCC ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χρονοσειρές για τις περιοχές της βορείου Ευρώπης και της Μεσογείου οι οποίες συσχετίζονται μεταξύ τους αρνητικά, γεγονός που οφείλεται στην επίδραση του NAO. Είναι γνωστό ότι κατά τη θετική φάση του NAO στην περιοχή της Μεσογείου επικρατούν ξηροί χειμώνες, ενώ ιδιαίτερος υγροί είναι οι χειμώνες στη βόρειο Ευρώπη (Dickson et al., 2000; Hurrell and van Loon, 1997; Alexandersson et al., 1998).



Σχήμα 5.3 Στον κεντρικό χάρτη φαίνεται η χωρική κατανομή των τάσεων των ετήσιων υψών βροχόπτωσης (% ανά αιώνα). Στις περιοχές με γκρι χρώμα υπάρχουν ελλιπή δεδομένα. Περιμετρικά εμφανίζονται, για διάφορες περιοχές, οι χρονοσειρές των ετήσιων υψών βροχόπτωσης για την περίοδο 1900 – 2005, εκτεφρασμένες σε ποσοστά % ως προς τη μέση ετήσια τιμή της περιόδου 1961 – 1990 (πάνω αριστερά σε κάθε χρονοσειρά), με τη χρήση των δεδομένων GHCN. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί σε εξομαλυσμένες ανά δεκαετία τιμές και η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στις εξομαλυσμένες ανά δεκαετία τιμές με τη χρήση των δεδομένων CRU.

Μεγάλο πλήθος μελετών έχουν πραγματοποιηθεί όσον αφορά το καθεστώς των βροχοπτώσεων στην Ευρώπη και στη Μεσόγειο, τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν κατά τον περασμένο αιώνα και τις αιτίες που τις προκάλεσαν (Brunetti et al., 2006; Kveton and Zak, 2008; Romero et al., 1998; Fotiadi et al., 1999). Σε μία αναλυτική μελέτη των Chorlaki et al. (2004), που αφορά την περιοχή της Μεσογείου, αποκαλύφθηκε ότι μεταβολές που παρατηρήθηκαν σε χρονικά διαστήματα δεκαετιών, μπορούν να συνδεθούν σε μεγάλο βαθμό με τη μεταβλητότητα του δείκτη NAO. Ακόμη, προέκρινε ότι στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα

παρατηρήθηκε ένα μέγιστο στα ύψη βροχόπτωσης τη δεκαετία του 1960 και έπειτα εμφανίστηκε μία συνεχής τάση μείωσης της τάξης των 2.2mm ανά δεκαετία κατά μέσο όρο για κάθε μήνα του έτους. Οι Krichak και Alpert (2005) για την μείωση των υψών βροχόπτωσης στην ανατολική Μεσόγειο πρότειναν ως αιτία την αυξητική τάση που παρουσίασε ο δείκτης τηλε-σύνδεσης στα 500hPa ανάμεσα στον Ανατολικό Ατλαντικό και τη Δυτική Ρωσία (East Atlantic Western Russia, EAWR), η οποία με τη σειρά της συνδέεται με την αυξητική τάση του δείκτη NAO (North Atlantic Oscillation). Στην τελευταία απέδωσαν και τη μείωση των υψών βροχόπτωσης στη δυτική Μεσόγειο.

Παρόλη την καταγεγραμμένη μείωση των ετήσιων υψών βροχόπτωσης, κυρίως στην ανατολική Μεσόγειο, η συχνότητα εμφάνισης ακραίων υψών βροχόπτωσης και η ένταση των βροχοπτώσεων σε πολλές περιοχές της λεκάνης της Μεσογείου εμφάνισαν αυξητικές τάσεις (Alpert et al. 2002). Οι Kostopoulou and Jones (2005) διαπίστωσαν ότι στην Ιταλική χερσόνησο η ένταση των βροχοπτώσεων παρουσίασε αύξηση το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Τέτοιου είδους αλλαγές στο καθεστώς των βροχοπτώσεων φαίνεται ότι δεν είναι προσωρινές. Σε μία μελέτη των Goubanova and Li (2006), στην οποία χρησιμοποίησαν το κλιματικό μοντέλο LMDZ για να προσομοιώσουν το κλίμα στη λεκάνη της Μεσογείου στη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, προβλέφθηκε η συνέχιση της μείωσης των ετήσιων υψών βροχόπτωσης και η περαιτέρω αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων.

Ειδικά για την περιοχή της Ελλάδας οι Feidas et al. (2007) απεκάλυψαν τάση μείωσης στα ετήσια ύψη βροχόπτωσης καθώς και στα ύψη βροχόπτωσης της χειμερινής περιόδου, από το 1984 και μετά. Από αυτή τη μελέτη προέκυψε ότι οι χρονοσειρές ετήσιας, χειμερινής και θερινής βροχόπτωσης, για την περιοχή της Ελλάδας, παρουσίασαν καλή αρνητική συσχέτιση με το δείκτη NAO. Έτσι, απέδωσαν τη μείωση της βροχόπτωσης στην αντίστοιχη αύξηση του δείκτη NAO και στην επακόλουθη επικράτηση αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην περιοχή της Ελλάδας.

Οι Hatzianastassiou et al. (2008) με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων βροχόπτωσης για την περίοδο 1979 – 2004, διαπίστωσαν τάση μείωσης στη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και τάση αύξησης κατά τη δεκαετία του 1990, ενώ από το 2000 και μετά η ελάττωση των υψών βροχόπτωσης στην Ελλάδα έγινε και πάλι εμφανής, συμβάλλοντας στη συνολική τάση μείωσής τους για όλη την 26ετή περίοδο. Μία περισσότερο αναλυτική προσέγγιση έδειξε ότι αυτή η συνολική μείωση συνοδεύτηκε από την αντίστοιχη μείωση στις μέγιστες τιμές βροχόπτωσης. Ακόμη, σε αντίθεση με τη γενική εικόνα της μείωσης των υψών βροχόπτωσης στην Ελλάδα, στη βόρεια χώρα παρατηρήθηκε αύξηση, ενώ κυρίως στη νότια Ελλάδα η μείωση ήταν ιδιαίτερα μεγάλη. Τέλος, επιβεβαιώθηκε και από αυτή τη μελέτη η υψηλή αρνητική συσχέτιση του δείκτη NAO με τα ύψη βροχόπτωσης στην Ελλάδα, κάτι το οποίο συνηγορεί στο γεγονός ότι μεγάλης κλίμακας τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας έχουν άμεση επίδραση στο κλίμα σε τοπικό επίπεδο.

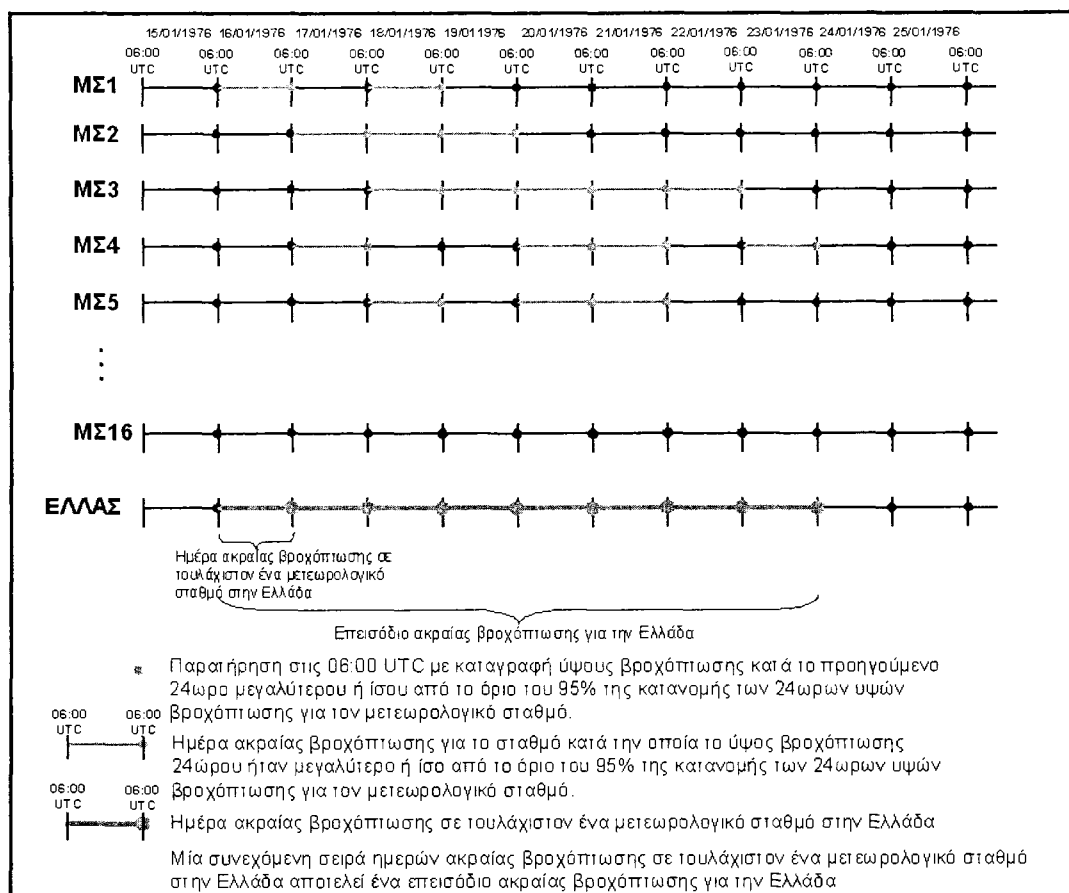
Σε αυτό το κεφάλαιο της διατριβής επιχειρείται να διαπιστωθούν οι τύποι εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην Ευρώπη και στην Μεσόγειο, οι οποίοι συνδέονται με επεισόδια ακραίων υψών ημερήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα. Για το σκοπό αυτό γίνεται χρήση της μεθοδολογίας, που αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 2.

5.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Επεισοδίων Ακραίων Βροχοπτώσεων

Για κάθε έναν μετεωρολογικό σταθμό λαμβάνονται τα ύψη βροχόπτωσης 24ώρου καταγεγραμμένα στις 0600UTC. Ως ημέρες ακραίας βροχόπτωσης ορίζονται εκείνα τα 24ωρα (από 0600UTC έως 0600UTC) κατά τα οποία σε τουλάχιστον ένα ΜΣ το ύψος βροχόπτωσης ξεπερνούσε την τιμή που αντιστοιχεί στο 95% της κατανομής των υψών βροχόπτωσης του ΜΣ. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται για κάθε ένα ΜΣ τα όρια του 95% της κατανομής των βροχοπτώσεων, το συνολικό πλήθος ημερών ακραίας βροχόπτωσης, καθώς και το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης 24ώρου, που σημειώθηκε για την υπό μελέτη περίοδο. Στη δυτική Ελλάδα και να νησιά του ανατολικού Αιγαίου το όριο ξεπερνά τα 30mm/24ωρο φτάνοντας τα 39mm/24ωρο για την Κέρκυρα και τη Ρόδο. Ακόμη, στις ηπειρωτικές περιοχές (Κοζάνη, Ιωάννινα και Τρίπολη) το πλήθος των ημερών ακραίας βροχόπτωσης εμφανίζεται υψηλό καθώς σε τέτοιες περιοχές σημειώνονται ισχυρές βροχοπτώσεις ακόμη και κατά τη διάρκεια του θέρους λόγω των θερμικών καταιγίδων. Το πλήθος των ημερών ακραίας βροχόπτωσης σε τουλάχιστον ένα ΜΣ για την περίοδο 1/9/1957 έως 31/8/2002 βρέθηκε ότι ήταν 1805.

Πίνακας 5.1 Τα όρια του 95% της κατανομής των υψών βροχόπτωσης 24ώρου σε κάθε ένα από τους 16 Μετεωρολογικούς Σταθμούς στην Ελλάδα για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002. Ακόμη το πλήθος των ημερών κατά τις οποίες το ποσό βροχόπτωσης ξεπέρασε ή ήταν ίσο με το όριο σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό, καθώς και το απολύτως μέγιστο ύψος βροχόπτωσης 24ώρου για κάθε ΜΣ για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο.

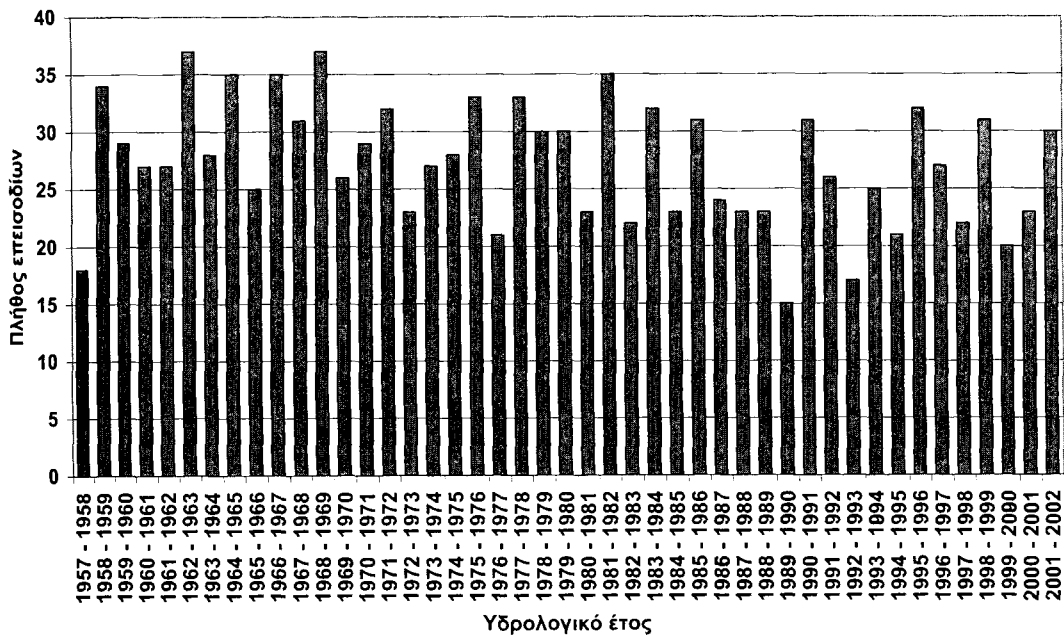
Κωδικός ΜΣ	ΜΣ	Όριο (95%) (mm/24ωρο)	Πλήθος Ημερών	Μέγιστη τιμή (mm/24ωρο)
622	Θεσσαλονίκη	20.0	183	113.4
627	Αλεξανδρούπολη	26.0	174	110.2
632	Κοζάνη	19.0	213	103.4
641	Κέρκυρα	39.0	231	238.3
642	Ιωάννινα	31.0	262	95.4
648	Λάρισα	18.0	191	142.3
650	Λήμνος	27.2	97	94.0
667	Μυτιλήνη	33.4	163	144.7
672	Αγρίνιο	33.0	225	147.8
682	Ανδραβίδα	31.0	199	174.0
710	Τρίπολη	28.0	231	107.6
716	Αθήνα	22.8	142	152.8
732	Νάξος	22.0	142	97.0
749	Ρόδος	39.0	155	190.0
754	Ηράκλειο	26.0	167	90.4
756	Ιεράπετρα	29.0	134	151.7



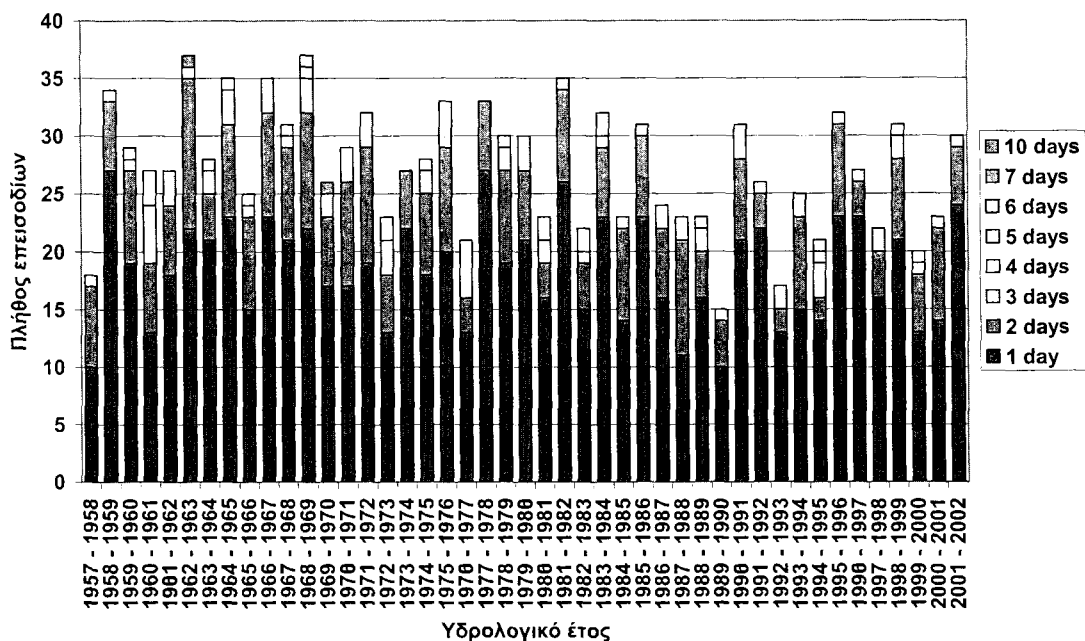
Σχήμα 5.4 Σχηματική αναπαράσταση του ορισμού των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης για την Ελλάδα

Στη συνέχεια, ορίζεται ως επεισόδιο ακραίας βροχόπτωσης (EAB) κάθε περίπτωση συνεχόμενων ημερών ακραίας βροχόπτωσης σε τουλάχιστον ένα ΜΣ, όπως φαίνεται και στη γραφική αναπαράσταση του σχήματος 5.4. Για τη χρονική περίοδο 1/9/1957 έως 31/8/2002 προκύπτουν 1231 επεισόδια. Στο σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση του πλήθους των EAB, η οποία για όλη τη χρονική περίοδο εμφανίζει στατιστικά σημαντική (test Mann-Kendall) τάση μείωσης ($-0,141107x + 30,60101$). Ωστόσο το συμπέρασμα αυτό δεν είναι απολύτως ασφαλές καθώς σε μερικούς σταθμούς υπάρχουν ελλειπή δεδομένα. Χαρακτηριστικό είναι ότι η ελάχιστη τιμή του ετήσιου πλήθους των EAB (15 EAB/υδρολογικό έτος) καταγράφηκε το 1990, μία χρονιά στην οποία ο δείκτης NAO παρουσίασε τη μέγιστη τιμή του περασμένου αιώνα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.7 του 1^{ου} κεφαλαίου. Στο σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η ετήσια διακύμανση του πλήθους των EAB σε σχέση με τη διάρκειά τους. Κατά τη δεκαετία του 1980 εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένη η συχνότητα EAB διάρκειας 5 ημερών, κάτι το οποίο δεν ισχύει για την υπόλοιπη χρονική περίοδο. Η μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των EAB (σχήμα 5.7) παρουσιάζει ένα κύριο μέγιστο κατά το μήνα Δεκέμβριο και ένα δευτερεύον μέγιστο κατά τον μήνα Μάιο. Στο σχήμα 5.8 παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των EAB σε σχέση με τη διάρκειά τους. Όπως είναι αναμενόμενο τα επεισόδια διάρκειας τουλάχιστον 3 ημερών συμβαίνουν κυρίως κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο του έτους, ενώ τα επεισόδια μεγάλης διάρκειας τουλάχιστον 6 ημερών συμβαίνουν κατά το τέλος της φθινοπωρινής περιόδου (Οκτώβριος και Νοέμβριος) και τον Δεκέμβριο. Τη θερινή περίοδο τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης έχουν διάρκεια κυρίως μίας ημέρας και αφορούν προφανώς τις θερμικές καταιγίδες, που παρατηρούνται κατά τις απογευματινές ώρες. Γενικά τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης στην συντριπτική τους πλειοψηφία παρουσιάζουν διάρκεια 1 ημέρας (Σχήμα 5.9) ενώ αρκετά είναι εκείνα που διαρκούν 2 ημέρες.

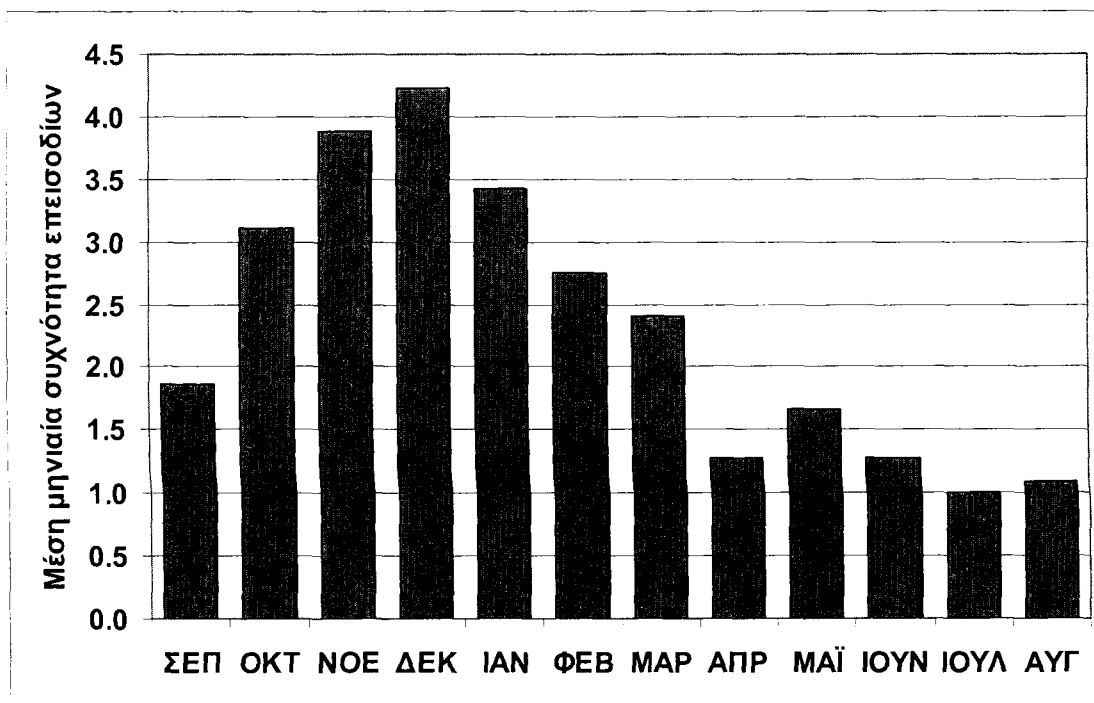
Το επεισόδιο με τη μεγαλύτερη διάρκεια 10 ημερών είχε ως ημερομηνία έναρξης την 25^η Οκτωβρίου 1962. Τις τρεις πρώτες ημέρες του ΕΑΒ τα ακραία ύψη βροχόπτωσης 24ώρου περιορίζονταν στη νότια νησιωτική Ελλάδα (Ηράκλειο, Ρόδος). Τις επόμενες ημέρες οι ακραίες βροχοπτώσεις έπληξαν κυρίως τη δυτική Ελλάδα (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Αγρίνιο, Ανδραβίδα), στις 31 Οκτωβρίου ακραία ύψη βροχόπτωσης καταγράφηκαν σε περιοχές της κεντρικής Ελλάδας (Αθήνα, Λάρισα, Κοζάνη) και την τελευταία ημέρα περιορίστηκαν στη βόρεια Ελλάδα (Αλεξανδρούπολη). Το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης 24ώρου (79.3mm) καταγράφηκε στο Ηράκλειο. Το μεγαλύτερο συνολικό ύψος βροχόπτωσης (146.9mm) για όλη τη διάρκεια του επεισοδίου καταγράφηκε επίσης στο Ηράκλειο, και αντιστοιχεί σε βροχή που έπεσε κατά τις τρεις πρώτες ημέρες του επεισοδίου.



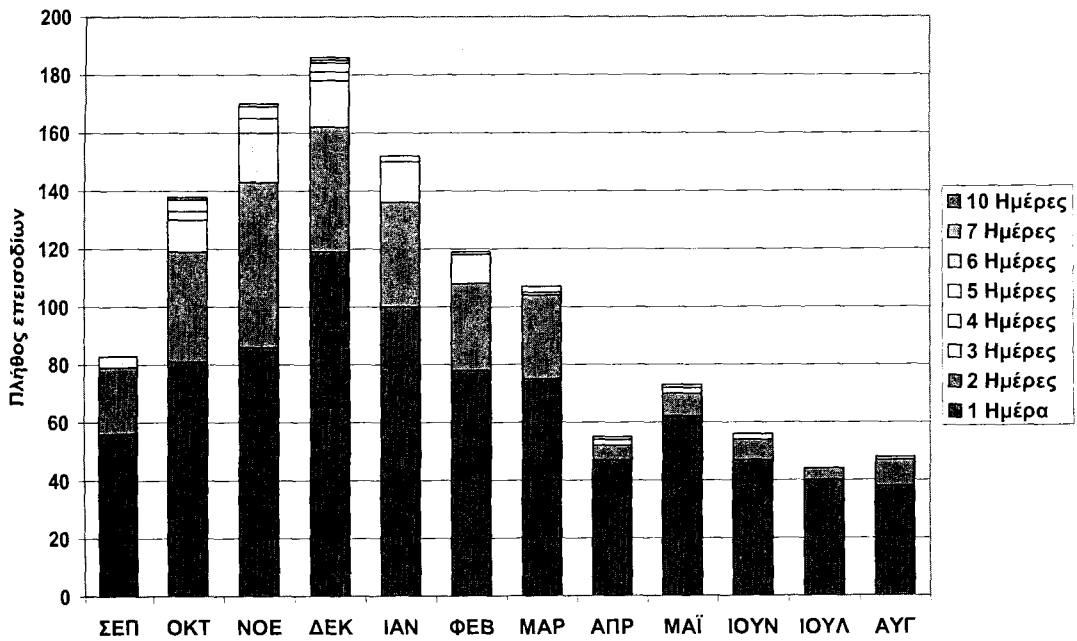
Σχήμα 5.5 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος.



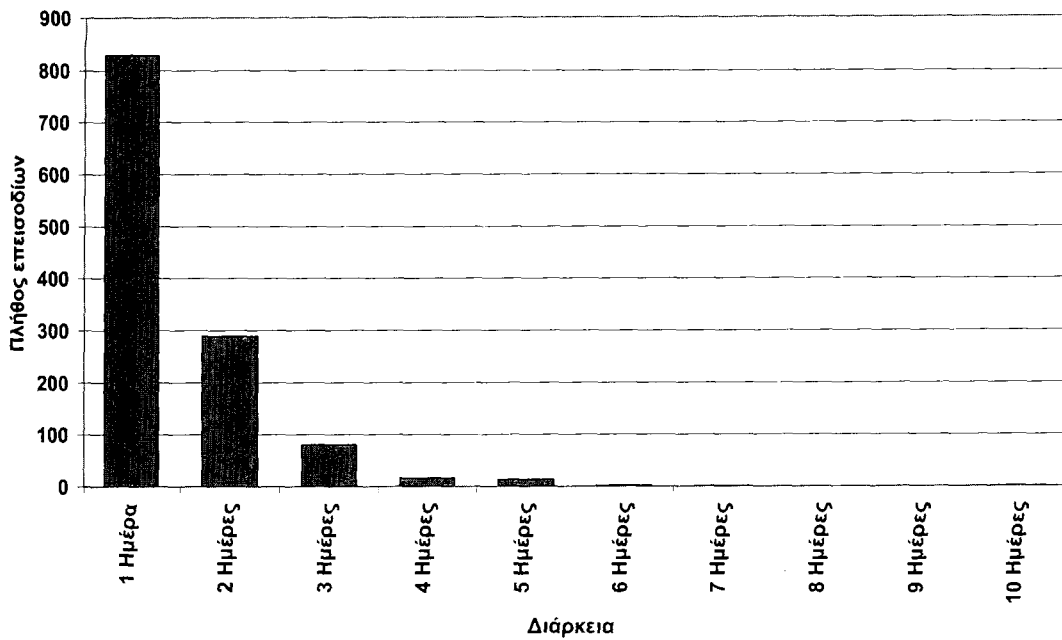
Σχήμα 5.6 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 5.7 Μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου.



Σχήμα 5.8 Ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 5.9 Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ως προς τη διάρκειά τους.

5.3. **Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης**

Για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης, ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα του ECMWF λαμβάνονται οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας της στάθμης των 850hPa, της θερμοκρασίας της στάθμης των 500hPa, του γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa και του πάχους στρώματος 1000-500hPa, στις 18:00UTC μία ημέρα (24ωρο από 06:00UTC έως 06:00UTC) πριν την έναρξη κάθε επεισοδίου (Ημέρα H-1), την ημέρα έναρξης του κάθε επεισοδίου (Ημέρα H) και μία ημέρα μετά τη λήξη του κάθε επεισοδίου (Ημέρα ΛΗΞΗΣ). Δημιουργούνται έτσι τρεις πίνακες 1365 στηλών και 1231 γραμμών, για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ αντίστοιχα. Σε κάθε έναν πίνακα, κάθε μία γραμμή από τις 1231 αντιστοιχεί στη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στις 18:00UTC για κάθε ένα από τα αντίστοιχα επεισόδια.

Εφαρμόζεται η Παραγοντική ανάλυση (S – mode) σε κάθε έναν από τους πίνακες, με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων. Προκύπτουν 8 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H-1, 8 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H και 8 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας ΛΗΞΗΣ, που ερμηνεύουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Οι τρεις νέοι πίνακες με τις τιμές επίδοσης των παραγόντων ενοποιούνται σε έναν πίνακα 24 στηλών και 1231 γραμμών. Στον ενοποιημένο πίνακα οι γραμμές αντιστοιχούν στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια κάθε ενός επεισοδίου ακραίας βροχόπτωσης. Σε αυτόν τον πίνακα εφαρμόζεται η K-Means Ανάλυση κατά Συστάδες και τα 1231 επεισόδια ομαδοποιούνται σε 16 ομάδες, λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο άλματος, αλλά και τη φυσική ερμηνεία των τύπων της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχούν στις ομάδες. Για κάθε ομάδα σχεδιάζονται οι μέσοι χάρτες στις 18:00UTC για κάθε μία παράμετρο για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ και παρουσιάζονται στα σχήματα 5.10 έως 5.25. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται η εποχική κατανομή των επεισοδίων της κάθε ομάδας, η κατανομή των επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους για κάθε ομάδα καθώς και για κάθε σταθμό το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραίο ποσό βροχόπτωσης ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών, που διήρκεσαν τα επεισόδια της κάθε ομάδας.

1^η Ομάδα (67 ΕΑΒ 6%): Σε αυτή την ομάδα ανήκουν επεισόδια που συμβαίνουν περί το τέλος της χειμερινής περιόδου και στην πλειοψηφία τους κατά την άνοιξη. Η διάρκειά τους είναι κυρίως 1 ημέρα, ενώ οι περιοχές της Ελλάδας που επηρεάζονται λιγότερο από αυτή την καιρική κατάσταση είναι η Κέρκυρα και η Ιεράπετρα.

Στη μέση τροπόσφαιρα ένα σχεδόν αποκομμένο χαμηλό συνοδεύεται από εκτεταμένο σύστημα χαμηλών πιέσεων στην επιφάνεια, το οποίο σχηματίζεται αρχικά στην περιοχή της Δυτικής Μεσογείου και κινείται γρήγορα ανατολικά, ικανό να προκαλέσει ακραία ύψη βροχόπτωσης με ίση πιθανότητα σχεδόν σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας. Τα επεισόδια αυτής της ομάδας λήγουν γρήγορα όταν η ύφεση βρίσκεται πια στην περιοχή της Μικράς Ασίας.

2^η Ομάδα (72 ΕΑΒ 6%): Ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα είναι χειμερινός, όπως φαίνεται από το σχήμα 5.10α. Τα επεισόδια διαρκούν κυρίως 1 με 2 ημέρες, ενώ δεν λείπουν και εκείνα που έχουν μεγαλύτερη διάρκεια μέχρι και 7 ημέρες. Οι περιοχές στις οποίες καταγράφονται οι περισσότερες ημέρες ακραίας βροχόπτωσης, κατά τη διάρκεια των επεισοδίων αυτής της ομάδας είναι η Μυτιλήνη και η Τρίπολη. Γενικότερα η νησιωτική Ελλάδα και η Πελοπόννησος φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από αυτόν τον τύπο.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων πάνω από την Ιταλική χερσόνησο εδράζεται το κέντρο μίας ύφεσης η οποία μετακινείται σχετικά αργά ανατολικά και κατά την ημέρα έναρξης το κέντρο της βρίσκεται στο Ιόνιο πέλαγος, ενώ η ύφεση βαθαίνει αισθητά και αυξάνει η οριζόντια βαροβαθμίδα. Η ύφεση συνοδεύεται από θερμό μέτωπο κατά μήκος της Πελοποννήσου και του Αιγαίου πελάγους, το οποίο προκαλεί ακραίες τιμές βροχόπτωσης κυρίως σε αυτές τις περιοχές. Κατά την ημέρα ΛΗΞΗΣ η ύφεση έχει μετακινηθεί ακόμη ανατολικότερα πάνω από τη Μικρά Ασία και στην Ελλάδα επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες, όπως φαίνεται από το χάρτη της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850hPa (σχήμα 5.10).

3^η Ομάδα (51 ΕΑΒ 4%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας εκδηλώνονται περί το τέλος της χειμερινής περιόδου, κυρίως τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Η διάρκειά τους σπάνια ξεπερνά τις 2 ημέρες και οι περιοχές που επηρεάζονται περισσότερο από τον αντίστοιχο τύπο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας βρίσκονται στην Δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα και Αγρίνιο).

Στη μέση τροπόσφαιρα ένα αποκομμένο χαμηλό πάνω από την κεντρική Ευρώπη βαθαίνει ακόμη περισσότερο κατά την ημέρα Η. Ταυτόχρονα στην επιφάνεια η αντίστοιχη ύφεση, της οποίας το κέντρο κατά την ημέρα Η-1 βρίσκεται στη δυτική Μεσόγειο νότια της Ιταλίας μετακινείται ανατολικότερα προς το Ιόνιο πέλαγος κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων. Η ασθενής νότια ροή υγρών αερίων μαζών πάνω από τη δυτική Ελλάδα αποδεικνύεται ικανή να προκαλέσει ακραία ύψη βροχόπτωσης στην περιοχή, ενώ το ίδιο συμβαίνει και στο κεντρικό Αιγαίο. Τα επεισόδια λήγουν καθώς η ύφεση εξασθενεί πάνω από την Ελλάδα.

4^η Ομάδα (84 ΕΑΒ 7%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας εμφανίζονται κυρίως περί το τέλος του φθινοπώρου και μέχρι μέσα του χειμώνα. Σχετικά λίγα επεισόδια συμβαίνουν και την περίοδο της Άνοιξης. Η διάρκειά τους μπορεί να χαρακτηριστεί μικρή (1 με 2 ημέρες), δεν λείπουν όμως και τα επεισόδια 5 και 6 ημερών. Σχεδόν όλες οι περιοχές της χώρας εμφανίζουν την ίδια πιθανότητα να πληγούν από ακραίες βροχοπτώσεις κατά την εμφάνιση του τύπου της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα.

Στη μέση τροπόσφαιρα ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων βρίσκεται πάνω από την βόρειο Ιταλία πριν την έναρξη των επεισοδίων και στη συνέχεια μετακινείται νότιο ανατολικά πάνω από τη νότιο Ιταλία. Φυσικά συνοδεύεται από την ύπαρξη μίας ύφεσης στην επιφάνεια με κέντρο τη νότιο Ιταλία το οποίο μετακινείται κατά την ημέρα Η πάνω από το Ιόνιο πέλαγος. Αυτή η ύφεση, σε συνδυασμό με το σύστημα υψηλών πιέσεων πάνω από τη βορειοανατολική Ευρώπη προκαλεί τη νοτιοανατολική ροή υγρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα, προκαλώντας ακραία ύψη βροχόπτωσης σε όλη σχεδόν τη χώρα. Η εξασθένιση της ύφεσης και η επικράτηση ξηρών και ψυχρών αερίων μαζών βόρειας προέλευσης κατά την ημέρα ΛΗΞΗΣ σηματοδοτεί τη λήξη των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης.

5^η Ομάδα (92 ΕΑΒ 8%): Αυτός ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμφανίζεται κυρίως κατά το τέλος της φθινοπωρινής περιόδου και στην αρχή του χειμώνα. Η διάρκεια των επεισοδίων ποικίλει μεταξύ της 1 ημέρας και των 3 ημερών. Επηρεάζονται περισσότερο η δυτική και βόρεια Ελλάδα καθώς και η Πελοπόννησος.

Ο αυλώνας χαμηλών πιέσεων στη μέση τροπόσφαιρα, που αρχικά βρίσκεται πάνω από τη Γαλλία και στη συνέχεια πάνω από τη βόρειο Ιταλία συνοδεύεται στην επιφάνεια από μία ύφεση πάνω από την Ιταλική χερσόνησο, η οποία προκαλεί νότιο νοτιοδυτική ροή αερίων μαζών, πάνω από τον κορμό της ηπειρωτικής Ελλάδας, εμπλουτισμένων με υδρατμούς από τη θάλασσα της Μεσογείου. Εξαιτίας της ορογραφίας οι υγρές αέριες μάζες όταν φτάνουν στην οροσειρά της Πίνδου ανωλίσθαινον και αφήνουν μεγάλα ποσά υετού κυρίως στην δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα). Κατά την ημέρα λήξης η ύφεση έχει εξασθενήσει αρκετά και κατ'επέκταση και η νότιο ροή των υγρών αερίων μαζών.

6^η Ομάδα (207 EAB 17%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα είναι θερινός. Τα επεισόδια στη συντριπτική τους πλειοψηφία παρουσιάζουν διάρκεια 1 ημέρας. Οι περιοχές που πλήττονται είναι κυρίως ηπειρωτικές (Κοζάνη, Λάρισα) ενώ και άλλες περιοχές στον κορμό της Ελλάδας στις οποίες μπορεί να υπάρξει εμπλουτισμός της υπερκείμενης αέριας μάζας με υδρατμούς, εξαιτίας της γειννίασης με θάλασσα ή λίμνη (Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη, Κέρκυρα, Ιωάννινα), παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη πιθανότητα να πληγούν από ακραία ύψη βροχόπτωσης.

Ο ρηχός αυλώνας, που από την Ιταλία κινείται πάνω από την Ελλάδα, συνοδευόμενος με ψυχρές αέριες μάζες στη μέση τροπόσφαιρα, σε συνδυασμό με την έντονη θέρμανση των αερίων μαζών κοντά στην επιφάνεια λόγω της ηλιοφάνειας και της θέρμανσης της ξηράς, ευνοεί τη δημιουργία συνθηκών δυναμικής αστάθειας στην ατμόσφαιρα και την πρόκληση καταιγίδων κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές της κεντρικής, βόρειας και βορειοδυτικής Ελλάδας. Τα επεισόδια αυτής της ομάδας λήγουν σύντομα, καθώς ο αυλώνας χαμηλών πιέσεων μετακινείται περισσότερο ανατολικά πάνω από το Αιγαίο πέλαγος, με αποτέλεσμα να μην ευνοούνται πλέον οι συνθήκες αστάθειας πάνω από την ηπειρωτική χώρα.

7^η Ομάδα (55 EAB 4%): Τα επεισόδια που κατατάσσονται σε αυτή την ομάδα συμβαίνουν κυρίως κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, καθώς η συχνότητα εμφάνισής τους φθίνει συνεχώς κατά τους χειμερινούς μήνες. Η διάρκειά τους δεν μπορεί να χαρακτηριστεί μικρή καθώς τα μισά περίπου από αυτά διαρκούν από 2 έως και 5 ημέρες. Η νοτιοδυτική και η νησιωτική Ελλάδα πλήττονται περισσότερο από ακραία ύψη βροχόπτωσης κατά την επικράτηση του αντίστοιχου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Στη μέση τροπόσφαιρα η κυκλοφορία εμφανίζεται σχεδόν ζωνική πάνω από την Ελλάδα, ενώ στην επιφάνεια ένα βαθύ σύστημα χαμηλών πιέσεων εντοπίζεται στον ανατολικό Ατλαντικό ωκεανό και μία ρηχή ύφεση νότια της Ιταλίας, της οποίας το κέντρο μετατοπίζεται κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων στο Ιόνιο πέλαγος. Η σχετικά ψυχρή αέρια μάζα στη μέση τροπόσφαιρα και η θερμότερη και εμπλουτισμένη με υδρατμούς αέρια μάζα κοντά στην επιφάνεια, δημιουργούν συνθήκες αστάθειας κυρίως στις νησιωτικές περιοχές προκαλώντας καταιγίδες. Τα επεισόδια λήγουν με την επικράτηση ψυχρών αερίων μαζών και στην κατώτερη τροπόσφαιρα, οπότε εκλείπουν οι συνθήκες αστάθειας.

8^η Ομάδα (55 EAB 4%): Τους πρώτους χειμερινούς μήνες καθώς και τον μήνα Μάρτιο είναι πιθανότερη η εμφάνιση του τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα. Η διάρκειά τους σπάνια ξεπερνά τις 2 ημέρες. Η ανατολική, η βόρεια και η νότια νησιωτική Ελλάδα πλήττονται περισσότερο από ακραίες βροχοπτώσεις κατά την εμφάνιση αυτού του τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Στη μέση τροπόσφαιρα ένας εκτεταμένος αυλώνας χαμηλών πιέσεων καλύπτει την κεντρική Ευρώπη προκαλώντας κυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την Ελλάδα. Στην επιφάνεια μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων μία σχετικά ρηχή αλλά εκτεταμένη ύφεση βρίσκεται στην κεντρική Μεσόγειο. Την ημέρα Η το κέντρο της ύφεσης έχει μετακινηθεί στο νότιο Ιόνιο πέλαγος και η ύφεση έχει βαθύνει, προκαλώντας αρκετά μεγάλη βαροβαθμίδα. Η νότια ροή υγρών αερίων μαζών στην Ανατολική και νησιωτική Ελλάδα, που προφανώς συνοδεύεται από θερμό μέτωπο, προκαλεί τα ακραία ύψη βροχόπτωσης σε αυτές τις περιοχές. Την ημέρα ΛΗΞΗΣ η ύφεση έχει εξασθενήσει και έχει μετακινηθεί ανατολικότερα πάνω από τη Μικρά Ασία. Στην Ελλάδα πλέον επικρατούν ψυχρές και ξηρές αέριες μάζες βόρειας ηπειρωτικής προέλευσης.

9^η Ομάδα (55 EAB 4%): Τα επεισόδια της ομάδας αυτής δείχνουν σχεδόν ίδια πιθανότητα να συμβούν σε όλη τη διάρκεια από το φθινόπωρο μέχρι την άνοιξη εμφανίζοντας όμως δύο μέγιστα τον Οκτώβριο και τον Μάιο. Η διάρκεια των επεισοδίων είναι κυρίως 1 ημέρα, όμως σε αυτή την ομάδα επεισοδίων εντάσσεται το μοναδικό επεισόδιο που διήρκεσε 10 ημέρες. Η

δυτική Ελλάδα (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Κοζάνη, Αγρίνιο, Ανδραβίδα) επηρεάζονται περισσότερο από αυτό τον τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ο οποίος σπάνια προκαλεί ακραίες βροχοπτώσεις στο βόρειο Αιγαίο και την ανατολική ηπειρωτική χώρα (Μυτιλήνη, Αλεξανδρούπολη, Λήμνος, Λάρισα).

Στη μέση τροπόσφαιρα κυκλωνική κυκλοφορία επικρατεί στη Δυτική Ευρώπη και στην κεντρική Μεσόγειο, ενώ έντονα αντικυκλωνική είναι η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στην ανατολική Ευρώπη. Στην επιφάνεια ο συνδυασμός της βαθιάς ύφεσης στην Ιρλανδία, των σχετικά χαμηλών πιέσεων στην δυτική Μεσόγειο και του ισχυρού αντικυκλώνα στη Ρωσία προκαλεί τη νότια ροή θερμών και υγρών αερίων μαζών. Εξαιτίας του ανάγλυφου (οροσειρά Πίνδου) ακραία ύψη βροχόπτωσης καταγράφονται στην νοτιοδυτική ομβροπλευρά της οροσειράς (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Αγρίνιο, Ανδραβίδα) και στο νότιο Αιγαίο (Ρόδος, Ηράκλειο, Ιεράπετρα), ενώ στην βορειοανατολική πλευρά της οροσειράς (ομβροσκιά) και στο βόρειο Αιγαίο σπανιότερα αυτός ο τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προκαλεί ακραίες βροχοπτώσεις (Λάρισα, Μυτιλήνη, Αλεξανδρούπολη).

10η Ομάδα (90 EAB 8%): Ο τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας εμφανίζεται κυρίως τους πρώτους φθινοπωρινούς μήνες, οι οποίοι αποτελούν μεταβατική περίοδο από την θερινή στη χειμερινή εποχή. Τα επεισόδια στην πλειοψηφία τους διαρκούν έως 2 ημέρες και επηρεάζουν τη δυτική Ελλάδα (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Αγρίνιο, Ανδραβίδα) και ηπειρωτικές περιοχές όπως η Λάρισα και η Κοζάνη.

Στη μέση τροπόσφαιρα ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων δυτικά της Ελλάδας έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα στη στάθμη των 500hPa. Σε συνδυασμό με τις θερμότερες αέριες μάζες, που υπάρχουν στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (στάθμη 850hPa) εξαιτίας της θέρμανσης της ξηράς από την ηλιακή ακτινοβολία, δημιουργούν συνθήκες αστάθειας και καταιγίδες, κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές.

11η Ομάδα (98 EAB 8%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν από τα μέσα του φθινοπώρου και κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης το μήνα Δεκέμβριο. Στην πλειοψηφία τους διαρκούν μία ημέρα, χωρίς όμως να λείπουν και επεισόδια των 3 και 4 ημερών. Οι περιοχές που πλήττονται περισσότερο είναι η δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα, Κέρκυρα, Αγρίνιο) καθώς και κάποιες νησιωτικές στο ανατολικό και νότιο Αιγαίο (Μυτιλήνη, Ρόδος, Ιεράπετρα).

Στην κατώτερη τροπόσφαιρα χαμηλές πιέσεις επικρατούν σε όλη την Ευρώπη. Κατά την Ημέρα Η-1 είναι εμφανής η παρουσία μίας ύφεσης στη βόρειο Ιταλία. Κατά την Ημέρα Η η ύφεση επεκτείνεται πάνω από την Ελλάδα και όπως φαίνεται από τους χάρτες της θερμοκρασίας στα 850hPa και 500hPa συνοδεύεται από ψυχρό μέτωπο, το οποίο προκαλεί ακραία ύψη βροχόπτωσης. Κατά την Ημέρα ΛΗΞΗΣ η ύφεση εξασθενεί και εντοπίζεται πλέον στο νοτιοανατολικό Αιγαίο.

12η Ομάδα (65 EAB 5%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα εμφανίζεται κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο, αλλά και κατά τους πρώτους μήνες της άνοιξης. Η διάρκεια των επεισοδίων ποικίλει από 1 ημέρα κυρίως έως 4 ημέρες. Η δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα, Κέρκυρα, Αγρίνιο) καθώς και η Πελοπόννησος (Ανδραβίδα, Τρίπολη) και το ανατολικό Αιγαίο (Μυτιλήνη, Ρόδος) πλήττονται σε μεγαλύτερο βαθμό από ακραίες βροχοπτώσεις που προκαλούνται από αυτόν τον τύπο εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Κατά την Ημέρα Η-1 το κέντρο μίας ύφεσης εντοπίζεται στη δυτική Μεσόγειο. Αυτή επεκτείνεται και μετακινείται ανατολικότερα πάνω από την Ιταλία κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων προκαλώντας ισχυρό νότιο ρεύμα υγρών αερίων μαζών πάνω από την

Ελλάδα. Κατά την Ημέρα ΛΗΞΗΣ η ύφεση έχει πλέον εξασθενήσει ενώ ένα ασθενές κέντρο χαμηλών πιέσεων εντοπίζεται στο Αιγαίο πέλαγος, που όμως δεν είναι ικανό να προκαλέσει ακραία ύψη βροχόπτωσης. Όπως είναι αναμενόμενο η δυτική ομβροπλευρά της Πίνδου και το ανατολικό Αιγαίο πλήττονται περισσότερο από μία τέτοια συνοπτική κατάσταση.

13η Ομάδα (71 ΕΑΒ 6%): Από τα μέσα του φθινοπώρου, έως το τέλος της άνοιξης είναι πιθανό να συμβούν επεισόδια αυτής της ομάδας. Η διάρκειά τους σπάνια ξεπερνά τη 1 ημέρα. Ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα προκαλεί ακραία ύψη βροχόπτωσης κυρίως στη νότιο νησιωτική Ελλάδα (Ηράκλειο, Ιεράπετρα).

Στη μέση τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν και κατά την έναρξη των επεισοδίων υπάρχει έντονη αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από τη δυτική και κεντρική Ευρώπη, ενώ στην ανατολική Μεσόγειο η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας εμφανίζεται έντονα κυκλωνική. Στην επιφάνεια ένας ισχυρός αντικυκλώνας καλύπτει όλη την κεντρική Ευρώπη και μία ύφεση έχει το κέντρο της στην ανατολική Μεσόγειο ανάμεσα στην Κρήτη και την Κύπρο. Η βορειοανατολική ροή προκαλεί ακραία ύψη βροχόπτωσης κυρίως στην Κρήτη, ενώ η υπόλοιπη Ελλάδα πλήττεται από δριμύ ψύχος (βλέπε ενότητα 3.3.2, ομάδα 2) και πιθανότατα έντονες χιονοπτώσεις (βλέπε ενότητα 5.3, ομάδα 7).

14η Ομάδα (53 ΕΑΒ 4%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά το μήνα Δεκέμβριο. Στην πλειοψηφία τους διαρκούν 1 ημέρα και η περιοχή της χώρας που κυρίως πλήττεται από ακραίες βροχοπτώσεις είναι η δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα, Αγρίνιο) και η Πελοπόννησος (Τρίπολη).

Στον τύπο αυτής της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας η ύπαρξη μίας ύφεσης στην Ιταλία, σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που επικρατούν στην Ανατολική Μεσόγειο, προκαλεί νοτιοδυτική ροή εμπλουτισμένων σε υδρατμούς αερίων μαζών, ικανών να προκαλέσουν ακραία ύψη βροχόπτωσης κυρίως στη δυτική ομβροπλευρά της Πίνδου (Houssos and Bartzokas, 2006). Η εξασθένιση της ύφεσης και η επικράτηση υψηλών πιέσεων πάνω από τη Βαλκανική σηματοδοτούν τη λήξη των επεισοδίων αυτής της ομάδας.

15η Ομάδα (55 ΕΑΒ 4%): Σε αυτή την ομάδα επεισοδίων καταγράφονται δύο μέγιστα στη συχνότητα εμφάνισής τους ένα κατά τον μήνα Νοέμβριο και ένα δεύτερο κατά τον μήνα Ιανουάριο. Τα επεισόδια διαρκούν κυρίως 1 ημέρα, χωρίς να λείπουν και περιπτώσεις των 2 ή 3 ημερών. Ο αντίστοιχος τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πλήττει με ακραίες βροχοπτώσεις κυρίως τη δυτική νησιωτική Ελλάδα καθώς και τη νότια νησιωτική χώρα.

Στην κατώτερη τροπόσφαιρα ο εκτεταμένος αντικυκλώνας πάνω από τη Ρωσία και την Ουκρανία, σε συνδυασμό με τις χαμηλές πιέσεις πάνω από την κεντρική Μεσόγειο, προκαλούν ένα μέτωπο κακοκαιρίας με κατεύθυνση από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά. Το μέτωπο αυτό επηρεάζει την δυτική και νότιο νησιωτική Ελλάδα με ακραίες βροχοπτώσεις. Η εξασθένιση της ύφεσης της κεντρικής Μεσογείου συνεπάγεται και την εξασθένιση του μετώπου και σηματοδοτεί τη λήξη των ακραίων βροχοπτώσεων.

16η Ομάδα (61 ΕΑΒ 5%): Ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα μπορεί να χαρακτηριστεί περισσότερο φθινοπωρινός και ανοιξιάτικος, καθώς εμφανίζεται κυρίως προς το τέλος του φθινοπώρου και κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Τα επεισόδια αυτής της ομάδας διαρκούν κυρίως 1 ημέρα και σπανιότερα η διάρκειά τους φτάνει τις 5 ημέρες. Η δυτική και κεντρική Ελλάδα (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Αγρίνιο, Κοζάνη, Λάρισα) καθώς και η Πελοπόννησος (Τρίπολη) και η Ρόδος, πλήττονται κυρίως από ακραία ύψη βροχόπτωσης.

Κατά την ημέρα Η-1 στην κατώτερη τροπόσφαιρα ένα εκτεταμένο σύστημα χαμηλών πιέσεων εντοπίζεται στη δυτική Μεσόγειο και ένας αντικυκλώνας έχει το κέντρο του στην βορειοδυτική Ευρώπη. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων φαίνεται μία ύφεση να σχηματίζεται με κέντρο το Ιόνιο πέλαγος, η οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που επικρατούν στην κεντρική Ευρώπη προκαλεί τη νοτιοανατολική ροή υγρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα και το σχηματισμό μετώπου κακοκαιρίας πάνω από την Ελλάδα εκεί όπου συναντούνται με τις ψυχρές ηπειρωτικής προέλευσης αέριες μάζες. Τα επεισόδια λήγουν με την εξασθένιση της ύφεσης και την επικράτηση των υψηλών πιέσεων και της ψυχρής αέριας μάζας πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο.

Συμπερασματικά Από τους 16 τύπους της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν ακραία ύψη βροχοπτώσης στην Ελλάδα, ο ένας είναι καλοκαιρινός τύπος και ευνοεί ακραίες βροχοπτώσεις, που πλήττουν κυρίως τις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας και προκαλούνται από έντονα ανοδικές κινήσεις αερίων μαζών εξαιτίας συνθηκών αστάθειας. Σε όλους τους άλλους τύπους η ύπαρξη μίας ύφεσης στην περιοχή της Μεσογείου αποτελεί το βασικό αίτιο της πρόκλησης των ακραίων βροχοπτώσεων. Αυτοί μεταξύ τους διαφέρουν ως προς την ένταση της ύφεσης, την ακριβή της θέση σε σχέση με την Ελλάδα, την εποχή του χρόνου που παρατηρούνται, τις περιοχές της χώρας που πλήττονται περισσότερο και ως προς την ύπαρξη άλλων γειτονικών συστημάτων πίεσης, τα οποία συμβάλλουν στις καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των ΕΑΒ και στη λήξη τους.

Στις ομάδες 1, 2 και 8 η ύφεση ξεκινά από την Ιταλία, περνά από την Ελλάδα προκαλώντας ΕΑΒ και καταλήγει στη Μικρά Ασία. Στη δεύτερη μάλιστα ομάδα η ύφεση είναι ιδιαίτερα βαθιά κατά τη διέλευσή της από την Ελλάδα και παρατηρείται κυρίως κατά το χειμώνα, ενώ στην 1^η ομάδα η ύφεση είναι περισσότερο ρηχή και τα επεισόδια συμβαίνουν περισσότερο την άνοιξη.

Στις Ομάδες 3, 4 και 5 η ύφεση που προκαλεί τα ΕΑΒ κατά την Ημέρα Η-1 είναι αρκετά εκτεταμένη και το κέντρο της βρίσκεται στη δυτική Μεσόγειο. Κατά την ημέρα έναρξης το κέντρο της μετακινείται στο Ιόνιο πέλαγος και τα επεισόδια λήγουν με την εξασθένιση της ύφεσης και τη δημιουργία άλλων ρηχών υφέσεων δυτικά και ανατολικά της Ελλάδας.

Στην 6^η ομάδα αντιστοιχεί ένας αμιγώς θερινός τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και στην 10^η ομάδα ένας τύπος κυκλοφορίας που συναντάται κατά την μεταβατική περίοδο από το θέρος προς το χειμώνα (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος) με υψηλές γενικά πιέσεις πάνω από την Ευρώπη και την Βαλκανική. Και οι δύο τύποι ευνοούν την εμφάνιση θερμικών καταιγίδων κυρίως στα ηπειρωτικά λόγω της έντονης θέρμανσης της ξηράς από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια των κατώτερων στρωμάτων της τροπόσφαιρας, δημιουργώντας έτσι συνθήκες αστάθειας στην ατμόσφαιρα.

Ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί στην 7^η ομάδα εμφανίζεται κυρίως κατά το φθινόπωρο. Περιγράφεται από μία αποκομμένη ύφεση στη δυτική Μεσόγειο, η οποία σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις στην περιοχή της Ρωσίας και της Ουκρανίας προκαλούν ένα μέτωπο κακοκαιρίας στην περιοχή της Ελλάδας που ευνοεί τα ΕΑΒ κυρίως στη δυτική και νότια νησιωτική Ελλάδα. Η λήξη τους σηματοδοτείται με την εξασθένιση της ύφεσης και την επέκταση των υψηλών πιέσεων πάνω από τη Βαλκανική.

Στην 9^η ομάδα οι χαμηλές πιέσεις πάνω από τη δυτική Ευρώπη και οι υψηλές πιέσεις πάνω από τη Ρωσία προκαλούν νότιο υγρό ρεύμα πάνω από την Ελλάδα προκαλώντας ΕΑΒ σχεδόν σε όλη την Ελλάδα εκτός από τη βόρειο και κεντρική.

Στις ομάδες 11 και 12 ένα βαθύ σύστημα χαμηλών πιέσεων στη βορειοδυτική Ευρώπη, συνοδεύεται από μία αποκομμένη ύφεση στην δυτική Μεσόγειο, η οποία κατά την Ημέρα Η

ενισχύεται και μετακινείται ανατολικότερα πάνω από την Ιταλία, προκαλώντας νότιο υγρό ρεύμα αερίων μαζών και την πρόκληση ΕΑΒ κυρίως στη δυτική Ελλάδα.

Η 13^η ομάδα ξεχωρίζει αρκετά από τις υπόλοιπες με μία ύφεση στην ανατολική Μεσόγειο και έναν εκτεταμένο αντικυκλώνα στην κεντρική Ευρώπη. Αυτός ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας είναι ο μοναδικός που πλήττει με ακραίες βροχοπτώσεις κυρίως τη νότια νησιωτική Ελλάδα. Ακόμη, ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί στην 14^η ομάδα με μία ύφεση στην Ιταλία και υψηλές πιέσεις στην ανατολική Μεσόγειο προκαλεί νοτιοδυτικό υγρό ρεύμα πάνω από την Ελλάδα και πλήττει κυρίως τη δυτική Ελλάδα.

Στην 15^η και την 16^η ομάδα οι χαμηλές πιέσεις πάνω από την κεντρική Μεσόγειο και οι υψηλές πιέσεις πάνω από τη Δυτική Ευρώπη στη μία ομάδα και την ανατολική Ευρώπη στη δεύτερη ομάδα δημιουργούν ένα μέτωπο στην περιοχή της Ελλάδας που πλήττει κυρίως τις δυτικές και νότιες περιοχές της χώρας.

Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί στην 6^η ομάδα προκαλεί ακραία ύψη βροχόπτωσης κυρίως στη βόρειο και κεντρική Ελλάδα (Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Λάρισα, Λήμνος), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.26. Από τον 5^ο τύπο επηρεάζεται περισσότερο η δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα, Κέρκυρα, Αγρίνιο), ενώ η Αθήνα και η Νάξος επηρεάζονται αρκετά από τον 4^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Στην Κρήτη αρκετές ημέρες ακραίας βροχόπτωσης (περί το 20%) ανήκουν στην 13^η ομάδα επεισοδίων. Γενικά για κάθε σταθμό τα ποσοστά των ημερών ακραίας βροχόπτωσης που ανήκουν σε κάθε ομάδα δεν ξεπερνούν το 35%.

Στο σχήμα 5.27 φαίνεται ότι ο 15^{ος} τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προκαλεί στη Θεσσαλονίκη και στη Μυτιλήνη ύψη βροχόπτωσης αρκετά μεγαλύτερα από το όριο του 95% της κατανομής των υψών βροχόπτωσης που σημειώθηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό. Μεγάλα ύψη βροχόπτωσης ευνοούν για την Αλεξανδρούπολη ο 7^{ος} και ο 16^{ος} τύπος. Ακόμη εξαιρετικά υψηλά ποσά βροχόπτωσης ευνοούνται από τον 14^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για την περιοχή της Μυτιλήνης και από τον 6^ο και 10^ο τύπο για την Ιεράπετρα. Η Ρόδος πλήττεται με εξαιρετικά μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης από το όριο του σταθμού σχεδόν από όλους του τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εκτός από τον 8^ο, τον 9^ο και τον 13^ο τύπο. Στην Αθήνα αρκετά υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης από το όριο ευνοούνται κυρίως από τους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχούν στην 3^η και την 13^η ομάδα.

Συγκριτικά. Τα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής συμφωνούν με εκείνα που έχουν εξαχθεί από άλλες μελέτες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια εκτεταμένων ερευνών, που αφορούν τις βροχοπτώσεις στην περιοχή της Ελλάδας και της ανατολικής Μεσογείου.

Αναφορικά με τη μικρή τάση μείωσης του ετήσιου πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης στην Ελλάδα, που προκύπτει στην παρούσα διατριβή, λόγω των ελλειπών δεδομένων δεν μπορεί να αποτελεί ουσιαστικό συμπέρασμα. Γενικά για την περιοχή της Μεσογείου προκύπτει τάση μείωσης της συχνότητας των κυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας, οι οποίοι ευνοούν βροχοπτώσεις στην Ελλάδα και σε αυτό το λόγο μπορεί να οφείλεται η μείωση στα συνολικά ετήσια ύψη βροχής (Maheras et al., 2000; Paliatsos et al., 2004). Ωστόσο οι Nastos and Zerefos (2008) αποκαλύπτουν αυξητικές τάσεις στη συχνότητα των ημερών με βροχόπτωση άνω των ορίων των 30mm/ημέρα και 50mm/ημέρα, ιδιαίτερα στην ανατολική και νότιο ανατολική χώρα.

Σχετικά με τις συνοπτικές καταστάσεις, που προκαλούν βροχοπτώσεις στην Ελλάδα, οι Michailidou et al. (2008) συνδέουν τις βροχοπτώσεις στην Αθήνα αλλά και στη Θεσσαλονίκη με την ύπαρξη μίας ύφεσης δυτικά ή νοτιοδυτικά της Ελλάδας. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η μελέτη του Kassomenos (2003a) όπου είναι κατηγοριοποιημένες οι

συνοπτικές συνθήκες σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες στην περιοχή της Αθήνας για τη χειμερινή περίοδο. Ειδικότερα στη μελέτη των Λώλης κ.α. (2007) ο 3ος τύπος της συνοπτικής κατάστασης που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων αφορά την ύπαρξη μίας ύφεσης δυτικά της Ελλάδας και συχνά ευνοεί βροχοπτώσεις στην Αθήνα με ύψος βροχής μεγαλύτερο των 20mm. Σε συμφωνία με τις προηγούμενες μελέτες, από την παρούσα διατριβή, προκύπτει ότι η ατμοσφαιρική κυκλοφορία της 4ης ομάδας επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης (σχήμα 5.13) είναι αυτή που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την Αθήνα (σχήμα 5.26) αλλά και πολλές άλλες περιοχές της χώρας.

Σε μία άλλη μελέτη του Kassomenos (2003b), που αφορά την κατηγοριοποίηση των συνοπτικών καταστάσεων στην κατώτερη ατμόσφαιρα για τη φθινοπωρινή περίοδο, η 7η κατηγορία, που συνδέεται με βροχοπτώσεις στην Αθήνα, είναι όμοια με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, που αντιστοιχεί στην 5η ομάδα επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. Αυτή χαρακτηρίζεται από μία ύφεση στην Ιταλία και υψηλές πιέσεις στη δυτική Ευρώπη και τη Ρωσία. Επιπροσθέτως τα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την Αθήνα, σε απόλυτη συμφωνία με τα ευρήματα της προαναφερθείσας μελέτης.

Οι Flocas and Giles (1991) λαμβάνοντας υπόψη τις τροχιές των υφέσεων καταλήγουν σε 5 τύπους υφέσεων, οι οποίες προκαλούν βροχοπτώσεις σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Ο 2ος τύπος, που αφορά υφέσεις με τροχιά από το Γιβλαρτάρ έως την Ιταλία, και οι οποίες προκαλούν βροχοπτώσεις κυρίως στη δυτική Ελλάδα, μοιάζει αρκετά με την εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί στην 16η ομάδα της παρούσας διατριβής (σχήμα 5.25). Αυτή χαρακτηρίζεται από μία ζώνη χαμηλών πιέσεων στη δυτική Μεσόγειο κατά την Ημέρα Η-1 και στη συνέχεια κατά την Ημέρα Η φαίνεται η ύπαρξη μίας ρηχής ύφεσης στη νότιο Ιταλία η οποία προκαλεί ακραία ύψη βροχόπτωσης στη δυτική Ελλάδα.

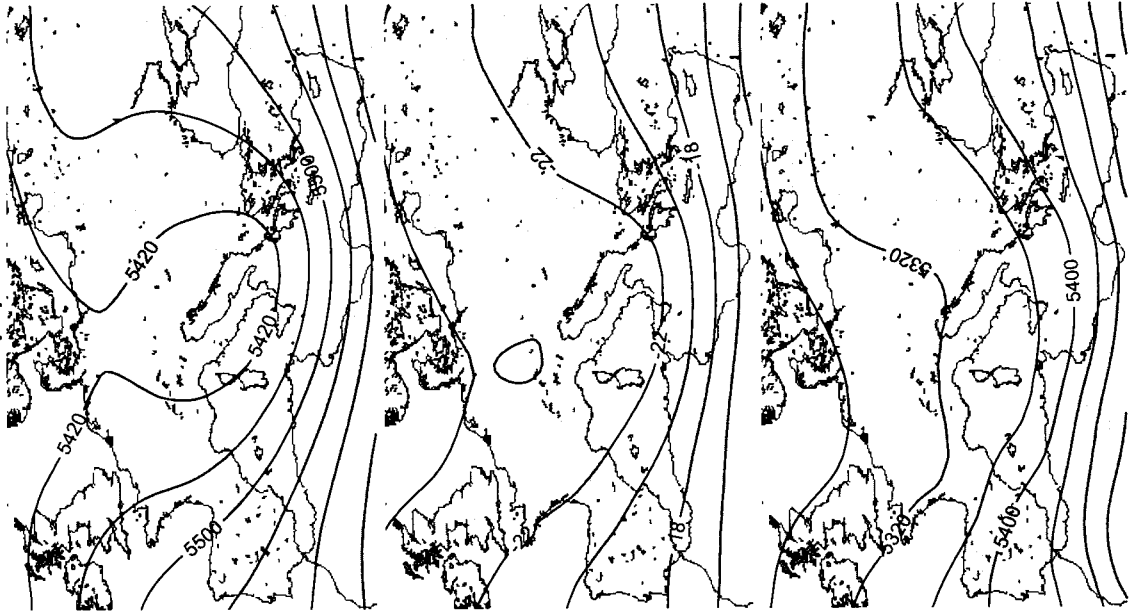
Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, που αντιστοιχεί στην 6η ομάδα επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης (σχήμα 5.15), συμβαίνει κατά τη θερινή περίοδο και αφορά το πέρασμα πάνω από την Ελλάδα ενός αυλώνα στη στάθμη των 500hPa και την ύπαρξη υψηλών πιέσεων πάνω από τη βόρειο Ελλάδα. Μία τέτοια συνοπτική κατάσταση ευνοεί την αστάθεια στην ατμόσφαιρα και την πρόκληση καλοκαιρινών θερμικών καταιγίδων κυρίως στην ηπειρωτική κεντρική και βόρειο Ελλάδα (Λάρισα, Κοζάνη Θεσσαλονίκη,) όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.26. Επιπροσθέτως ο ίδιος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προέκυψε για τη θερινή περίοδο και στη μελέτη των Houssos et al. (2008). Στο ίδιο ακριβώς συμπέρασμα κατέληξαν και οι Bartzokas et al., (2003a) οι οποίοι μελέτησαν με λεπτομέρεια τη χωρική και χρονική ανά δεκαήμερο κατανομή των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα. Ομοίως στη μελέτη των Dalezios and Bartzokas (1993), η οποία αφορούσε τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων στη βόρειο Ελλάδα υπολογίστηκαν σχετικά μεγάλες τιμές του μέσου μηνιαίου πλήθους ημερών με ύψος βροχής μεγαλύτερο των 20mm/ημέρα για τους μήνες Μάιο, Ιούλιο Σεπτέμβριο και Οκτώβριο.

Η 13η ομάδα επεισοδίων αποτελείται από λίγα επεισόδια και αυτά αφορούν κυρίως ακραίες βροχοπτώσεις στην Κρήτη. Σε αυτή την ομάδα αντιστοιχεί ένας τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, στον οποίο είναι χαρακτηριστική η ύπαρξη μίας ύφεσης ανατολικά της Κρήτης η οποία προκαλεί βορειοανατολική ροή στην περιοχή της νότιας νησιωτικής χώρας. Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν και οι Bartzokas et al. (2003b) μελετώντας τη σχέση του σχετικού στροβιλισμού στη στάθμη των 850hPa και της βροχόπτωσης στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα απεκάλυψαν 6 διαφορετικούς τύπους χωρικών κατανομών των αποχών του σχετικού στροβιλισμού στη στάθμη των 850hPa εκ των οποίων ο 4ος αφορά θετικές αποχές στην ανατολική Μεσόγειο, που προφανώς συνδέονται με την ύπαρξη ύφεσης σε αυτή την περιοχή, και για τον οποίον η χωρική κατανομή των αποχών των βροχοπτώσεων παρουσιάζει θετικές

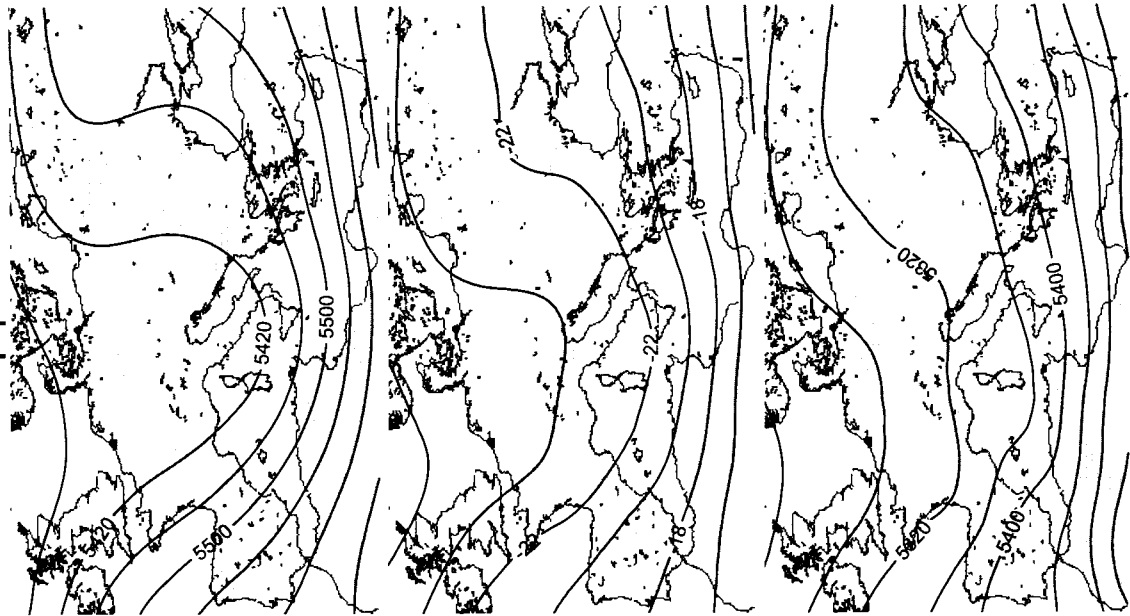
τιμές στην περιοχή της Κρήτης. Από την ίδια μελέτη αποκαλύφθηκε ότι θετικές αποχές του στροβιλισμού στην κεντρική Μεσόγειο ευνοούν τη βροχόπτωση στη δυτική, βόρειο δυτική Ελλάδα και την ανατολική νησιωτική χώρα.

Γενικότερα, στους περισσότερους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχούν στις ομάδες επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης, η ύπαρξη μίας ύφεσης κυρίως στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο είναι αυτή (4η, 5η, 6η, 10η ομάδα), που προκαλεί στην περιοχή της Ελλάδας νότια ροή αερίων μαζών εμπλουτισμένων με υδρατμούς, με συνέπεια την εκδήλωση βροχοπτώσεων κυρίως στη δυτική ομβροπλευρά της Πίνδου (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Αγρίνιο) και (2η, 4η, 5η, 11η, 12η ομάδα) στις ανατολικές περιοχές τους Αιγαίου (Μυτιλήνη, Ρόδος). Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγουν και οι Lolis et al. (2004), οι οποίοι για την περιοχή της Μεσογείου μελέτησαν την επίδραση των ροών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας στη δημιουργία υφέσεων στη Μεσόγειο και τη σχέση που έχουν αυτές οι ροές με τη βροχόπτωση στην Ελλάδα τη χειμερινή περίοδο. Εξάλλου κι άλλοι ερευνητές έχουν καταλήξει ότι η δυτική Μεσόγειος αποτελεί περιοχή έντονης κυκλογένεσης (Flocas et al., 2001; Spanos et al. 2003).

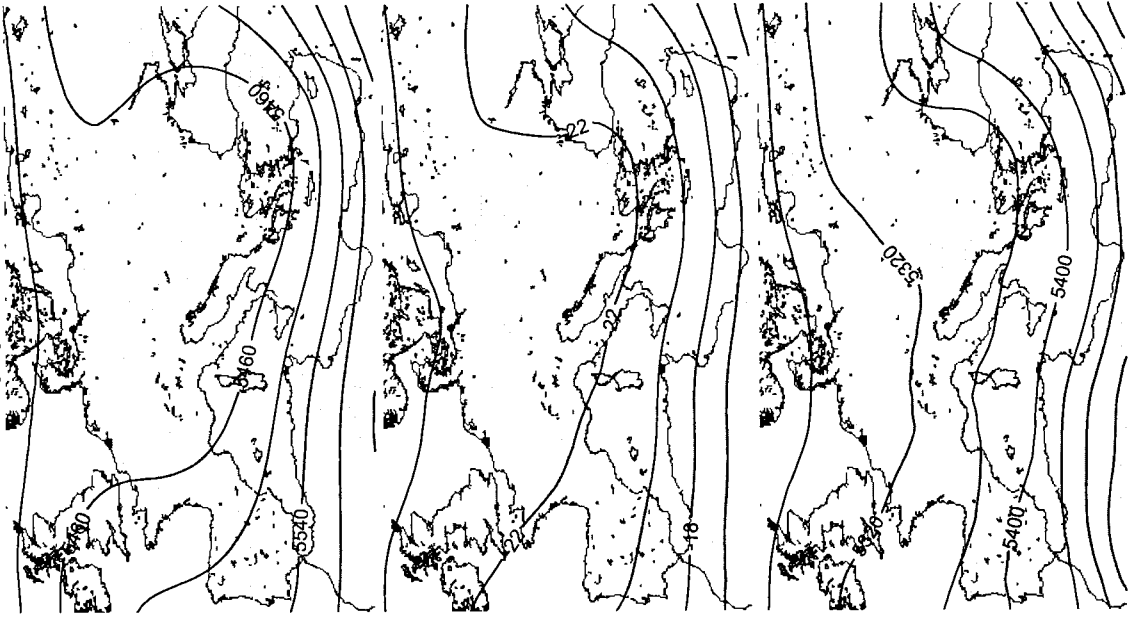
1η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

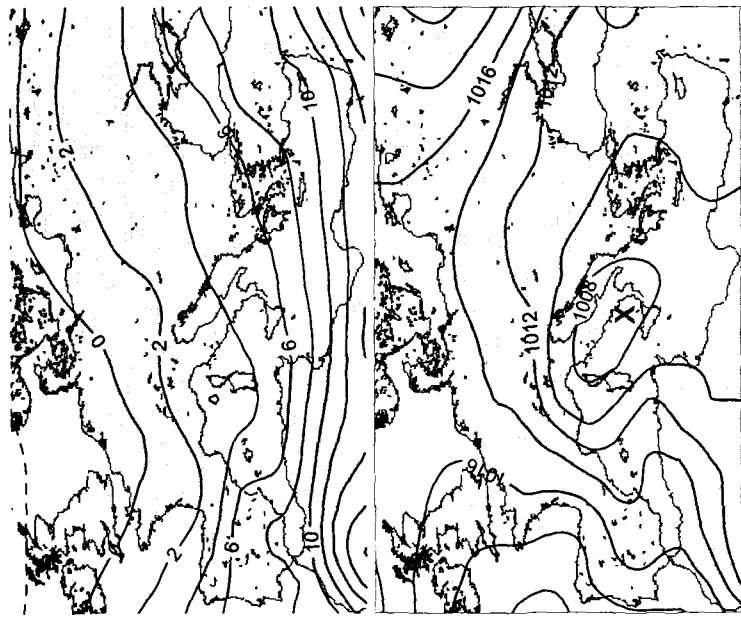


Ισόθερμη 500hPa

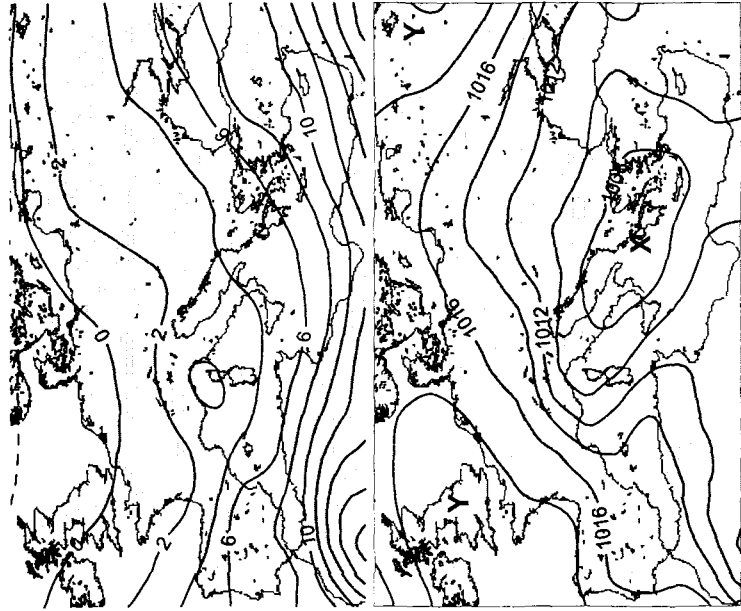
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

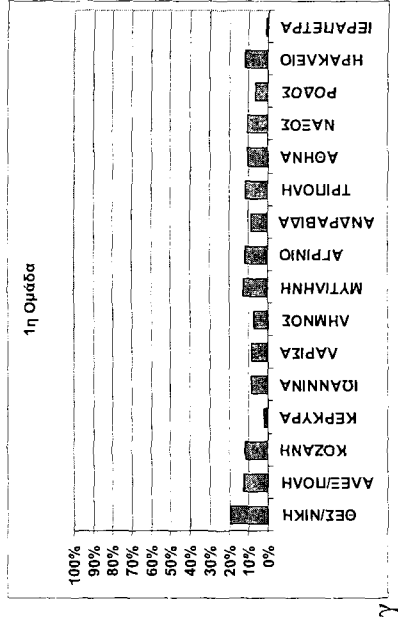
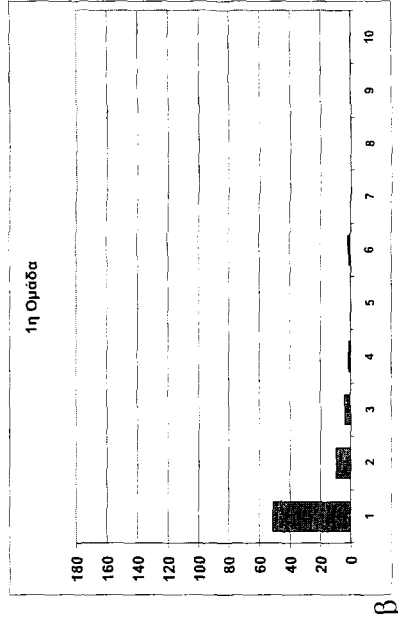
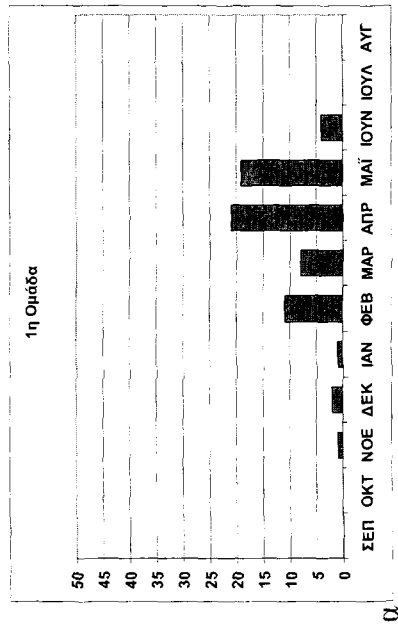
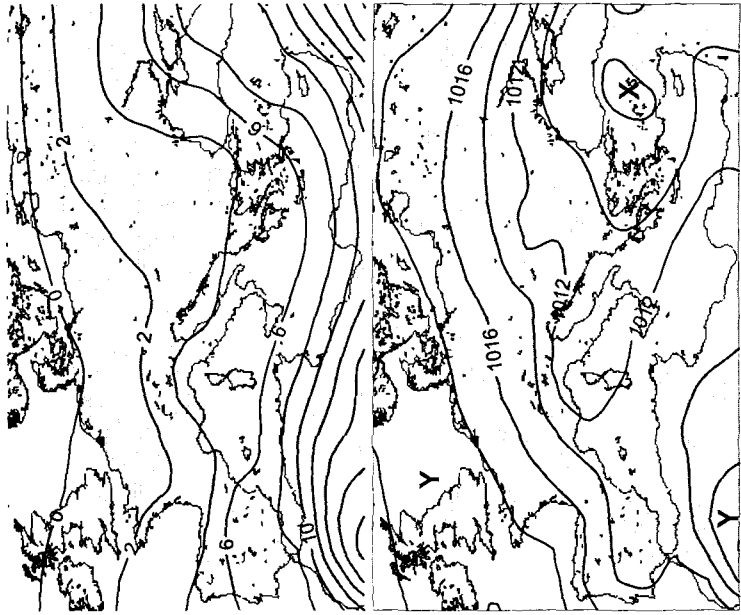
Σχήμα 5.10 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιμορφωτική μέση 850hPa

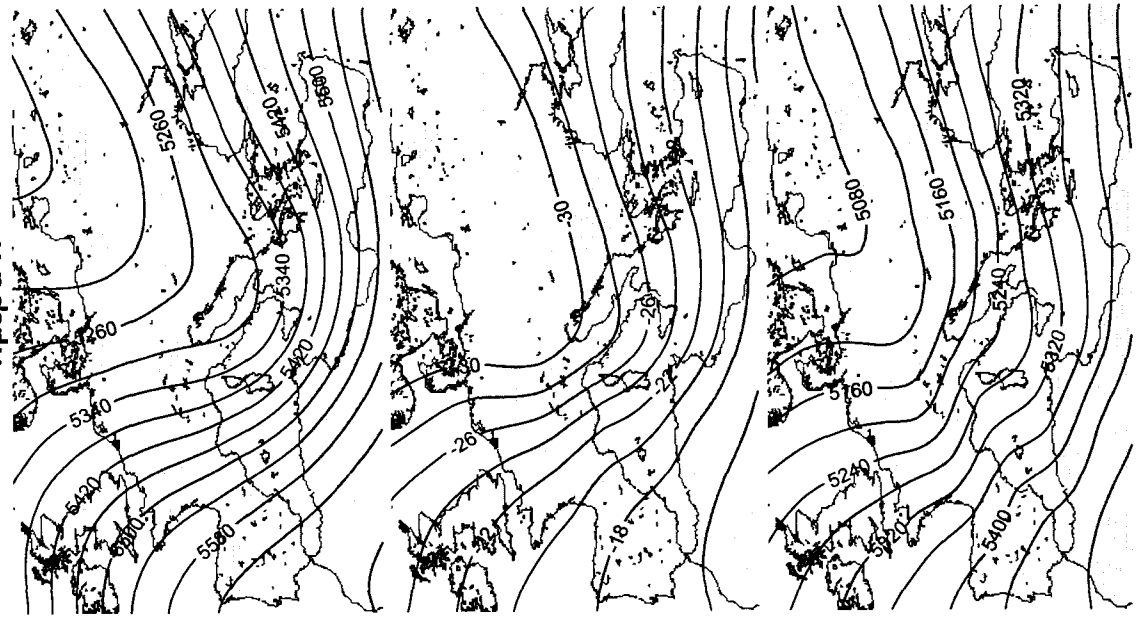


Ατμοσφαιρική μέση ΜΣΘ



Σχήμα 5.10 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δέχνουν τον 1^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 1^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 1^{ης} Ομάδας.

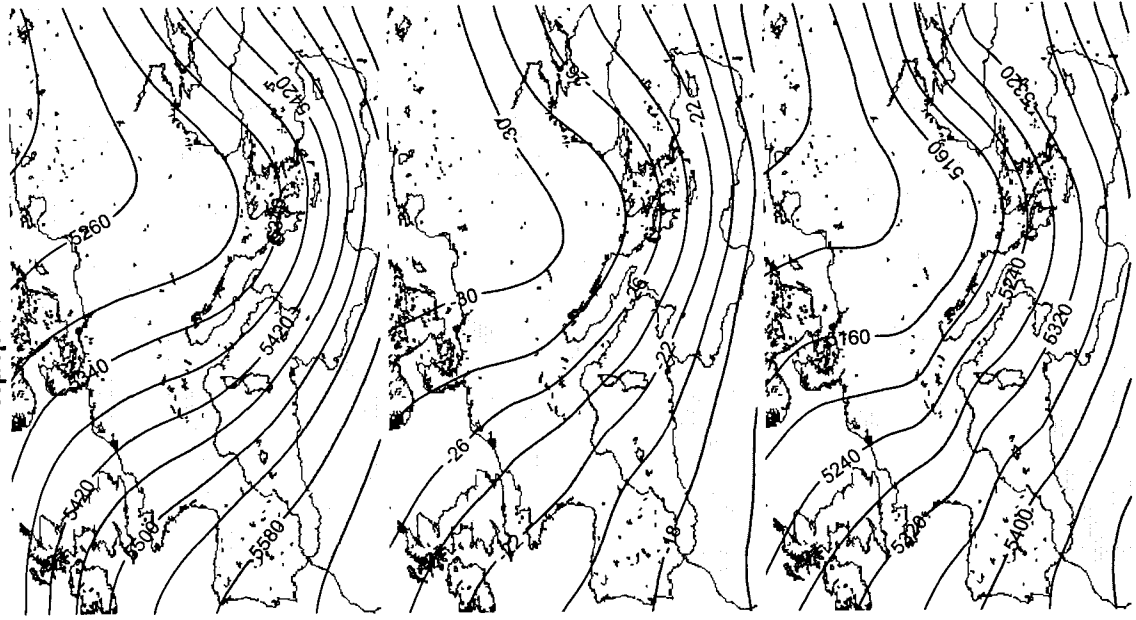
2^η Ομάδα
 Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΨΗΣ

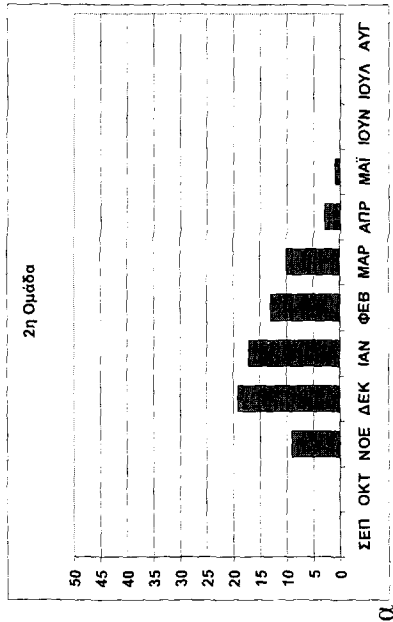
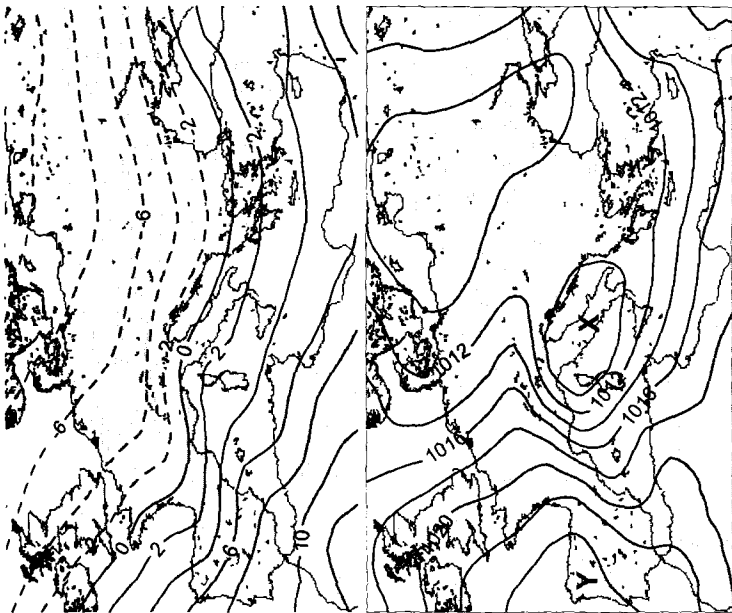


Ισόθερμ 500hPa

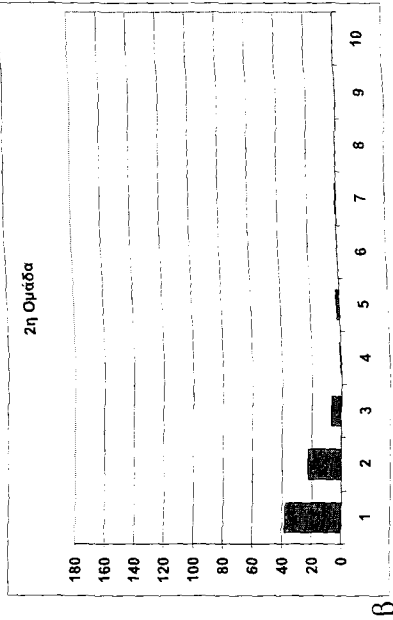
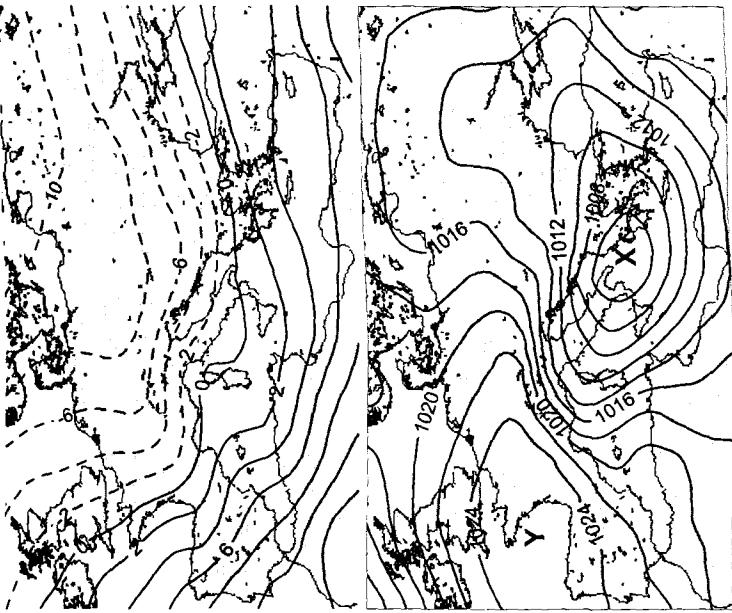
Θεομοκρυσία 500hPa

Πόχος 1000-500hPa

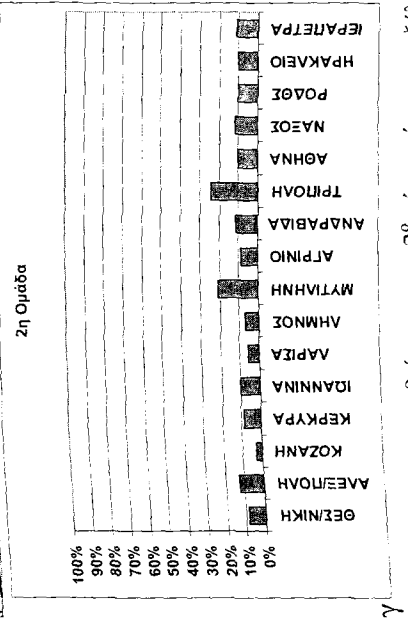
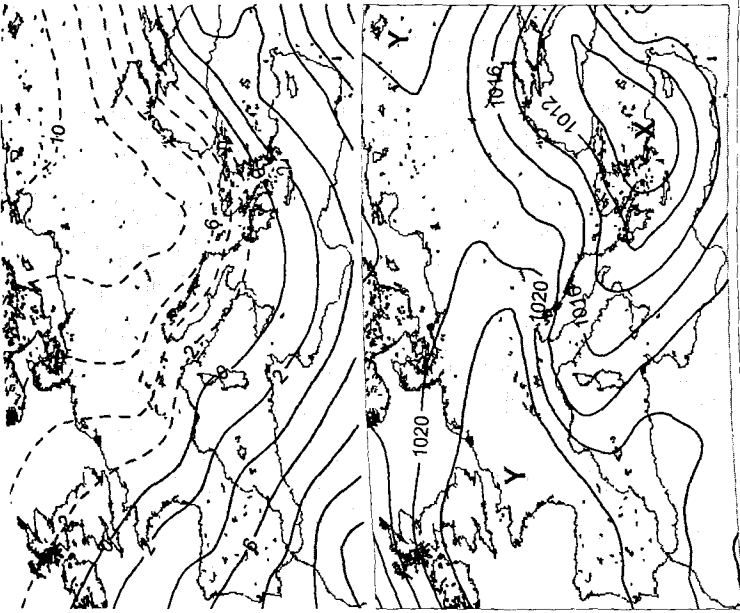
Σχήμα 5.11 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



α.



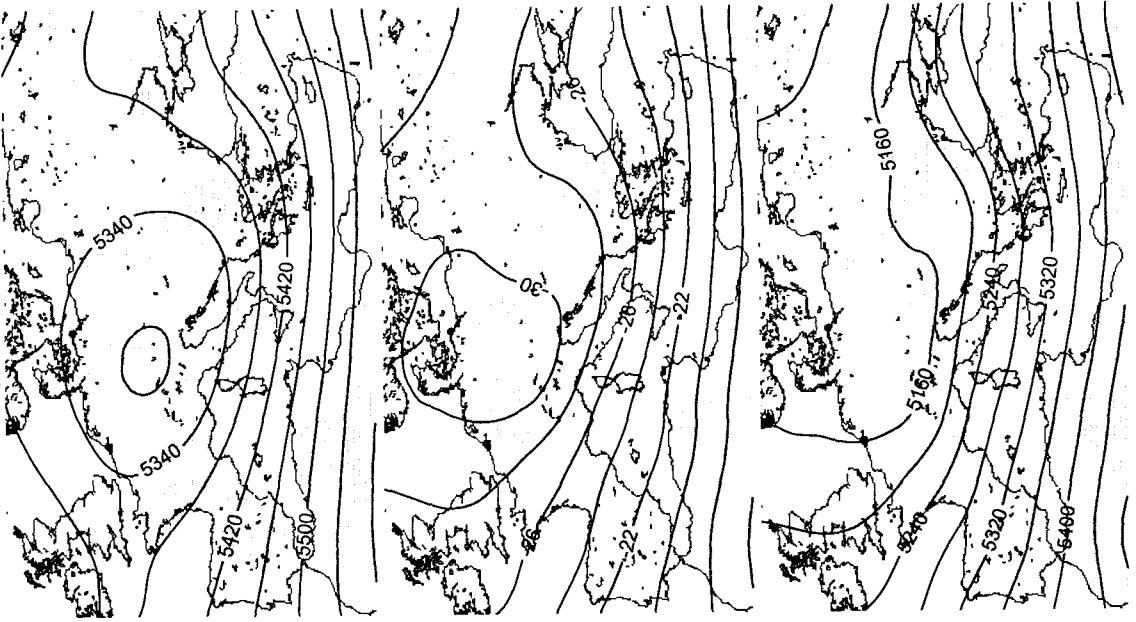
β.



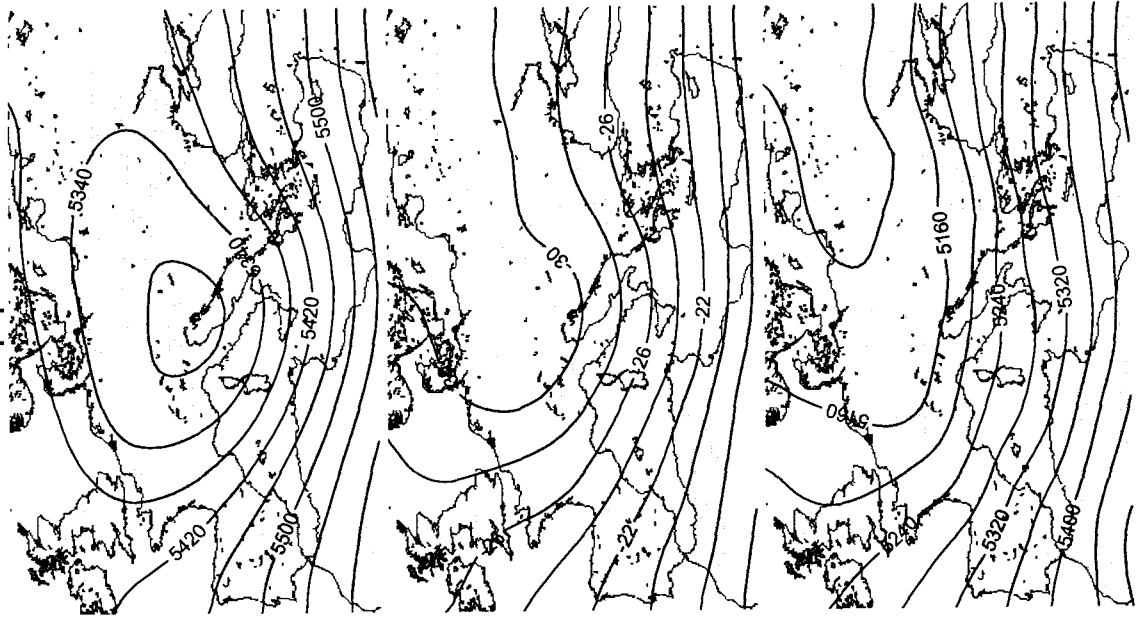
γ.

Σχήμα 5.11 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 2^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 2^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 2^{ης} Ομάδας.

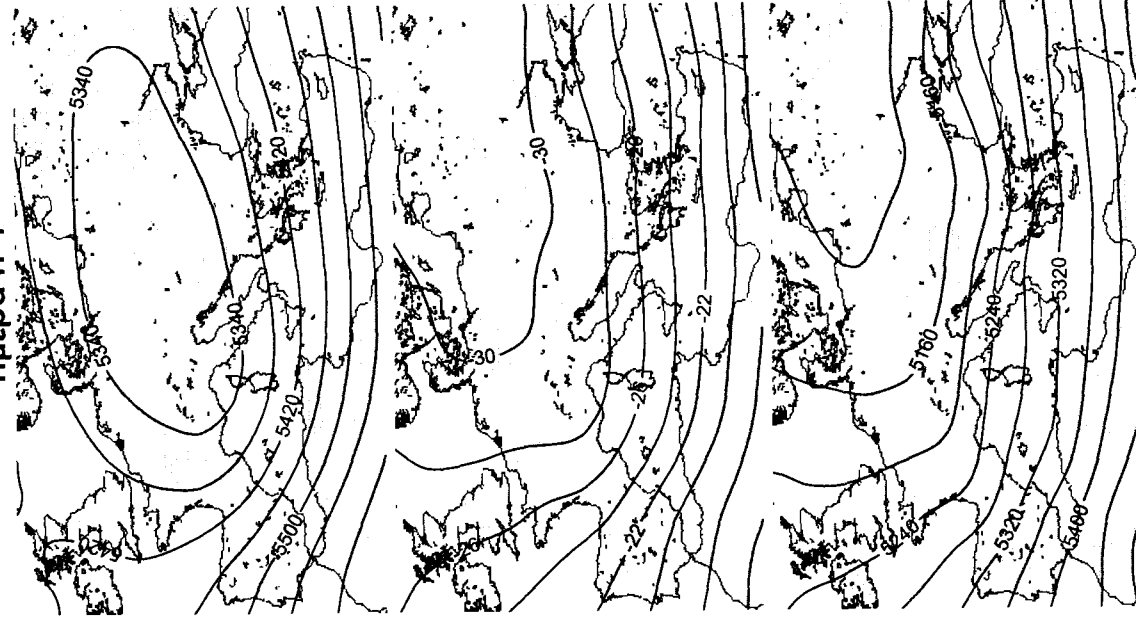
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



3η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

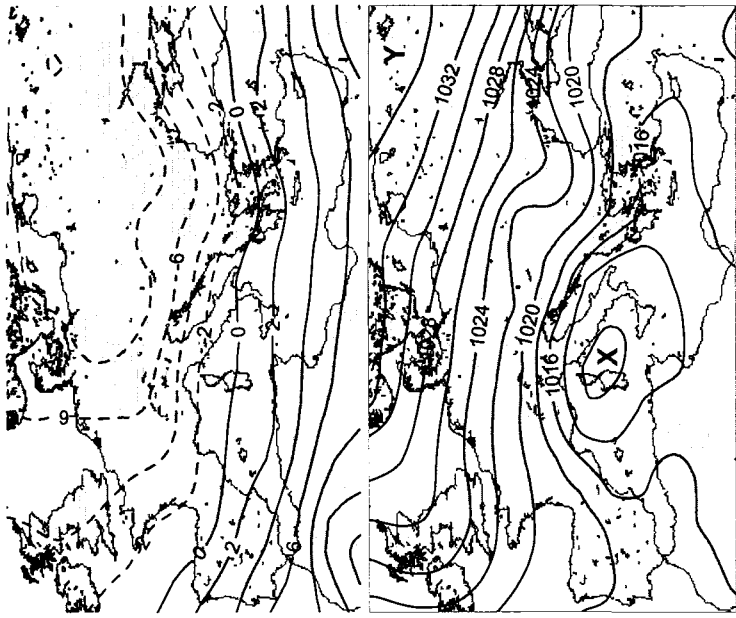


Ίσοβαρη 500hPa

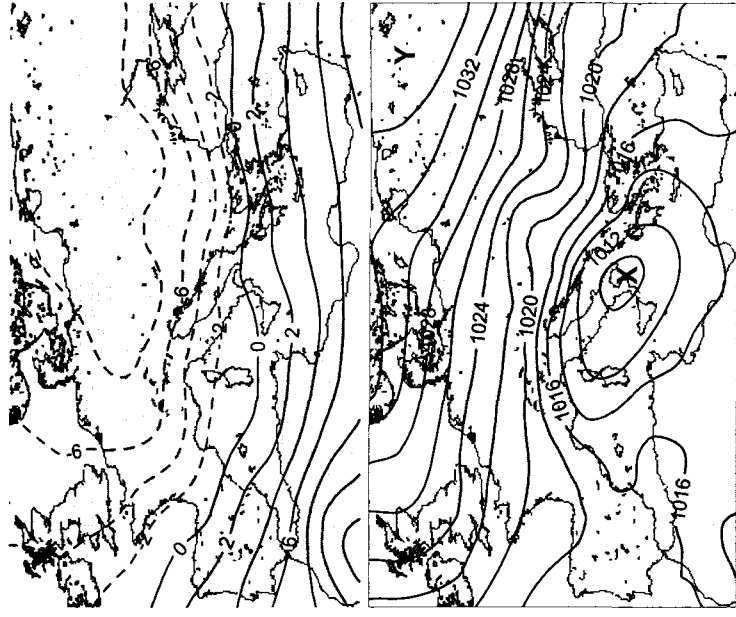
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

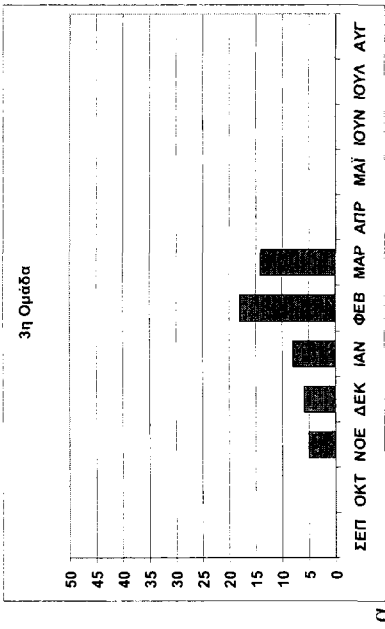
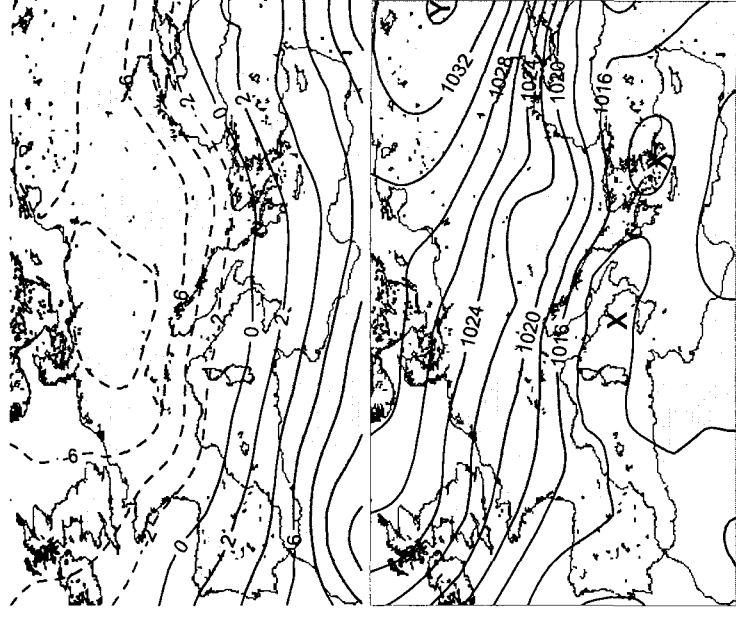
Σχήμα 5.12 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



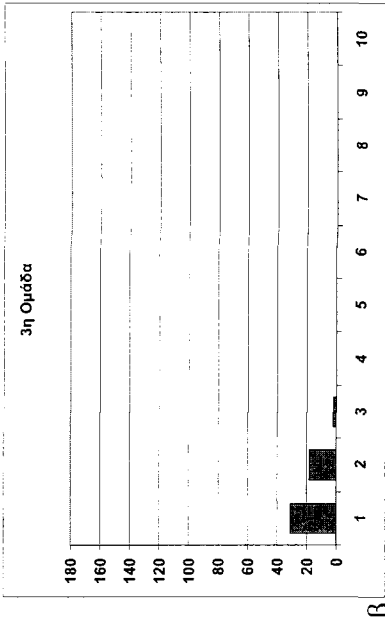
Θεσσαλονίκη 850hPa



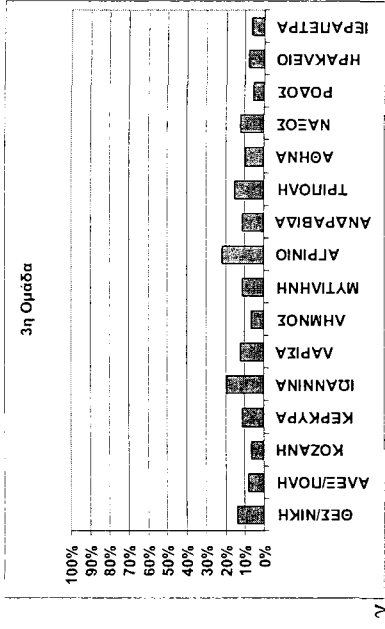
Αθήνα 850hPa



α

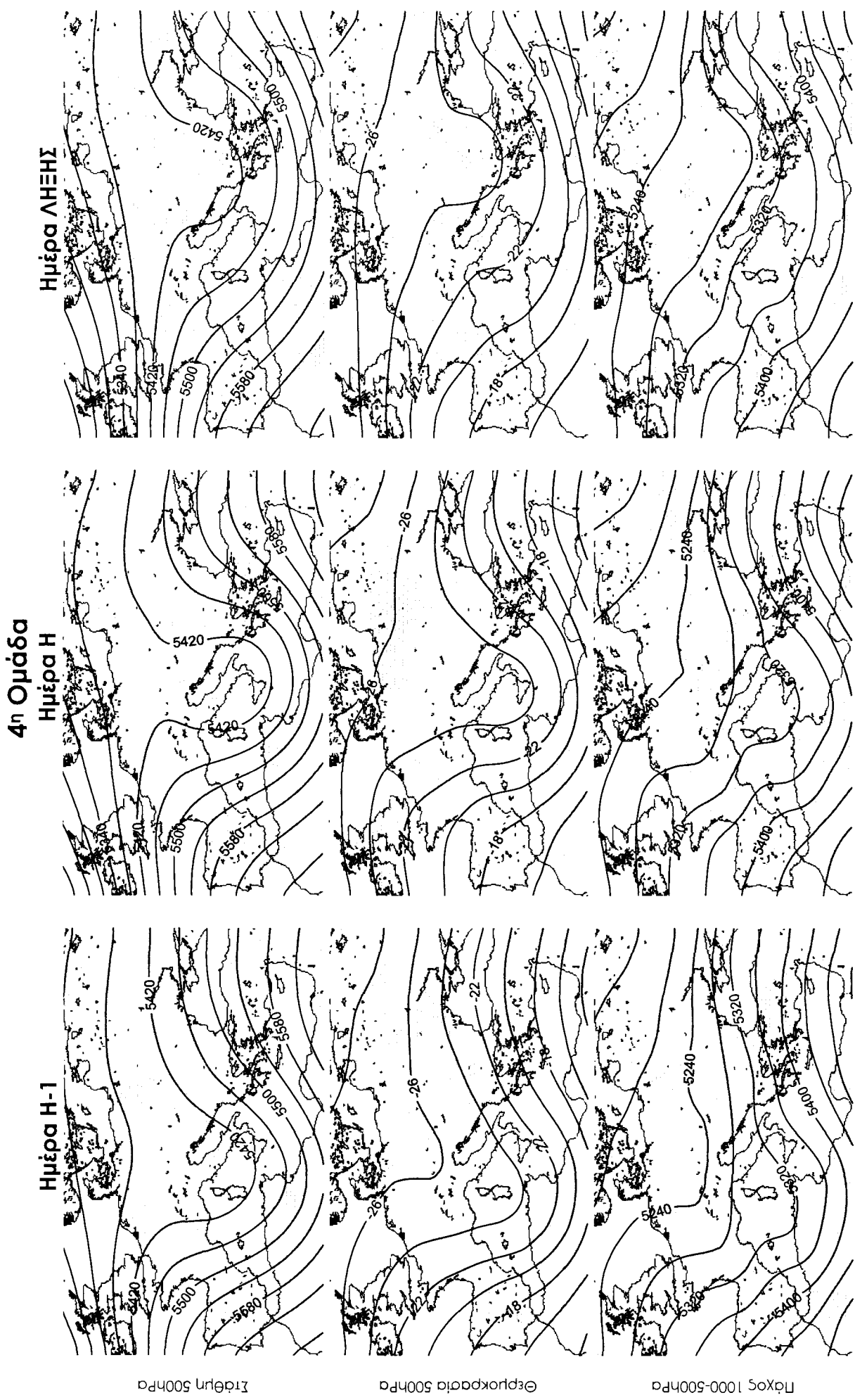


β

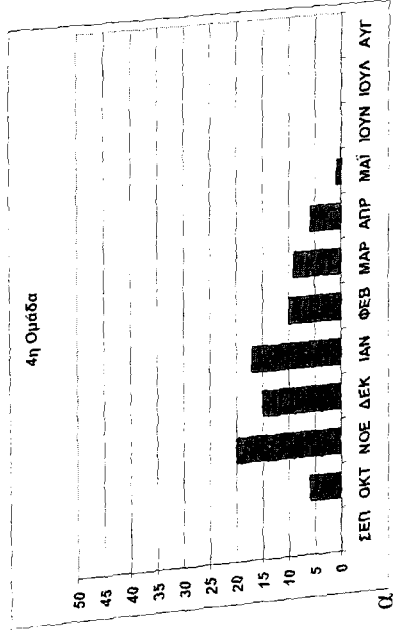
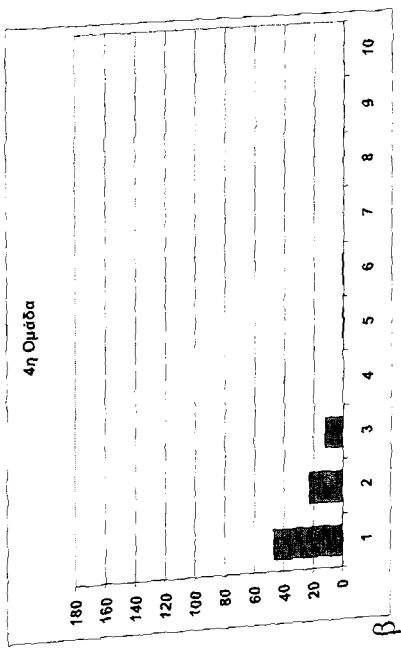
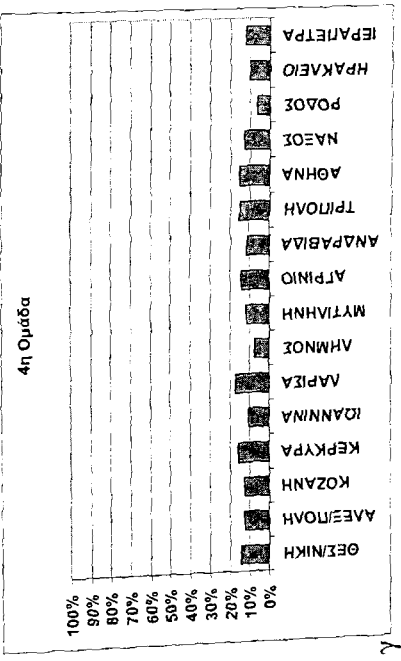
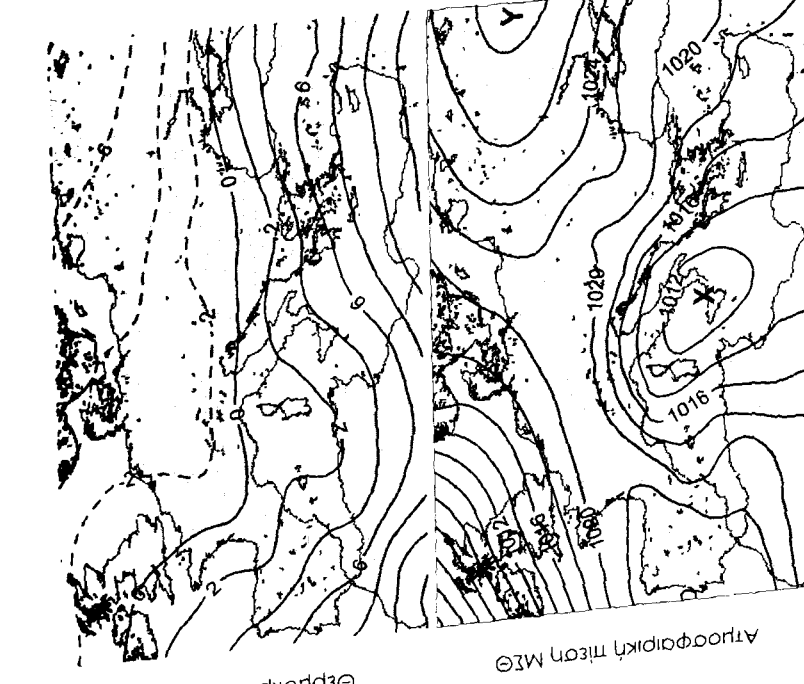
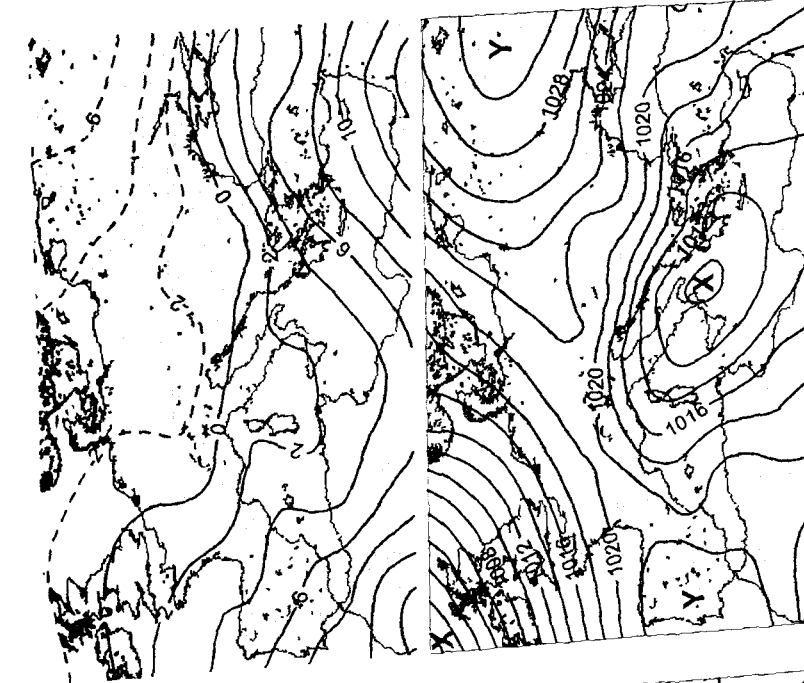
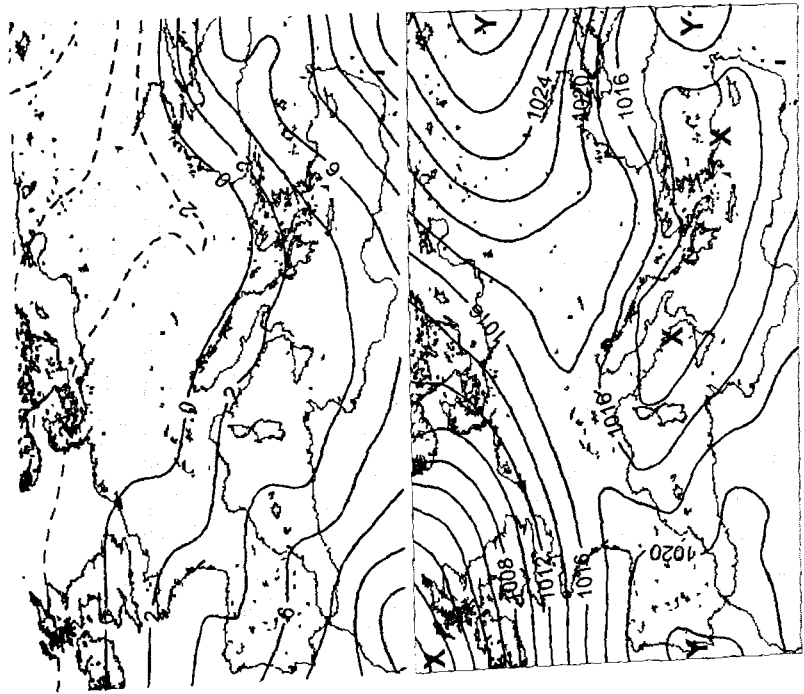


γ

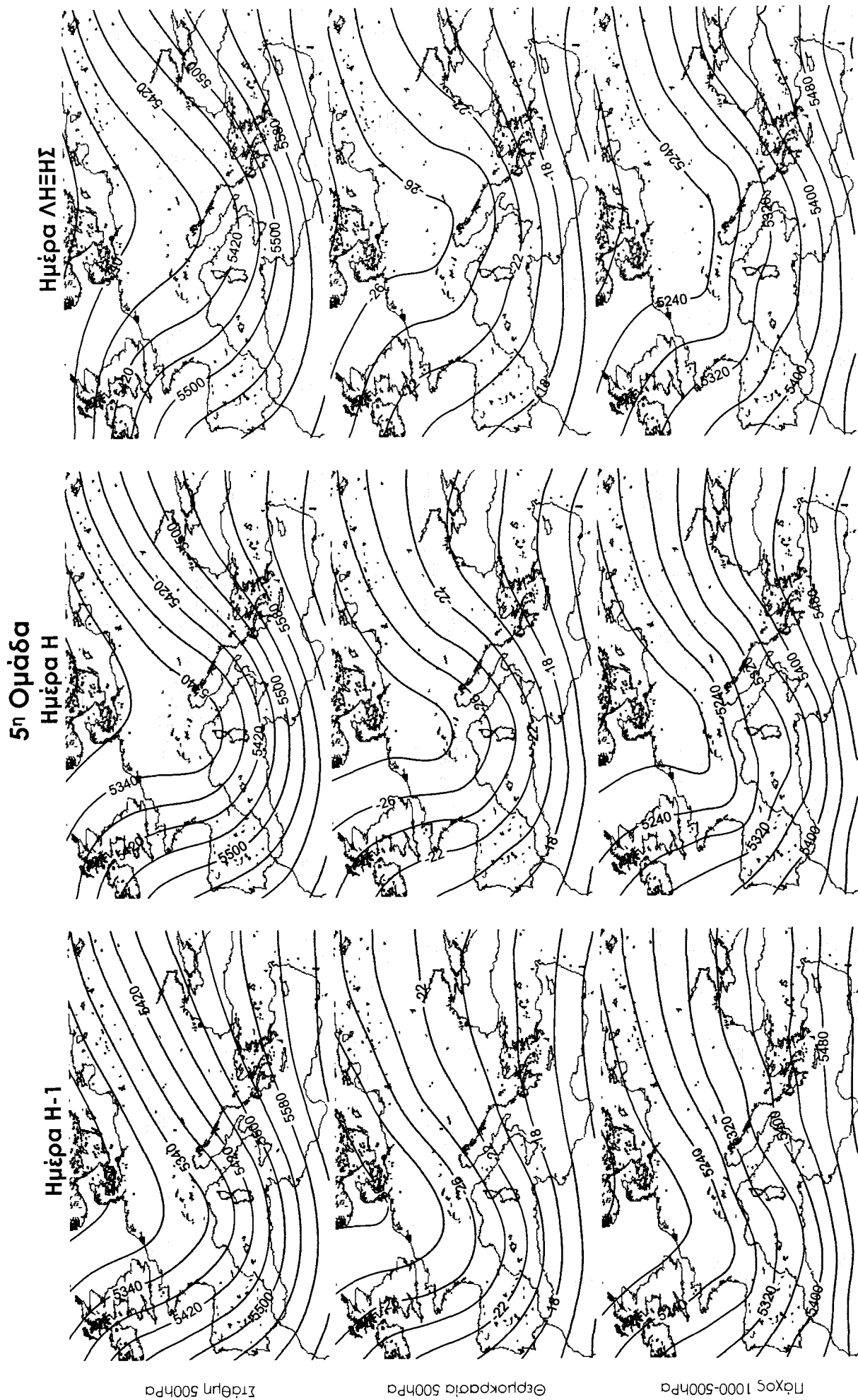
Σχήμα 5.12 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 3^ο κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 3^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας.



Σχήμα 5.13 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.



Σχήμα 5.13 Μέσοι γύρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 4^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 4^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 4^{ης} Ομάδας.



Σχήμα 5.14 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

Ημέρα ΛΗΞΗΣ



6η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Στάθμη 500hPa

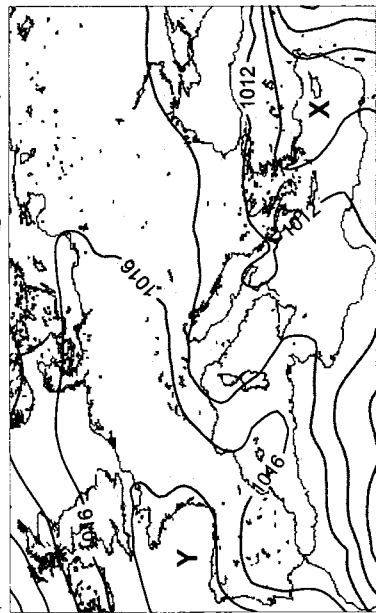
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

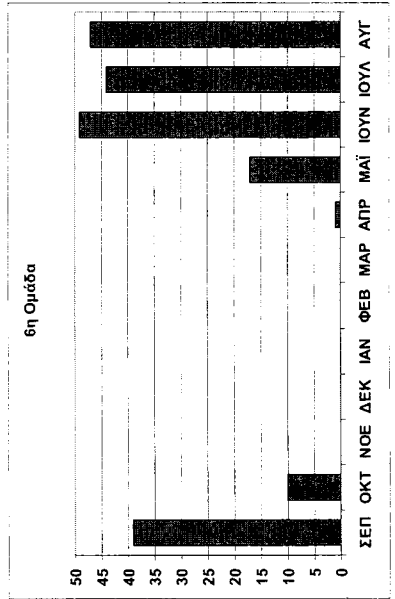
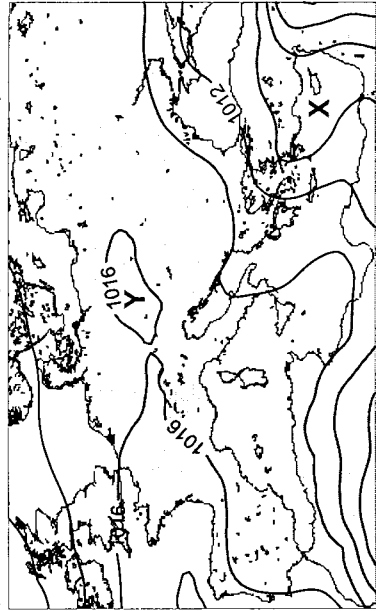
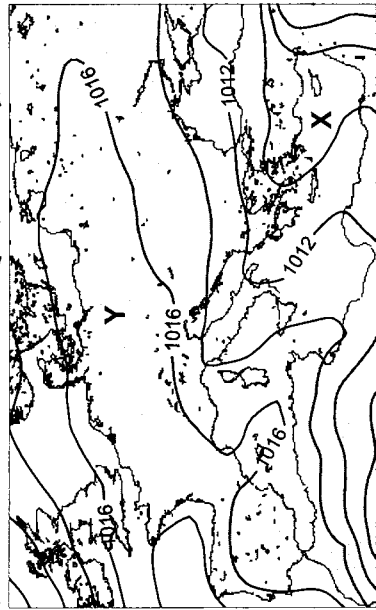
Σχήμα 5.15 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



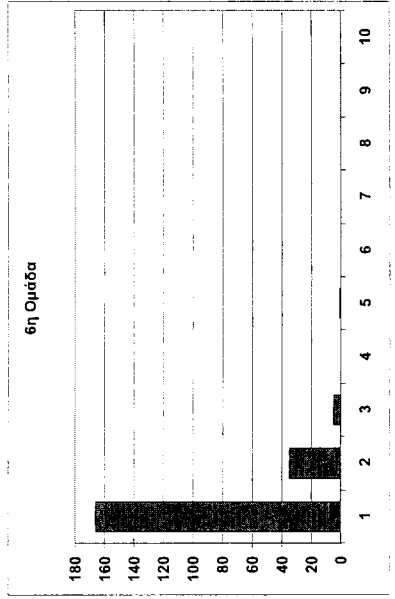
Επιτομή 850hp



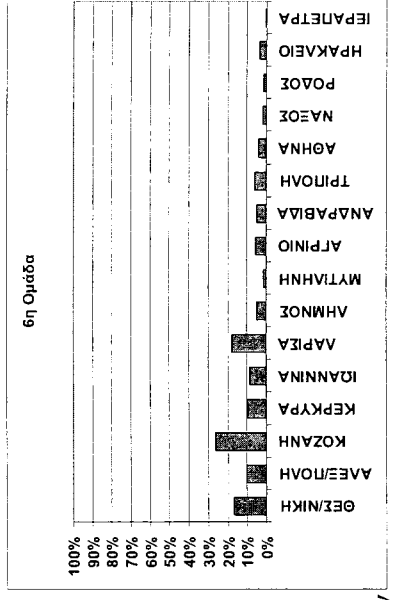
Μεσογεική πύση Μ2Θ



α



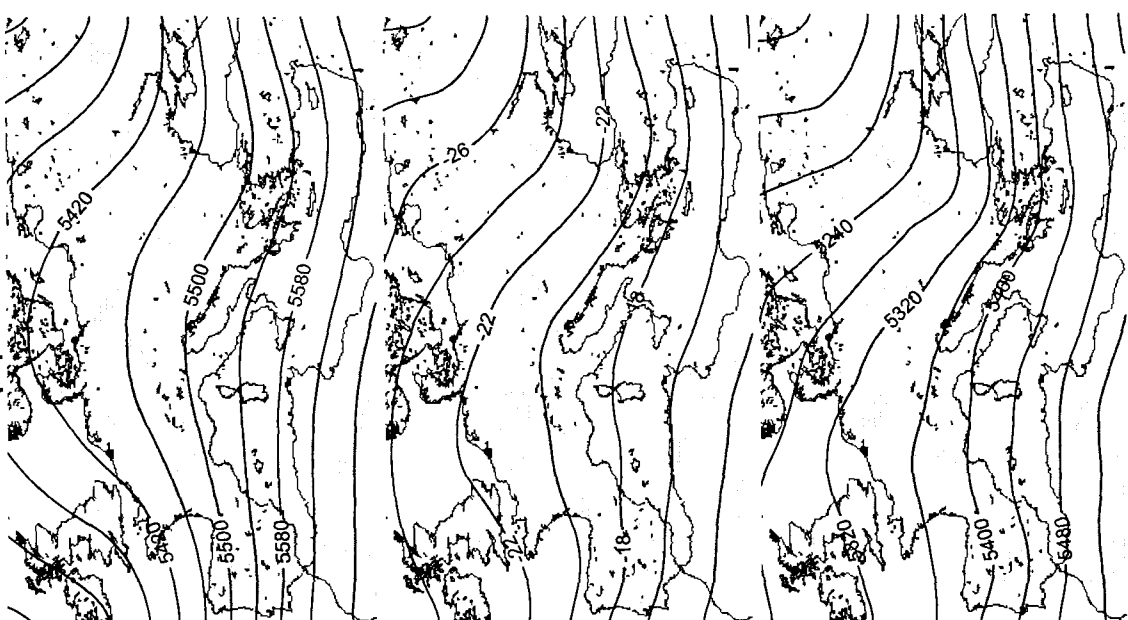
β



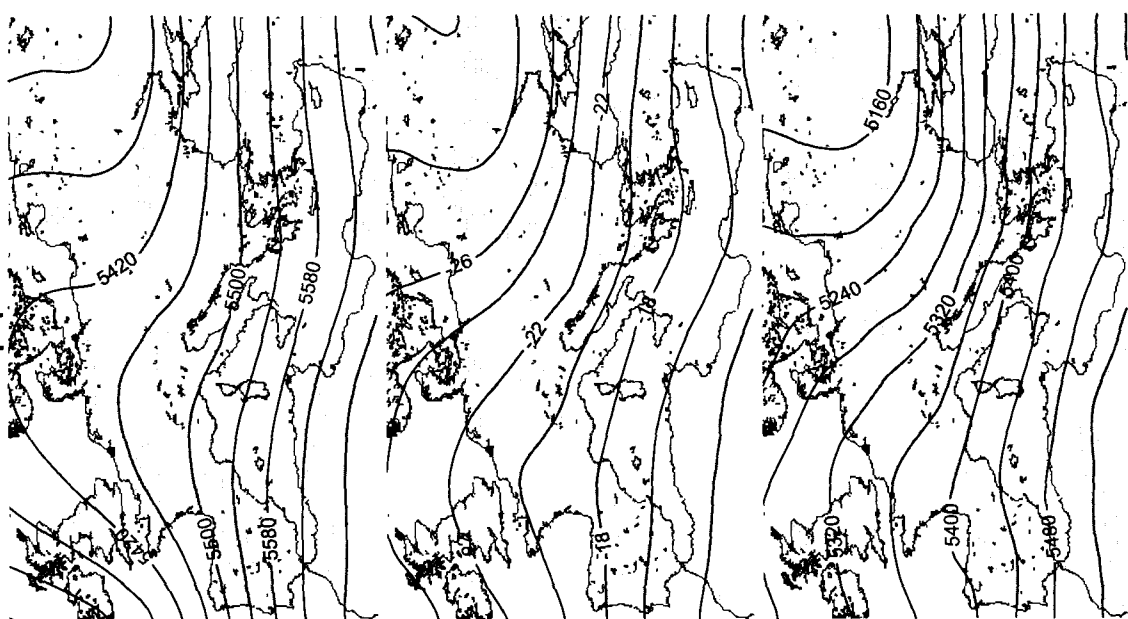
γ

Σχήμα 5.15 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 6^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 6^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας.

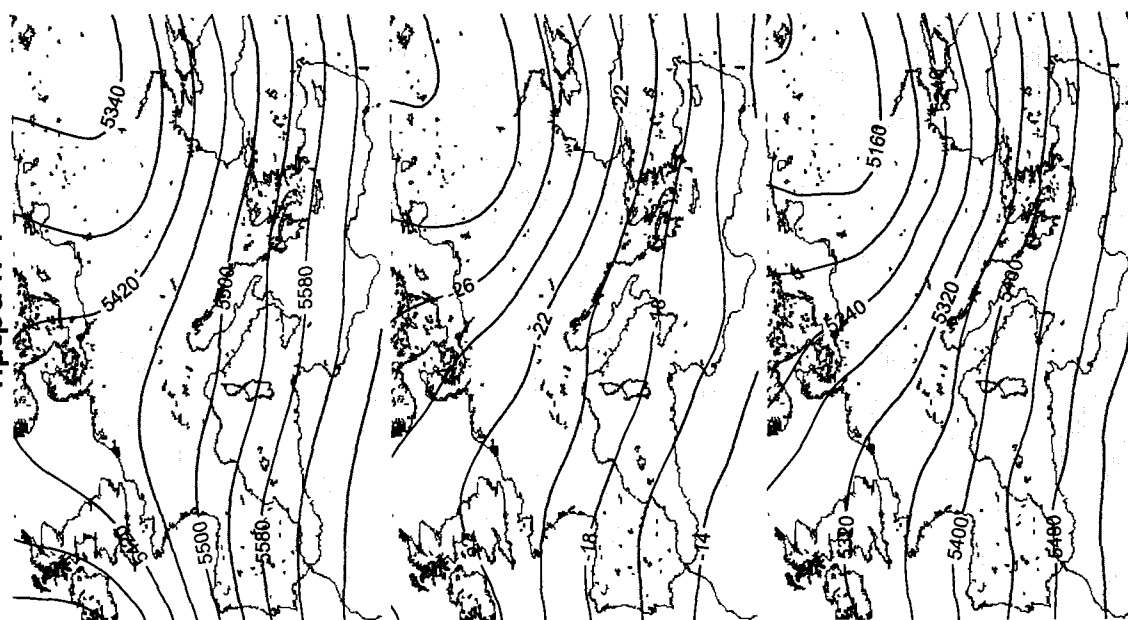
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



7^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

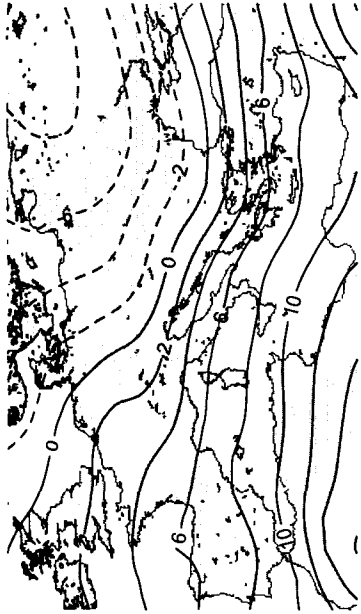


Ίσλιον 500hPa

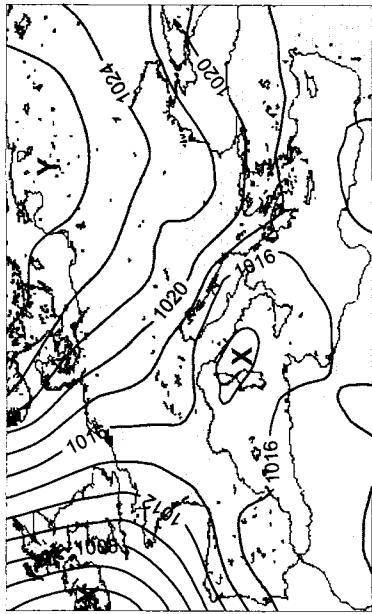
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

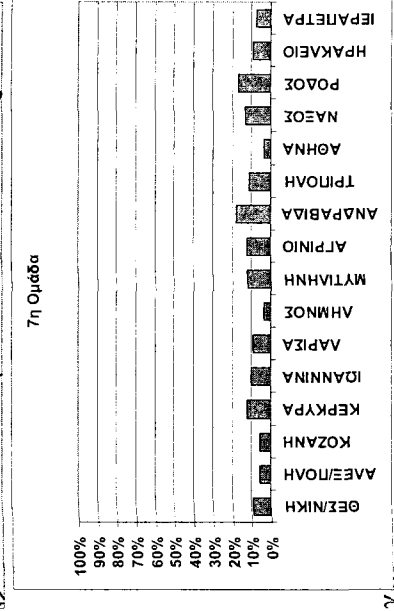
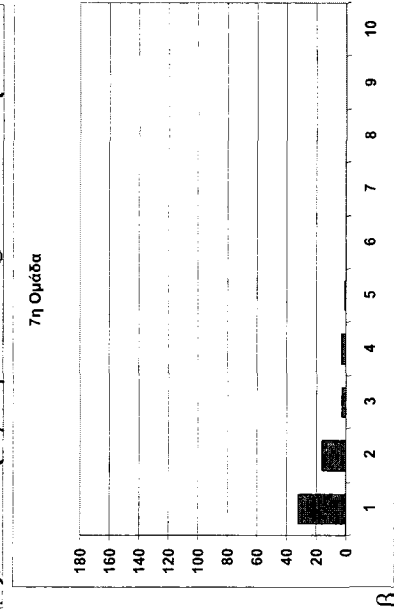
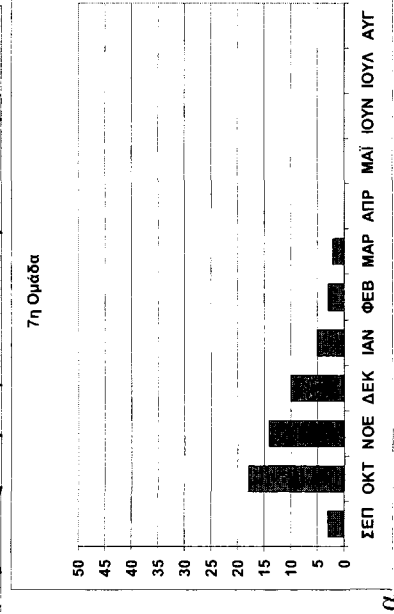
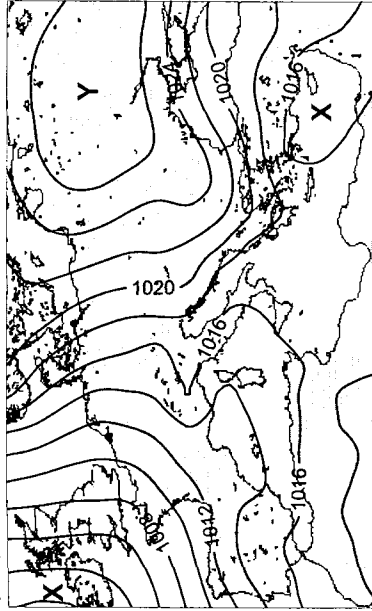
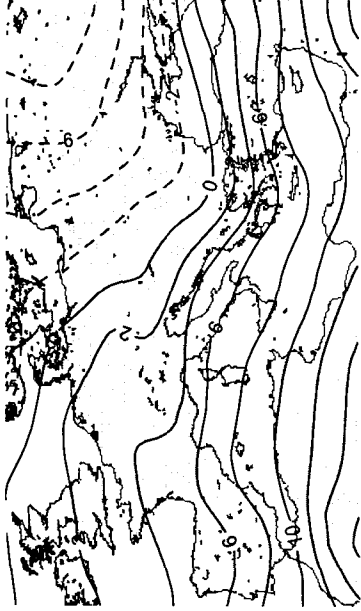
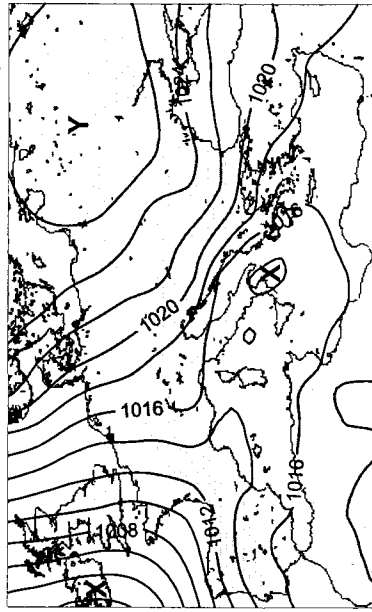
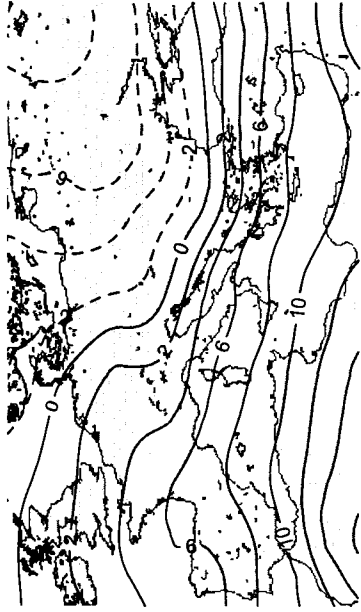
Σχήμα 5.16 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Θεμκρσσία 50hPa

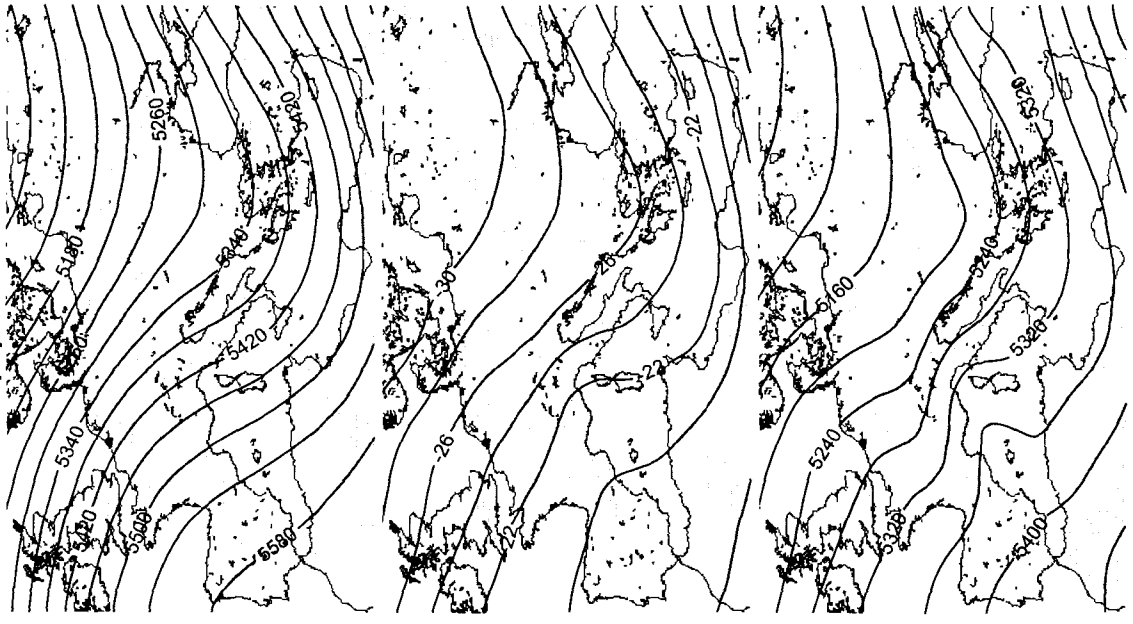


Ατμοσφαιρική πίεση MSL

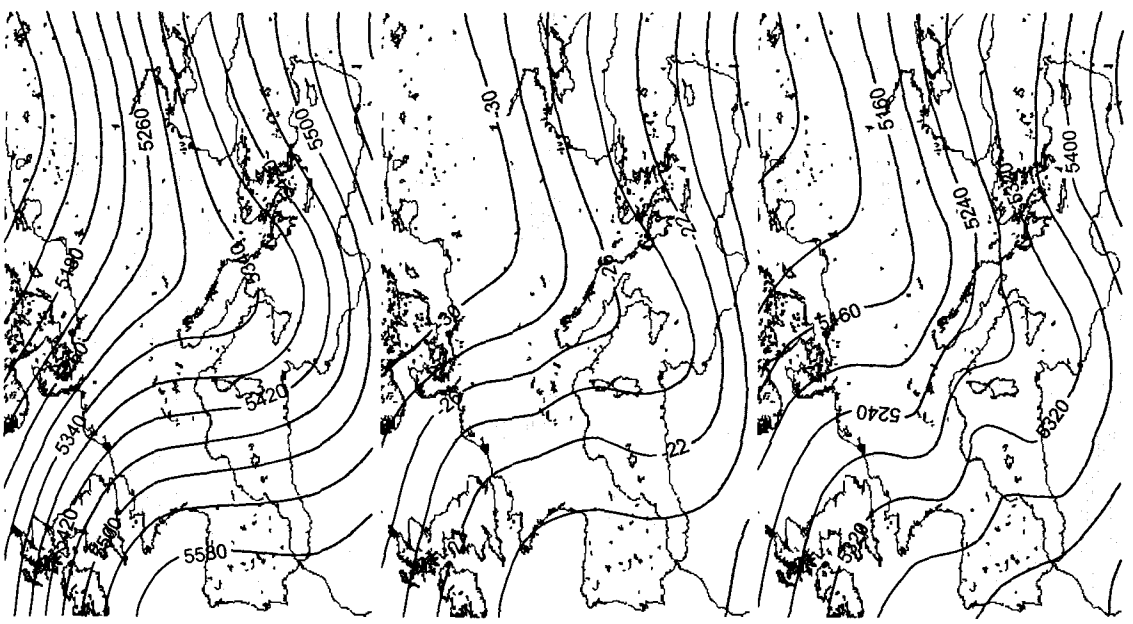


Σχήμα 5.16 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές περιόδους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πληθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πληθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 7ης Ομάδας.

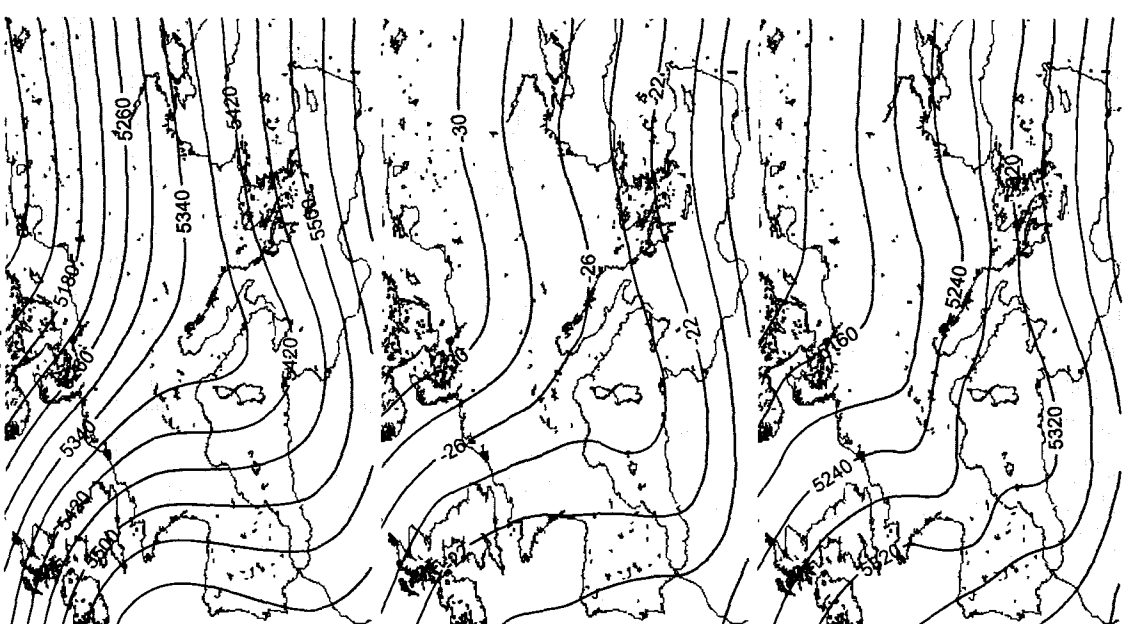
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



8η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

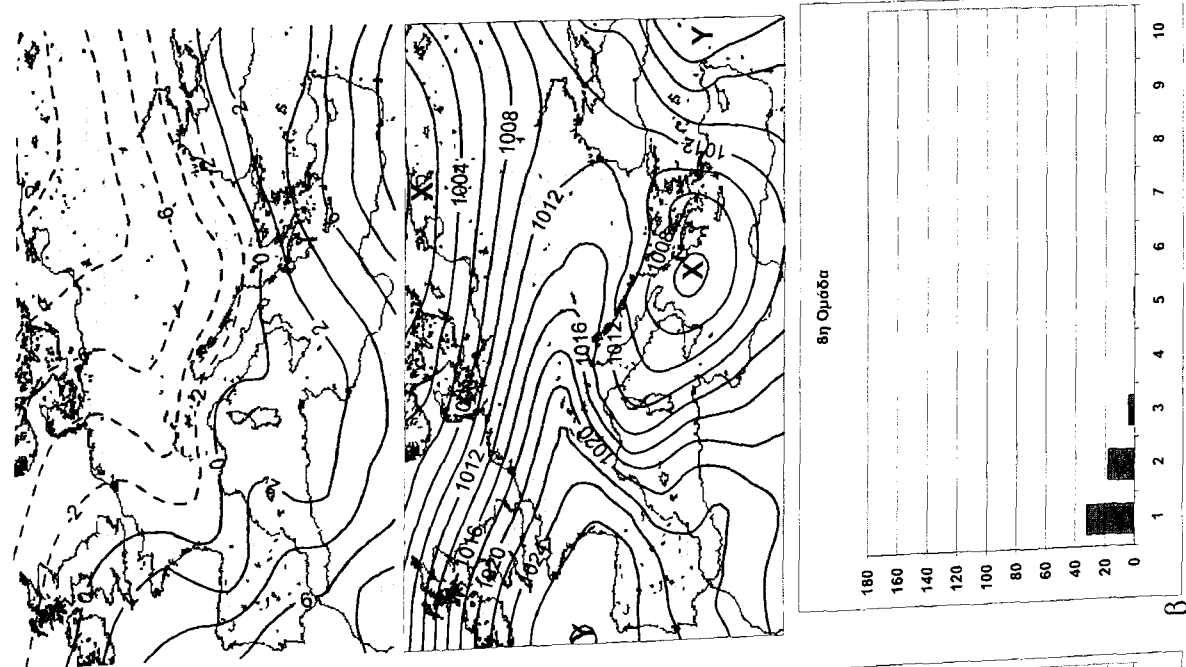
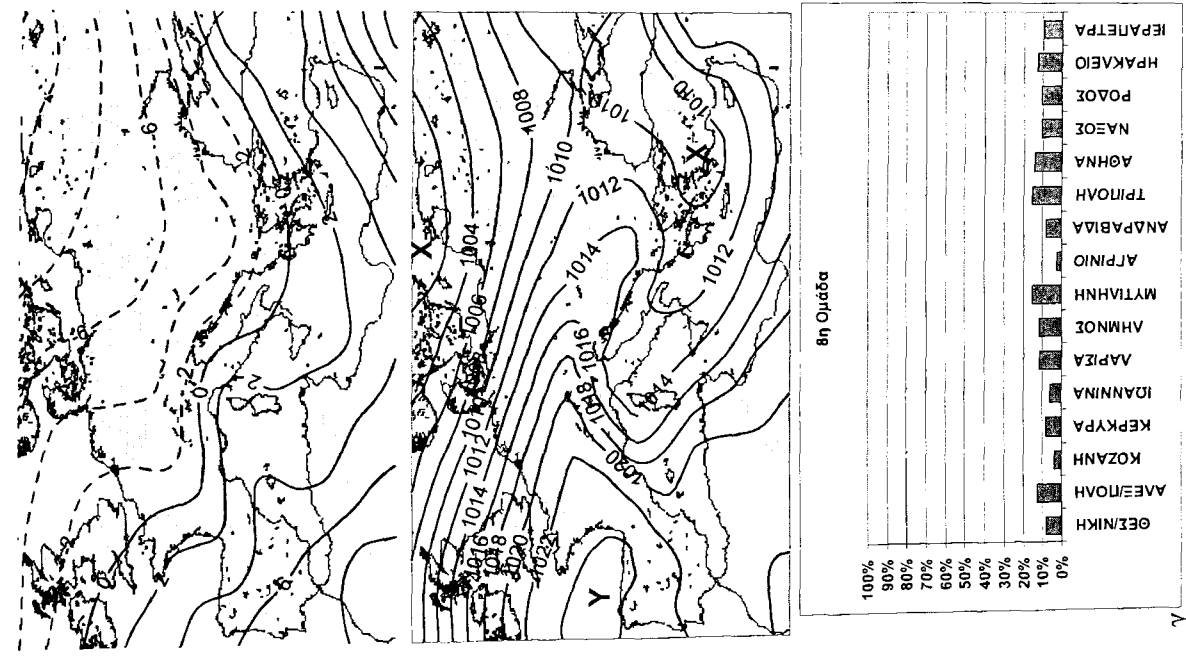


Ίσobar 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 5.17 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.



Σχήμα 5.17 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 8^ο κύριο τύπο της εξάλειψης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 8^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 8^{ης} Ομάδας.

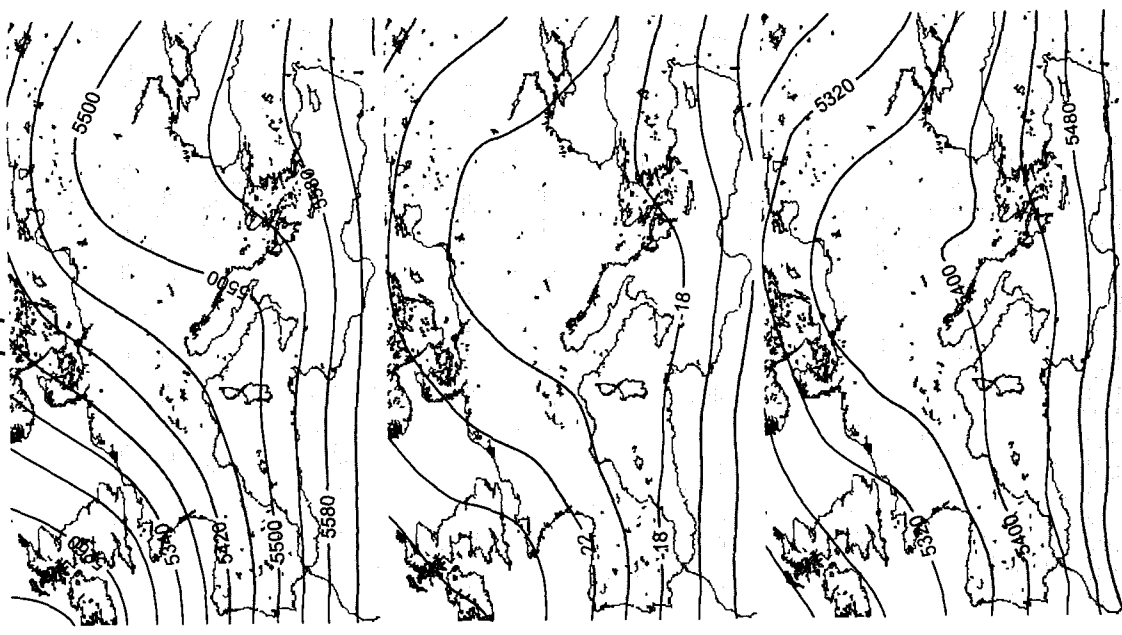
Επιλεκτικά 850hPa

Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣθ

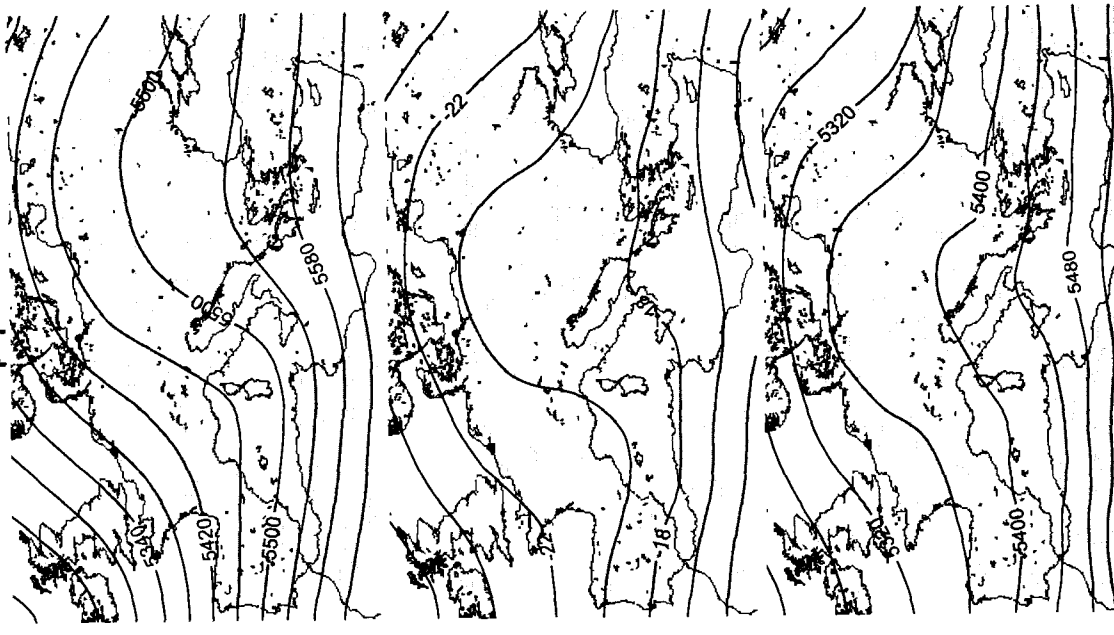
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



9η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

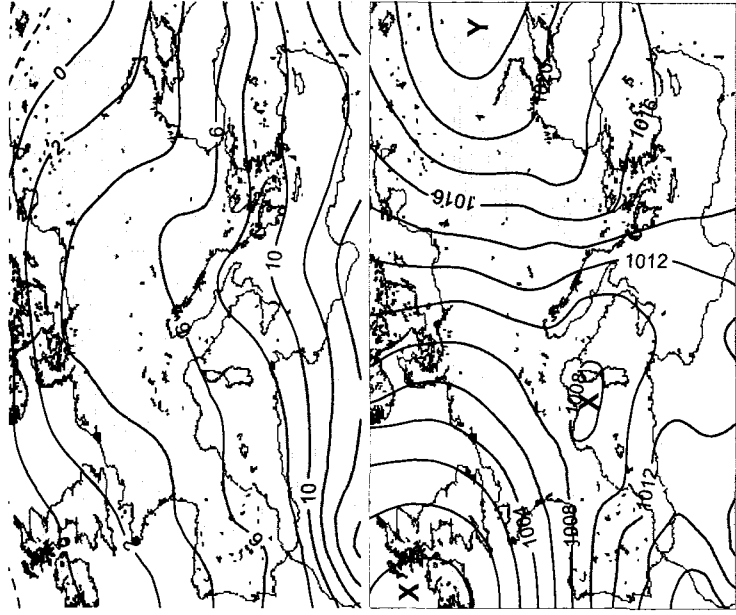


Ισόβαρη 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

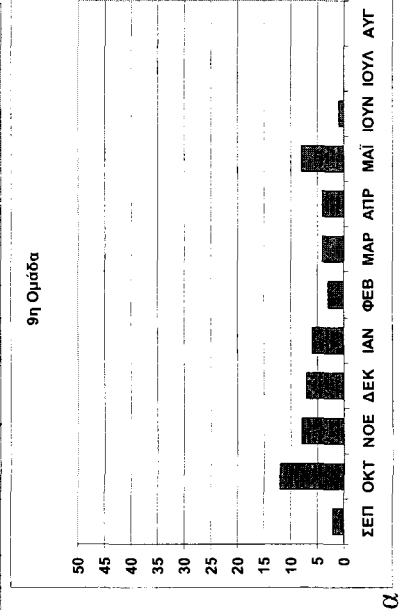
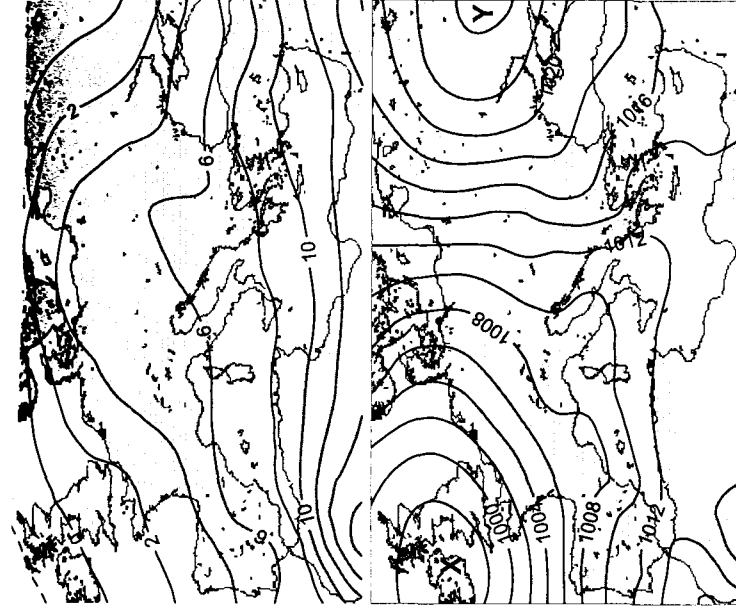
Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 5.18 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

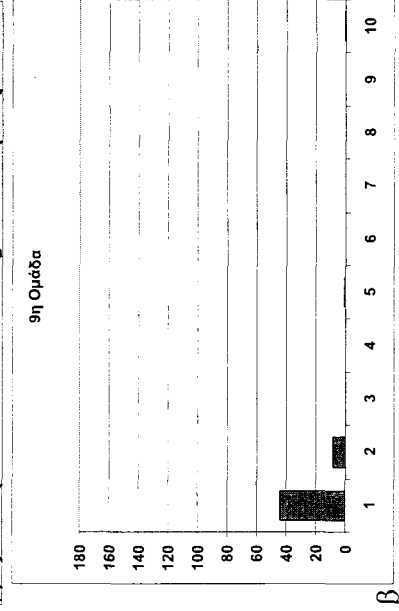
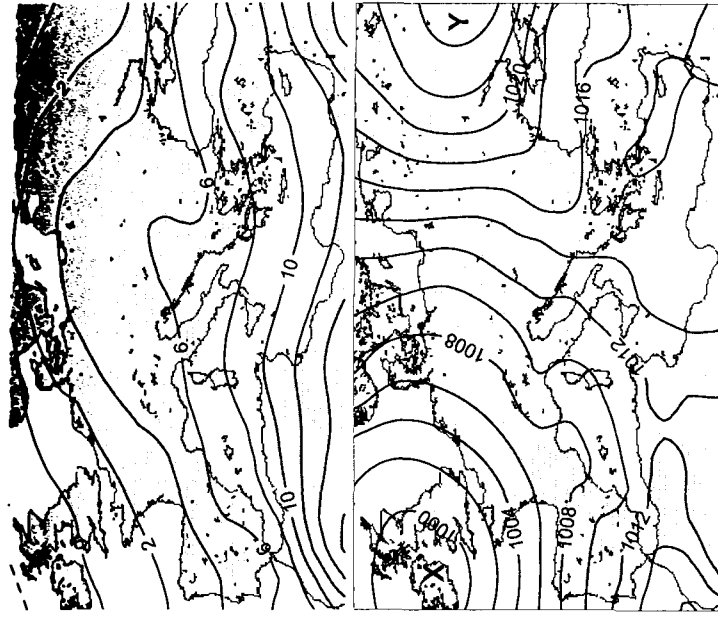


Επιμορφασία 850hpα

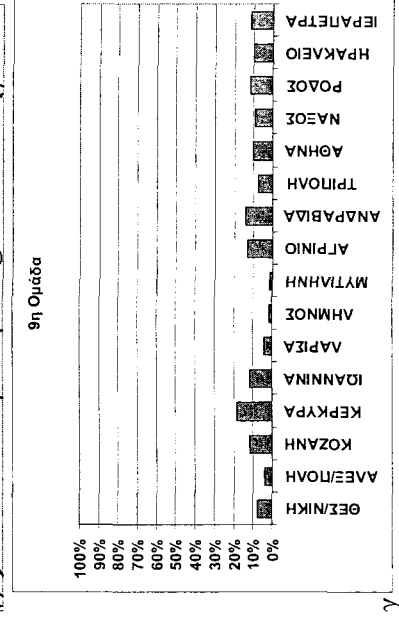
Ατμοσφαιρική πίεση M2Θ



α)



β)



γ)

Σχήμα 5.18 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, τον κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 9^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 9^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



Ίσθμη 500hPa

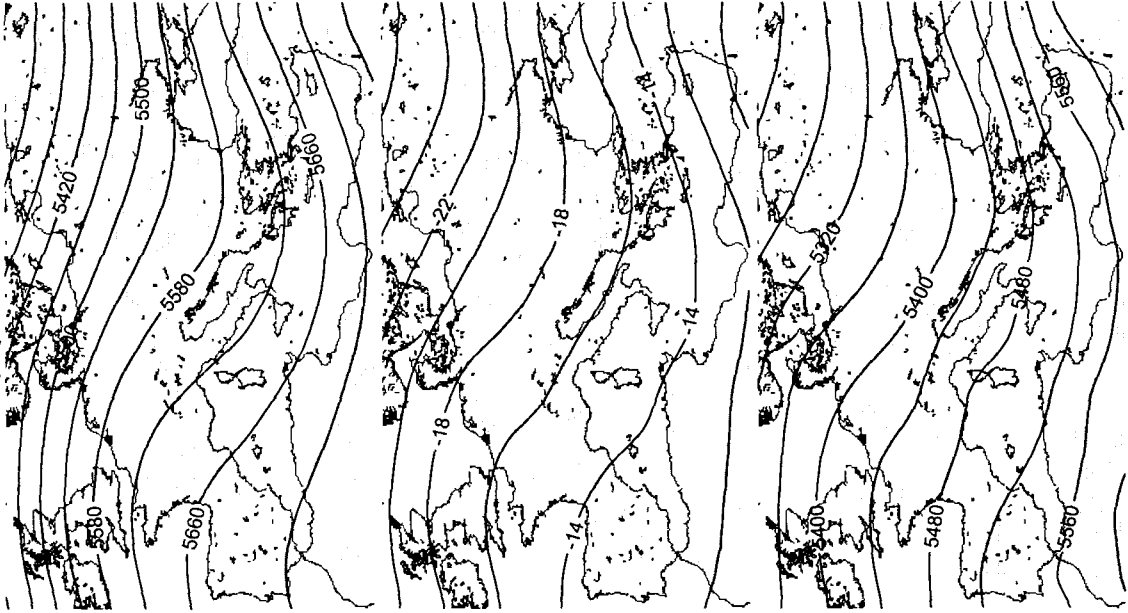
Επιμορφασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

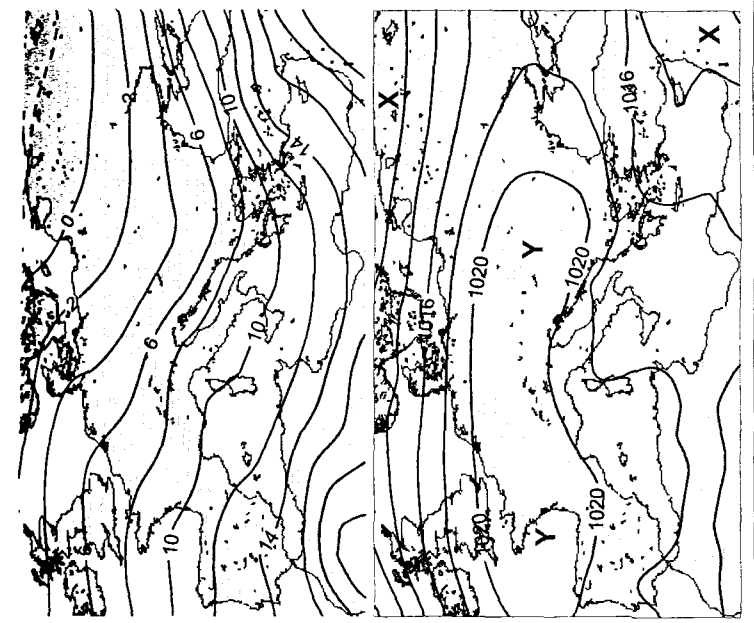
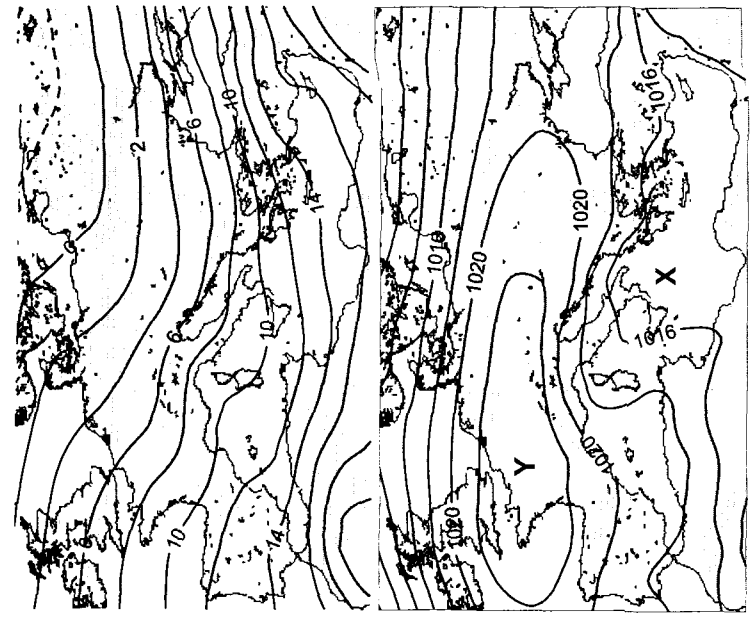
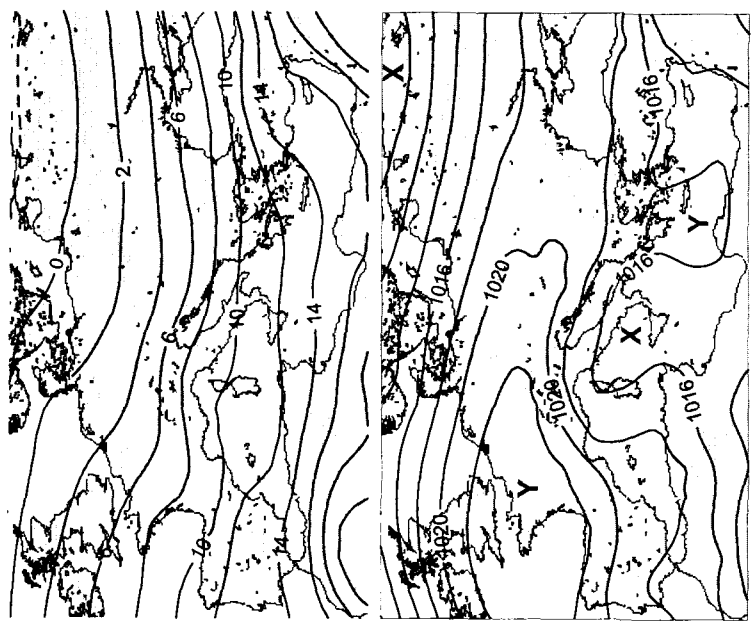
10^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα ΛΗΨΗΣ



Σχήμα 5.19 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Θερμοκρασία 850hPa

Ατμοσφαιρική πίεση MSL

0

β

γ

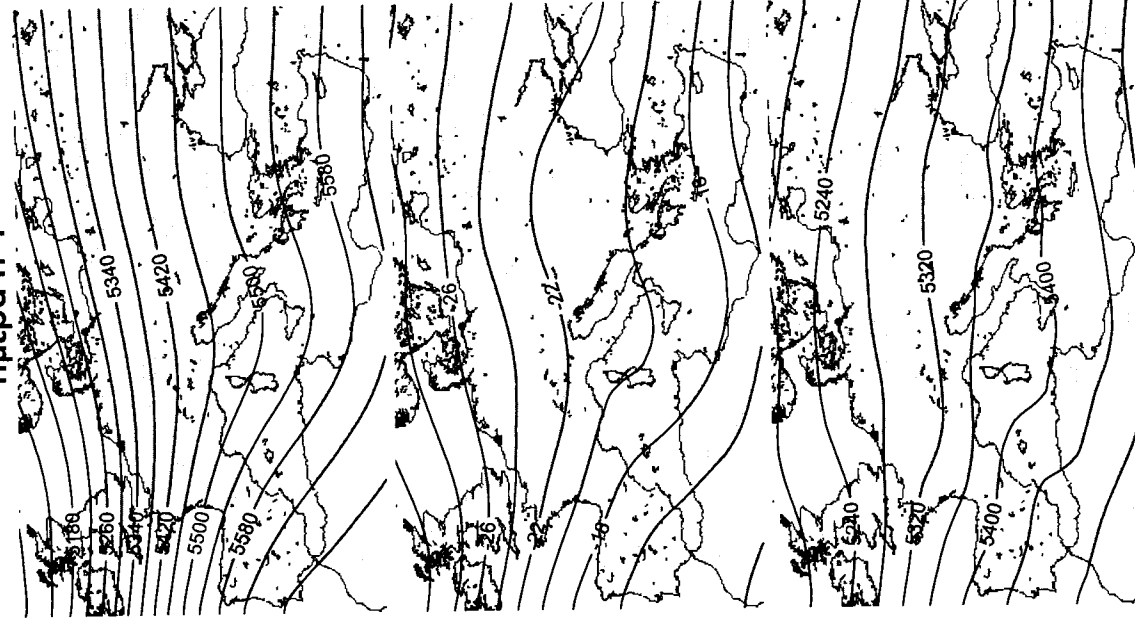
Σχήμα 5.19 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 10^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 10^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 10^{ης} Ομάδας.

11η Ομάδα

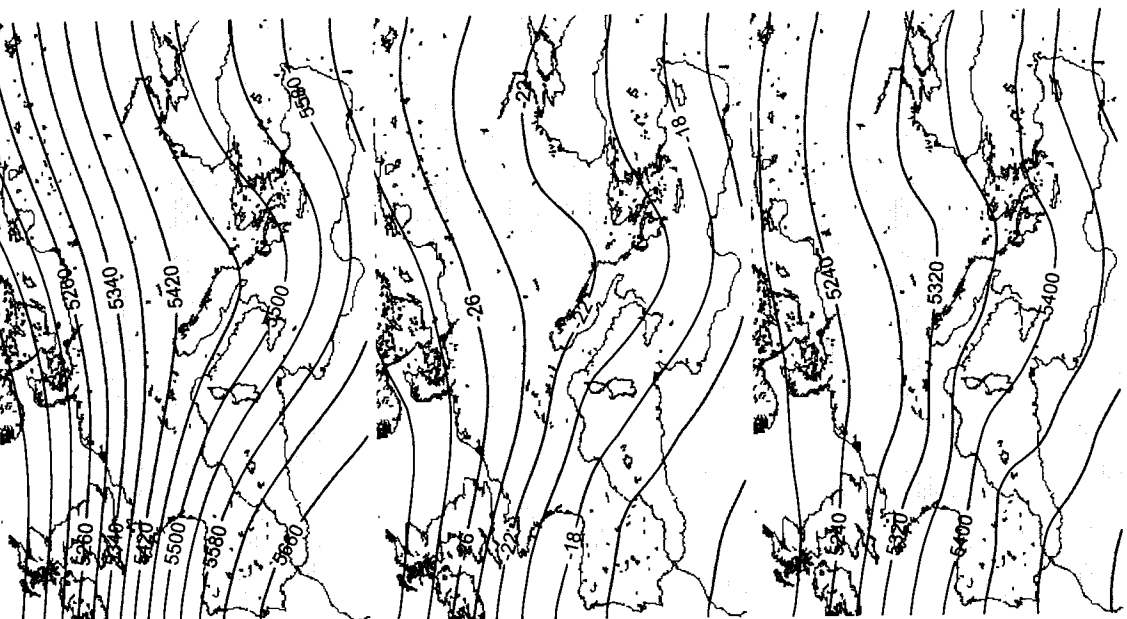
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΞΗΣ



Γράφημα 500hPa

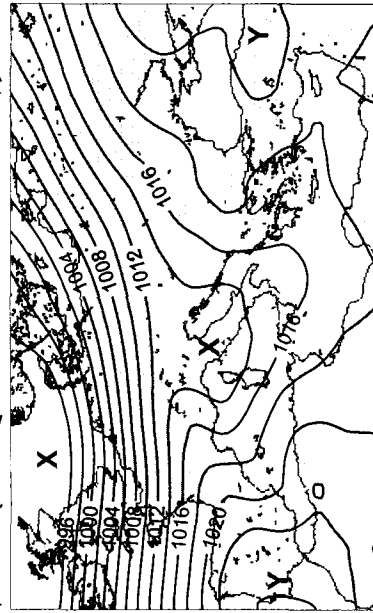
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

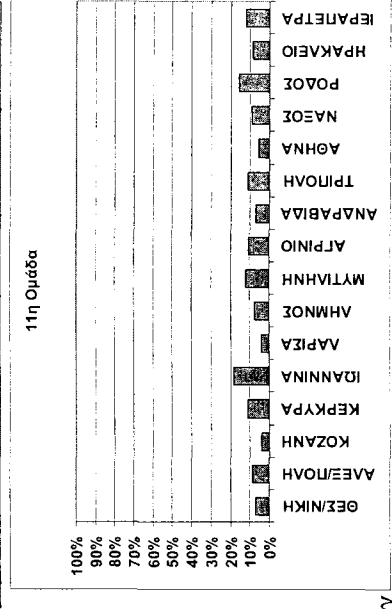
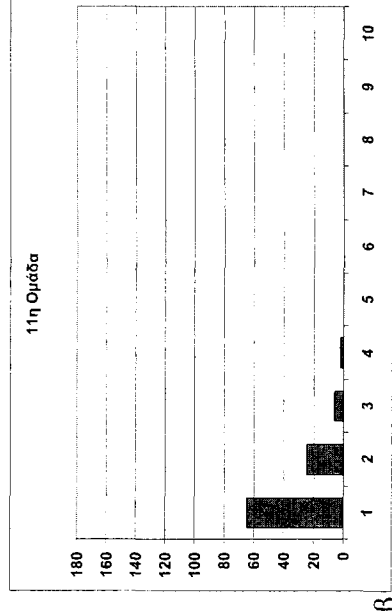
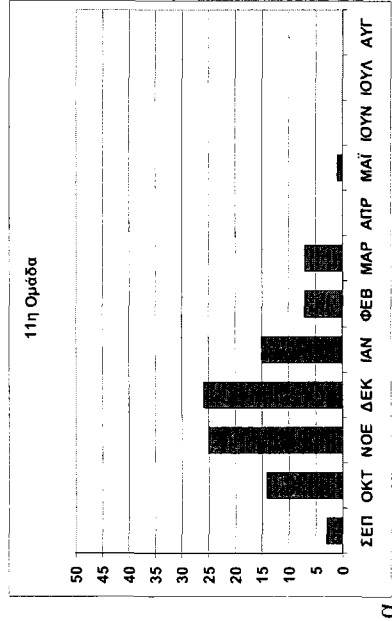
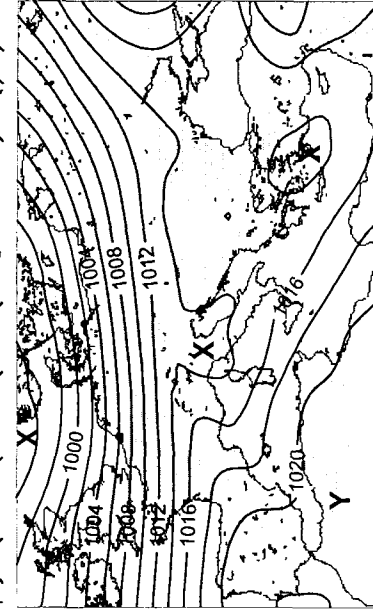
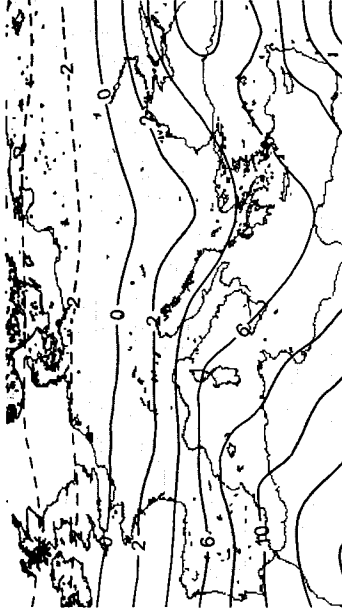
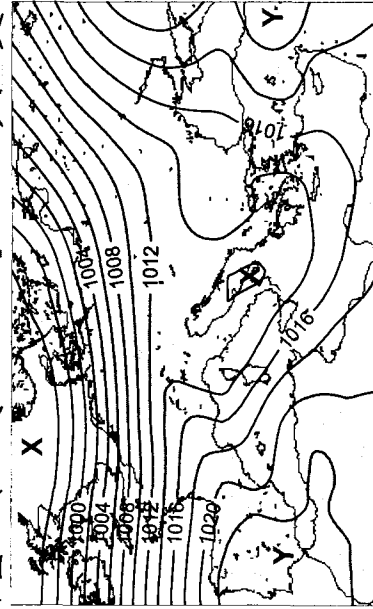
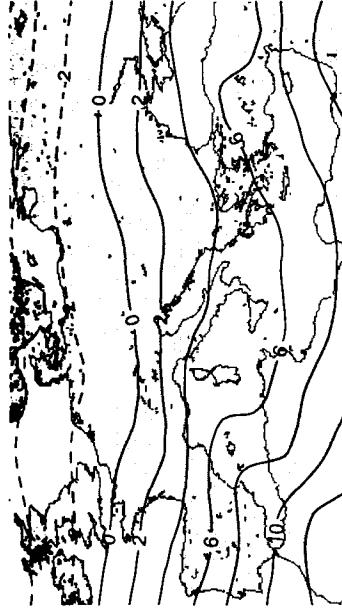
Σχήμα 5.20 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιμορφασία 850hPa

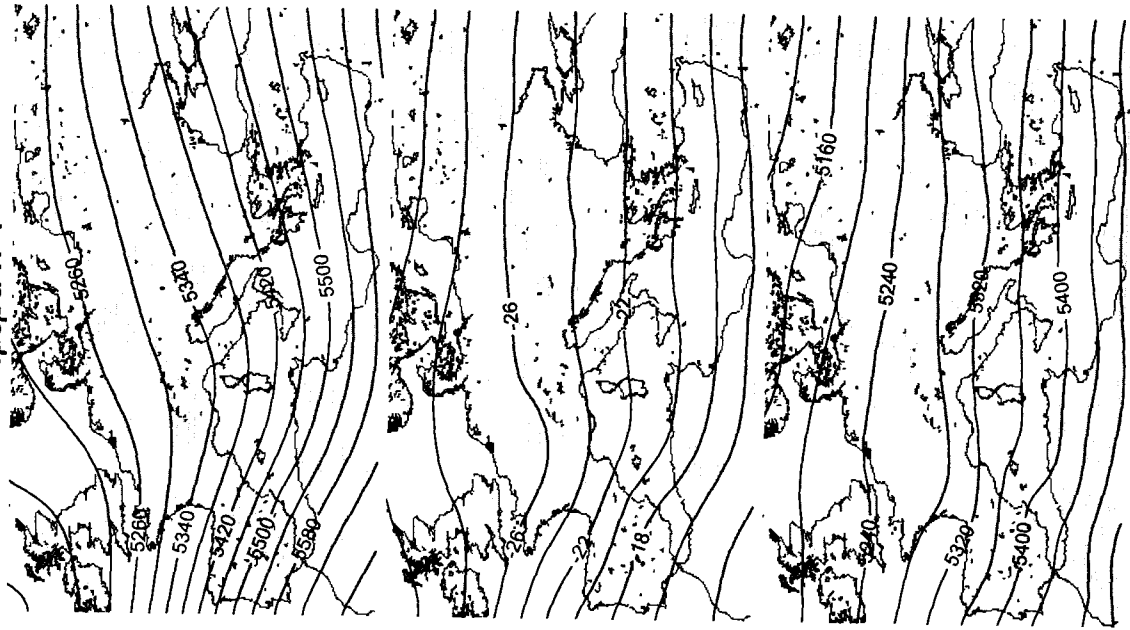


Ατμοσφαιρική πίεση Μ10



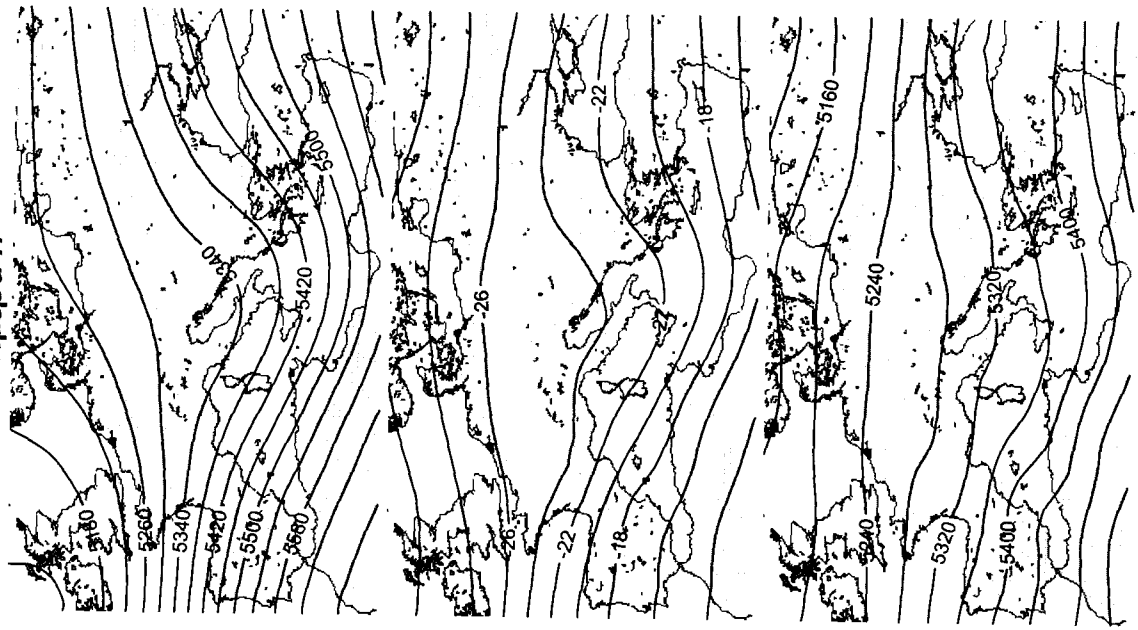
Σχήμα 5.20 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δέχονται τον 11° κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 11ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 11ης Ομάδας.

Ημέρα Η-1



12η Ομάδα

Ημέρα Η



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

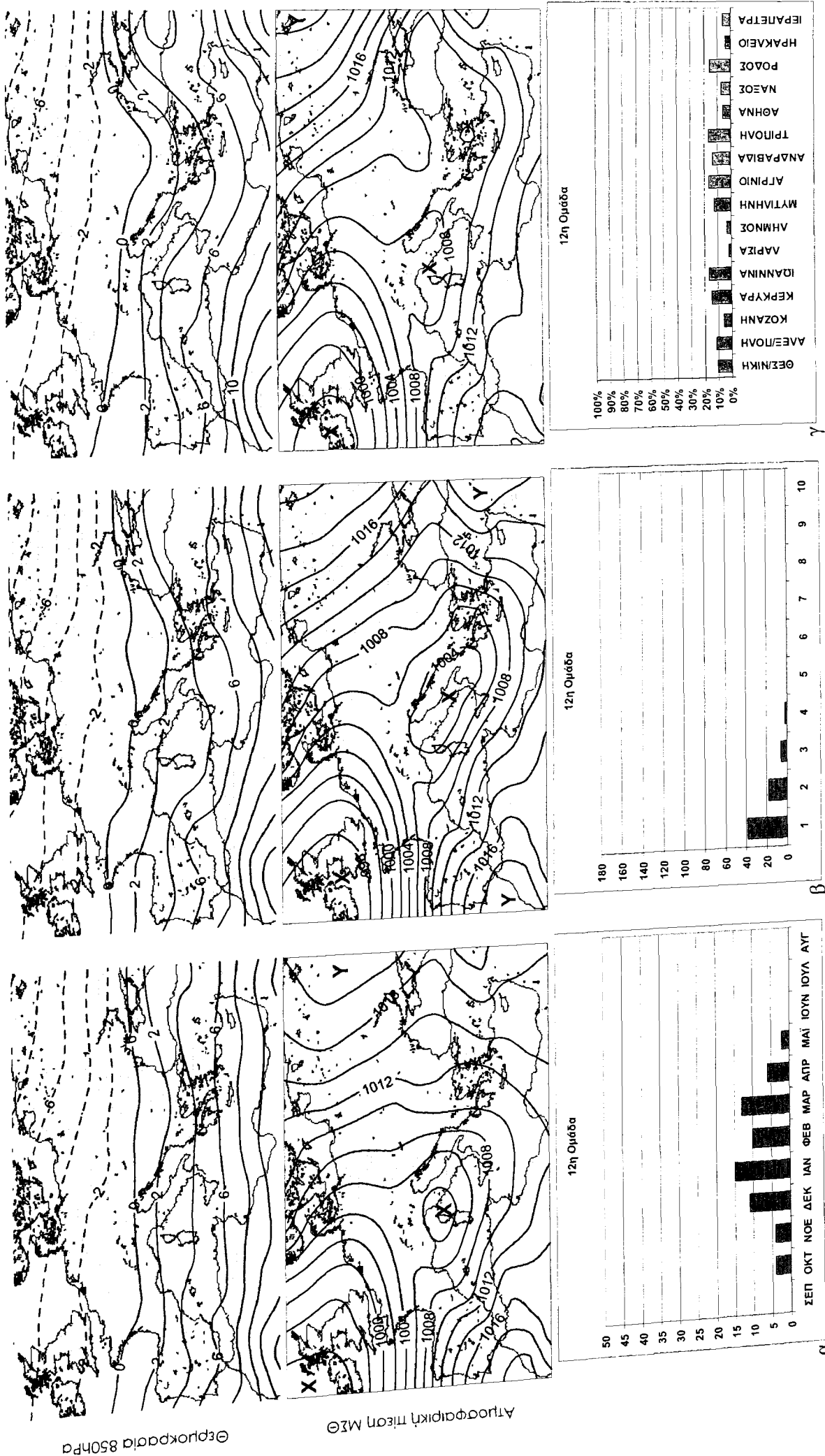


Ίσθμιο 500hp

Επιρροπαρία 500hp

Πάχος 100-500hp

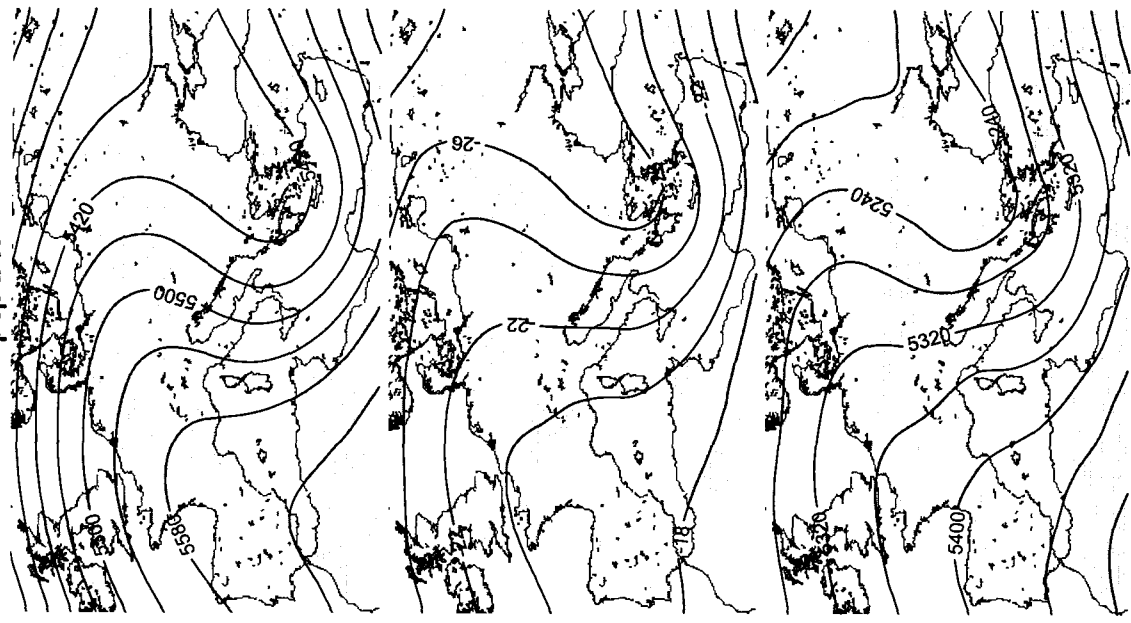
Σχήμα 5.21 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



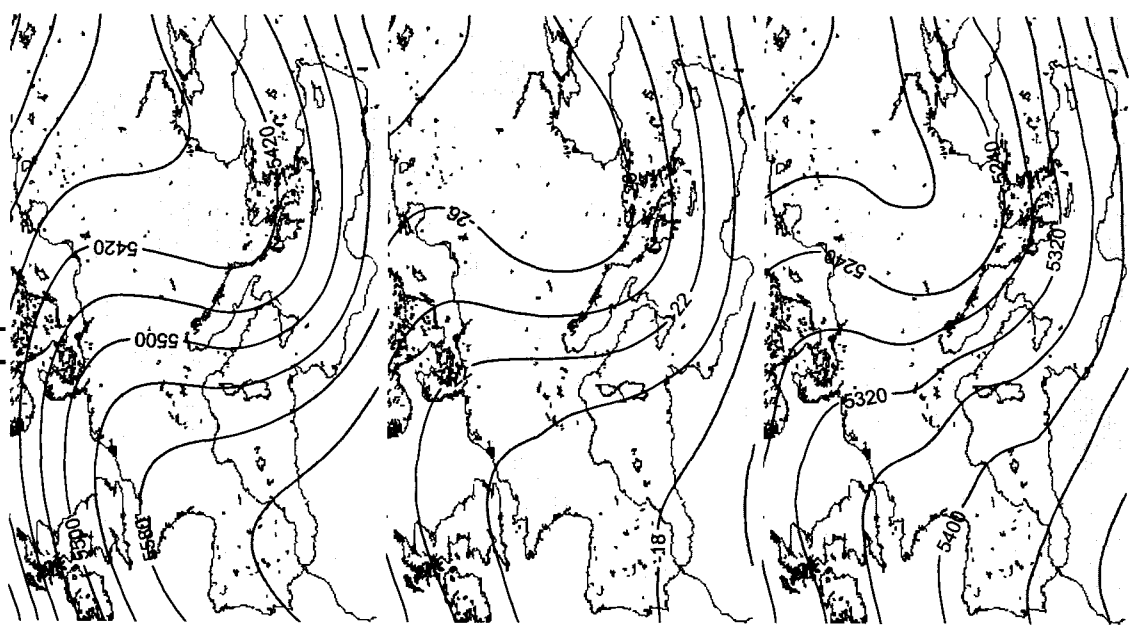
Σχήμα 5.21 Μέσος γάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 12^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 12^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 12^{ης} Ομάδας.

13^η Ομάδα

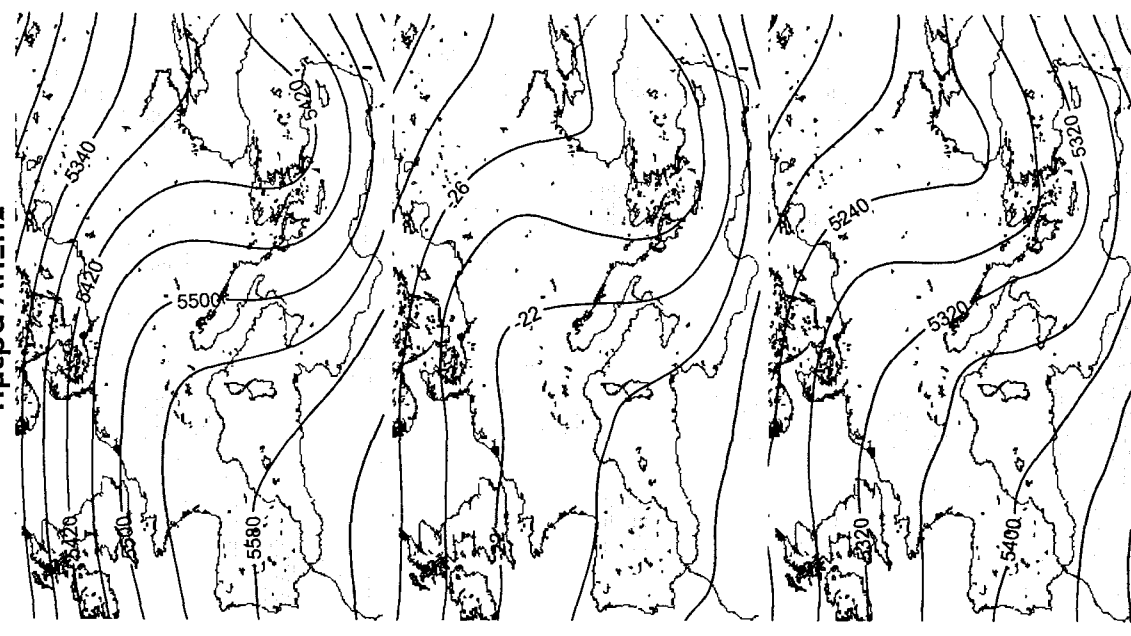
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΕΗΣ

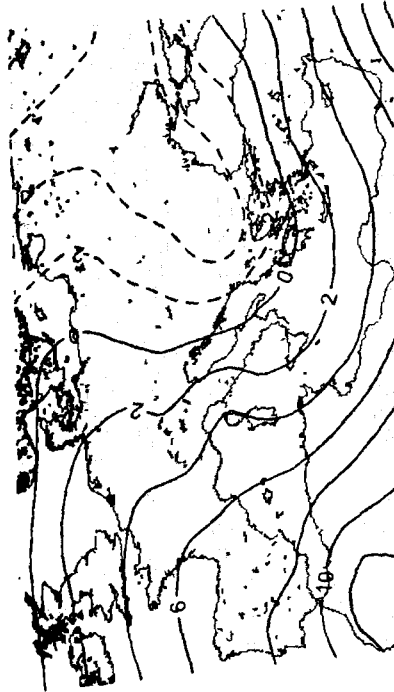
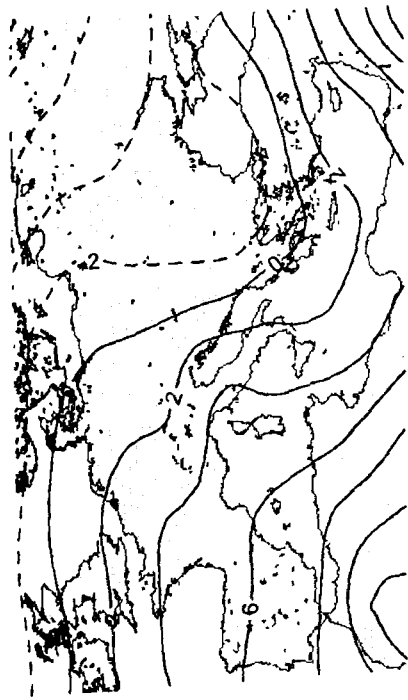


Ισόβη 500hPa

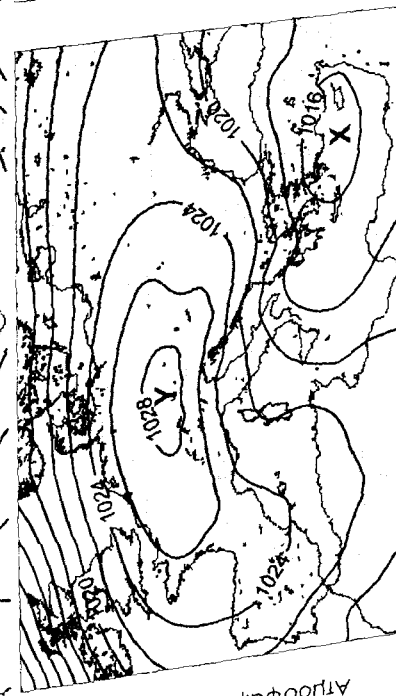
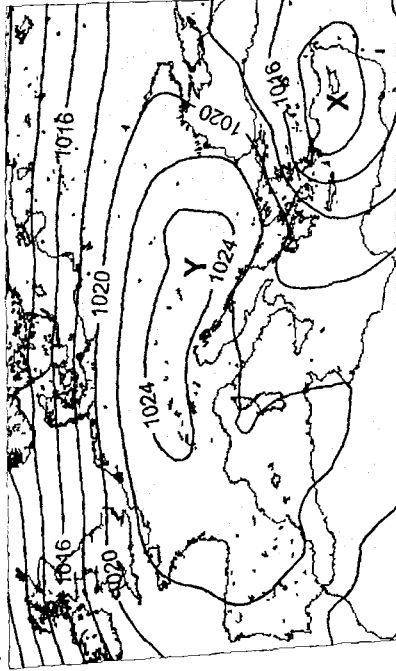
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

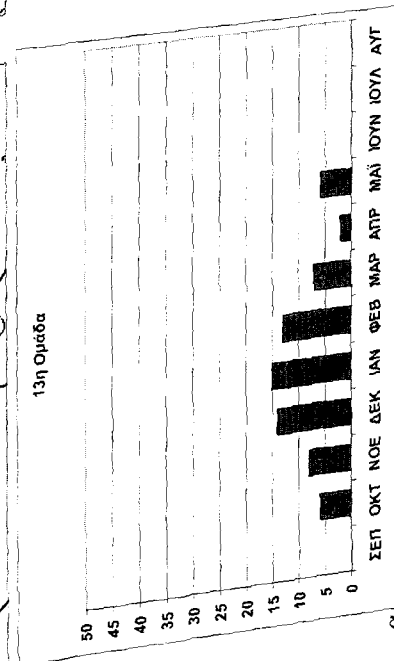
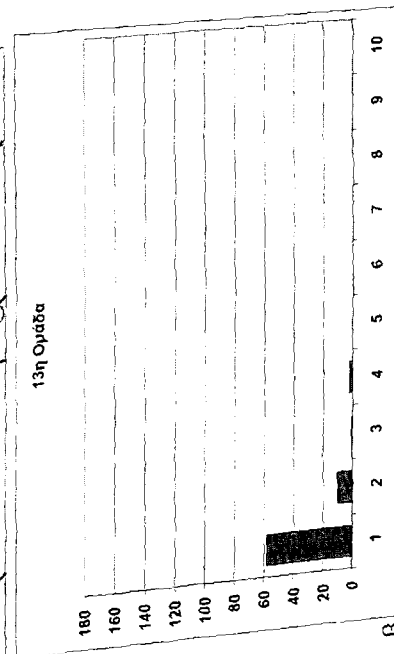
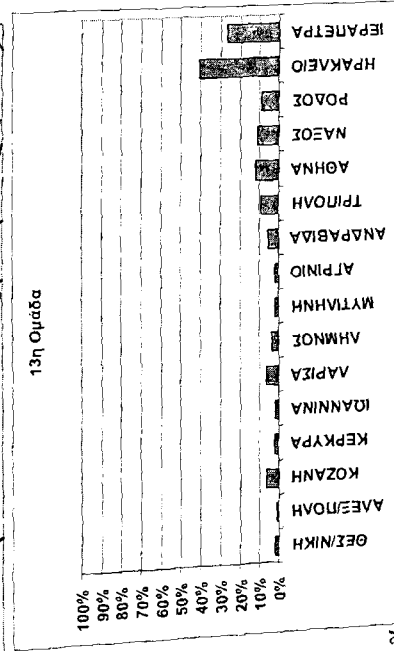
Σχήμα 5.22 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Θεμπρασία 850hPa

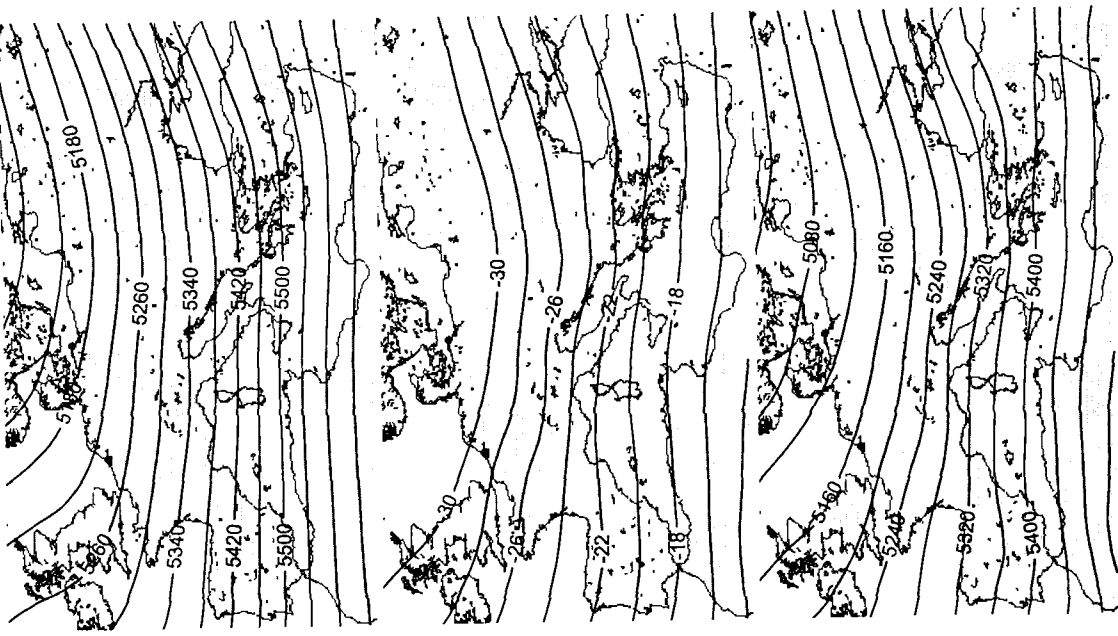


Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ



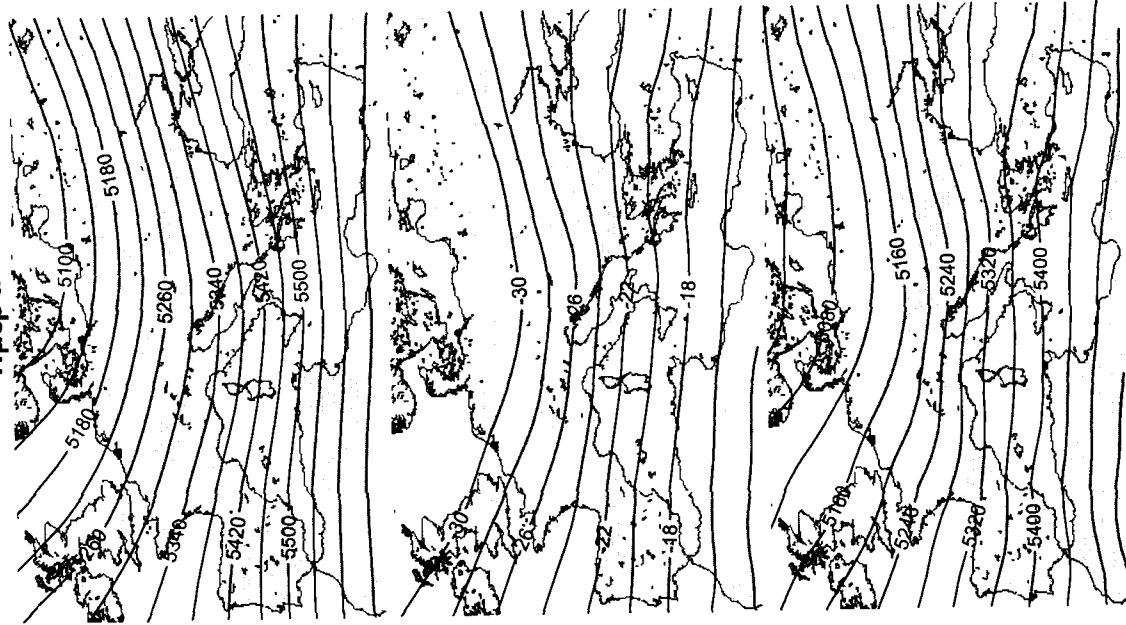
Σχήμα 5.22 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, που δείχνουν τον 13^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της αμφοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 13^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 13^{ης} Ομάδας.

Ημέρα ΛΗΞΗΣ

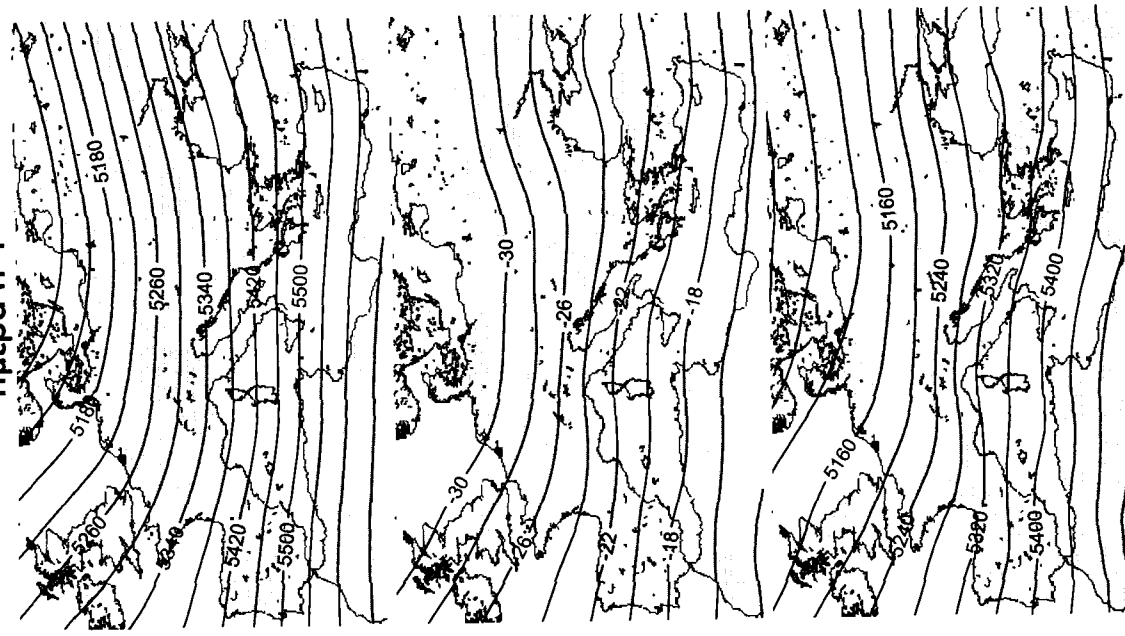


14η Ομάδα

Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ίσθμια 500hPa

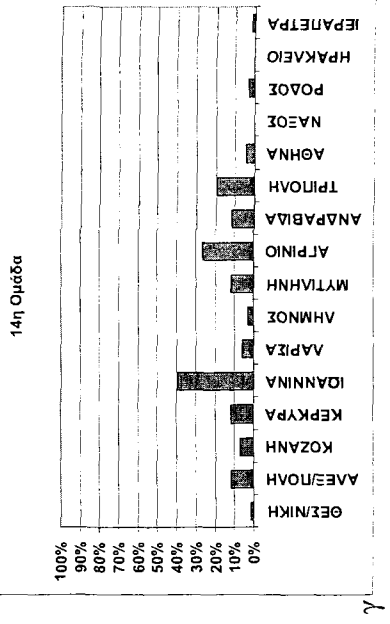
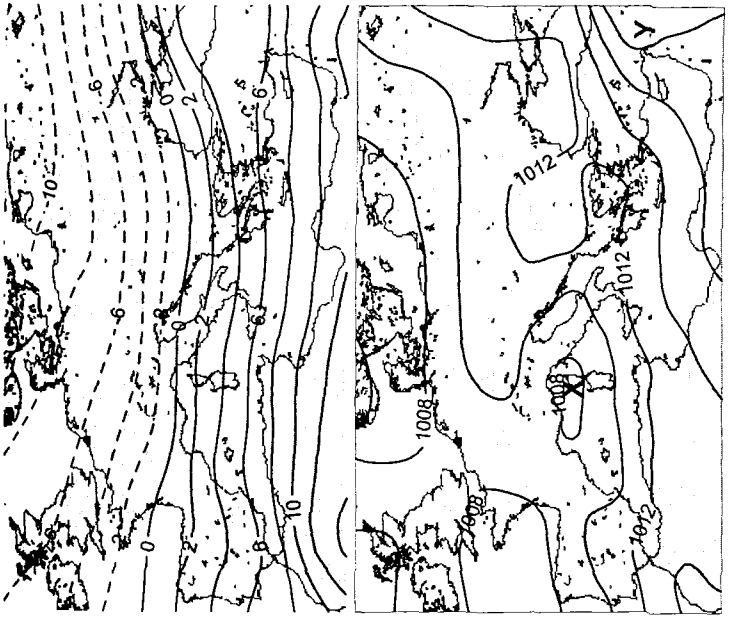
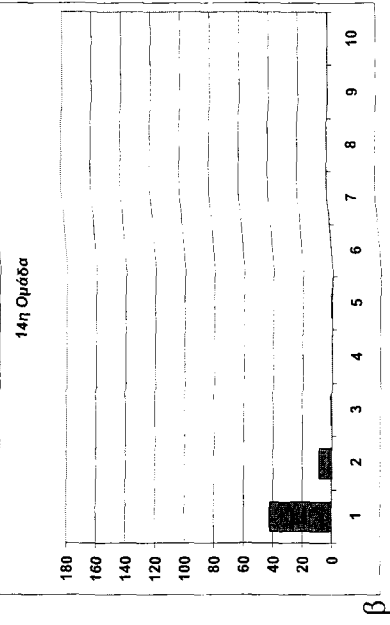
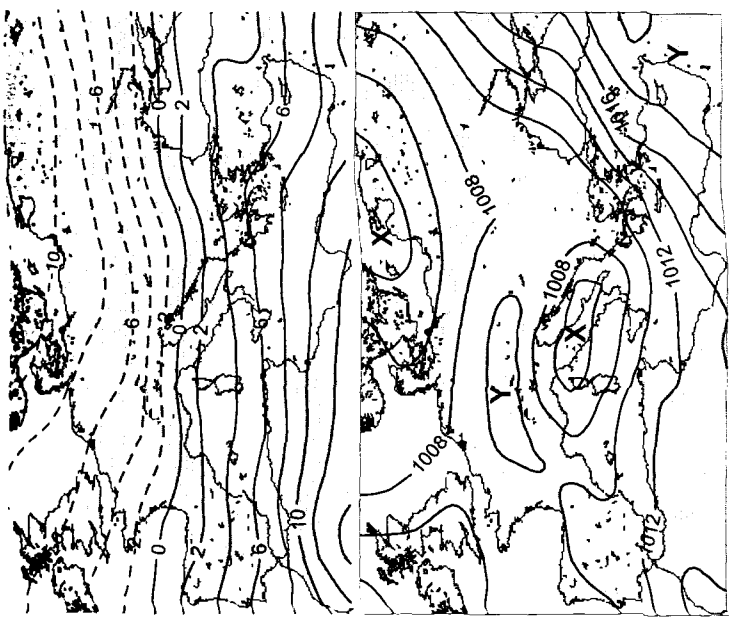
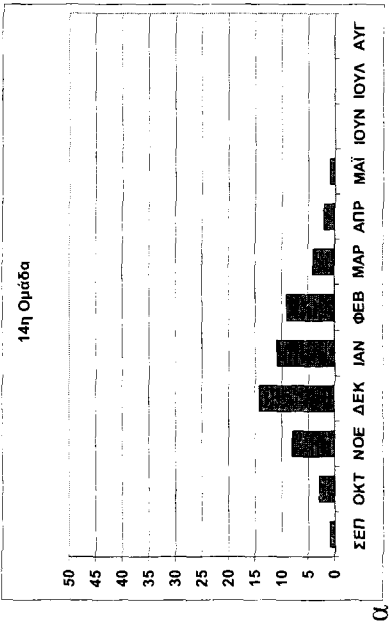
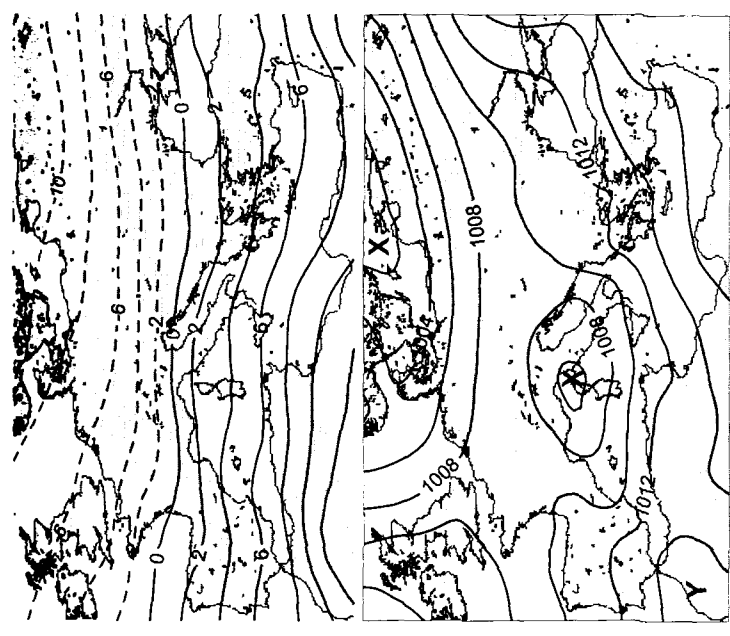
Επιτοκροατία 500hPa

Γράχος 1000-500hPa

Σχήμα 5.23 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

Επιτομή 850hp

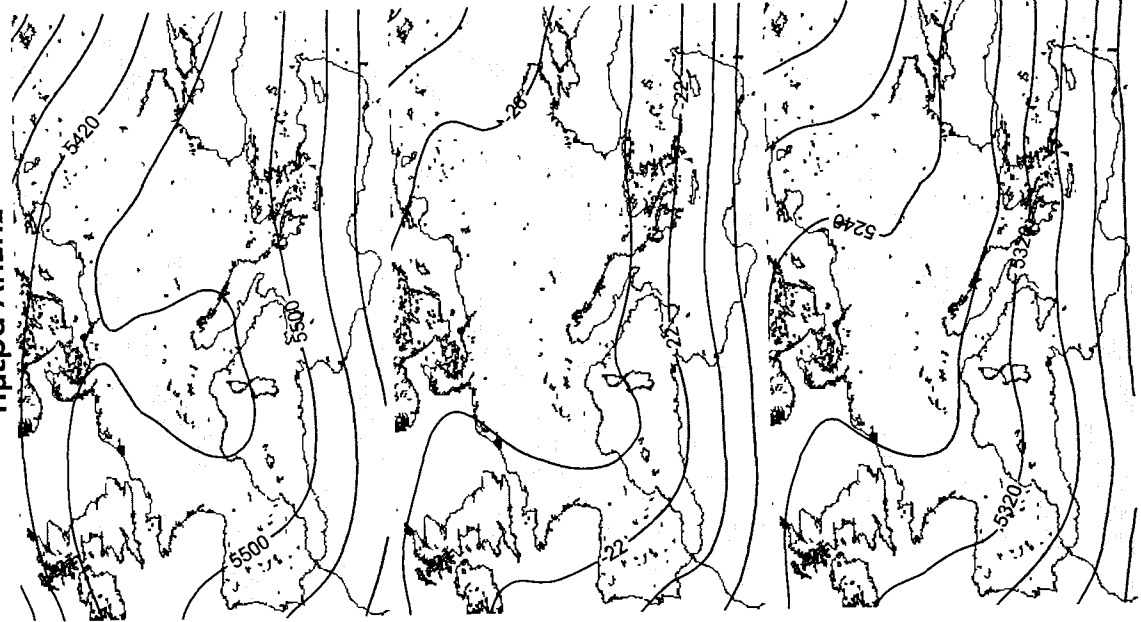
Μέση ημερήσια τιμή



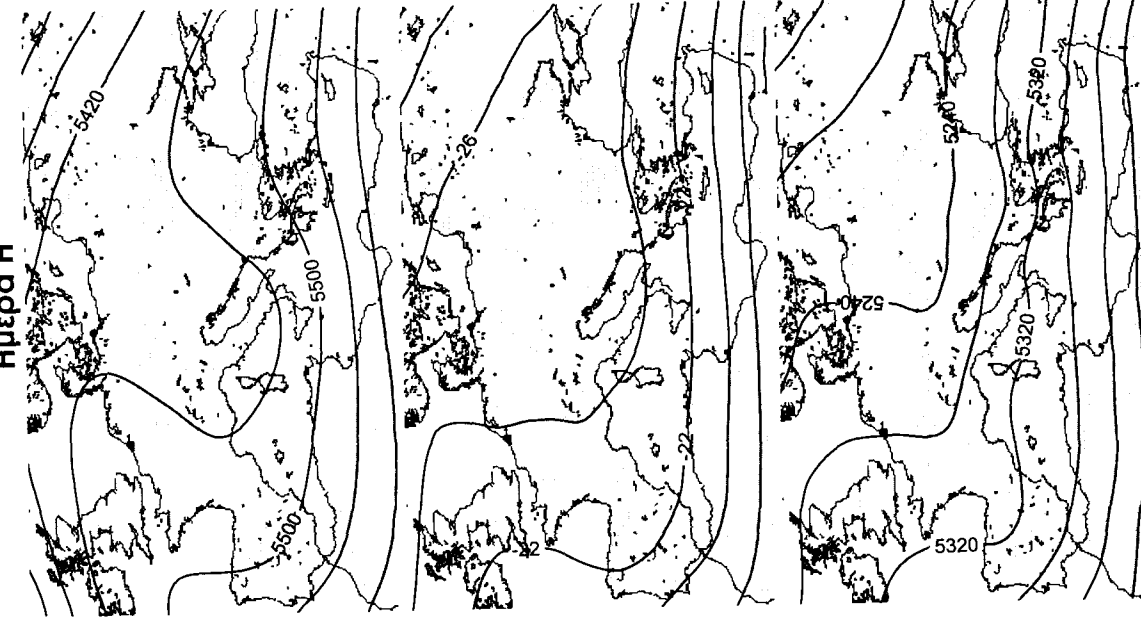
Σχήμα 5.23 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές περιόδους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΗΣ, που δείχνουν τον 14° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 14ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 14ης Ομάδας.

15^η Ομάδα

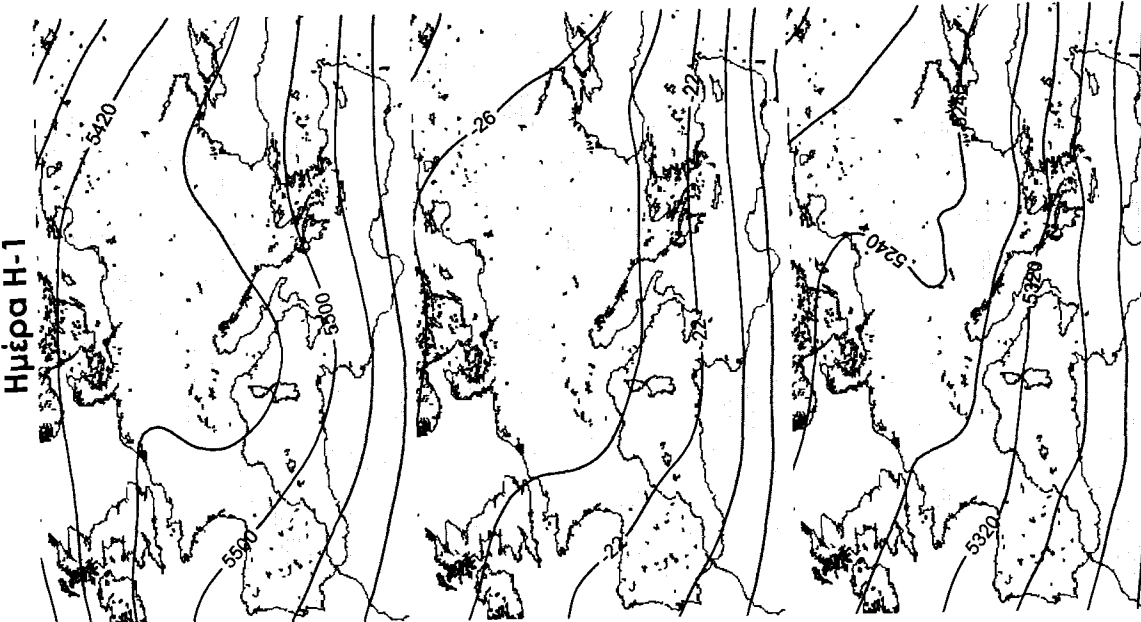
Ημέρα ΑΠΕΗΣ



Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

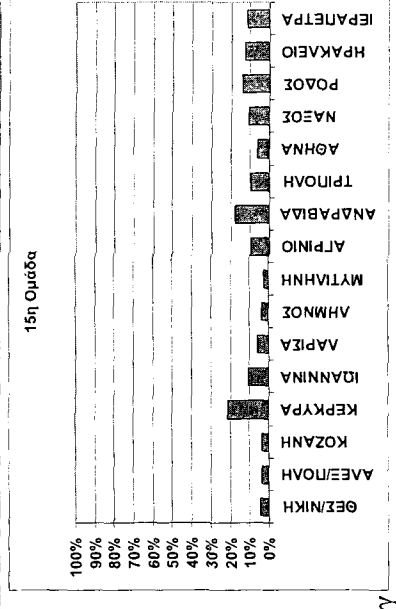
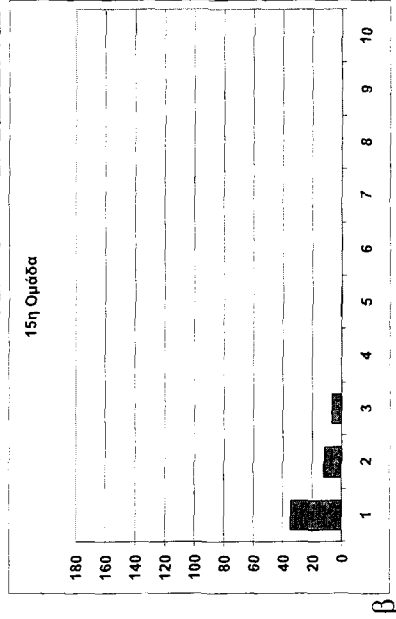
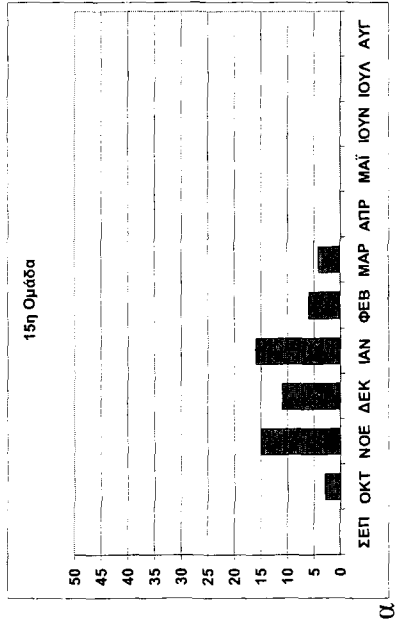
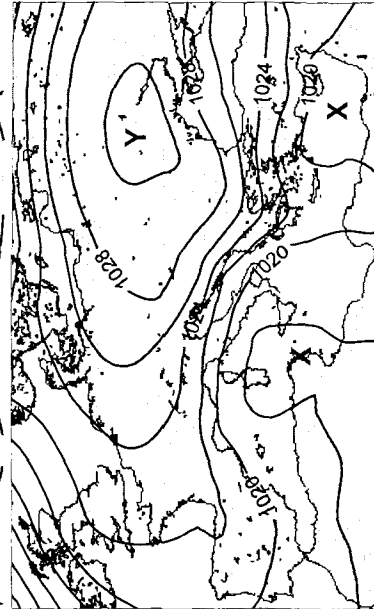
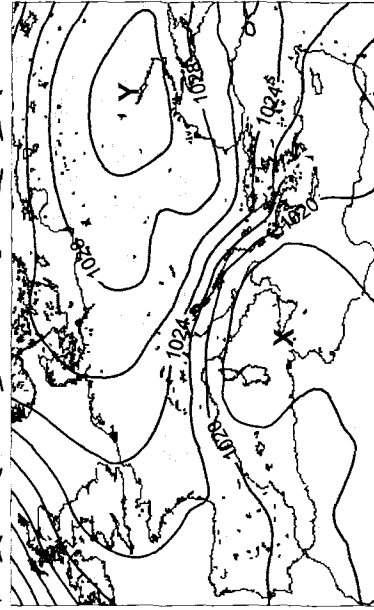
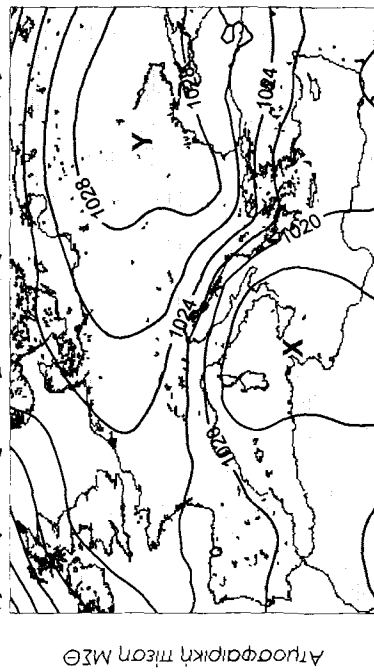


Ίσόβαρη 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 5.24 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



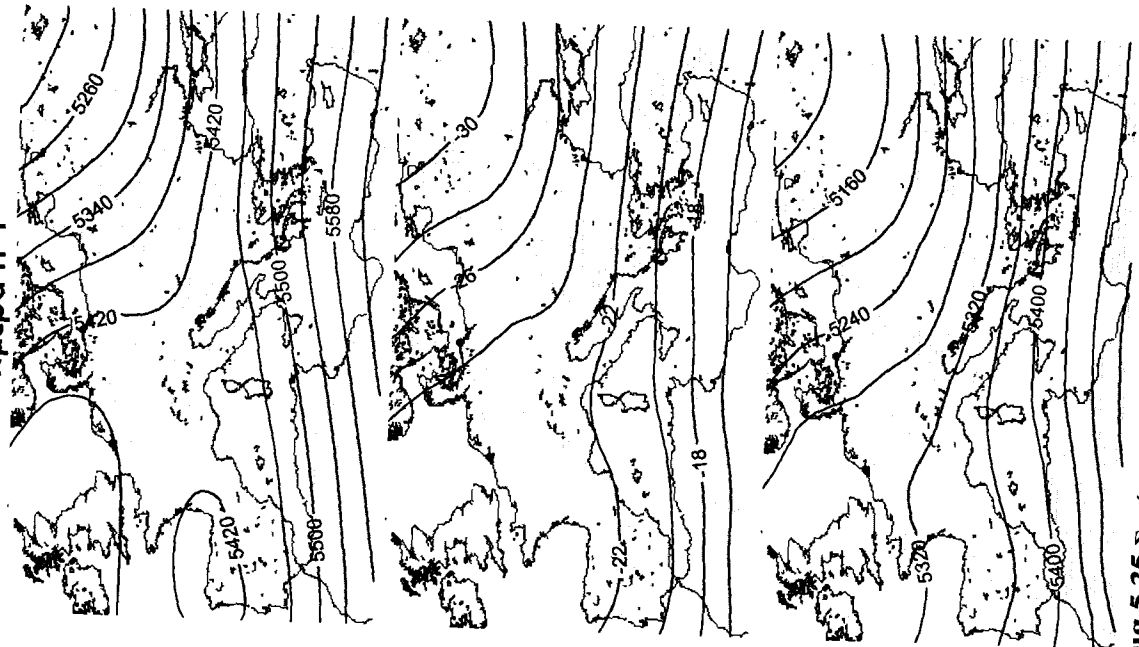
α

β

γ

Σχήμα 5.24 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές περιόδους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΑΛΗΕΣ, που δείχνουν τον 15^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 15^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 15^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1

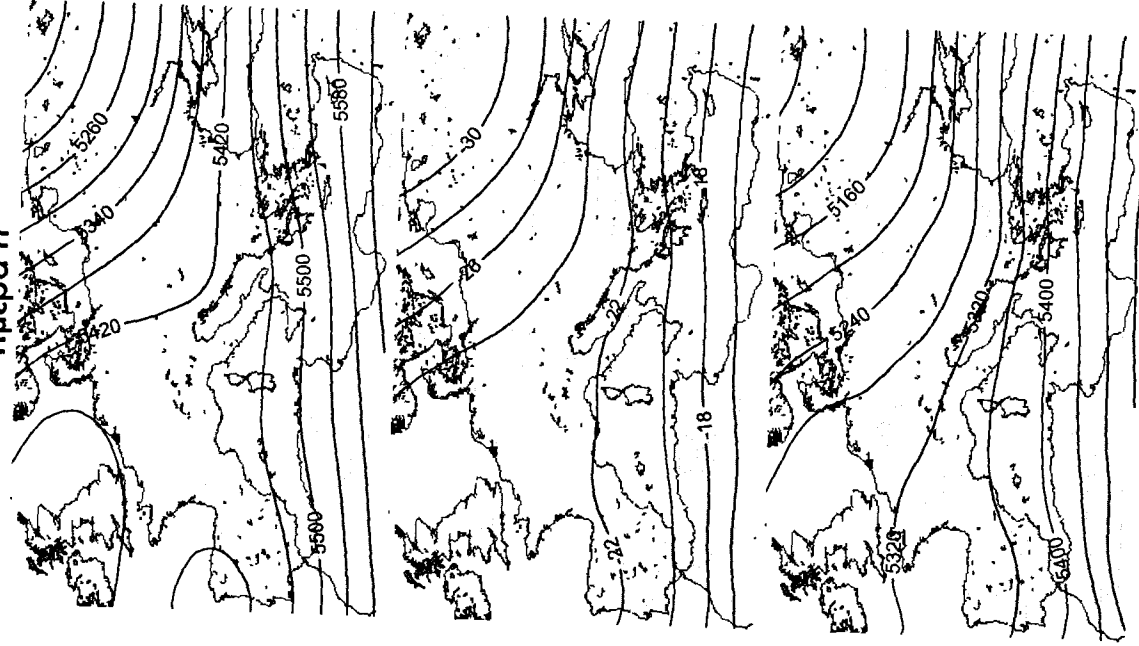


Στάθμη 500hp

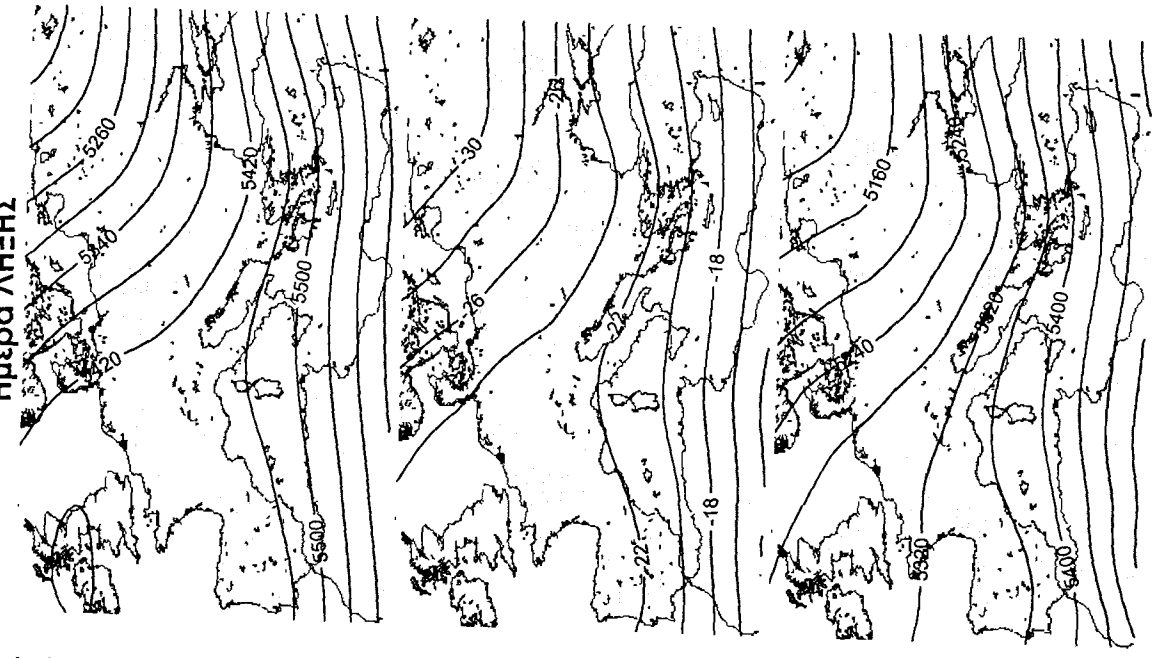
Θεοκρασία 500hp

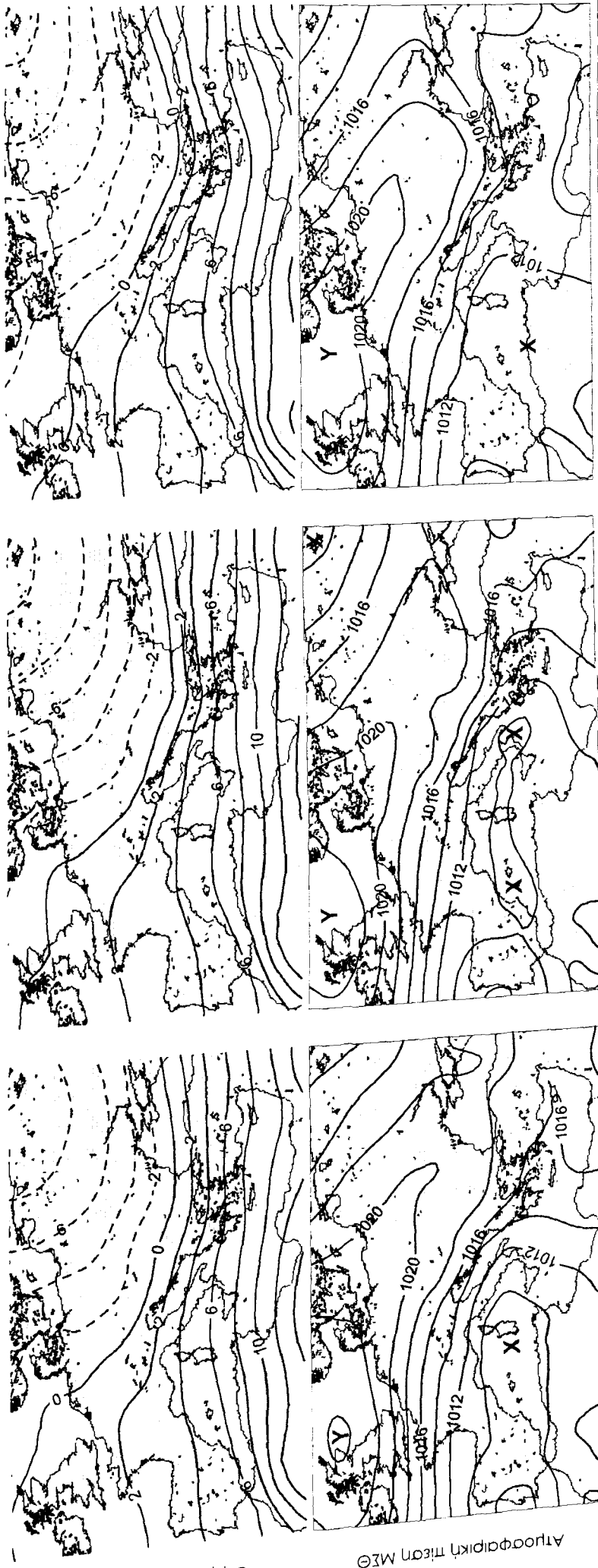
Πάχος 1000-500hp

**16η Ομάδα
Ημέρα Η**



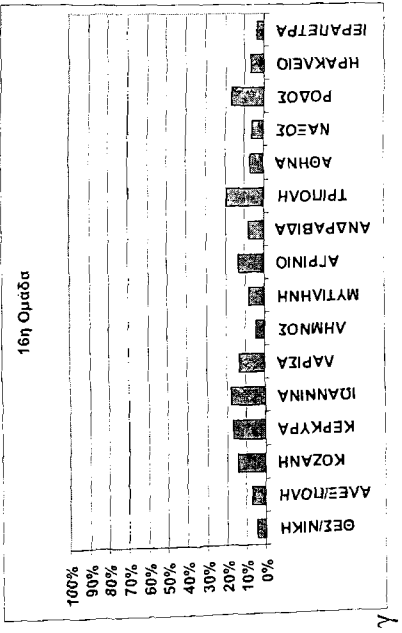
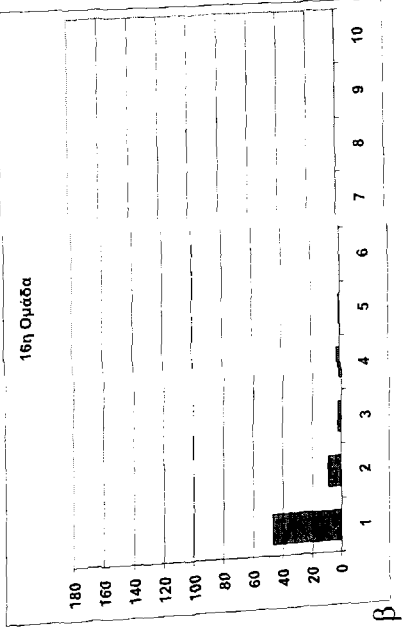
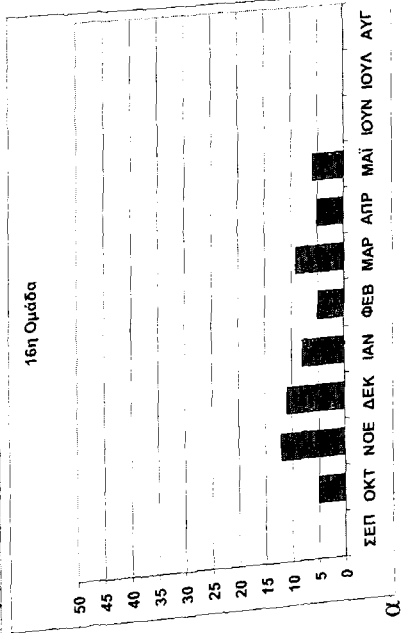
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



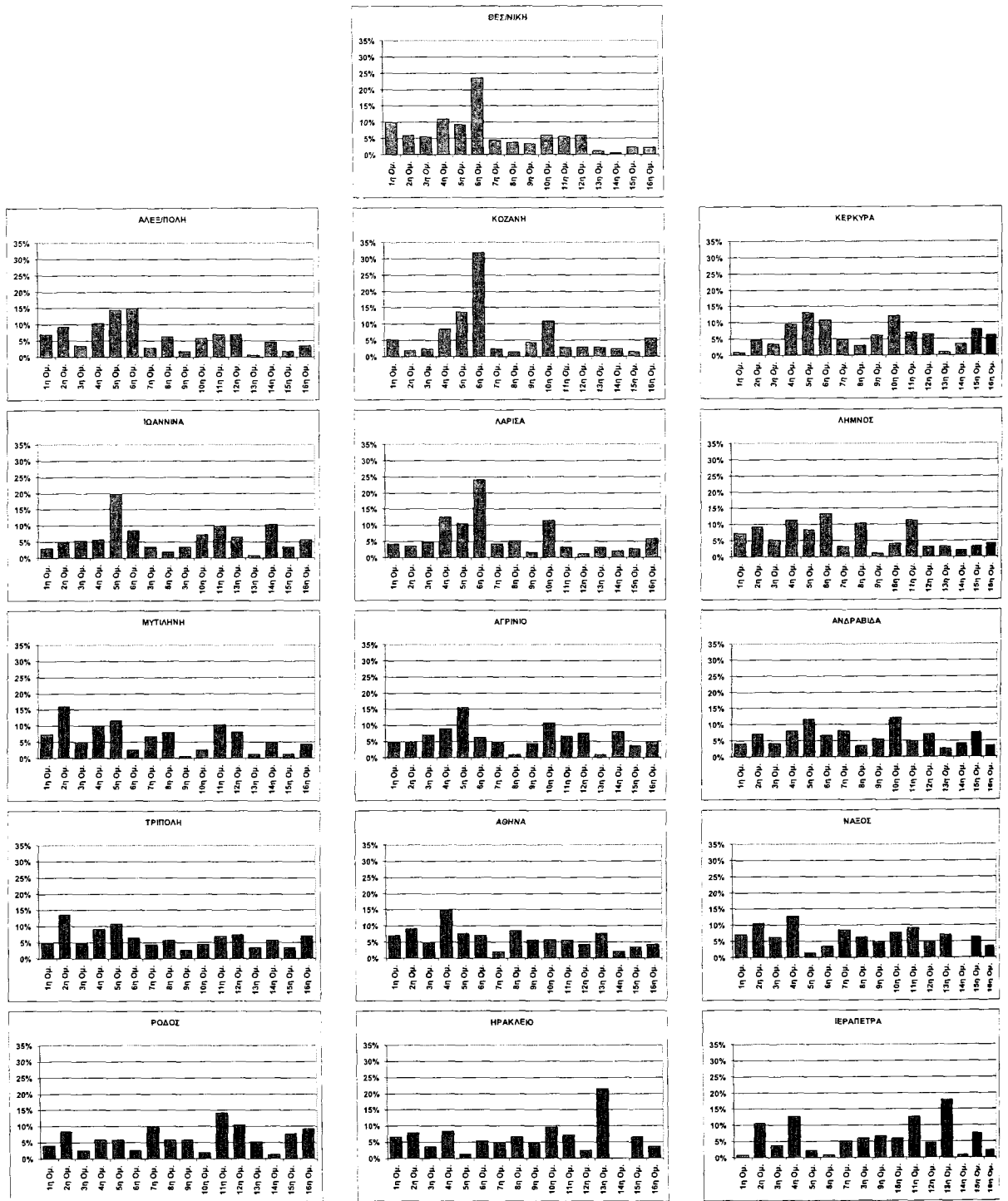


Θερμοκρασία 850hPa

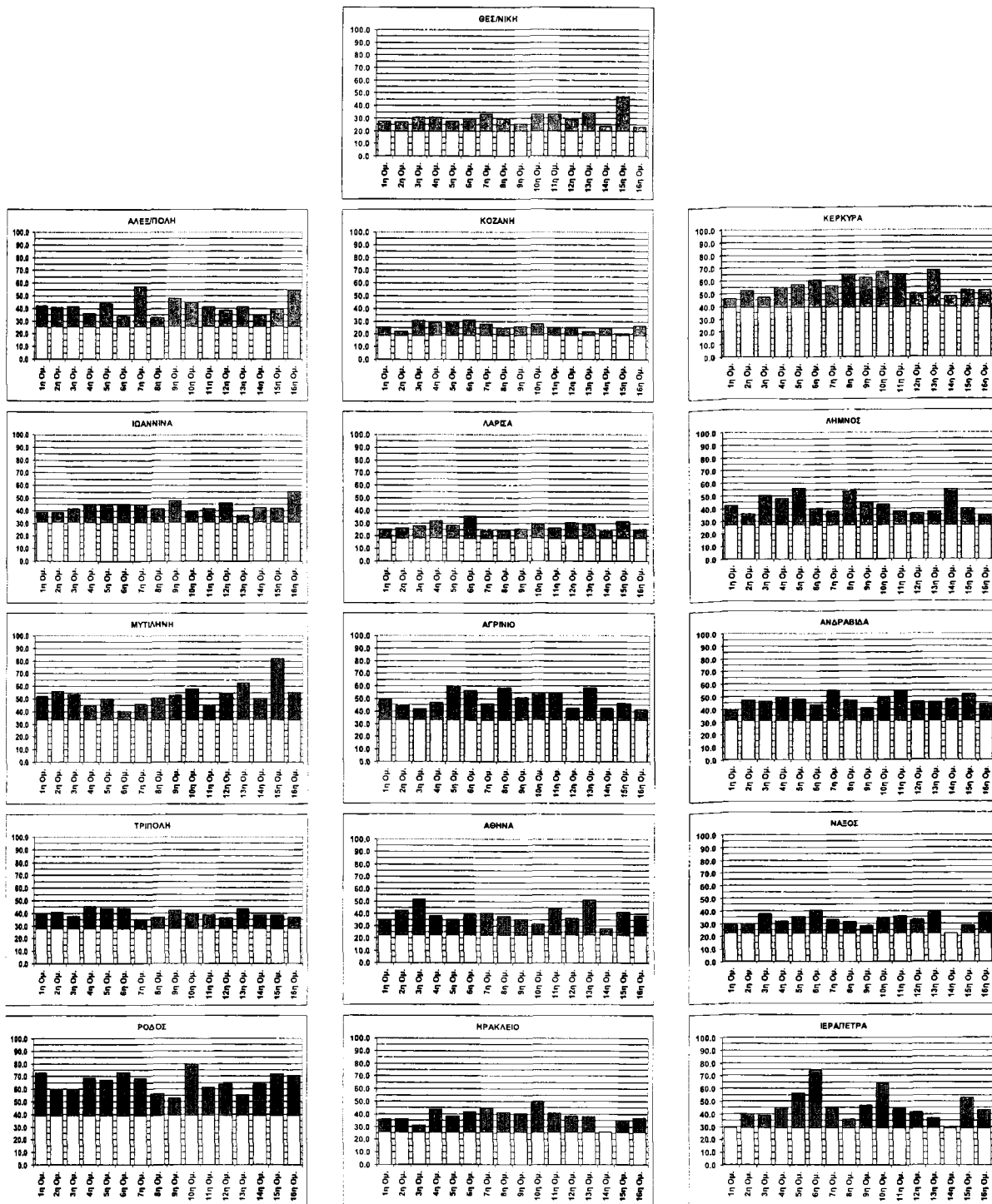
Ατμοσφαιρική πίεση MSL



Σχήμα 5.25 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΔΕΞΗΣ, που δείχνουν τον 16^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης της 16^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκαν ακραία ύψη βροχόπτωσης σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 16^{ης} Ομάδας.

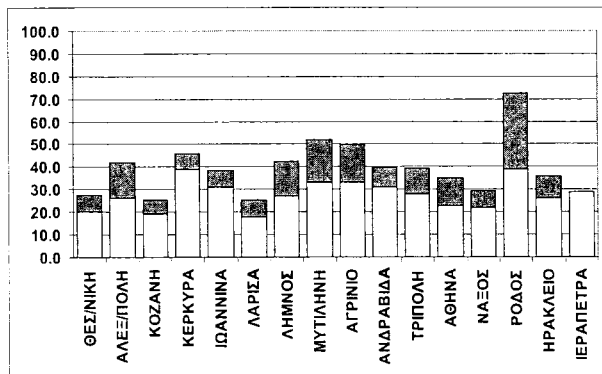


Σχήμα 5.26 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό η ποσοστιαία κατανομή στις ομάδες των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραίο ύψος βροχόπτωσης στο σταθμό.

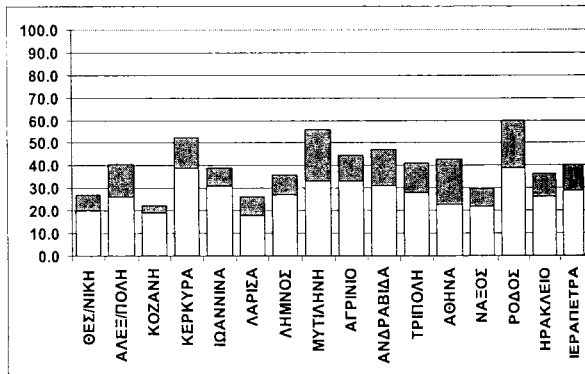


Εχίμα 5.27 Για κάθε σταθμό παρουσιάζεται με την έγχρωμη στήλη το μέσο ύψος βροχόπτωσης για τις μέρες ακραίας βροχόπτωσης που κατετάγησαν σε κάθε ομάδα και με τις λευκές το όριο του 95% της κατανομής των υψών βροχόπτωσης στο σταθμό. Στον κατακόρυφο άξονα είναι τα ύψη βροχόπτωσης σε mm.

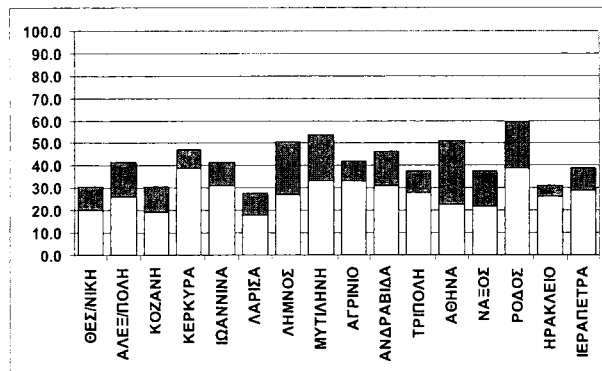
1^η Ομάδα



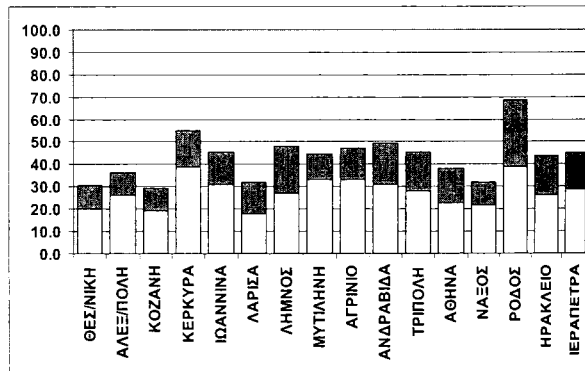
2^η Ομάδα



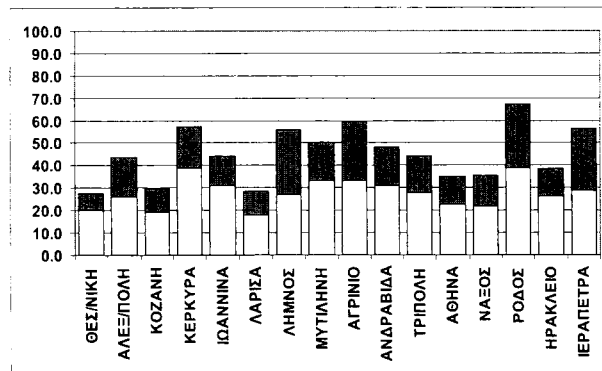
3^η Ομάδα



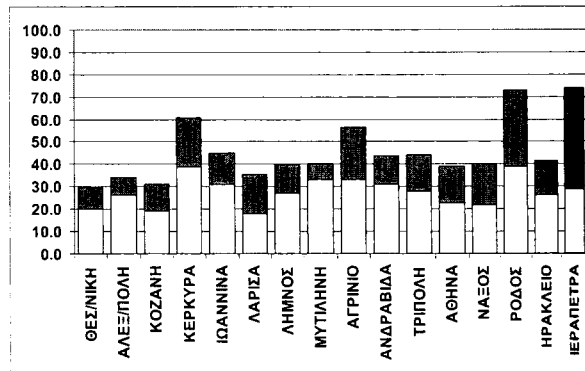
4^η Ομάδα



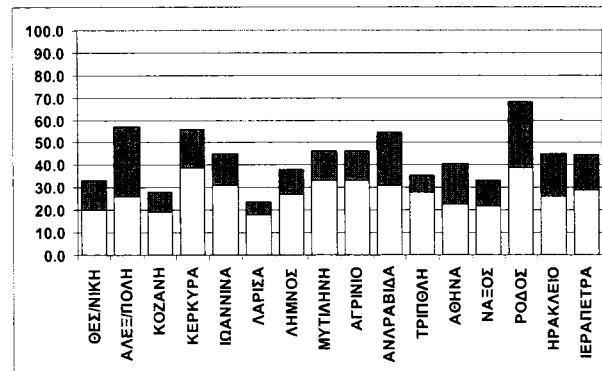
5^η Ομάδα



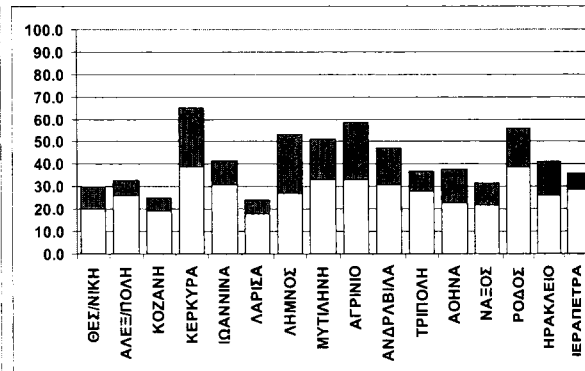
6^η Ομάδα



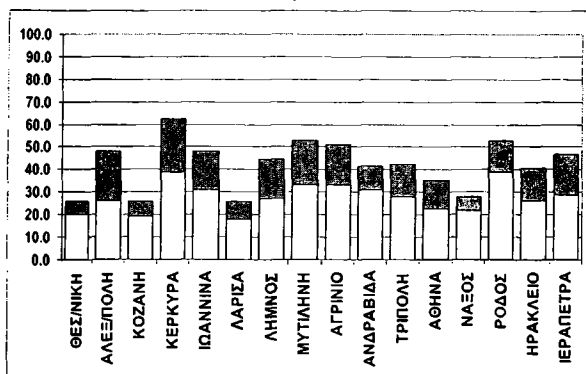
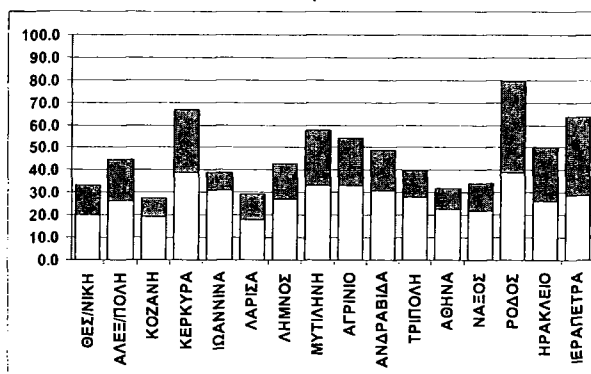
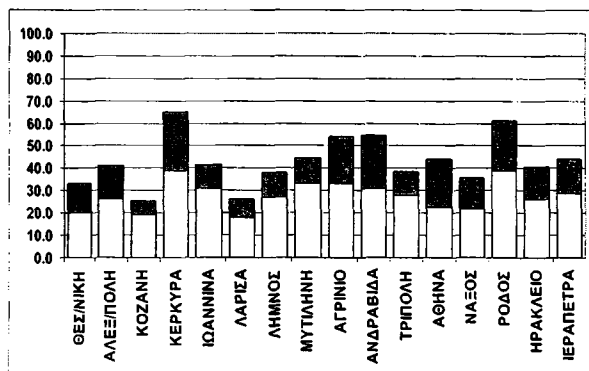
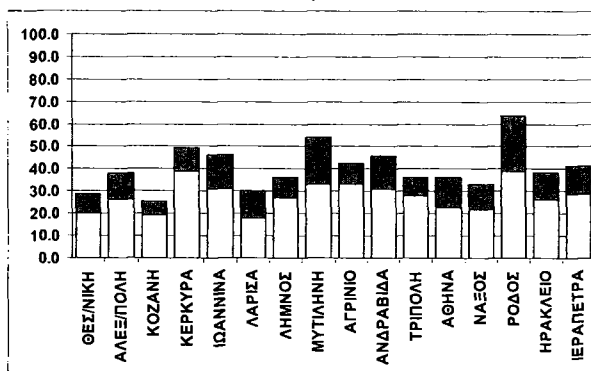
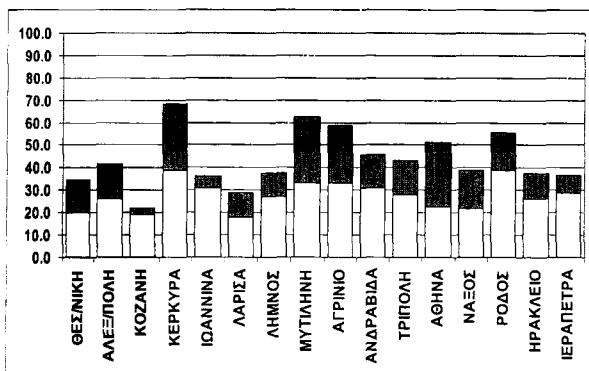
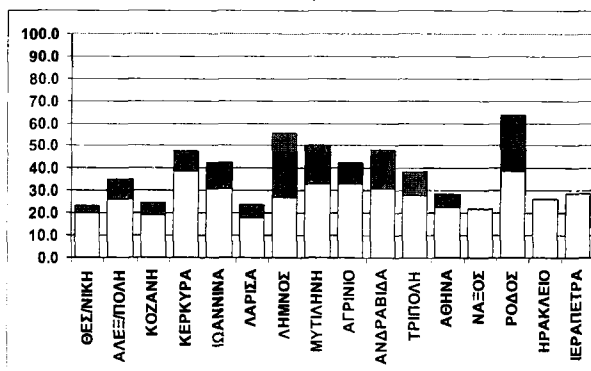
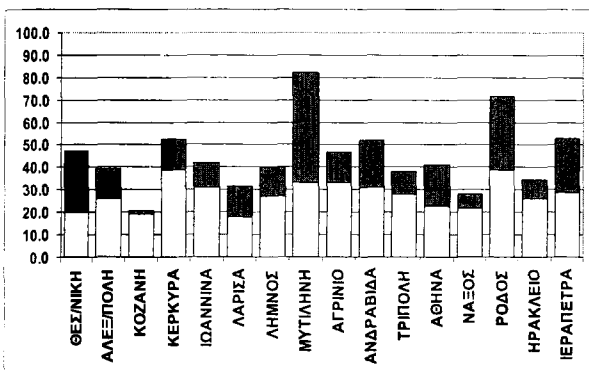
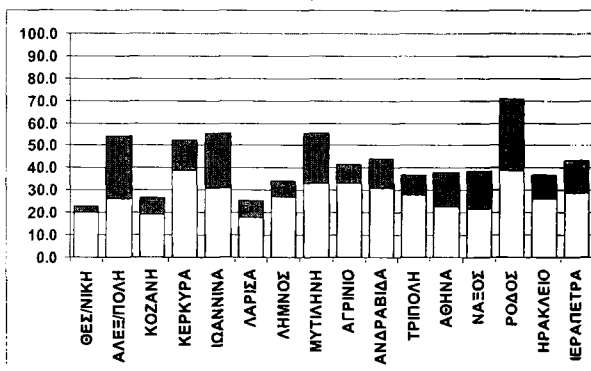
7^η Ομάδα



8^η Ομάδα



Σχήμα 5.28 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

9^η Ομάδα10^η Ομάδα11^η Ομάδα12^η Ομάδα13^η Ομάδα14^η Ομάδα15^η Ομάδα16^η Ομάδα

Σχήμα 5.28 Για κάθε ομάδα επεισοδίων και για κάθε σταθμό παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα η διαφορά του μέσου ύψους βροχόπτωσης, για τις ημέρες των επεισοδίων της ομάδας, από το όριο του 95% της κατανομής των υψών βροχόπτωσης για κάθε ΜΣ. Στον κατακόρυφο άξονα είναι τα ύψη βροχόπτωσης σε mm.

6. Επεισόδια Χιονόπτωσης (EX)

6.1. Εισαγωγή

Η κρυόσφαιρα είναι το μέρος της επιφάνειας του πλανήτη που αποτελείται από το σύνολο του παγωμένου εδάφους (permafrost), τους πάγους των πολικών περιοχών (ice cap), τις παγωμένες επιφάνειες ποταμών λιμνών και θαλασσών (river, lake and sea ice), τα στρώματα πάγου στην ξηρά και όσα επεκτείνονται και στη θάλασσα (ice sheets, ice shelves), τους παγετώνες των ορεινών όγκων και τις χιονοσκεπείς περιοχές της ξηράς (snow cover) (σχήμα 6.1). Στη διαμόρφωση του παγκόσμιου κλίματος η κρυόσφαιρα έχει το δεύτερο μεγαλύτερο ρόλο, μετά από τους ωκεανούς, λαμβάνοντας υπόψη τα μεγάλα ποσά λανθάνουσας θερμότητας που βρίσκονται αποθηκευμένα στους πάγους, την ανακλαστικότητα (albedo) της ηλιακής ακτινοβολίας από τους πάγους, τη μεγάλη θερμική αδράνεια και τον σπουδαίο ρόλο της στη διαμόρφωση των θαλάσσιων ρευμάτων στα βάθη των ωκεανών (Lemke et al., 2007). Η κρυόσφαιρα μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση του κλίματος και να προκαλέσει μεταβολές σε αυτό, αλλά και εξαιτίας αναδραστικών διαδικασιών μπορεί και αυτή να επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από μεταβολές στο κλίμα και κυρίως από μεταβολές της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

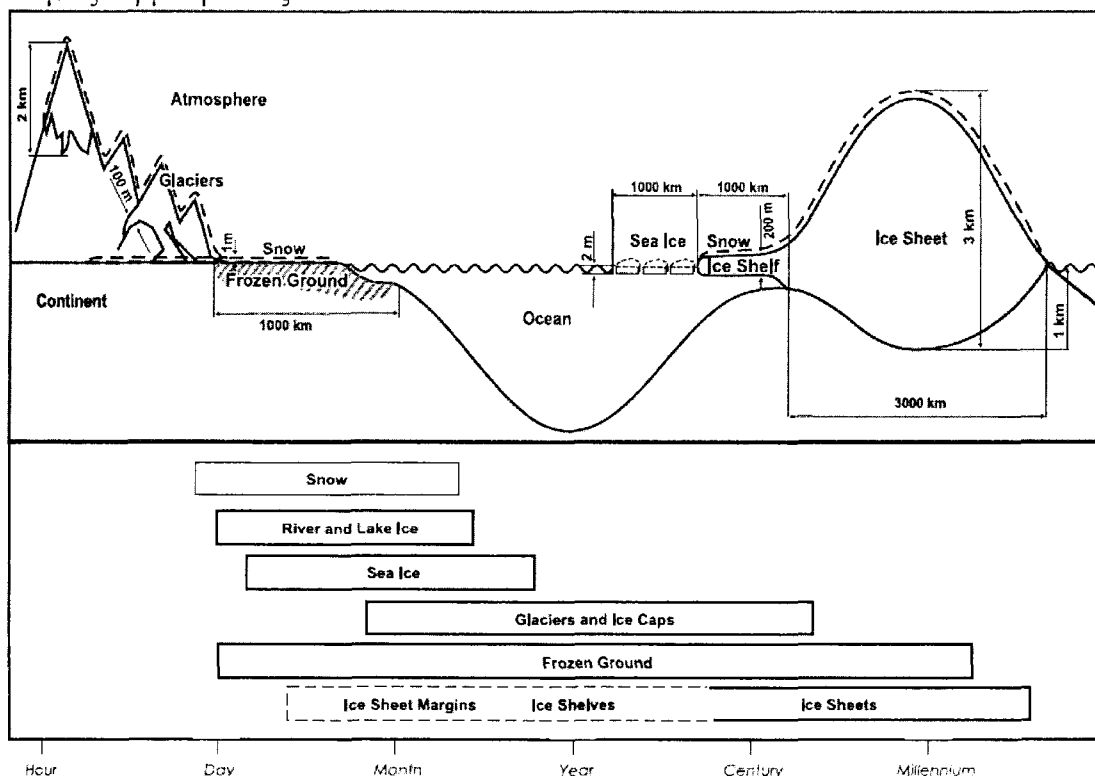
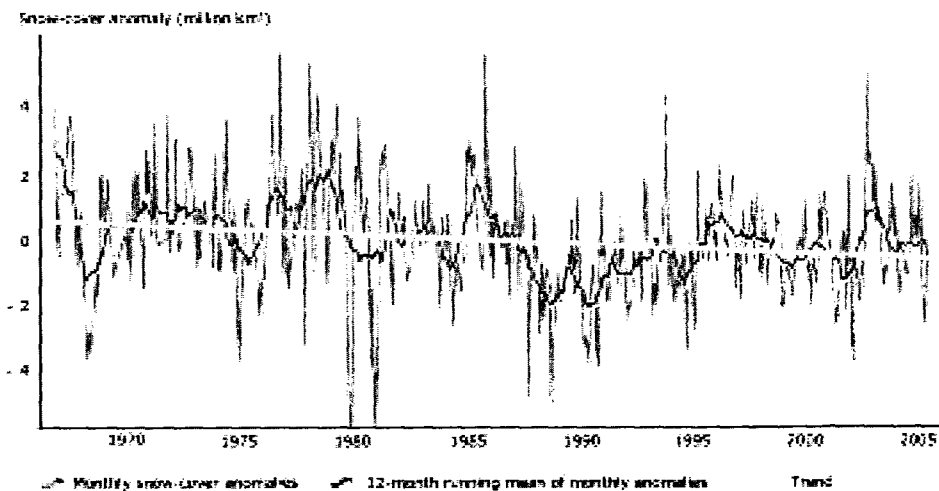


Figure 4.1. Components of the cryosphere and their time scales.

Σχήμα 6.1 Τα συστατικά της κρυόσφαιρας και η χρονική κλίμακα της διάρκειάς τους.

Το κομμάτι της κρυόσφαιρας που παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα σε μικρά χρονικά διαστήματα (σχήμα 6.1) και είναι σε θέση να επηρεαστεί άμεσα ακόμη και από μικρές μεταβολές στην παγκόσμια θερμοκρασία είναι οι χιονοσκεπείς περιοχές της ξηράς. Προς το παρόν στο βόρειο ημισφαίριο οι χιονοσκεπείς περιοχές στο μέσο της χειμερινής περιόδου αποτελούν κατά μέσο όρο το 49% της ξηράς. Ο καναδός Brown (2000) σε μία αναλυτική μελέτη, που αφορά τη μεταβλητότητα της χιονοκάλυψης στο βόρειο ημισφαίριο από 40° – 60° γεωγραφικό πλάτος για την περίοδο 1915-97, απεκάλυψε μία γενική αύξηση της

χιονοκάλυψης στη Βόρειο Αμερική κατά τους χειμερινούς μήνες του περασμένου αιώνα. Ωστόσο κατά τους ανοιξιάτικους μήνες σημειώθηκε μία απότομη μείωση κατά τις δεκαετίες του 1980 και 1990. Στην Ευρώπη και την Ασία για τον μήνα Απρίλιο, σύμφωνα με την ίδια μελέτη, παρατηρήθηκε μείωση της χιονοκάλυψης την περίοδο 1922 – 97, για την οποία υπάρχουν δεδομένα. Γενικά η μείωση της χιονοκάλυψης στη λωρίδα από 40° ως 60° του βόρειου ημισφαιρίου έφτασε σε μία μέση τιμή $3.1 \times 10^6 \text{Km}^2 (100 \text{yr}^{-1})$.



Σχήμα 6.2 η Χιονοκάλυψη στο βόρειο ημισφαίριο (Brodzik et al., 2006)

Και άλλοι πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τη μεταβλητότητα, τα χαρακτηριστικά της χιονοκάλυψης και τις αιτίες των παρατηρούμενων μεταβολών στο βόρειο ημισφαίριο αλλά και σε μικρότερες γεωγραφικές περιοχές για μεγάλες ή μικρότερες χρονικές περιόδους (Groisman et al., 1994; Hughes and Robinson, 1996; Brown and Braaten, 1998; Kripalani and Kulkarni, 1999). Οι Gutzler και Rosen (1992) διαπίστωσαν ότι υπάρχουν υψηλές συσχετίσεις της χιονοκάλυψης σε διάφορους τομείς του βόρειου ημισφαιρίου με γνωστές ευρείας κλίμακας κυμάνσεις της μέσης τροπόσφαιρας. Συγκεκριμένα, οι χρονοσειρές των αποχών της χιονοκάλυψης για τους χειμερινούς μήνες στο δυτικό τομέα της Βορείου Αμερικής συσχετίστηκαν σε μεγάλο βαθμό με την κύμανση του Ειρηνικού ωκεανού – Βορείου Αμερικής. (PNA). Η αντίστοιχη χρονοσειρές στον τομέα της Ευρώπης εμφάνισαν υψηλές τιμές συσχέτισης με ένα μοτίβο κύμανσης στη στάθμη των 700hPa στον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό, το οποίο προσομοιάζει με την κύμανση του βόρειου Ατλαντικού (NAO) και ευνοεί την επικράτηση ψυχρών αερίων μαζών πολικής προέλευσης πάνω από την Ευρώπη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης απέδειξαν την επίδραση που έχει η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στην χιονοκάλυψη και φυσικά στις χιονοπτώσεις.

Πολλοί άλλοι ερευνητές εστίασαν τις μελέτες τους στις σχέσεις της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας με την εμφάνιση χιονοπτώσεων, το ύψος χιονιού και την χιονοκάλυψη σε συγκεκριμένες περιοχές της Ευρώπης και της Μεσογείου (Fazzini et al., 2005; Bednorz, 2008; Esteban et al., 2005; Bednorz, 2008; Cazacioc and Cazacioc, 2005). Οι Lopez-Moreno και Vicente-Serrano (2007) μελετώντας το ύψος χιονιού στα Ισπανικά Πυρηναιά όρη σε σχέση με το δείκτη NAO της κύμανσης του βόρειου Ατλαντικού διαπίστωσαν, ότι η μείωση που παρατηρήθηκε το τελευταίο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα στο ύψος χιονιού, συσχετίζεται υψηλά με τις θετικές τάσεις του δείκτη NAO την ίδια χρονική περίοδο και εξήγησαν, ότι οι υψηλές τιμές του δείκτη NAO συνδέονται με την μείωση της συχνότητας εμφάνισης τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην περιοχή των Πυρηναιών, οι οποίοι ευνοούν την χιονόπτωση και τη συσσώρευση χιονιού. Και η Porona (2007) ανακάλυψε αρνητική συσχέτιση ανάμεσα στο δείκτη NAO και τις αποχές του ύψους χιονιού από τη μέση τιμή για τις περιοχές της Βαλτικής της ανατολικής και νότιας Ευρώπης, εξηγώντας ότι οι θετικές τιμές

του δείκτη προκαλούν ήπιους χειμώνες στις δύο πρώτες περιοχές ενώ η μετακίνηση των τροχιών των υφέσεων βορειότερα και ανατολικότερα προκαλεί τη μείωση της κακοκαιρίας και του υετού στην τελευταία.

Για την ευρύτερη περιοχή της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου, όπου βρίσκεται και η Ελλάδα πολλοί επιστήμονες κατεύθυναν τις έρευνές τους στη μελέτη συγκεκριμένων συμβάντων όπως για παράδειγμα την ψυχρή εισβολή του Μαρτίου του 1987, η οποία προκάλεσε σημαντικές χιονοπτώσεις στον ελληνικό χώρο (Lagouvardos et al., 1998; Tayanc et al., 1998), αλλά και άλλων (Petrou Ch., 2003; Monai et al., 2006). Αντίθετα οι Prezerakos και Angouridakis (1984) μελέτησαν στο σύνολό τους τις χιονοπτώσεις στην Αθήνα σε σχέση με την εξέλιξη των συνοπτικών συνθηκών στην επιφάνεια και στη μέση τροπόσφαιρα. Αυτή η εργασία είναι η δεύτερη σε μία σειρά τριών εργασιών εκ των οποίων η πρώτη (Prezerakos and Angouridakis, 1979) αφορούσε τα βασικά χαρακτηριστικά των χιονοπτώσεων στην Αθήνα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτών των μελετών για την Αθήνα από το 1956 μέχρι το 1973 δεν παρατηρήθηκαν περιπτώσεις χιονόπτωσης διάρκειας μεγαλύτερης των 3 ημερών ενώ η χιονόπτωση στο λεκανοπέδιο της Αττικής ευνοείται από την ύπαρξη ενός αντικυκλώνα στην δυτική ή την κεντρική Ευρώπη, ο οποίος συνοδεύεται στη μέση τροπόσφαιρα από μία έξαρση στη βόρειο δυτική Ευρώπη ή στην Σκανδιναβία, οι οποίες συνθήκες προκαλούν τη ροή ψυχρών πολικών αερίων μαζών πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο, που εμπλουτίζονται με υδρατμούς από το Αιγαίο πέλαγος και προκαλούν χιονοπτώσεις στην Αθήνα. Όμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν και στην εργασία των Houssos et al. (2005) η οποία αφορούσε την με αντικειμενικό τρόπο εξαγωγή των τύπων της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν χιονοπτώσεις στην Αθήνα.

Οι προαναφερθείσες εργασίες αφορούσαν περιπτώσεις χιονόπτωσης, είτε σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είτε σε συγκεκριμένη περιοχή της Ελλάδος. Αναλυτική μελέτη των χιονοπτώσεων για μακρά χρονική περίοδο και ευρεία περιοχή, που καλύπτει ολόκληρη την Ελλάδα, αποτέλεσε η διδακτορική διατριβή της Λιώκη – Λειβαδά – Τσελεπιδάκι (1979). Μερικά από τα συμπεράσματα αυτής της διατριβής, αναφορικά με τα γενικά χαρακτηριστικά των χιονοπτώσεων, είναι ότι η ετήσια πορεία του αριθμού ημερών χιονόπτωσης είναι απλή με μέγιστο κατά τον Ιανουάριο ή Φεβρουάριο, οι πρώτες χιονοπτώσεις εμφανίζονται περί το τέλος του Σεπτεμβρίου στα ορεινά της Πίνδου και οι τελευταίες περί το τέλος Μαΐου στα ορεινά της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας. Στη δυτική Ελλάδα ο αριθμός ημερών χιονόπτωσης είναι μικρότερος από ότι στην ανατολική Ελλάδα, ενώ στα Δωδεκάνησα, στις Κυκλάδες και στα νησιά του Ιονίου πελάγους η χιονόπτωση είναι σπάνια. Ακόμη προκύπτει ότι η δομή του πάχους των στρωμάτων 1000 – 500hPa, 1000 – 850hPa καθώς και της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850hPa είναι καθοριστικές για την πρόγνωση της χιονόπτωσης. Από τη μελέτη των συνοπτικών καταστάσεων, που επικρατούν κατά τις ημέρες χιονόπτωσης στην Ελλάδα καταγράφονται στα συμπεράσματα της διατριβής δύο βασικοί τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν τη χιονόπτωση στην Ελλάδα. Ο πρώτος τύπος αποτελείται από ένα συνδυασμό του κινητού αντικυκλώνα της δυτικής Ευρώπης και υφέσεων στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο. Ο δεύτερος βασικός τύπος αποτελείται από έναν αντικυκλώνα στην Βαλκανική ή στη Ρωσία σε συνδυασμό με μία ύφεση στη Μεσόγειο. Τα αποτελέσματα αυτής της διατριβής και των προαναφερομένων εργασιών, όπως αποδεικνύεται παρακάτω, έρχονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής.

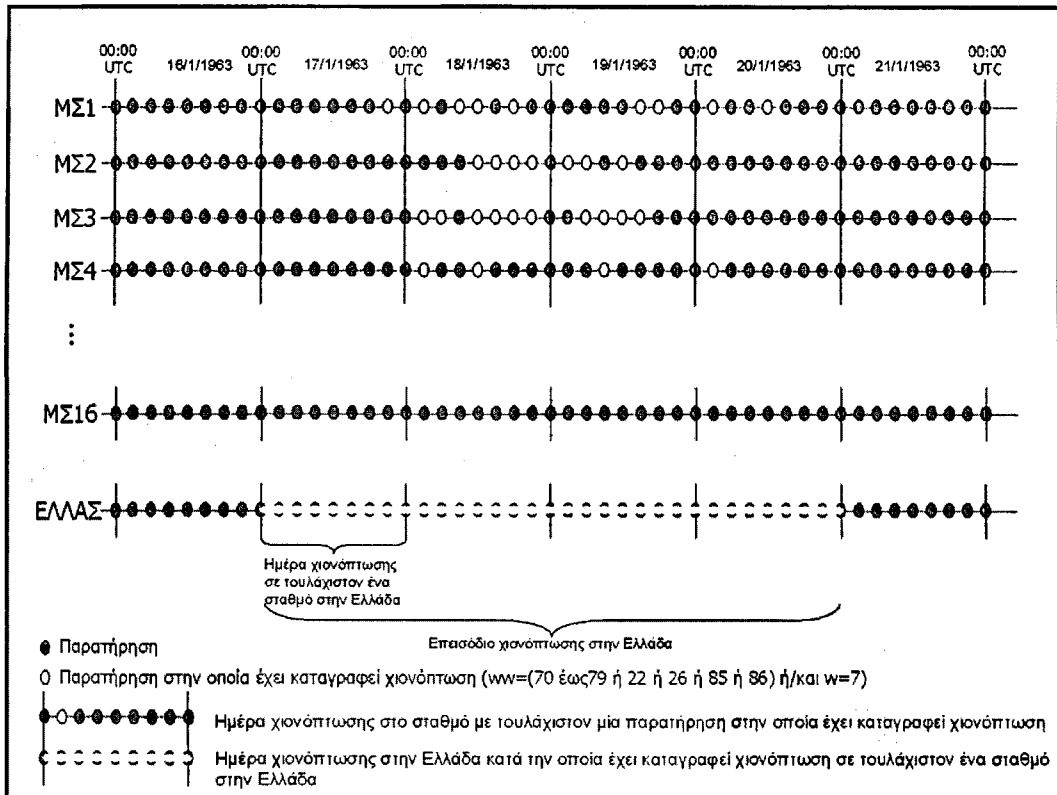
6.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Επεισοδίων Χιονόπτωσης

Για κάθε έναν μετεωρολογικό σταθμό χαρακτηρίζονται ως ημέρες χιονόπτωσης εκείνες οι ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα από τα τρία τηλεγραφήματα έχει καταγραφεί στον παρόντα καιρό κωδικός 22 ή 26 ή 85 ή 86 ή 70 έως 79, ή στον παρελθόντα καιρό έχει καταγραφεί κωδικός 7. Ημέρες χιονόπτωσης στην Ελλάδα χαρακτηρίζονται εκείνες, οι οποίες είναι ημέρες χιονόπτωσης σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό. Από τα διαθέσιμα δεδομένα για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002 βρέθηκαν 1338 ημέρες χιονόπτωσης στην Ελλάδα. Κάθε σειρά συνεχόμενων ημερών χιονόπτωσης στην Ελλάδα ορίζεται ότι αποτελεί ένα επεισόδιο χιονόπτωσης στην Ελλάδα. Από τα δεδομένα αποκαλύπτονται 529 τέτοια επεισόδια.

Πίνακας 6.1 Οι χρονικές περιόδους για τις οποίες υπάρχουν τρία τηλεγραφήματα για κάθε έναν μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα, καθώς και το ποσοστό των διαθέσιμων τηλεγραφημάτων για τη χρονική περίοδο 1957-2002, το πλήθος των ημερών χιονόπτωσης για κάθε έναν μετεωρολογικό σταθμό και το πλήθος επεισοδίων χιονόπτωσης στα οποία σημειώθηκε χιονόπτωση σε κάθε έναν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς.

Κωδικός ΜΣ	ΜΣ	Περίοδος Δεδομένων	Ποσοστό Διαθέσιμων Τηλεγραφημάτων	Πλήθος Ημερών χιονόπτωσης	Πλήθος Επεισοδίων χιονόπτωσης
622	Θεσσαλονίκη	1959-2002	95%	276	132
627	Αλεξανδρούπολη	1957-2002	97%	349	177
632	Κοζάνη	1957-2002	84%	835	401
641	Κέρκυρα	1957-2002	100%	34	24
642	Ιωάννινα	1957-2002	83%	269	141
648	Λάρισα	1957-2002	100%	238	118
650	Λήμνος	1974-2002	62%	130	64
667	Μυτιλήνη	1957-2002	94%	37	26
672	Αγρίνιο	1957-2002	62%	32	25
682	Ανδραβίδα	1959-2002	94%	29	18
710	Τρίπολη	1957-2002	87%	391	205
716	Αθήνα	1957-2002	100%	103	59
732	Νάξος	1957-2002	95%	50	36
749	Ρόδος	1957-2002	100%	8	6
754	Ηράκλειο	1957-2002	100%	35	26
756	Ιεράπετρα	1957-2002	62%	14	11

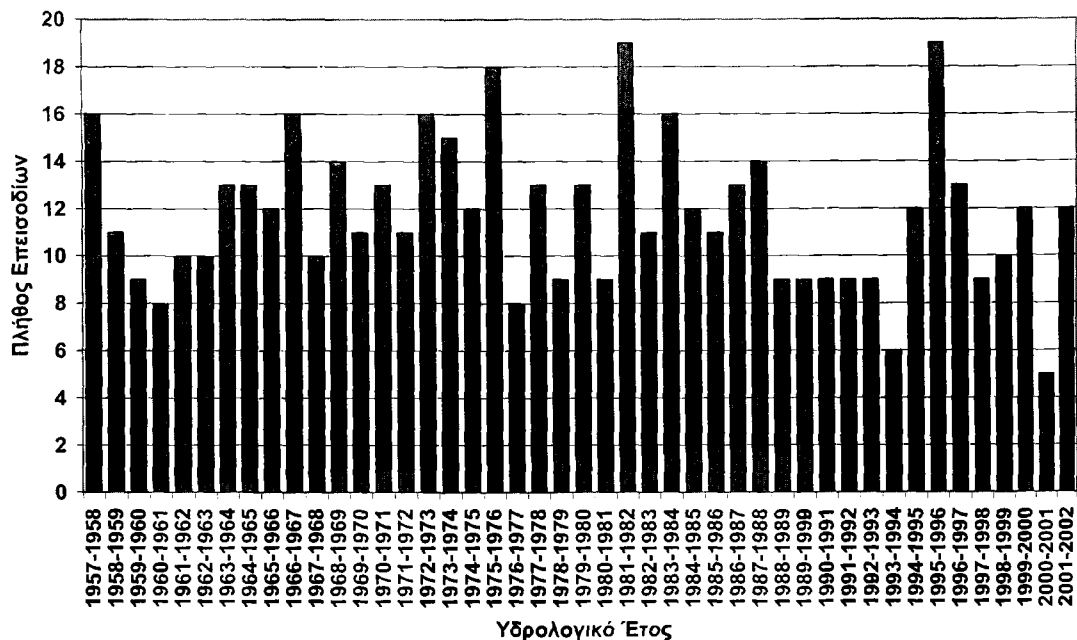
Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι χρονικές περιόδους για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα τηλεγραφήματα για κάθε μετεωρολογικό σταθμό, καθώς επίσης και το ποσοστό των διαθέσιμων τριών τηλεγραφημάτων σε σχέση με το συνολικό αριθμό που έπρεπε να υπάρχει. Σε κάποιους μετεωρολογικούς σταθμούς (Λήμνος, Αγρίνιο, Ιεράπετρα) υπάρχει έλλειψη μεγάλου πλήθους τηλεγραφημάτων. Ωστόσο αυτοί είναι σταθμοί στους οποίους σπάνια έχουμε χιονόπτωση. Ακόμη ποτέ δεν έχουμε χιονόπτωση μόνο σε έναν από αυτούς τους σταθμούς, χωρίς ταυτόχρονα να σημειώνεται χιονόπτωση και σε κάποιον κοντινό του μετεωρολογικό σταθμό. Στον ίδιο πίνακα το πλήθος ημερών χιονόπτωσης για κάθε ένα σταθμό φανερώνει ότι στη βόρειο Ελλάδα (Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Θεσσαλονίκη) οι χιονοπτώσεις είναι περισσότερο συχνές από ό,τι στην δυτική και κεντρική Ελλάδα (Ιωάννινα, Λάρισα). Στις παράκτιες και στις νησιωτικές περιοχές οι χιονοπτώσεις αποτελούν σπάνιο γεγονός.



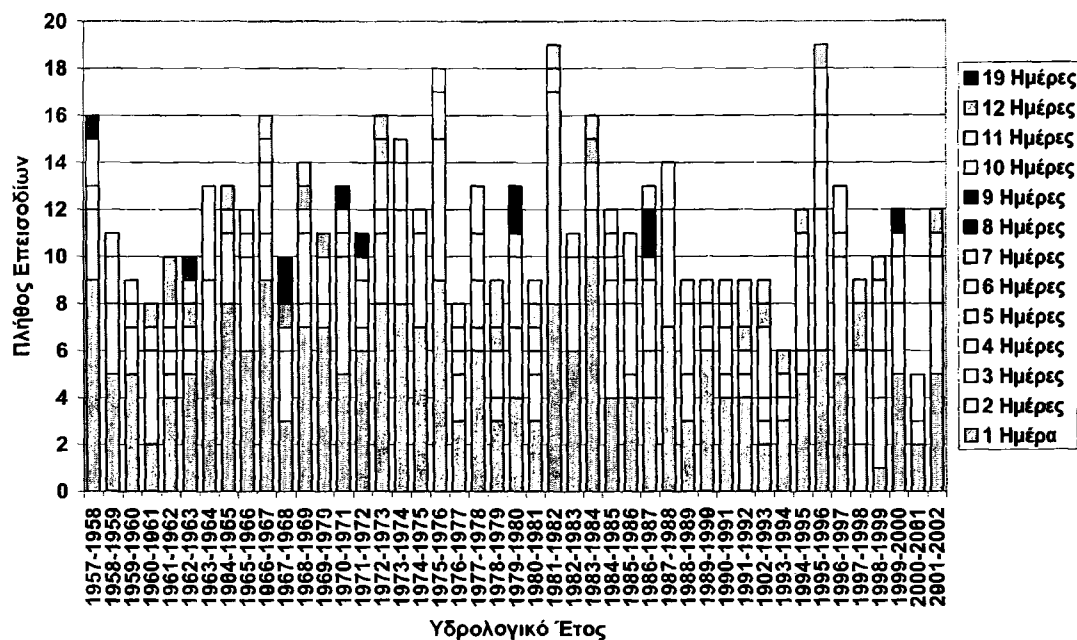
Σχήμα 6.3 Σχηματική αναπαράσταση του ορισμού των επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα.

Στο σχήμα 6.4 εμφανίζεται η ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης για την περίοδο από την 1/9/1957 έως 31/8/2002. Στατιστικά σημαντική (test Mann-Kendall) αλλά μικρή τάση μείωσης ($-0.040580x + 12,68889$) παρουσιάζεται για όλη τη χρονική περίοδο ενώ για 5 συνεχόμενα έτη από το 1990 και μετά τα επεισόδια χιονόπτωσης σε κάθε υδρολογικό έτος είναι σχετικά λίγα, κάτι που μπορεί να οφείλεται στις υψηλές τιμές του δείκτη NAO που είχαν παρατηρηθεί εκείνη την περίοδο (σχήμα 1.7). Από το σχήμα 6.4 προκύπτει ότι στη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους η πλειοψηφία των επεισοδίων δεν ξεπερνά σε διάρκεια τις 3 ημέρες. Τη χρονική περίοδο από το 1963 έως το 1973 περίπου ήταν συχνή η εμφάνιση επεισοδίων χιονόπτωσης με μεγάλη διάρκεια περί τις 8 με 9 ημέρες (σχεδόν 1 επεισόδιο κάθε υδρολογικό έτος), ενώ το τελευταίο τέταρτο του περασμένου αιώνα τέτοια επεισόδια ήταν περισσότερο σπάνια. Η μέση ενδο-ετήσια πορεία του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης, που φαίνεται στο σχήμα 6.6, εμφανίζει ένα μέγιστο τον μήνα Ιανουάριο, ενώ οι χιονοπτώσεις είναι δυνατό να ξεκινούν από τον Οκτώβριο και να τελειώνουν τον Απρίλιο. Τα επεισόδια με τη μεγαλύτερη διάρκεια άνω των 9 ημερών συμβαίνουν κυρίως τους χειμερινούς μήνες και τον Μάρτιο (σχήμα 6.7). Ωστόσο τέτοια επεισόδια είναι εξαιρετικά σπάνια καθώς η πλειοψηφία των επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα δεν ξεπερνά σε διάρκεια τις 3 ημέρες όπως φαίνεται στο σχήμα 6.8.

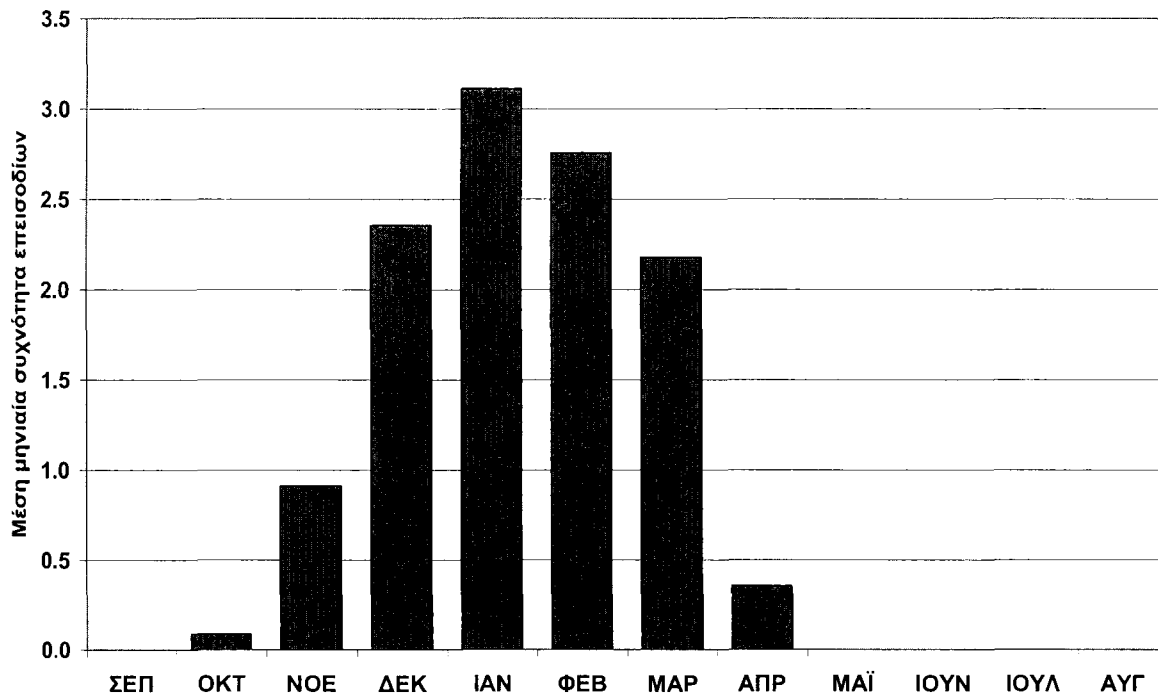
Το επεισόδιο χιονόπτωσης με τη μεγαλύτερη διάρκεια 19 ημερών ξεκίνησε με χιονοπτώσεις στη βόρειο και δυτική Ελλάδα (Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Θεσσαλονίκη, Κέρκυρα και Ιωάννινα στις 14 Ιανουαρίου 1963. Την όγδοη ημέρα στις 21/1/1963 οι χιονοπτώσεις επεκτάθηκαν στην κεντρική Ελλάδα (Λάρισα), ενώ από τις 24/1/1963 έως τις 26/1/1963 οι χιονοπτώσεις σταμάτησαν προσωρινά στη βόρειο Ελλάδα και συνέχισαν στην νότιο νησιωτική Ελλάδα (Ηράκλειο, Ιεράπετρα, Νάξος και Αθήνα). Από τις 27/1/1963 και μέχρι τη 1/2/1963 οι χιονοπτώσεις άρχισαν πάλι να σημειώνονται στη βόρειο και κεντρική Ελλάδα καθώς και στα ορεινά της Πελοποννήσου.



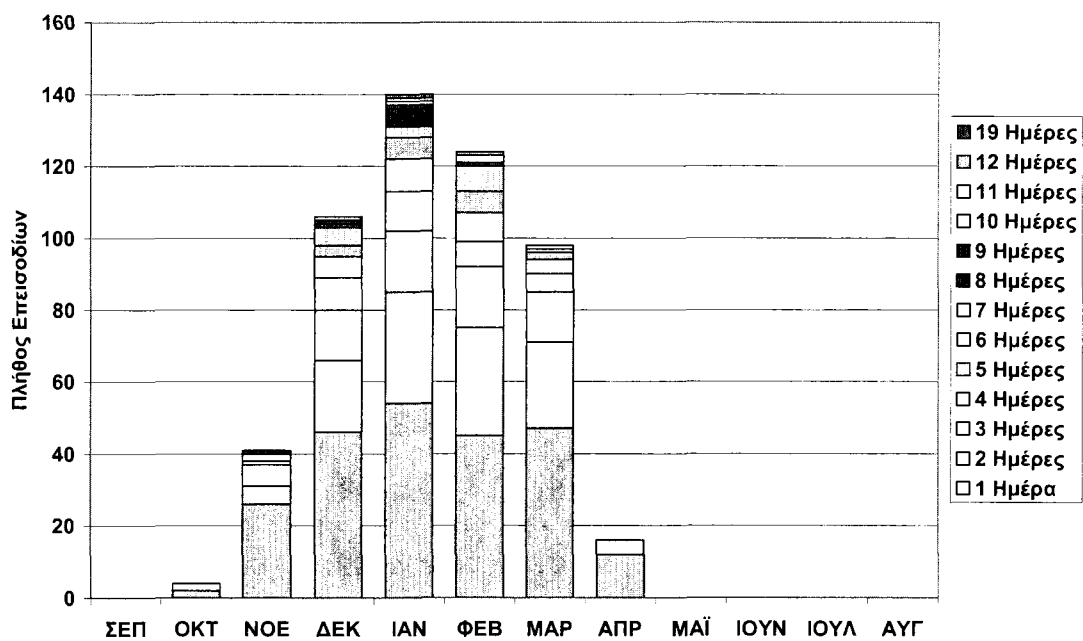
Σχήμα 6.4 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος.



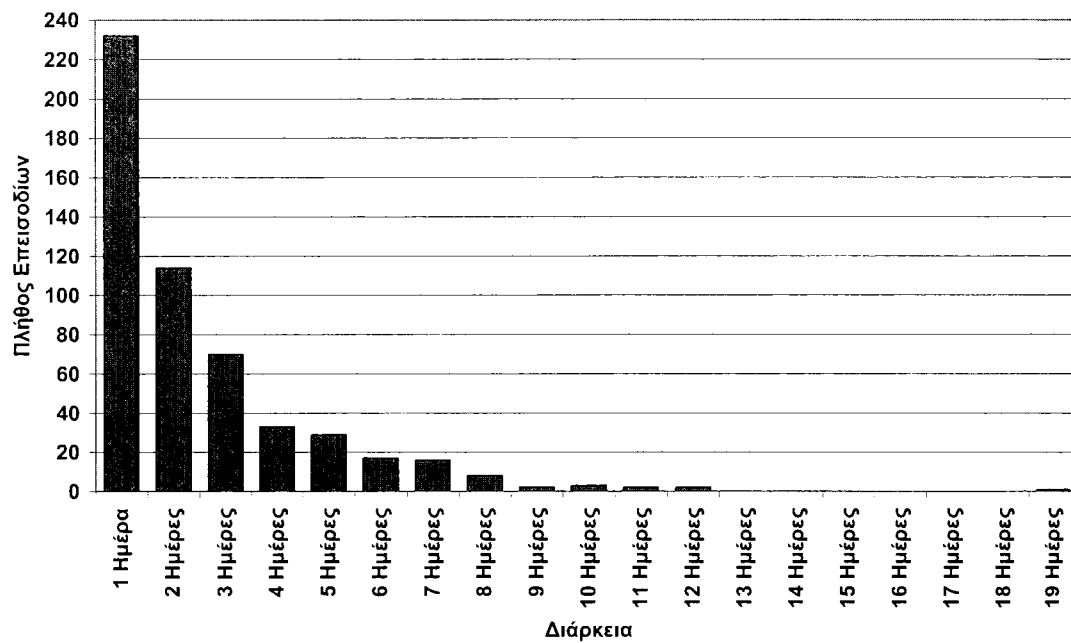
Σχήμα 6.5 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 6.6 Μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου.



Σχήμα 6.7 Ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 6.8 Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων Χιονόπτωσης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ως προς τη διάρκειά τους.

6.3. Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν Επεισόδια Χιονόπτωσης

Για κάθε ένα από τα επεισόδια χιονόπτωσης, ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα του ECMWF λαμβάνουμε τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας της στάθμης των 850hPa, της θερμοκρασίας της στάθμης των 500hPa, του γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa και του πάχους στρώματος 1000-500hPa, στις 12:00UTC μία ημέρα πριν την έναρξη κάθε επεισοδίου (Ημέρα H-1), την ημέρα έναρξης του κάθε επεισοδίου (Ημέρα H) και μία ημέρα μετά τη λήξη του κάθε επεισοδίου (Ημέρα ΛΗΞΗΣ). Δημιουργούνται έτσι τρεις πίνακες 1365 στηλών και 529 γραμμών, για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ αντίστοιχα. Σε κάθε έναν πίνακα, κάθε μία γραμμή από τις 529 αντιστοιχεί στη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στις 12:00UTC για κάθε ένα από τα αντίστοιχα επεισόδια.

Εφαρμόζεται η Παραγοντική ανάλυση (S – mode) σε κάθε έναν από τους πίνακες, με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων. Προκύπτουν 14 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H-1, 15 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H και 14 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας ΛΗΞΗΣ, που ερμηνεύουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Οι τρεις νέοι πίνακες με τις τιμές επίδοσης των παραγόντων ενοποιούνται σε έναν πίνακα 43 στηλών και 529 γραμμών. Στον ενοποιημένο πίνακα οι γραμμές αντιστοιχούν στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια κάθε ενός επεισοδίου χιονόπτωσης. Σε αυτόν τον πίνακα εφαρμόζεται η K-Means Ανάλυση κατά Συστάδες και τα 529 επεισόδια ομαδοποιούνται σε 13 ομάδες, λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο άλματος και τη φυσική ερμηνεία των τύπων της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχούν στις ομάδες. Για κάθε ομάδα σχεδιάζονται οι μέσοι χάρτες στις 12:00UTC για κάθε μία παράμετρο για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ και παρουσιάζονται στα σχήματα 6.9 έως 6.21. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται η εποχική κατανομή των επεισοδίων της κάθε ομάδας, η κατανομή των επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους για κάθε ομάδα καθώς και για κάθε σταθμό το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ακραίο ποσό βροχόπτωσης ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της κάθε ομάδας.

1^η Ομάδα (43 ΕΧ 8%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας παρουσιάζουν τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισής τους μέσα στη διάρκεια του έτους τον μήνα Νοέμβριο και δευτερευόντως τον μήνα Απρίλιο, εποχές μεταβατικές από την θερμή περίοδο στην ψυχρή και αντίστροφα. Η συντριπτική τους πλειοψηφία διαρκεί μόνο μία ημέρα όπως είναι αναμενόμενο εξαιτίας της εποχής κατά την οποία συμβαίνουν. Η περιοχή της Ελλάδας στην οποία σημειώνονται ως επί το πλείστον οι χιονοπτώσεις είναι η βόρεια ορεινή Ελλάδα (Κοζάνη), ενώ οι υπόλοιπες περιοχές της χώρας ελάχιστα επηρεάζονται από τον αντίστοιχο τύπο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Από τους μέσους χάρτες των συνοπτικών καταστάσεων των επεισοδίων χιονόπτωσης αυτής της ομάδας παρουσιάζεται στη μέση τροπόσφαιρα ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων πάνω από την βορειοανατολική Ευρώπη και μία έξαρση πάνω από την δυτική Ευρώπη. Στην επιφάνεια κατά την Ημέρα H-1 υπάρχει ένας αντικυκλώνας πάνω από τη δυτική Ευρώπη, ο οποίος κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων επεκτείνεται προς την κεντρική Ευρώπη, ενώ στο Αιγαίο πέλαγος σχηματίζεται μία ύφεση. Αυτή η συνοπτική κατάσταση ευνοεί τη μεταφορά στη Βαλκανική χερσόνησο ψυχρών αερίων μαζών, όπως φαίνεται από τους χάρτες του πάχους στρώματος 1000 – 500hPa και της θερμοκρασίας της στάθμης των 850hPa, και την επικράτηση βορειοανατολικών ανέμων κυρίως στη βόρεια Ελλάδα, η οποία πλήττεται από

χιονοπτώσεις. Οι χιονοπτώσεις λήγουν σύντομα μετά την εξασθένηση του αντικυκλώνα και την ταυτόχρονη εξασθένηση και μετακίνηση της ύφεσης ανατολικότερα κατάσταση που συμβάλει στη μικρή άνοδο της θερμοκρασίας λόγω της εξασθένησης του βορειοανατολικού ψυχρού ρεύματος και στην καλοκαιρία.

2^η Ομάδα (16 EX 4%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί σε αυτή την ολιγοπληθή ομάδα επεισοδίων παρουσιάζει μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά τον μήνα Δεκέμβριο, ο οποίος σηματοδοτεί την αρχή της χειμερινής περιόδου. Τα περισσότερα από τα επεισόδια χιονόπτωσης διαρκούν από 2 έως 5 ημέρες και εξαιρετικά σπάνια περισσότερες ημέρες. Η περιοχές της Ελλάδος που πλήττονται από χιονοπτώσεις είναι κυρίως οι ορεινές (Κοζάνη, Τρίπολη) και λιγότερο περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο της βόρειου και κεντρικής χώρας (Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη, Ιωάννινα και Λάρισα).

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων στην επιφάνεια είναι εμφανής η ύπαρξη ενός αντικυκλώνα με κέντρο πάνω από την βορειοανατολική Ευρώπη, ενώ χαμηλές πιέσεις επικρατούν σε ολόκληρη τη Μεσόγειο Θάλασσα. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων ο αντικυκλώνας ενισχύεται σημαντικά αυξάνοντας τη βαροβαθμίδα πάνω από την Ελλάδα, αλλά και την θερμοβαθμίδα δημιουργώντας ένα μέτωπο κακοκαιρίας πάνω από τη Βαλκανική. Η βορειοανατολική κίνηση ψυχρών αερίων μαζών, που εμπλουτίζονται από υδρατμούς από τη θερμή σχετικά θάλασσα του Αιγαίου πελάγους προκαλούν κυρίως στη βόρειο και κεντρική Ελλάδα χιονοπτώσεις. Τα επεισόδια λήγουν με την εξασθένηση και την ταυτόχρονη μετακίνηση του κέντρου του αντικυκλώνα προς τα ανατολικά, οπότε η βαροβαθμίδα γίνεται μικρότερη και η κίνηση των ψυχρών αερίων μαζών εξασθενεί αφήνοντας τις θερμές αέριες μάζες της Μεσογείου να κινηθούν προς τη Βαλκανική χερσόνησο.

3^η Ομάδα (38 EX 7%): Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα μπορεί να χαρακτηριστεί ως χειμερινού τύπου, καθώς η πλειοψηφία των επεισοδίων συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του χειμώνα με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο. Τα περισσότερα επεισόδια διαρκούν πάνω από μία ημέρα, ενώ πολλά από αυτά ξεπερνούν τις 4 ημέρες. Σχεδόν σε όλη τη χώρα είναι δυνατό να σημειωθούν χιονοπτώσεις κατά την επικράτηση αυτού του τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, αλλά κυρίως επηρεάζεται η βόρεια Ελλάδα (Κοζάνη, Θεσσαλονίκη Αλεξανδρούπολη), η δυτική και νότια ορεινή χώρα (Ιωάννινα, Τρίπολη), ενώ η κεντρική Ελλάδα (Λάρισα, Αθήνα) λιγότερο, και ελάχιστα παράκτιες και νησιωτικές περιοχές.

Κατά τη διάρκεια των επεισοδίων χιονόπτωσης αυτής της ομάδας στη μέση τροπόσφαιρα επικρατεί αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από τη δυτική Ευρώπη, ενώ έντονα κυκλωνική είναι η κυκλοφορία στη Μεσόγειο και την ανατολική Ευρώπη. Στους μέσους χάρτες της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa, και του πάχους στρώματος 1000 -500hPa είναι εμφανής η παρουσία ιδιαίτερα ψυχρής αέριας μάζας στη Βαλκανική χερσόνησο. Στην επιφάνεια ένας αντικυκλώνας βρίσκεται στη δυτική Ευρώπη, ενώ χαμηλές πιέσεις επικρατούν στη βορειοανατολική Ευρώπη και σε όλη τη Μεσόγειο. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων μία ύφεση σχηματίζεται στην περιοχή του Αιγαίου και την Μικράς Ασίας, η οποία σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα στη Δυτική Ευρώπη προκαλεί βόρειο ψυχρό ρεύμα στα Βαλκάνια και χιονοπτώσεις σχεδόν σε όλη την Ελλάδα, αλλά κυρίως στη βόρειο κεντρική χώρα και στα νότια ορεινά. Η ύφεση αργά μετακινείται προς τα ανατολικά και τα επεισόδια χιονόπτωσης λήγουν καθώς σχετικά υψηλές πιέσεις και αντικυκλωνική κυκλοφορία επικρατούν στη Βαλκανική χερσόνησο.

4^η Ομάδα (28 EX 5%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας εμφανίζουν τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισής τους κατά την αρχή της χειμερινής περιόδου κατά το μήνα Δεκέμβριο και κατά το τέλος της το μήνα Μάρτιο. Η διάρκειά τους είναι σχετικά μικρή καθώς δεν ξεπερνά τις 3

ημέρες και πλήττονται από χιονοπτώσεις κυρίως οι βόρειες ορεινές περιοχές (Κοζάνη) και σπανιότατα μπορεί να σημειωθούν χιονοπτώσεις και στα κεντρικά πεδινά της χώρας (Λάρισα) ή τα νοτιότερα ορεινά (Τρίπολη).

Στη μέση τροπόσφαιρα έντονα κυκλωνική εμφανίζεται η κυκλοφορία πάνω από την κεντρική Μεσόγειο αρχικά και στη συνέχεια πάνω από την ανατολική. Στην επιφάνεια η ύφεση που κινείται από την κεντρική Μεσόγειο προς τα ανατολικά, σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα, που έχει το κέντρο του στη νοτιοδυτική Ευρώπη και εκτείνεται μέχρι την κεντρική Ευρώπη, προκαλούν τη μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών και μέτωπο κακοκαιρίας με χιονοπτώσεις στη βόρειο ορεινή Ελλάδα. Τα επεισόδια λήγουν με την εξασθένηση της ύφεσης και την μετακίνησή της ανατολικότερα, ενώ η ψυχρή αέρια μάζα συνεχίζει να επηρεάζει το βόριο τμήμα της χώρας.

5^η Ομάδα (57 ΕΧ 11%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν στη διάρκεια της χειμερινής περιόδου με διάρκεια κυρίως μίας ημέρας, ενώ πολύ σπάνια τα επεισόδια χιονόπτωσης μπορούν να διαρκέσουν έως και 8 ημέρες. Η βόρεια Ελλάδα, η δυτική και κεντρική καθώς και η νότια ορεινή χώρα επηρεάζονται με χιονοπτώσεις από τον αντίστοιχο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Στην επιφάνεια μία ημέρα πριν την έναρξη των χιονοπτώσεων υψηλές πιέσεις επικρατούν στην νοτιοδυτική Ευρώπη και ένα βαθύ βαρομετρικό σύστημα χαμηλών πιέσεων έχει το κέντρο του στη Σκανδιναβία. Κατά την ημέρα έναρξης της χιονόπτωσης στην Ελλάδα μία βαθιά ύφεση σχηματίζεται με το κέντρο της στο βόρειο Αιγαίο πέλαγος προκαλώντας κακοκαιρία και απότομη ψυχρή εισβολή αερίων μαζών βόρειας ηπειρωτικής προέλευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τη μικρή διάρκεια της πλειοψηφίας των επεισοδίων η ύφεση εξασθενεί γρήγορα μετακινούμενη ταυτόχρονα προς την Ανατολική Μεσόγειο, παραχωρώντας τη θέση της σε αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από τη χώρα που σηματοδοτεί τη λήξη της κακοκαιρίας διατηρώντας όμως την ψυχρή αέρια μάζα πάνω από την Βαλκανική χερσόνησο.

6^η Ομάδα (38 ΕΧ 7%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας επεισοδίων παρουσιάζει τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισής του στη μέση της χειμερινής περιόδου κατά τον μήνα Ιανουάριο. Η διάρκεια των επεισοδίων φαίνεται να είναι κυρίως τουλάχιστον 2 ημέρες, ενώ λίγα επεισόδια διαρκούν έως και 8 ημέρες. Με χιονοπτώσεις επηρεάζεται κυρίως η βόρεια (Κοζάνη, Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη) και η νότια ορεινή χώρα (Τρίπολη), καθώς και η ανατολική κεντρική Ελλάδα (Λάρισα).

Στη μέση τροπόσφαιρα ένα σχεδόν αποκομμένο χαμηλό σύστημα εντοπίζεται στη δυτική Μεσόγειο το οποίο συνοδεύεται στην επιφάνεια από ένα καλά οργανωμένο και εκτεταμένο σύστημα χαμηλών πιέσεων με το κέντρο του στην κεντρική λεκάνη της Μεσογείου. Αυτή η ύφεση σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα της Ρωσίας προκαλούν ένα στάσιμο μέτωπο κακοκαιρίας πάνω από την Βαλκανική χερσόνησο και μία ψυχρή εισβολή στη βόρεια Ελλάδα, ευνοώντας τις χιονοπτώσεις σε αυτή την περιοχή. Τα επεισόδια χιονόπτωσης λήγουν με την εξασθένηση του Ρωσικού αντικυκλώνα και την σχεδόν πλήρη διάλυση της ύφεσης της κεντρικής Μεσογείου.

7^η Ομάδα (57 ΕΧ 11%): Τα επεισόδια χιονόπτωσης αυτής της ομάδας συμβαίνουν συχνότερα από τα μέσα της χειμερινής περιόδου και μετά με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά τον μήνα Φεβρουάριο. Τα περισσότερα διαρκούν μία μόνο μέρα ενώ δεν είναι λίγα αυτά που έχουν διάρκεια 2 ημέρες και αρκετά είναι όσα διαρκούν μέχρι και 7 ημέρες. Οι περιοχές της Ελλάδας που πλήττονται περισσότερο από χιονοπτώσεις είναι οι βόρειες και νότιες ορεινές (Κοζάνη, Τρίπολη), ενώ σε μεγάλο βαθμό επηρεάζονται και περιοχές της ανατολικής χώρας με χαμηλότερο υψόμετρο, όπως είναι η Λάρισα η Λήμνος και η Αθήνα καθώς και η νότια νησιωτική χώρα (Ηράκλειο) σε πολύ μικρότερο βέβαια βαθμό.

Ο συνδυασμός του αντικυκλώνα πάνω από την κεντρική αρχικά και την ανατολική Ευρώπη στη συνέχεια, με τις χαμηλές πιέσεις που επικρατούν στην ανατολική Μεσόγειο προκαλούν ένα έντονο βορειοανατολικό ρεύμα ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα. Αυτές κινούμενες πάνω από τη σχετικά θερμή θάλασσα του Αιγαίου πελάγους εμπλουτίζονται με υδρατμούς και θερμαίνονται στα κατώτερα στρώματά τους, συνθήκες που ευνοούν την αύξηση της αστάθειά τους με αποτέλεσμα την πρόκληση χιονοπτώσεων στο βόρειο Αιγαίο και στην ανατολική Ελλάδα.

8η Ομάδα (43 EX 8%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας επεισοδίων χαρακτηρίζεται ως χειμερινός με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης κατά τον μήνα Ιανουάριο. Η διάρκεια των περισσότερων επεισοδίων είναι μέχρι 2 ημέρες, ενώ 2 επεισόδια αυτής της ομάδας διήρκεσαν έως και 10 με 11 ημέρες. Κυρίως η βόρεια Ελλάδα (Κοζάνη, Αλεξανδρούπολη, Θεσσαλονίκη) επηρεάζεται με χιονοπτώσεις κατά την επικράτηση αυτού του τύπου κυκλοφορίας και λιγότερο η κεντρική Ελλάδα (Λάρισα, Ιωάννινα).

Στη μέση τροπόσφαιρα αντικυκλωνική είναι η κυκλοφορία στην κεντρική Ευρώπη, ενώ κυκλωνική εμφανίζεται στην ανατολική Μεσόγειο. Στην επιφάνεια κατά την Ημέρα Η-1 υψηλές πιέσεις επικρατούν στη νοτιοδυτική Ευρώπη, ενώ μία εκτεταμένη ρηχή ύφεση καλύπτει την Ιταλία και την Ελλάδα. Κατά την Ημέρα έναρξης ο αντικυκλώνας που βρισκόταν στη δυτική Ευρώπη κινείται γρήγορα πάνω από την κεντρική Ευρώπη, ενώ η ύφεση βαθαίνει και κινείται ανατολικότερα με το κέντρο της να εντοπίζεται στο νότιο ανατολικό Αιγαίο. Η θέση του αντικυκλώνα στην κεντρική Ευρώπη σε συνδυασμό με την ύφεση στο νότιο Αιγαίο προκαλεί τη μεταφορά από βορειοανατολικά ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την βόρεια και κεντρική Ελλάδα οι οποίες εμπλουτισμένες με υδρατμούς από το Αιγαίο δίνουν χιονοπτώσεις στην περιοχή. Τα επεισόδια λήγουν με την εξασθένηση του αντικυκλώνα και την μετακίνησή του καθώς και της ύφεσης ανατολικότερα.

9η Ομάδα (53 EX 10%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας είναι δυνατό να συμβούν από το Δεκέμβριο μέχρι το Μάρτιο με δύο μέγιστες συχνότητες εμφάνισης κατά το Δεκέμβριο και κατά τον Φεβρουάριο. Η διάρκεια τους είναι κυρίως μέχρι 3 ημέρες ενώ αρκετά είναι τα επεισόδια χιονόπτωσης που διαρκούν μέχρι και 12 ημέρες. Οι περιοχές που πλήττονται με χιονοπτώσεις από τον αντίστοιχο τύπο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας είναι η βόρεια Ελλάδα (Κοζάνη, Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη) και η κεντρική (Ιωάννινα, Λάρισα). Και στην υπόλοιπη χώρα είναι δυνατό να σημειωθούν χιονοπτώσεις αλλά με μικρότερη πιθανότητα.

Στη μέση τροπόσφαιρα κατά την Ημέρα Η-1 ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων εντοπίζεται στο βόρεια Ευρώπη με κατεύθυνση από βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά προκαλώντας γενικά κυκλωνική κυκλοφορία στην Ανατολική Ευρώπη και Μεσόγειο. Κατά την Ημέρα Έναρξης των χιονοπτώσεων στην Ελλάδα ο αυλώνας μετατοπίζεται γρήγορα στην Ανατολική Ευρώπη, διατηρώντας τον αρχικό προσανατολισμό του και ευνοώντας τη μεταφορά ιδιαίτερα ψυχρών αερίων μαζών σε όλο το ύψος της τροπόσφαιρας. Στην επιφάνεια αρχικά πάνω από την κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο επικρατεί ένα εκτεταμένο πεδίο χαμηλών πιέσεων, το οποίο γρήγορα κατά την ημέρα έναρξης μετασχηματίζεται σε μία βαθιά ύφεση με κέντρο στη νότιο Ελλάδα. Αυτή η ύφεση σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα που έχει το κέντρο του στη δυτική Ευρώπη δημιουργούν ένα βορειοανατολικό ρεύμα ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα που εμπλουτίζεται με υδρατμούς από τη Μαύρη θάλασσα και το Αιγαίο πέλαγος και ένα ψυχρό μέτωπο όπως φαίνεται από τις συνεσφυγμένες ισόθερμες στη στάθμη των 850hPa προκαλώντας χιονοπτώσεις σε όλη τη βόρεια και κεντρική Ελλάδα. Η χιονόπτωση στην Ελλάδα λήγει καθώς ο αντικυκλώνας μετακινείται δυτικότερα και η ύφεση ανατολικότερα εξασθενημένη.

10η Ομάδα (40 EX 8%): Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα εμφανίζεται καθ' όλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου χωρίς να παρουσιάζει κάποια μέγιστη συχνότητα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι χιονοπτώσεις κυρίως διαρκούν μέχρι 2 ημέρες χωρίς να λείπουν και περιπτώσεις μεγαλύτερης διάρκειας μέχρι και 5 ημέρες. Οι χιονοπτώσεις περιορίζονται ως επί το πλείστον στη βόρεια Ελλάδα (Κοζάνη, Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη) καθώς και στην ανατολική κεντρική χώρα.

Στη μέση τροπόσφαιρα η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας παρουσιάζει ζωνική μορφή και στην επιφάνεια επικρατεί σε όλη τη Μεσόγειο ένα ασθενές πεδίο χαμηλών πιέσεων. Στη βορειοδυτική Ευρώπη μία ημέρα πριν τη χιονόπτωση επικρατεί ένας εκτεταμένος αντικυκλώνας, ο οποίος πολύ γρήγορα την ημέρα έναρξης των χιονοπτώσεων μετακινείται πάνω από την κεντρική Ευρώπη. Αυτός σε συνδυασμό με μία ρηχή ύφεση στη Μικρά Ασία προκαλεί ψυχρή μετωπική επιφάνεια και ψυχρό βορειοανατολικό ρεύμα πάνω από τη βόρεια Ελλάδα, ικανό να προκαλέσει χιονοπτώσεις κυρίως στη βόρεια και κεντρική ανατολική χώρα. Τα επεισόδια χιονόπτωσης λήγουν σχετικά σύντομα μετά την εξασθένηση του αντικυκλώνα.

11η Ομάδα (44 EX 8%): Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων αυτής της ομάδας εμφανίζεται κατά το μήνα Ιανουάριο με ένα δευτερεύον μέγιστο να σημειώνεται κατά τον μήνα Μάρτιο. Γενικά ο αντίστοιχος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας συμβαίνει μετά από τα μέσα του χειμώνα και προς το τέλος του. Η διάρκεια των χιονοπτώσεων στην Ελλάδα είναι μεγάλη με πολλά επεισόδια να διαρκούν μέχρι και 6 ημέρες. Χαρακτηριστικό είναι ότι το επεισόδιο χιονόπτωσης του 1963 με τη μεγαλύτερη διάρκεια εντάσσεται σε αυτή την ομάδα. Οι χιονοπτώσεις πλήττουν σχεδόν όλη την Ελλάδα. Φαίνεται ότι αυτός ο τύπος συνοπτικής κατάστασης προκαλεί σε μεγαλύτερο βαθμό χιονοπτώσεις στη δυτική Ελλάδα από ότι οι υπόλοιποι τύποι. Επίσης η νότια νησιωτική χώρα φαίνεται να επηρεάζεται περισσότερο από αυτή τη συνοπτική κατάσταση από ότι από τις υπόλοιπες.

Ο αυλώνας χαμηλών πιέσεων που υπάρχει στην κεντρική Ευρώπη και εκτείνεται μέχρι τη Μεσόγειο συνοδεύεται στην επιφάνεια από μία βαθιά και εκτεταμένη ύφεση, που αρχικά έχει το κέντρο της στην Ιταλία. Την ημέρα έναρξης των χιονοπτώσεων το κέντρο της ύφεσης μετακινείται πάνω από την Ελλάδα. Καθώς ο χάρτης που εμφανίζεται στο σχήμα 6.19 είναι μέσος χάρτης, δεν αποκλείεται κατά τη διάρκεια των επεισοδίων να υπάρχουν δευτερεύοντα κέντρα αυτής της μεγάλης ύφεσης, ένα στο Ιόνιο πέλαγος και ένα ακόνη στο Αιγαίο πέλαγος προκαλώντας βορειοανατολικό ρεύμα ψυχρών μαζών στη βόρεια Ελλάδα και σχεδόν βορειοδυτικό ρεύμα στη δυτική και νότια χώρα καθώς και στα νησιά του νοτίου Αιγαίου. Η πολύ ψυχρή αέρια μάζα πάνω από την Ελλάδα και η κακοκαιρία που συνοδεύει την ύφεση προκαλούν χιονοπτώσεις σχεδόν σε όλη τη χώρα. Η ύφεση εξασθενεί αργά μετακινούμενη προς την ανατολική Μεσόγειο σηματοδοτώντας τη λήξη των επεισοδίων χιονόπτωσης, και η κυκλοφορία στη μέση τροπόσφαιρα μετατρέπεται σε ζωνική πάνω από την Μεσόγειο.

12η Ομάδα (44 EX 8%): Το τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αυτής της ομάδας συμβαίνει κυρίως περί το τέλος της χειμερινής περιόδου με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης κατά τον μήνα Μάρτιο. Η χιονόπτωση μπορεί να διαρκεί αρκετές ημέρες με τα περισσότερα επεισόδια να έχουν διάρκεια μέχρι 3 ημέρες. Κυρίως η βόρεια και νότια ορεινή Ελλάδα πλήττεται από χιονοπτώσεις εξαιτίας της συνοπτικής κατάστασης που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα.

Στη μέση τροπόσφαιρα κατά τη διάρκεια των επεισοδίων δεσπόζει στην κεντρική Ευρώπη ένα σχεδόν αποκομμένο σύστημα χαμηλών πιέσεων. Αυτό συνοδεύεται από ιδιαίτερα ψυχρή αέρια μάζα σε όλο το ύψος της τροπόσφαιρας και στην επιφάνεια από μία εκτεταμένη ύφεση στην κεντρική Μεσόγειο. Αυτή σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα της Ρωσίας, ο οποίος εκτείνεται σχεδόν σε όλη την κεντρική και δυτική Ευρώπη, προκαλούν στη βόρεια Ελλάδα

ψυχρό βορειανατολικό ρεύμα, το οποίο δίνει χιονοπτώσεις στα ορεινά της χώρας και κυρίως στην προσήνεμη πλευρά της Πίνδου.

13η Ομάδα (28 EX 5%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδα συμβαίνουν κυρίως στην αρχή της χειμερινής περιόδου μέγιστη συχνότητα εμφάνισης τον Ιανουάριο. Χαρακτηριστικό είναι ότι τον μήνα Φεβρουάριο παρουσιάζουν ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης η οποία αυξάνει τον μήνα Μάρτιο. Η διάρκειά τους είναι κυρίως μία ημέρα και η περιοχή της χώρας που κατά κύριο λόγο σημειώνονται χιονοπτώσεις είναι η βόρεια ορεινή Ελλάδα (Κοζάνη).

Στη μέση τροπόσφαιρα η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας εμφανίζεται έντονα κυκλωνική δυτικότερα της Βρετανίας και λιγότερο κυκλωνική στην κεντρική Μεσόγειο. Στην επιφάνεια, ένα πολύ βαθύ χαμηλό βρίσκεται δυτικά της Βρετανίας, ενώ στη δυτική μεσόγειο επικρατεί ένα πεδίο χαμηλών πιέσεων και ένα άλλο πεδίο υψηλών πιέσεων βρίσκεται στην ανατολική Ευρώπη και προς τη Ρωσία. Κατά την ημέρα έναρξης της χιονόπτωσης επικρατεί στην επιφάνεια ένα ασθενές νότιο ρεύμα αερίων μαζών πάνω από τη χώρα, ενώ στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας επικρατούν αρκετά ψυχρές αέριες μάζες. Το γεγονός αυτό δημιουργεί συνθήκες αστάθειας και κακοκαιρία στις βορειότερες περιοχές της χώρας και σημειώνονται χιονοπτώσεις μόνο στις ορεινές περιοχές της βόρειας χώρας, όπου η θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή. Τα επεισόδια λήγουν σύντομα καθώς το πεδίο χαμηλών πιέσεων εξασθενεί και η θερμοκρασιακές διαφορές καθ' ύψος στην ατμόσφαιρα εξομαλύνονται και οι συνθήκες αστάθειας παύουν να υφίστανται.

Συμπερασματικά Από τους 13 τύπους της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στη διάρκεια επεισοδίων χιονόπτωσης στην Ελλάδα, στους περισσότερους εμφανίζεται ένας συνδυασμός ύφεσης στη Μεσόγειο και αντικυκλώνα στην Ευρώπη, που προκαλεί βόρειο ή βορειανατολικό ρεύμα ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα και ευνοεί τις χιονοπτώσεις σε διάφορες περιοχές της χώρας. Το μοτίβο αυτό αλλάζει μόνο στον 13^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, στον οποίο η νότια ροή θερμών αερίων μαζών στα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας σε συνδυασμό με τις ψυχρές αέριες που επικρατούν στα υψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας προκαλούν συνθήκες αστάθειας και χιονόπτωσης μόνο σε ορεινές βόρειες περιοχές της χώρας. Ωστόσο οι τύποι της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά όσον αφορά την ακριβή θέση του αντικυκλώνα και την έντασή του, ο οποίος άλλες φορές βρίσκεται στη δυτική Ευρώπη (τύπος 1, 3, 4, 5, 8, 9), κάποιες φορές κινείται γρήγορα προς την κεντρική Ευρώπη (τύπος 7 και 10), ενώ άλλες φορές βρίσκεται στην Ανατολική Ευρώπη, ως επέκταση του Σιβηρικού αντικυκλώνα (τύπος 2, 6, 12), ενώ στον 11^ο τύπο πεδία υψηλών πιέσεων επικρατούν και στη δυτική και στην ανατολική Ευρώπη, και πάνω από την Ελλάδα βρίσκεται μία βαθιά ύφεση.

Ακόμη, η ακριβής θέση και ένταση της ύφεσης στη Μεσόγειο συνιστά διαφορές ανάμεσα στους τύπους της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, καθώς στους τύπους 2 και 6 η ύφεση βρίσκεται δυτικά της Ελλάδας, στη δεύτερη όμως περίπτωση είναι περισσότερο βαθιά. Η ύφεση βρίσκεται πάνω από την Ελλάδα στους τύπους 11 και 12, ενώ βρίσκεται νότια της χώρας στον 4^ο τύπο και στον 9^ο τύπο, στον οποίο εμφανίζεται να είναι περισσότερο βαθιά. Στους τύπους 5, 1 και 8 το κέντρο της ύφεσης βρίσκεται στο βόρειο, στο κεντρικό και στο νότιο Αιγαίο πέλαγος αντίστοιχα. Στον 3^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας η ύφεση εντοπίζεται ανατολικά της Ελλάδας και στον τύπο 7 χαμηλό πεδίο πιέσεων επικρατεί στην ανατολική Μεσόγειο.

Οι 13 τύποι της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας διαφέρουν ακόμη και στην εποχή του έτους που εμφανίζονται. Χαρακτηριστικά ο 1^{ος} τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμφανίζεται στην αρχή και το τέλος της χειμερινής περιόδου, ενώ κυρίως στην αρχή του χειμώνα εμφανίζεται ο 2^{ος} τύπος και κυρίως στο τέλος του χειμώνα ο 12^{ος} τύπος. Διαφορές υπάρχουν ακόμη και στη

διάρκεια των επεισοδίων καθώς μεγάλη διάρκεια παρουσιάζουν τα επεισόδια του 12^{ου}, 11^{ου}, 9^{ου}, 6^{ου}, 3^{ου} και του 2^{ου} τύπου.

Όσον αφορά τις περιοχές τις Ελλάδας που πλήττονται περισσότερο από χιονοπτώσεις εξαιτίας της επικράτησης του κάθε τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, στο σχήμα 6.22 φαίνεται για κάθε μετεωρολογικό σταθμό το ποσοστό των ημερών χιονόπτωσης σε κάθε σταθμό ως προς τον τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Είναι εμφανές ότι ο 11^{ος} τύπος επηρεάζει όλη την Ελλάδα, εκτός από το βόρειο Αιγαίο (Λήμνος, Μυτιλήνη) και την Αθήνα, ο 9^{ος} τύπος όλη την Ελλάδα πλην της Κρήτης, Ο 7^{ος} τύπος τη νότιο Ελλάδα και την Αθήνα, ο 3^{ος} τύπος τη βόρειο, τη βόρειο δυτική, την κεντρική Ελλάδα, την Αθήνα και την Κρήτη, ενώ ο 5^{ος} τύπος επηρεάζει τη νότιο δυτική Ελλάδα (Ανδραβίδα). Χαρακτηριστικό είναι ότι η Νάξος στο κεντρικό Αιγαίο επηρεάζεται εξίσου από τους τύπους 3, 5, 6, 7, 8, 9 και 11.

Συγκριτικά. Σε αρκετές άλλες μελέτες έχουν ερευνηθεί τα αίτια που προκαλούν χιονοπτώσεις σε περιοχές της Ελλάδας, κυρίως με τη μελέτη συγκεκριμένων επεισοδίων χιονόπτωσης. Τα αποτελέσματά τους συμφωνούν με τα συμπεράσματα, που προκύπτουν από την παρούσα διατριβή και βοηθούν στην ερμηνεία τους.

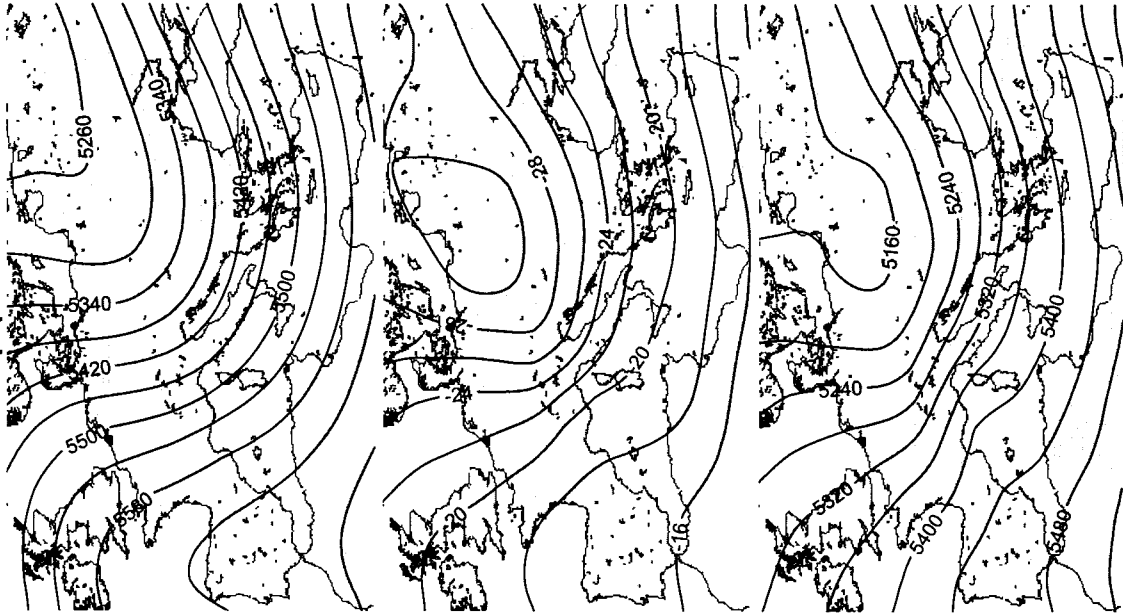
Οι Flocas and Karacostas (1996) σε μία εμπειριστατωμένη μελέτη με τη χρήση θερμοδυναμικών κριτηρίων κατέληξαν σε 6 διαφορετικούς τύπους κυκλογένεσης στην περιοχή του Αιγαίου πελάγους. Στον τύπο NW διαπίστωσαν ότι η παρουσία ενός αυλώνα στη στάθμη των 500hPa νοτιοδυτικά του Αιγαίου και μίας ράχης βορειοανατολικά του Αιγαίου, σε συνδυασμό με υψηλή βαροκλινικότητα στην περιοχή του Αιγαίου, συνδέονται με τη δημιουργία ύφεσης στο Αιγαίο, η οποία υπολογίστηκε ότι έχει χρόνο ζωής περί τις 24 ώρες. Σε αυτόν τον τύπο κυκλογένεσης φαίνεται να εντάσσεται η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί στην 5η ομάδα επεισοδίων χιονόπτωσης (σχήμα 6.13), κατά την οποία ο σχηματισμός της ύφεσης στο Αιγαίο προκαλεί χιονοπτώσεις, κυρίως στη βόρεια ηπειρωτική χώρα (Κοζάνη), μικρής διάρκειας καθώς η ύφεση συνήθως μετά από μία ημέρα εξασθενεί μετακινούμενη προς τα ανατολικά. Αυτός ο τύπος κυκλοφορίας είχε ήδη αναγνωριστεί ως χειμερινός τύπος, ο οποίος συνοδεύεται και από μετωπική δραστηριότητα με τα μέτωπα προσανατολισμένα από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά και σε μία άλλη μελέτη των Karacostas et al. (1992) στην οποία κατονομάζεται ως τύπος Νοτιοδυτικής Κυκλοφορίας.

Το επεισόδιο χιονόπτωσης της 7ης Απριλίου 2003, που περιγράφεται αναλυτικά στη μελέτη των Μπαρσάκης κ.α. (2004) θα μπορούσε να καταταγεί στην 3η ομάδα επεισοδίων η οποία έχει προκύψει στην παρούσα διατριβή. Η συνοπτική κατάσταση, στην κατώτερη και στη μέση τροπόσφαιρα κατά τη διάρκεια του επεισοδίου περιγράφεται με την παρουσία ενός αντικυκλώνα με κέντρο στη δυτική Ευρώπη και μίας εκτεταμένης ύφεσης βόρεια της Μαύρης θάλασσας, ενώ μία άλλη ύφεση από την περιοχή του Ιονίου πελάγους μετακινείται προς στο Αιγαίο την ημέρα της χιονόπτωσης. Την ίδια ακριβώς εξέλιξη παρουσιάζει η ατμοσφαιρική κυκλοφορία που αντιστοιχεί στην 3η ομάδα επεισοδίων χιονόπτωσης, η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό κυρίως τη βόρειο Ελλάδα (σχήμα 6.11).

Ο τύπος εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί στην 9η ομάδα (σχήμα 6.17) είναι αυτός που προκαλεί τις περισσότερες ημέρες χιονόπτωσης στη Αθήνα και ακολουθούν η ατμοσφαιρική κυκλοφορία της 3ης και της 7ης ομάδας (σχήματα 6.11 και 6.15). Η συνοπτική κατάσταση της 9ης ομάδας έχει διαπιστωθεί και από τους Λώλης κ.α. (2004), ότι συνδέεται με νεφελώδη καιρό και ιδιαίτερο ψύχος στην περιοχή των Αθηνών. Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί στην 3η ομάδα και αυτή της 7^{ης} ομάδας, περιγράφονται και από τους Prezerakos και Angouridakis (1984) ως τύποι κυκλοφορίας, που ευνοούν τις χιονοπτώσεις στην Αθήνα, καθώς επίσης και από τους Houssos et al. (2007).

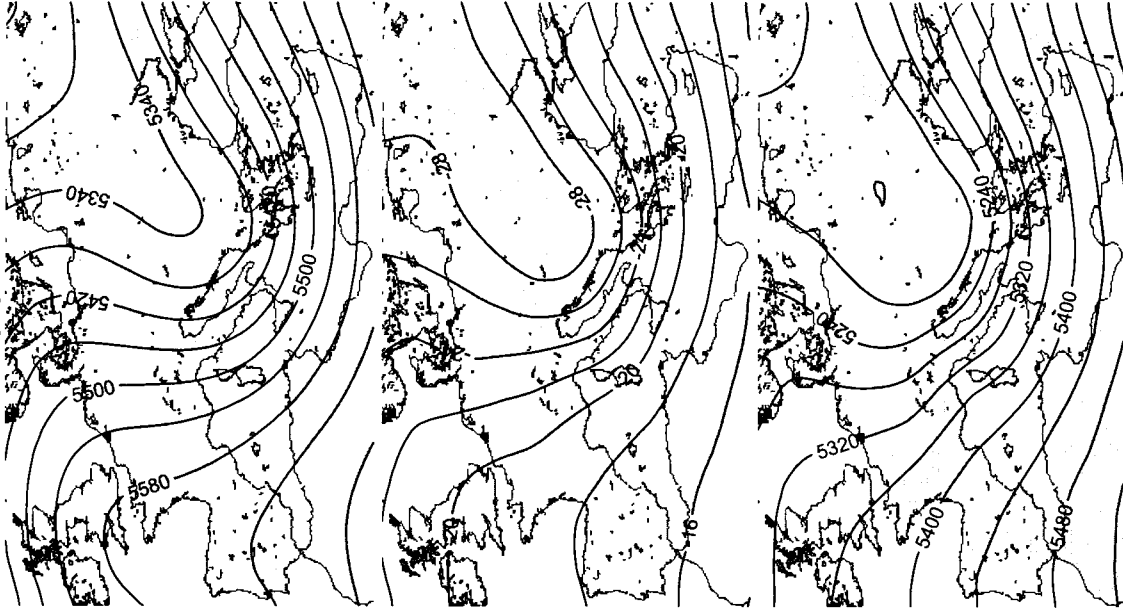
Γενικά, από την παρούσα διατριβή προκύπτει ότι πολλοί τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν τις χιονοπτώσεις στην Ελλάδα, αν και διαφέρουν ως προς την ένταση και την ακριβή θέση των συστημάτων πίεσης πριν την έναρξη των επεισοδίων κατά την ημέρα έναρξης και μετά το πέρας των επεισοδίων τόσο στην κατώτερη όσο και στη μέση τροπόσφαιρα, ωστόσο χαρακτηρίζονται στην κατώτερη τροπόσφαιρα από την παρουσία ενός αντικυκλώνα στη δυτική ή κεντρική Ευρώπη και μίας ύφεσης στην ανατολική Μεσόγειο. Παρόμοια περιγράφεται η ατμοσφαιρική κυκλοφορία στον τύπο PC3max στη μελέτη των Kostoroulou et al. (2002), η οποία συνδέεται με χαμηλές θερμοκρασίες και χιονοπτώσεις στην Ελλάδα.

Ημέρα Η-1



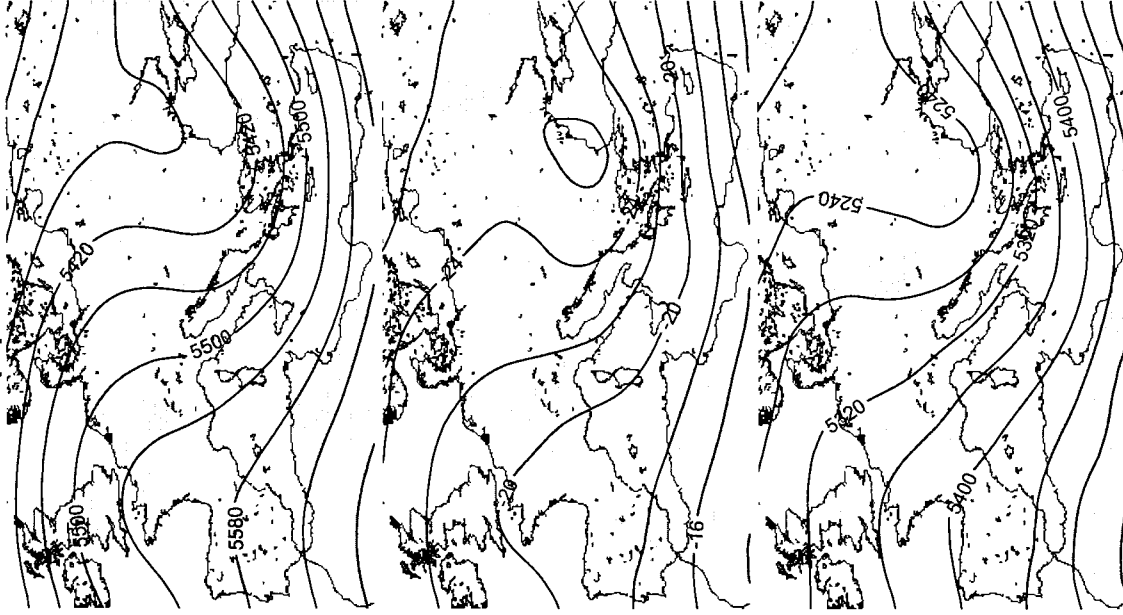
Ίσθμια 500hPa

1^η Ομάδα
Ημέρα Η



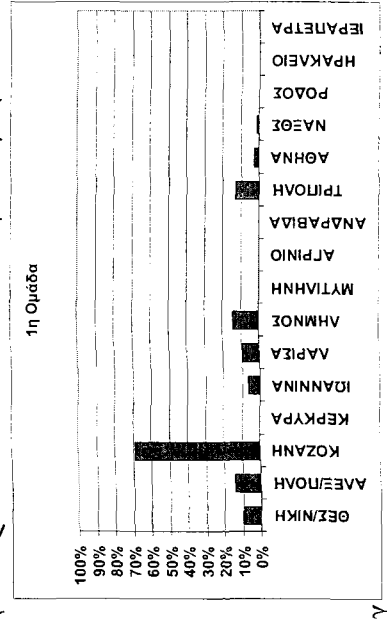
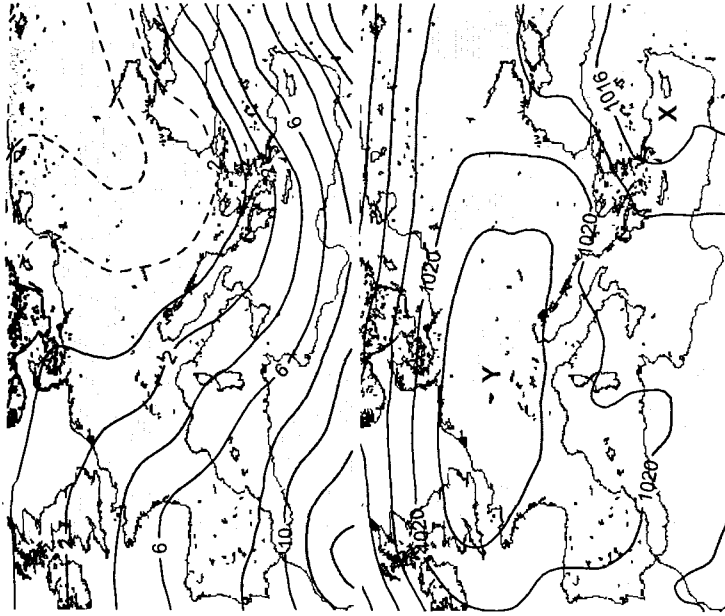
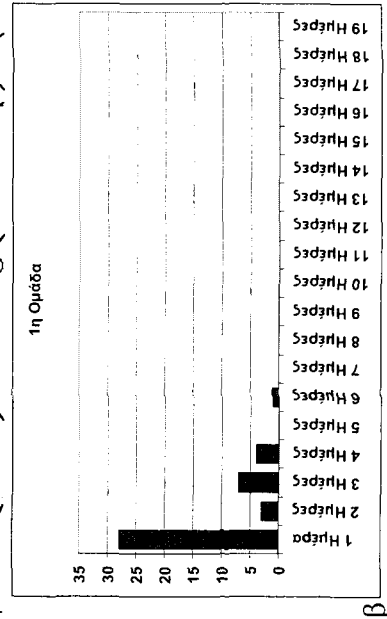
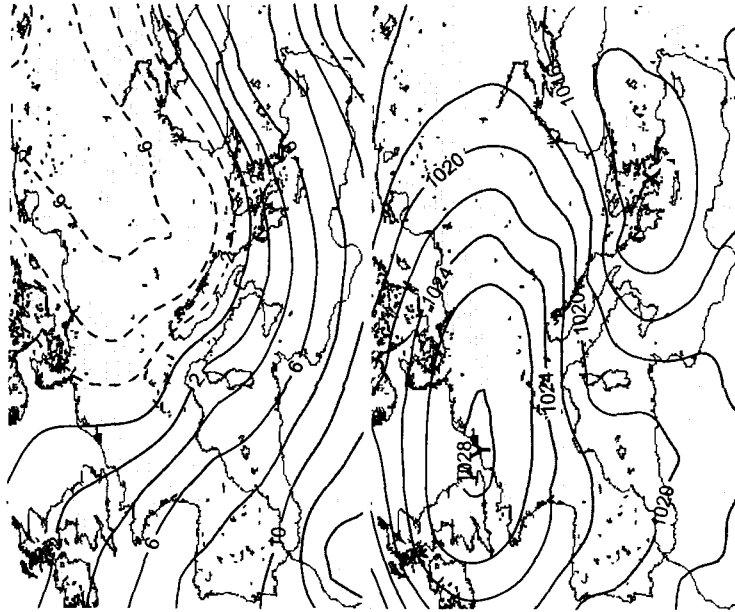
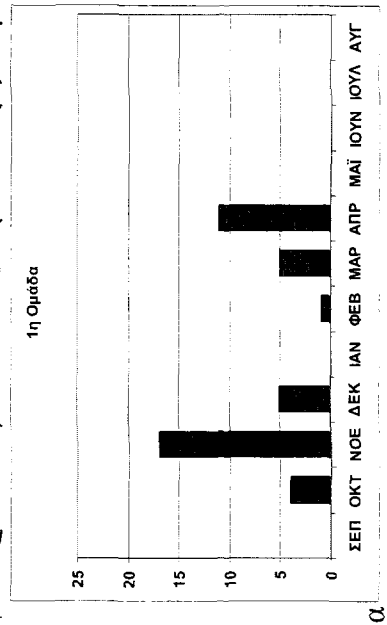
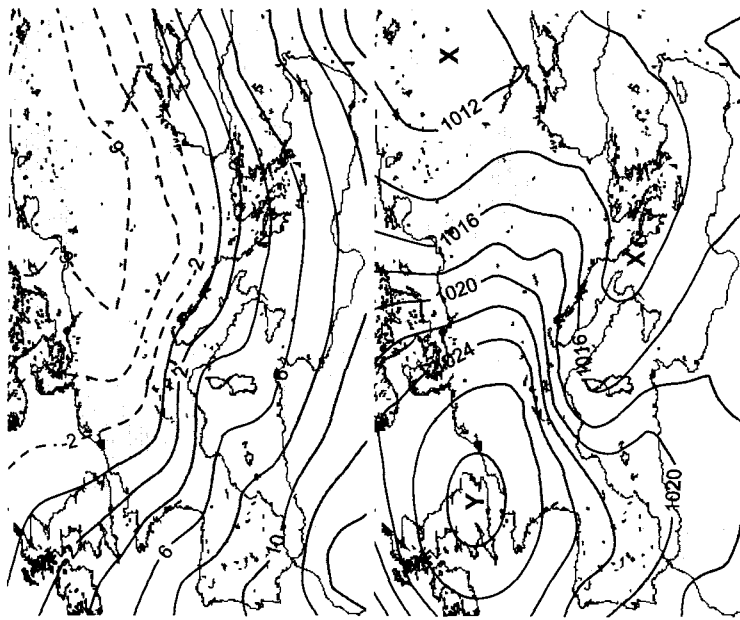
Θερμοκρασία 500hPa

Ημέρα ΛΗΞΗΣ



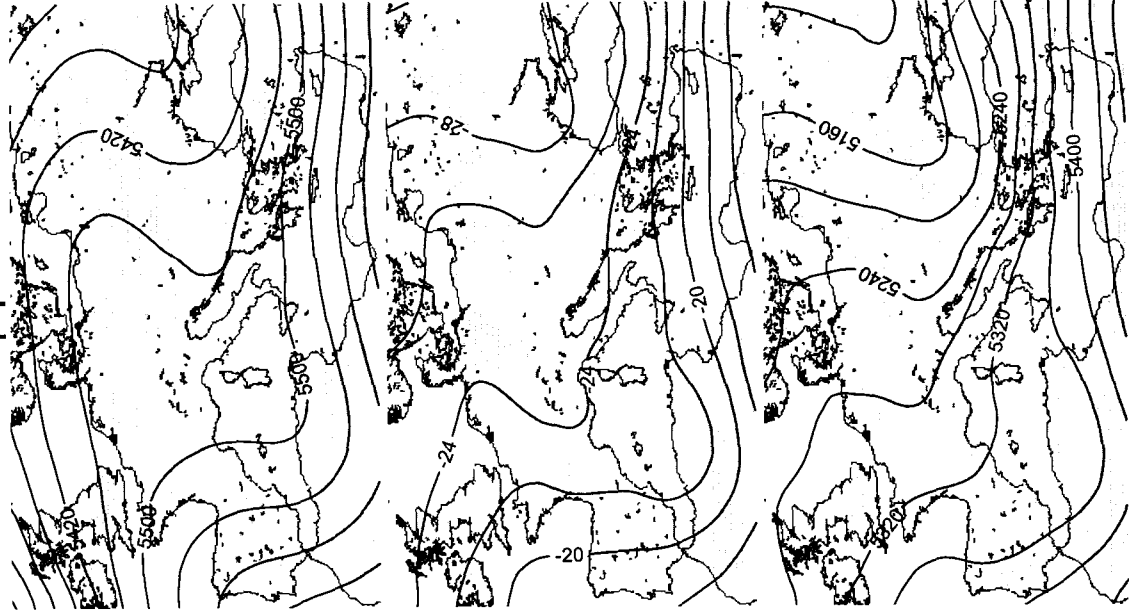
Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 6.9 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

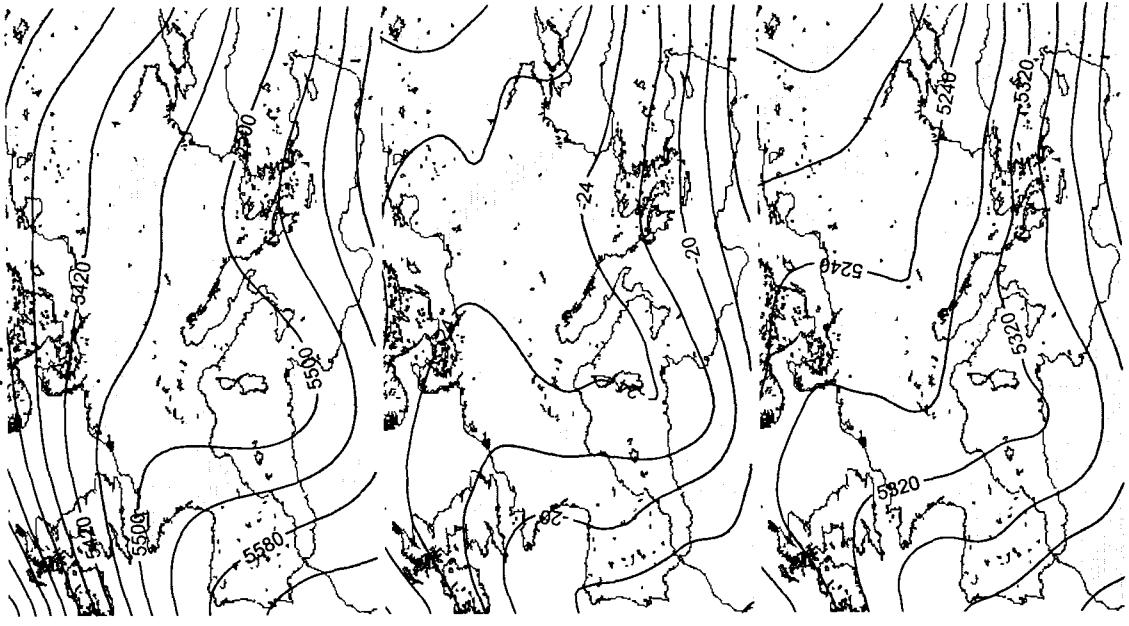


Σχήμα 6.9 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, που δείχνουν τον 1^ο κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 1^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 1^{ης} Ομάδας.

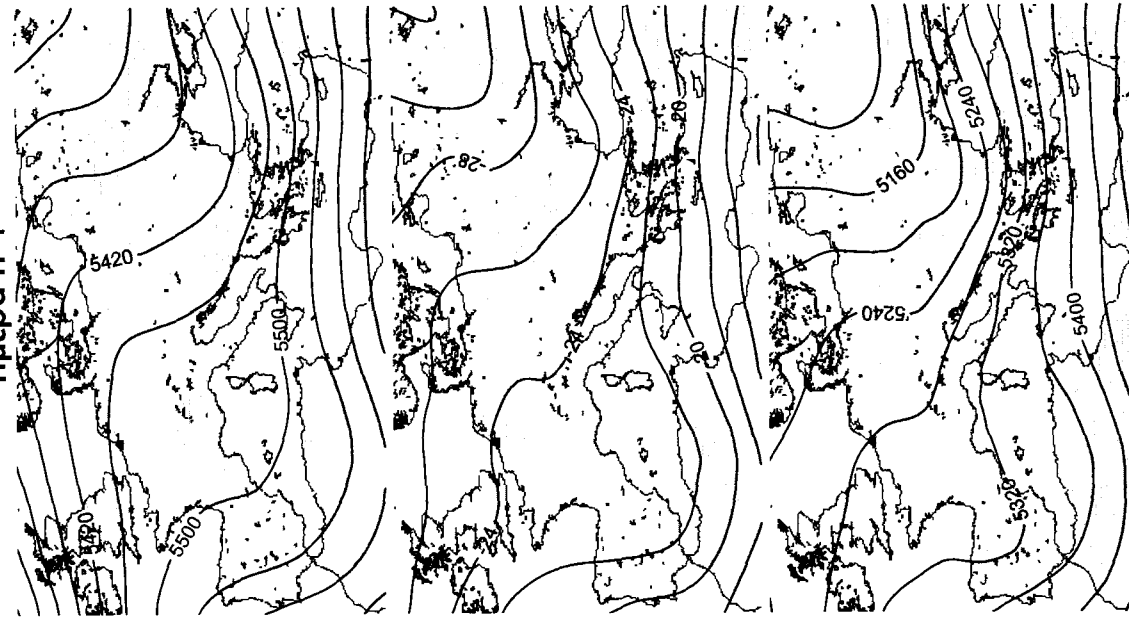
2^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα ΛΙΞΗΣ



Ημέρα Η-1

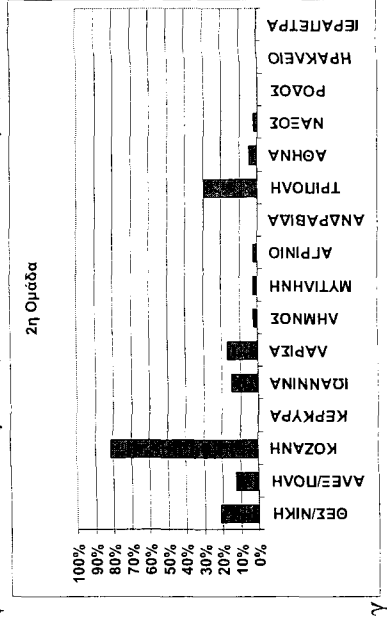
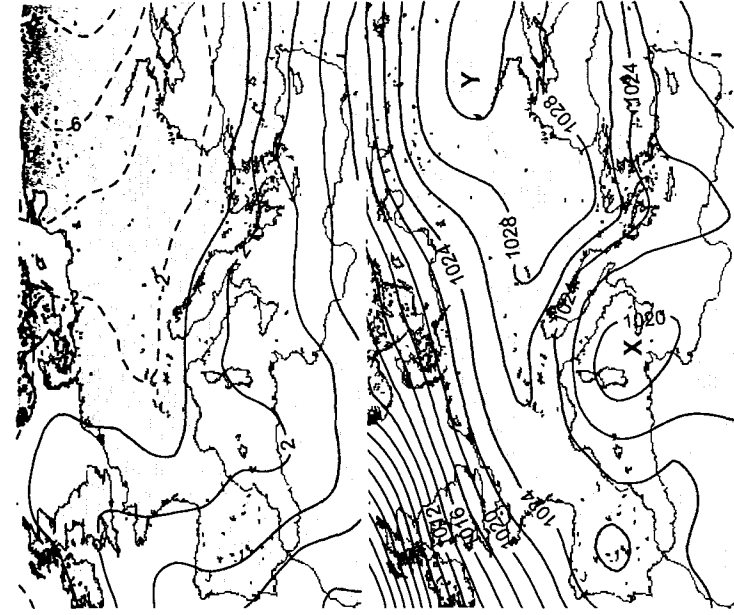
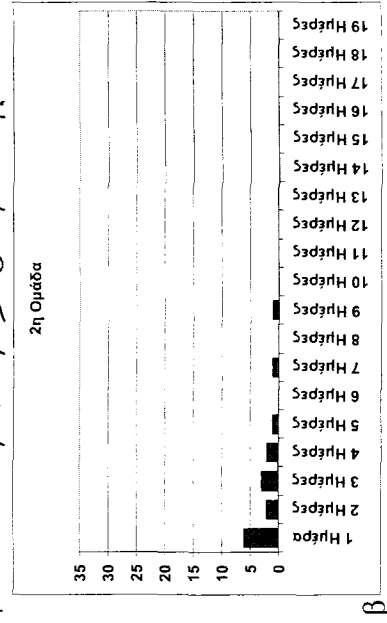
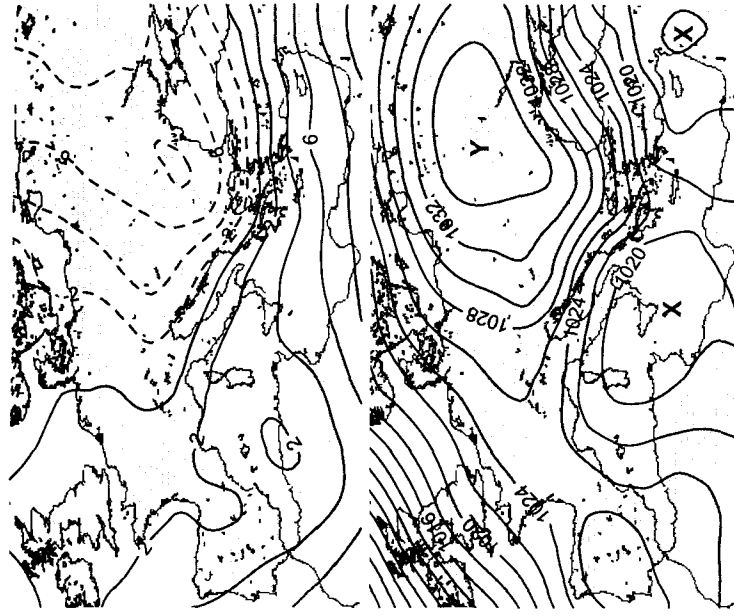
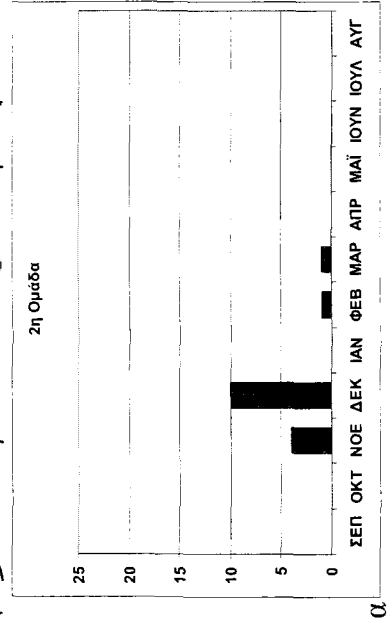
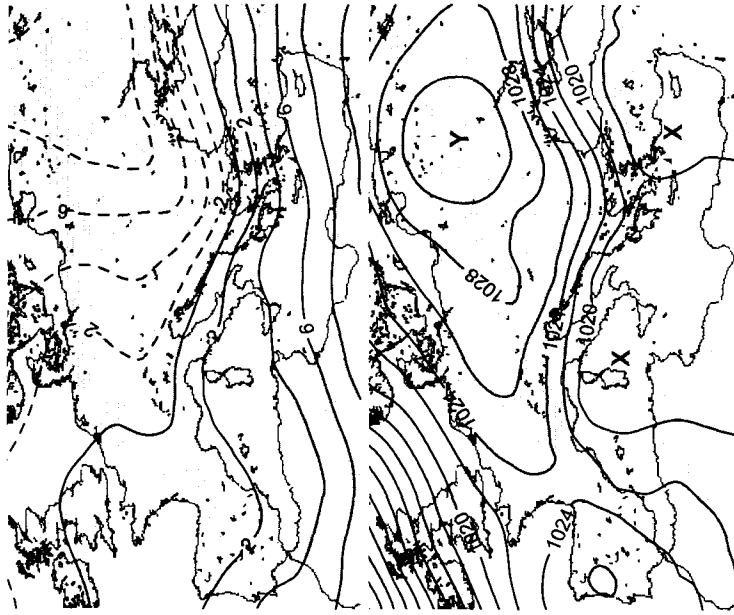


Υψόμετρο 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 6.10 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιμέλεια 850hp

Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ

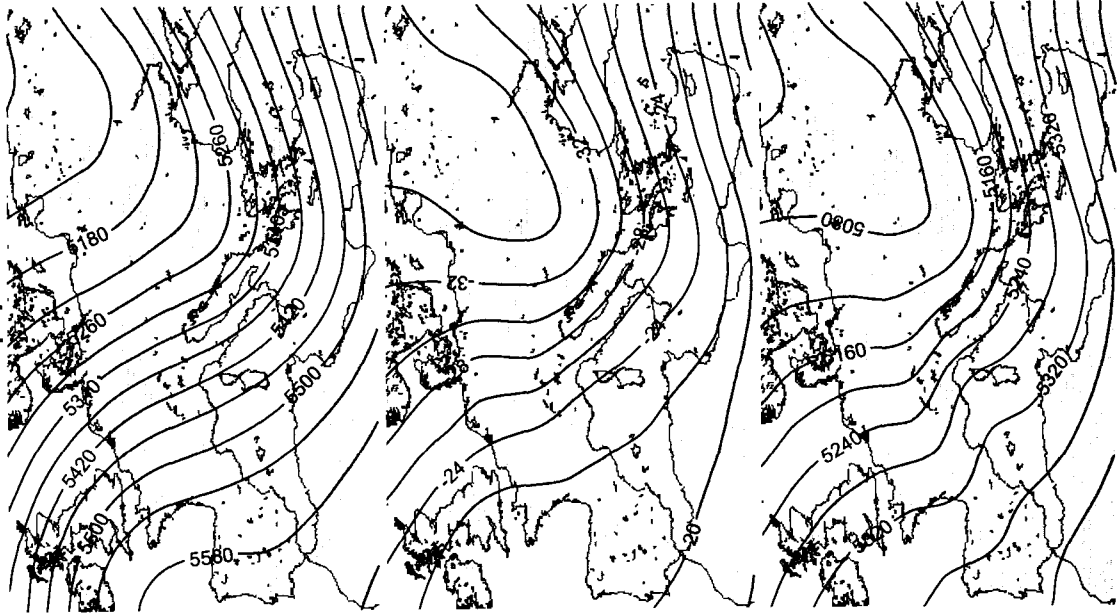
α

β

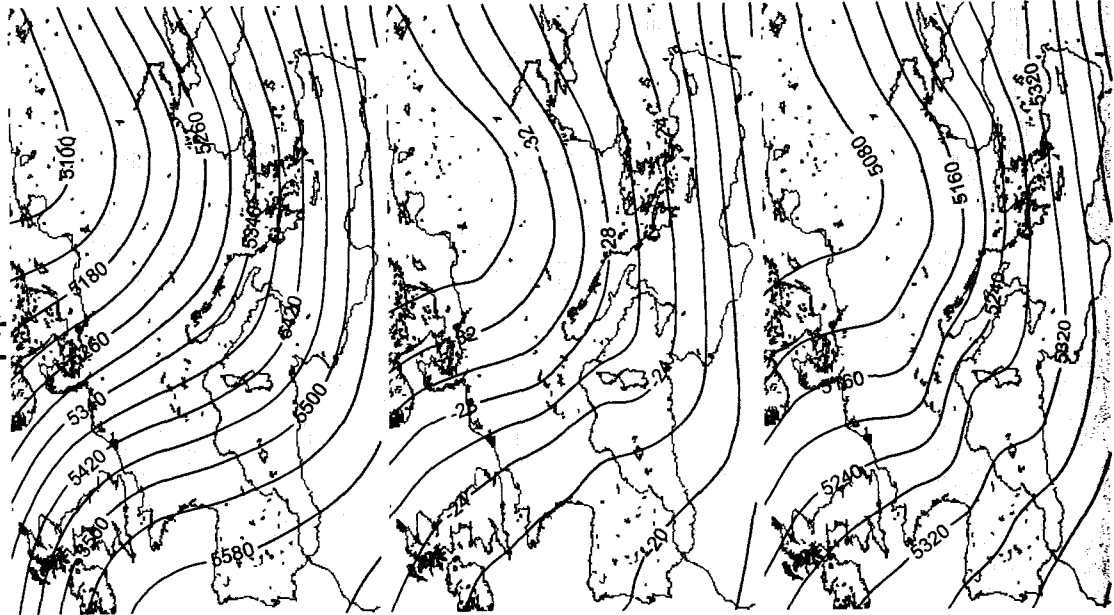
γ

Σχήμα 6.10 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές περιόδους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 2° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 2^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 2^{ης} Ομάδας.

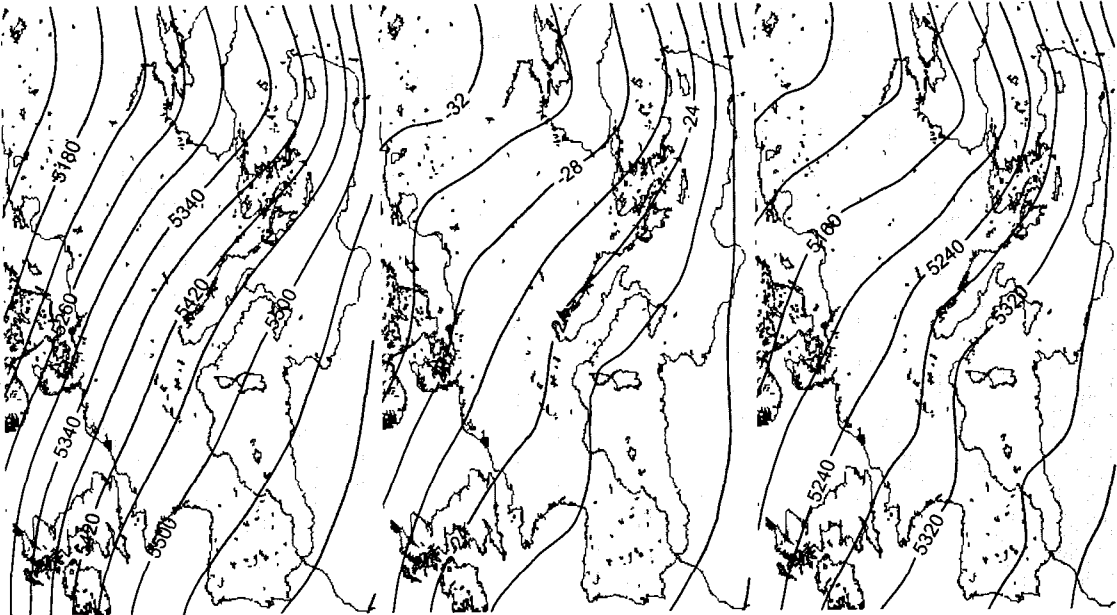
3η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

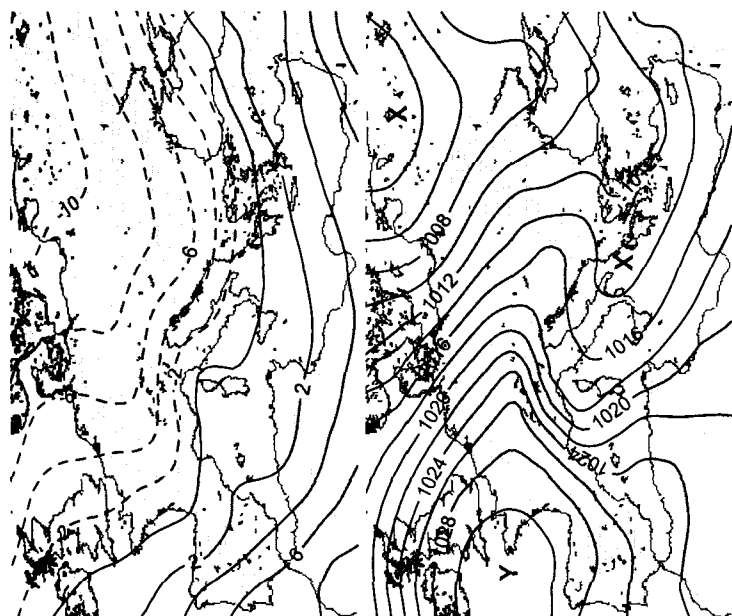


Στάθμη 500hPa

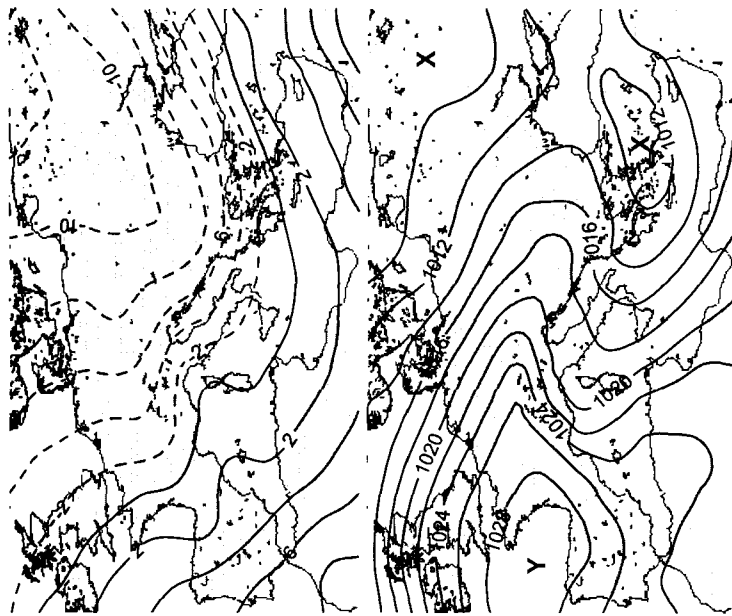
Επιτοκία 500hPa

Πίεση 1000-500hPa

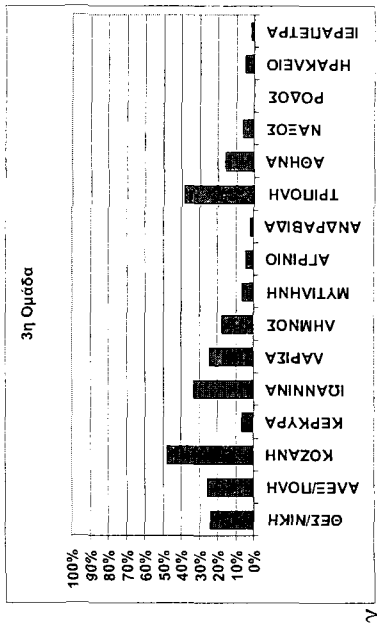
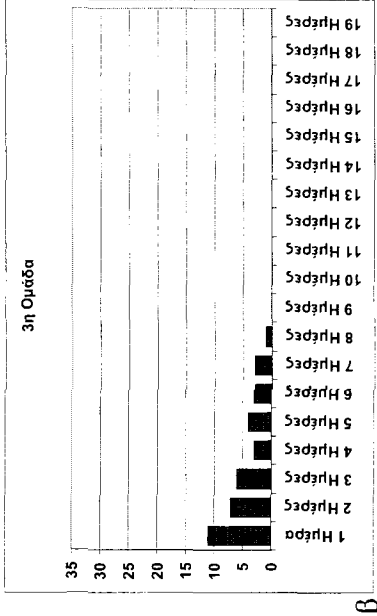
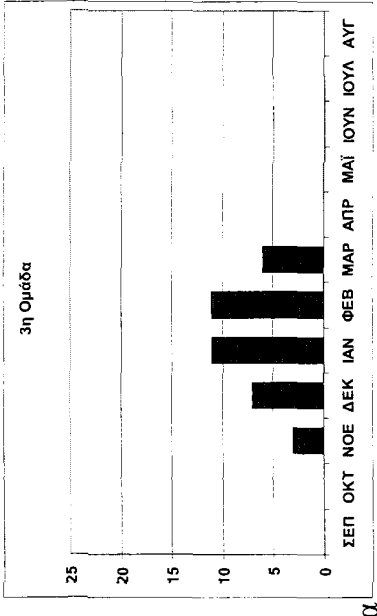
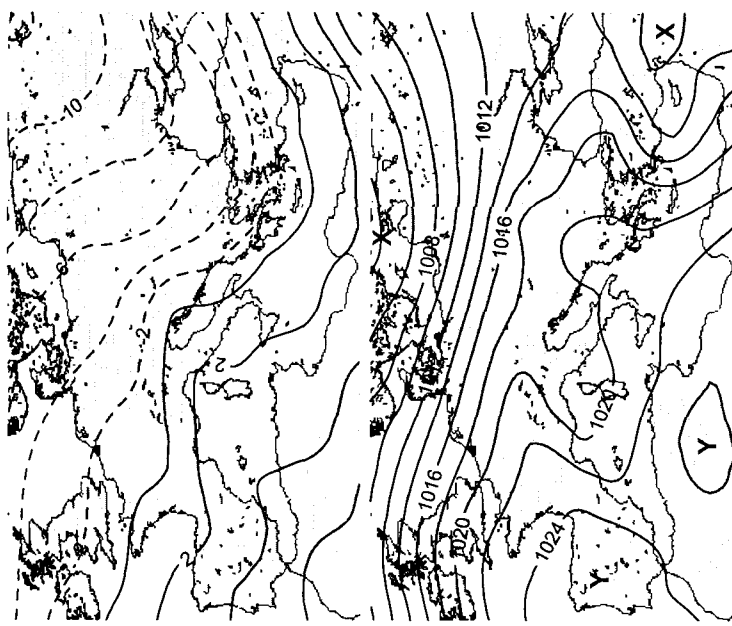
Σχήμα 6.11 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Θερμοκρασία 850hPa

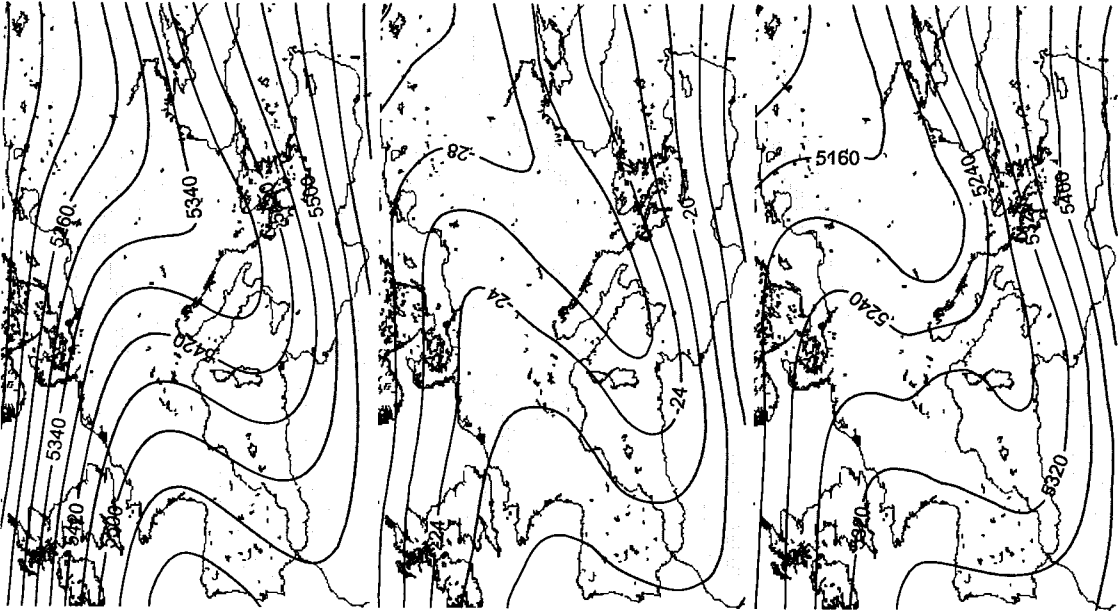


Ατμοσφαιρική πίεση MSL



Σχήμα 6.11 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η+1, για την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 3^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 3^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας.

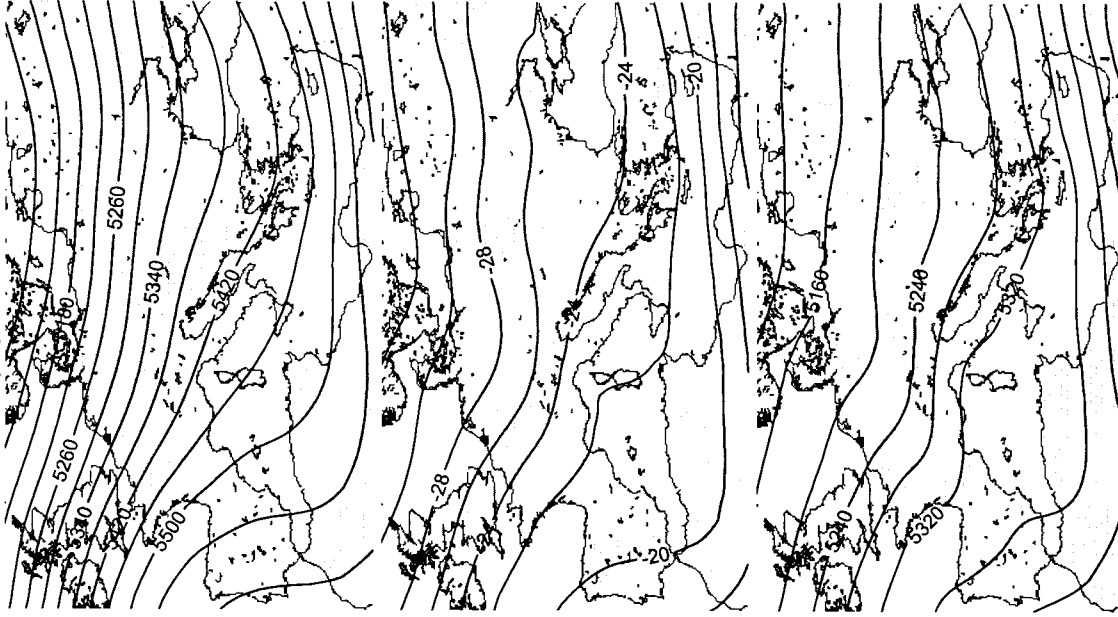
4η Ομάδα Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ημέρα ΛΗΞΗΣ

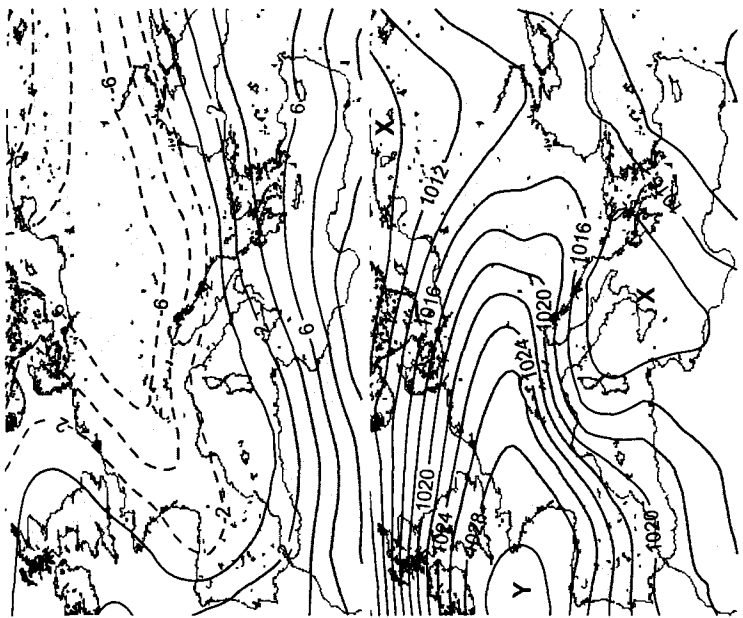


Ίσάθμν 500hPa

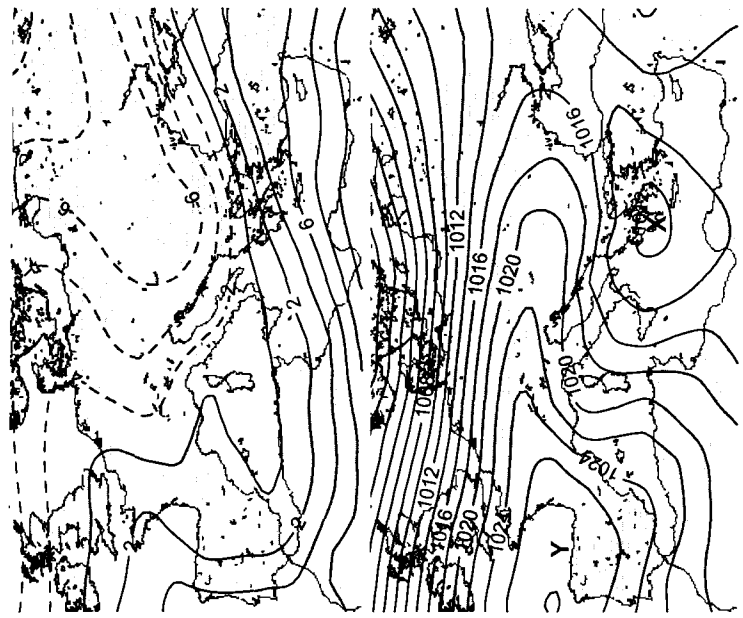
Θερμότητα 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

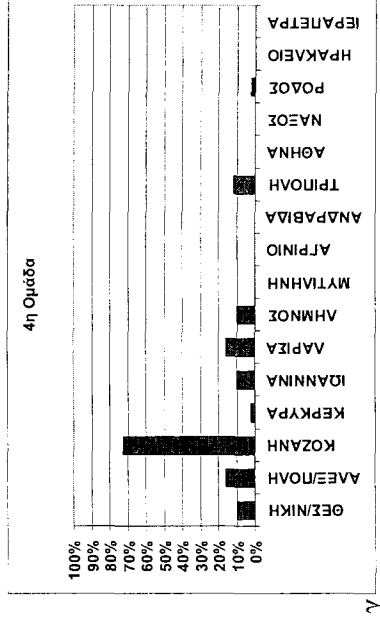
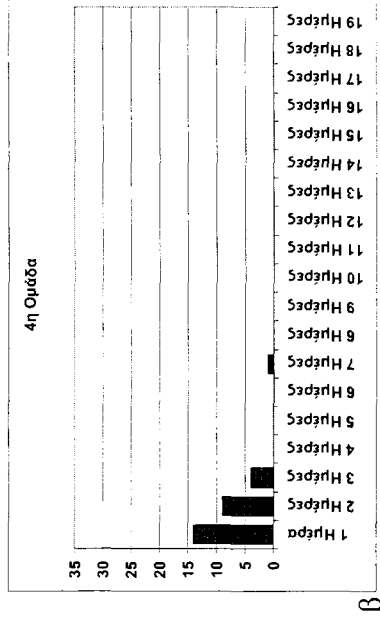
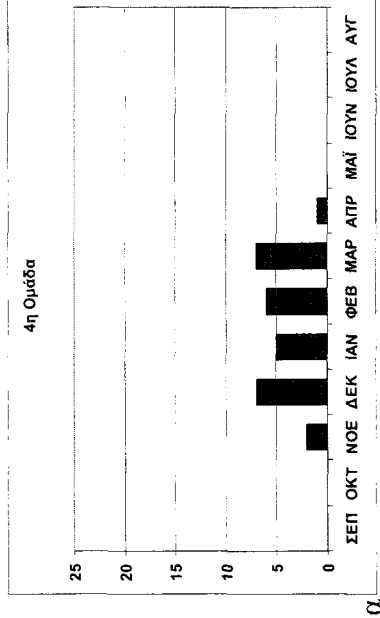
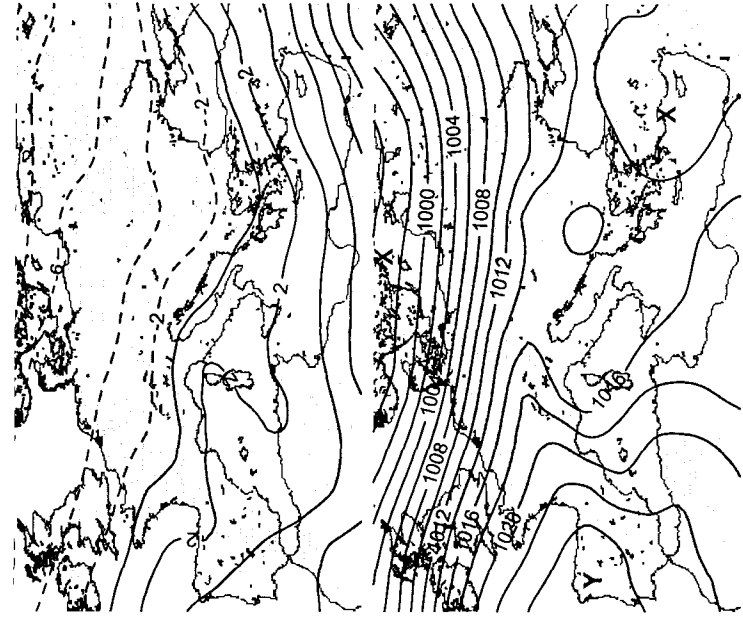
Σχήμα 6.12 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιμορφασία 850hPa

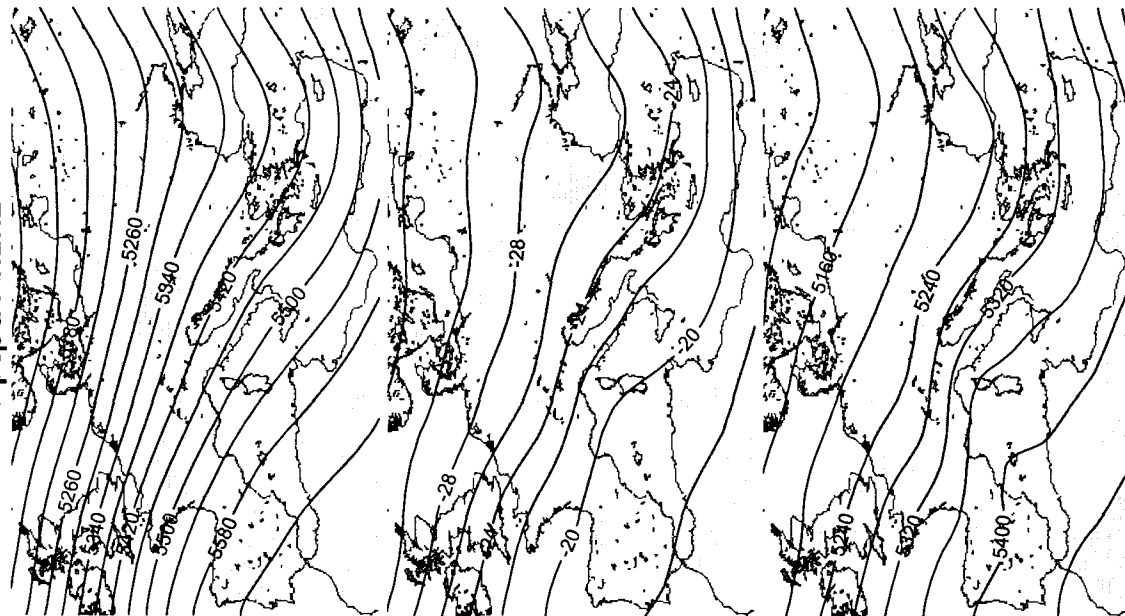


Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣθ

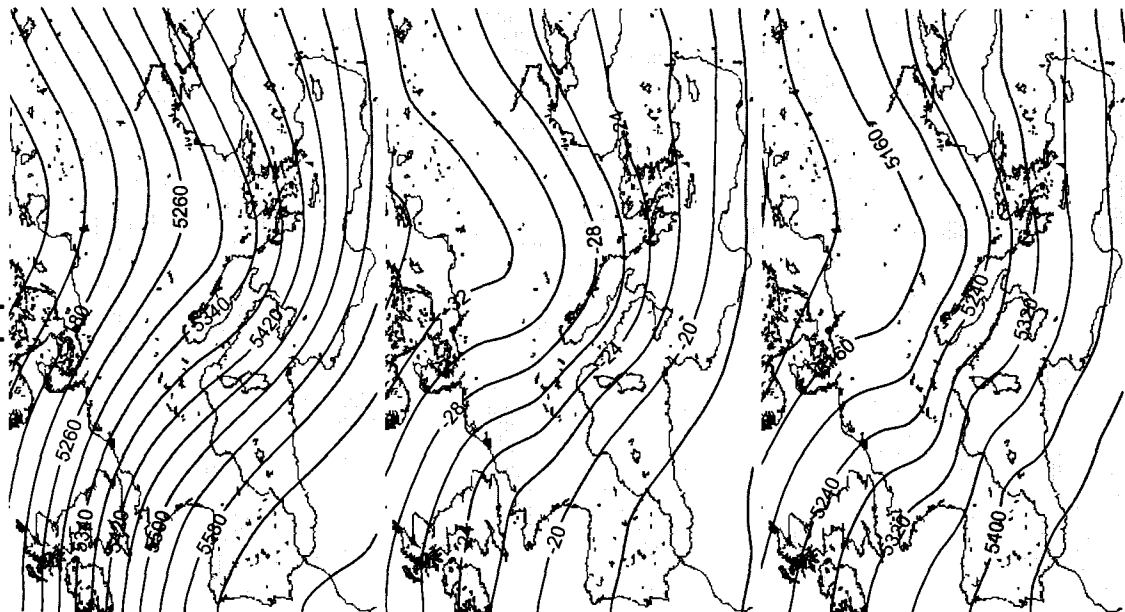


Σχήμα 6.12 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 4^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 4^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 4^{ης} Ομάδας.

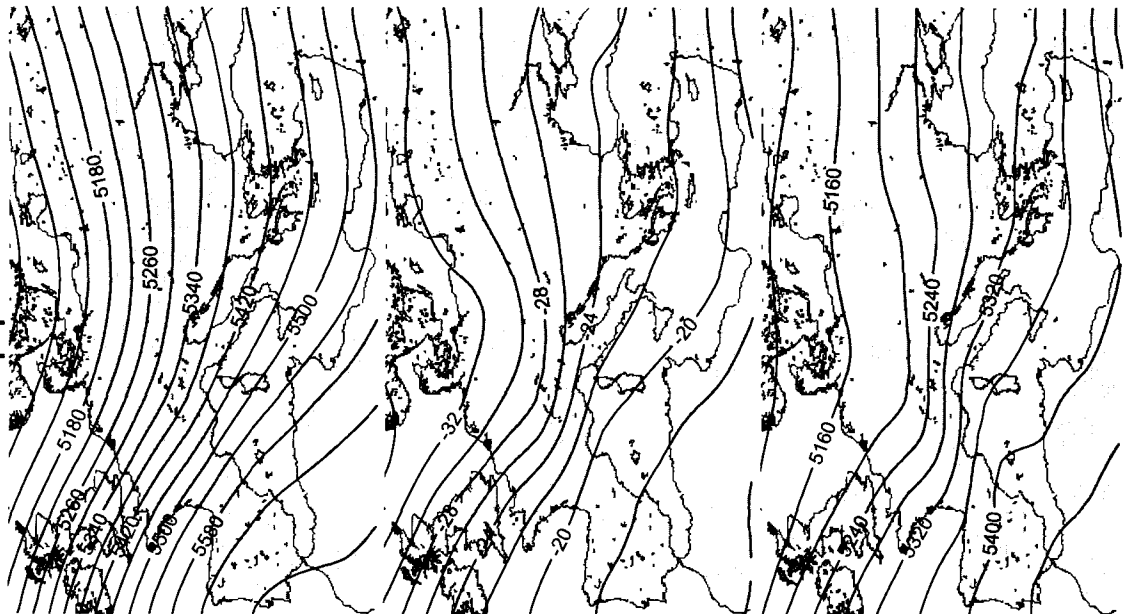
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



5η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

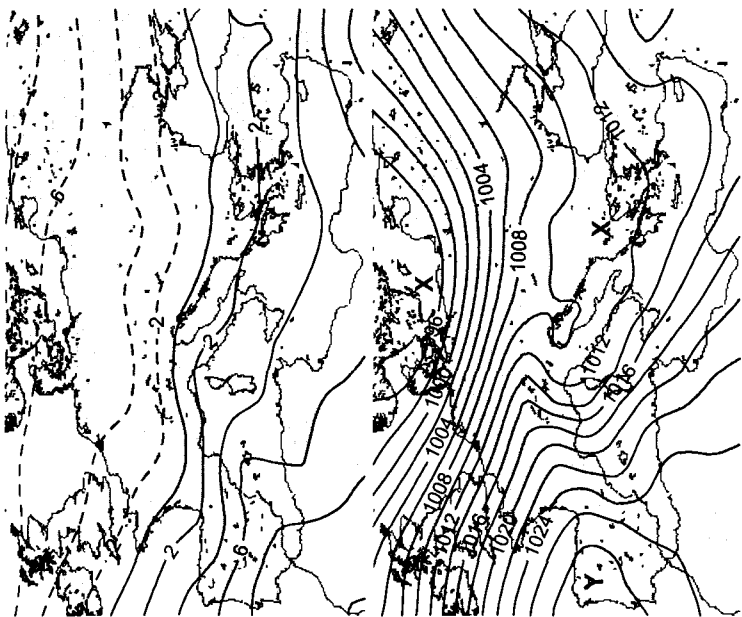


Ίσόβη 500hPa

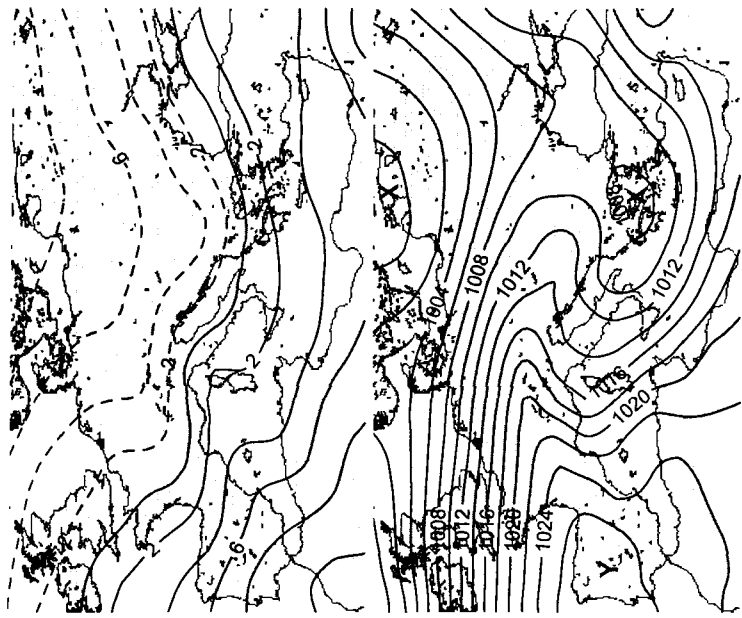
Επιμορφασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

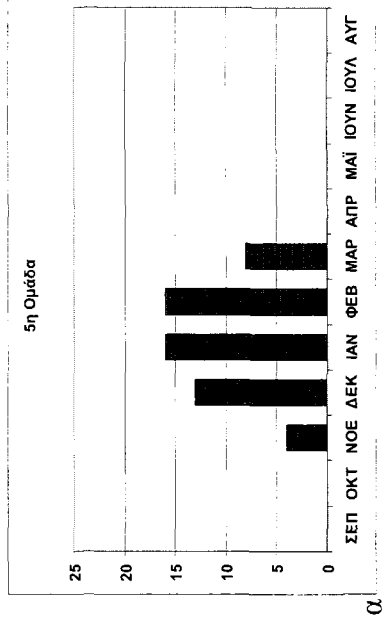
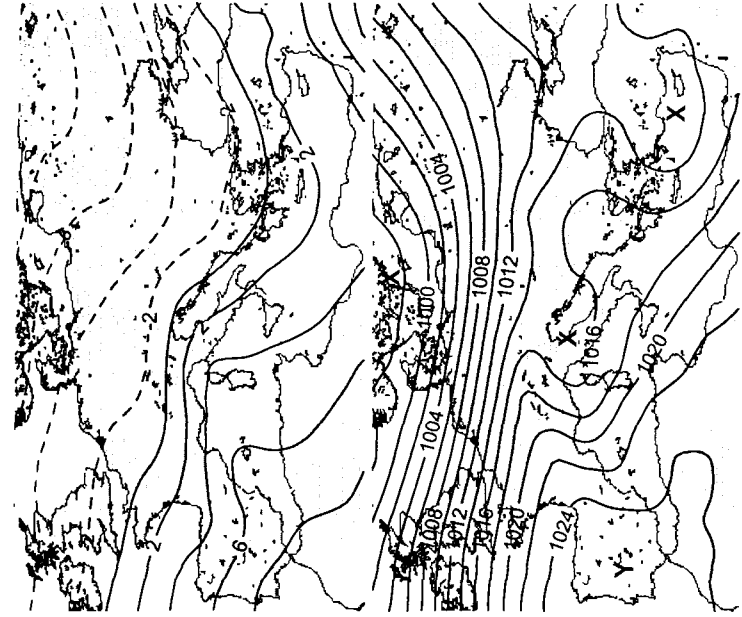
Σχήμα 6.13 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



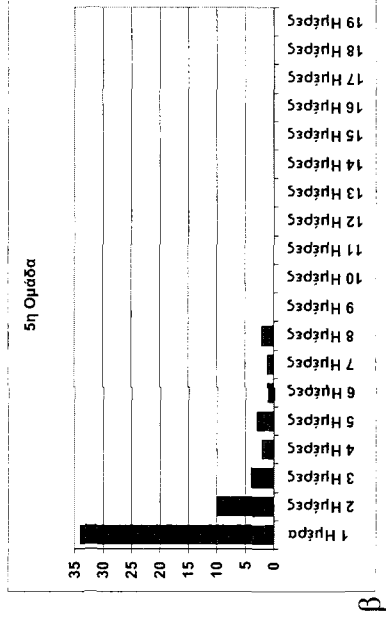
Θερμοκρασία 850hPa



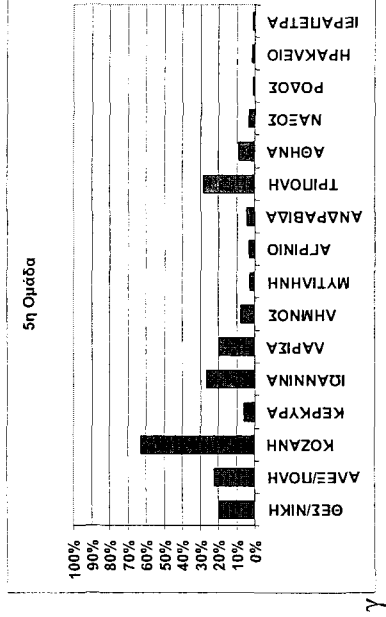
Ατμοσφαιρική πίεση MSL



α)



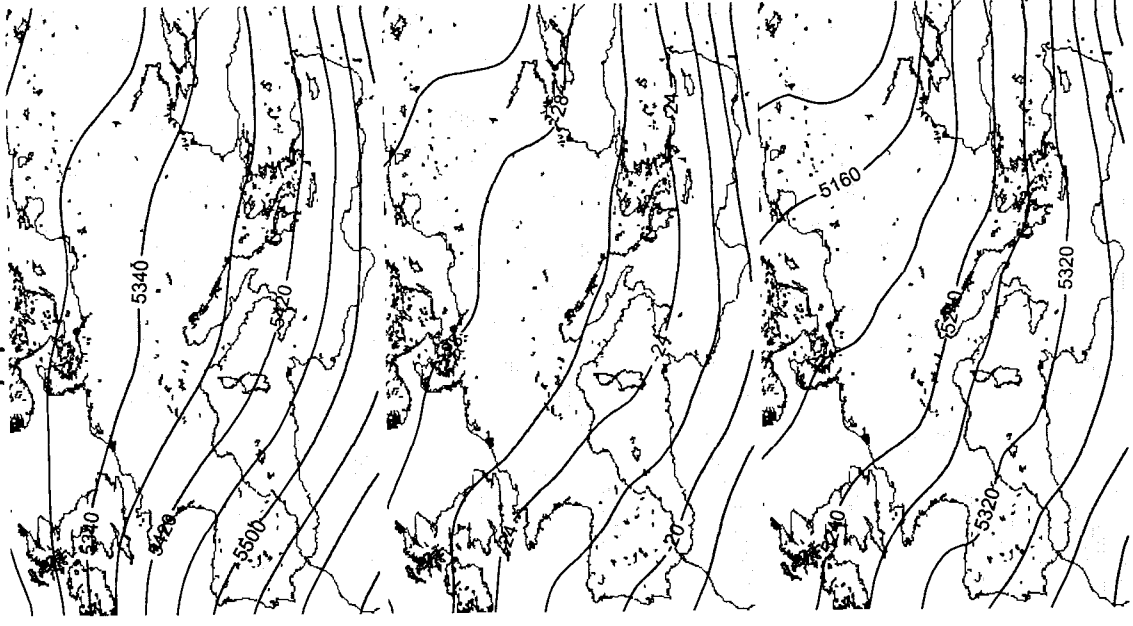
β)



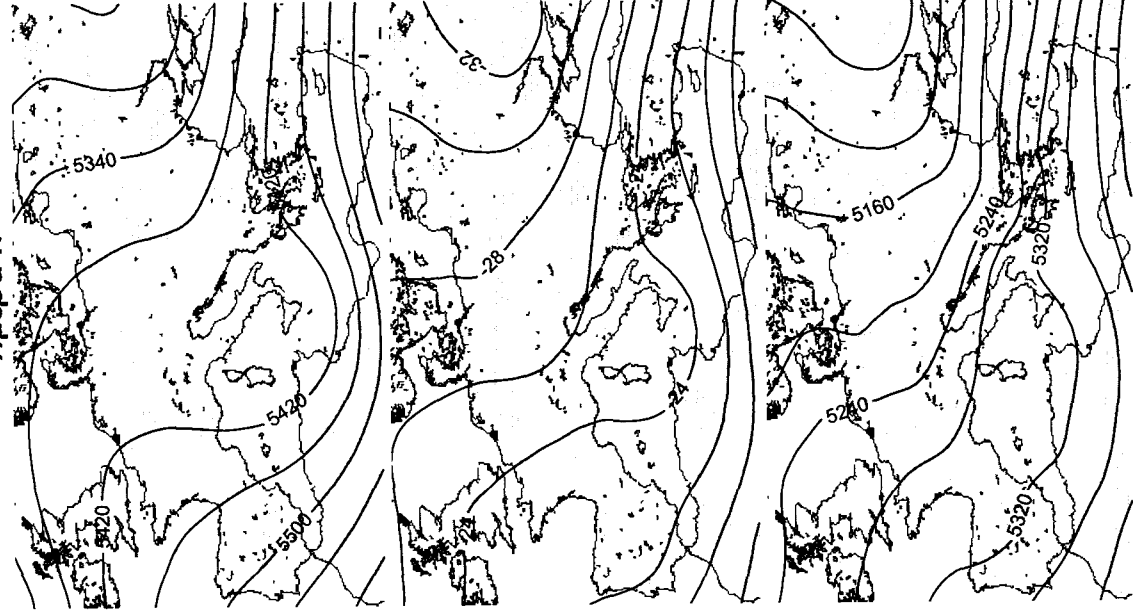
γ)

Σχήμα 6.13 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 5° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 5ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 5ης Ομάδας.

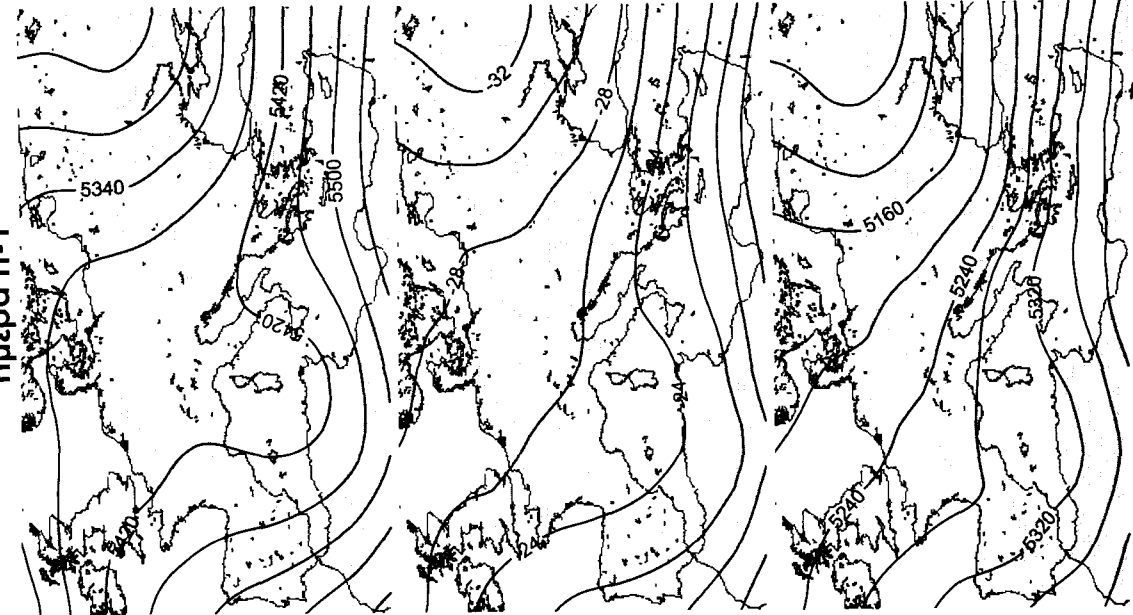
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



6η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

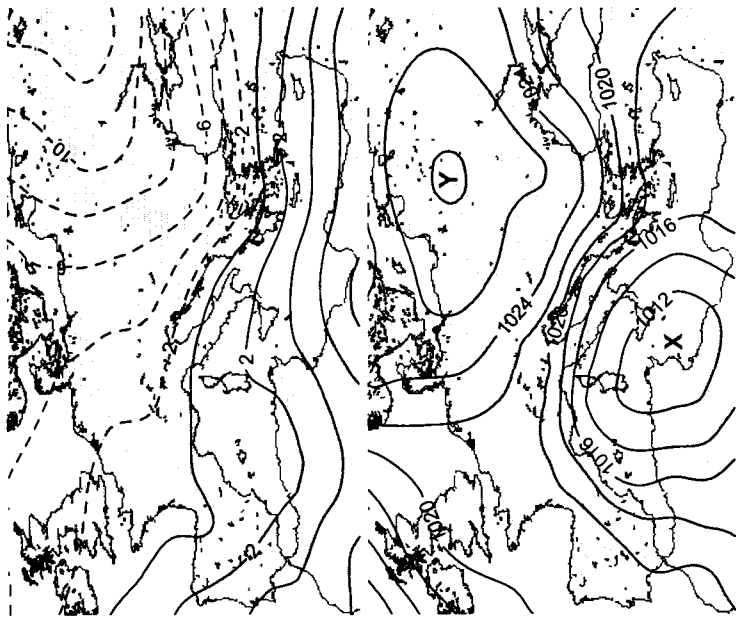


Ίσοβα 500hPa

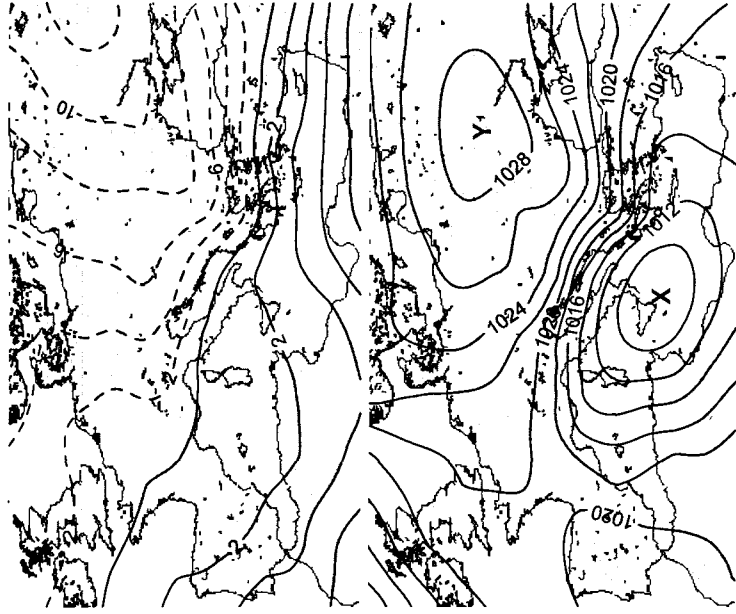
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

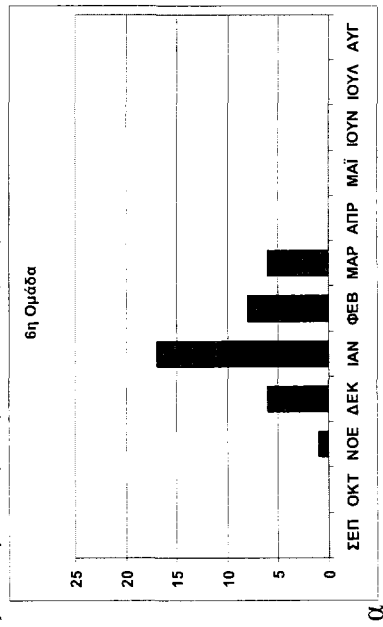
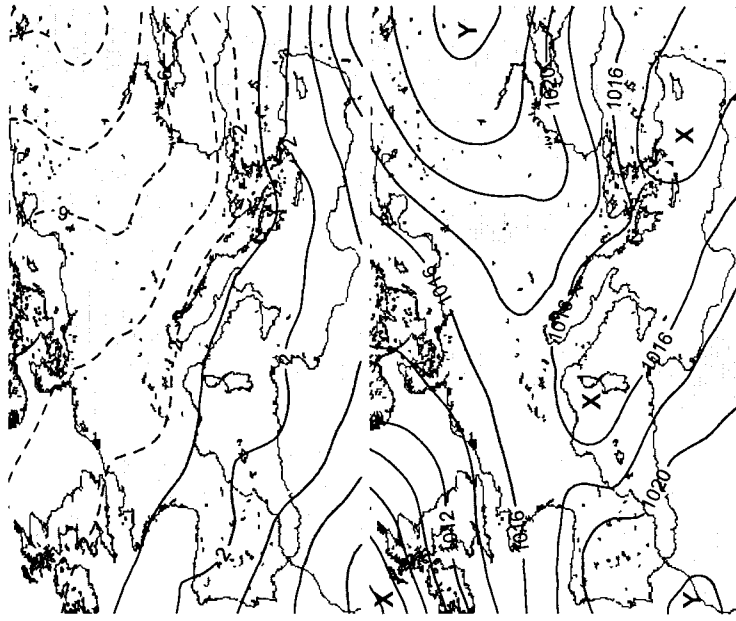
Σχήμα 6.14 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



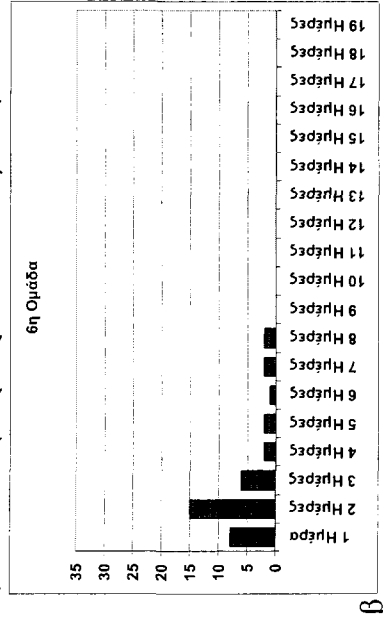
Επιμορφασία 850hPa



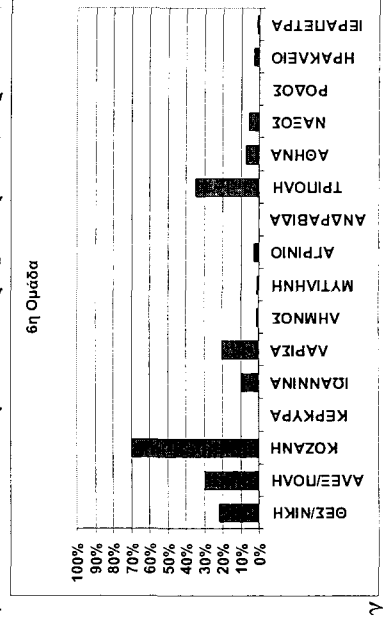
Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ



α)



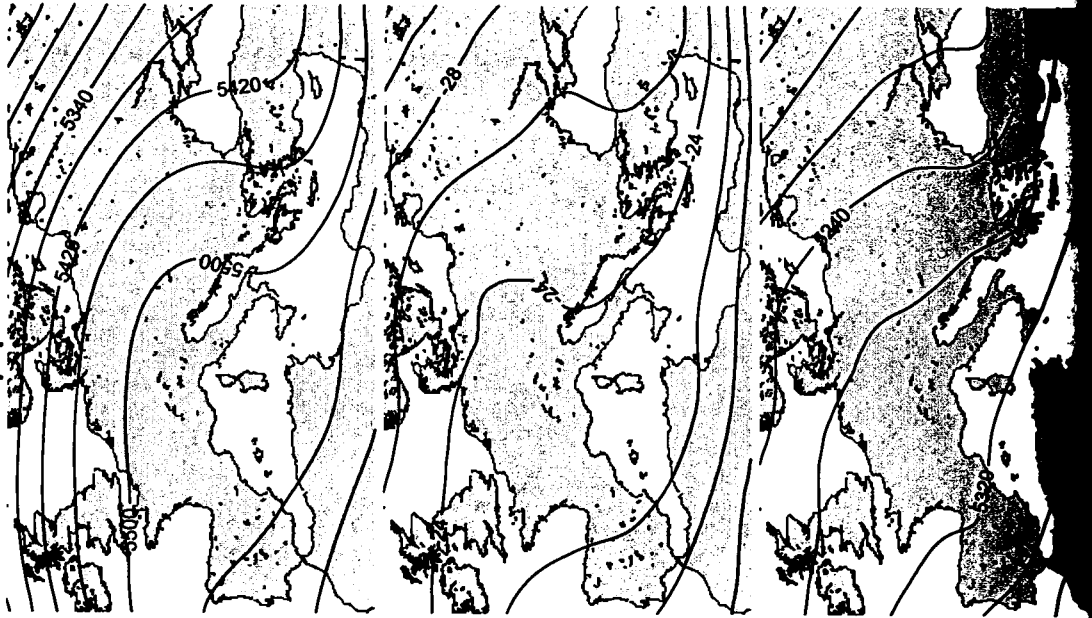
β)



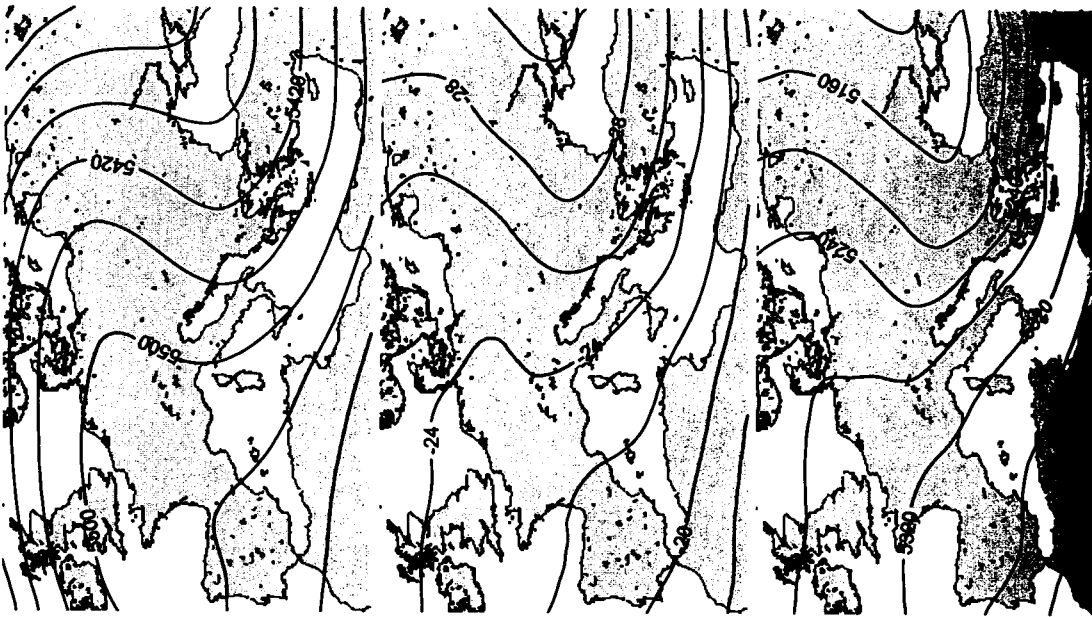
γ)

Σχήμα 6.14 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές περιόδους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 6^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 6^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας.

Ημέρα ΛΗΨΗΣ



7η Ομάδα
Ημέρα Η



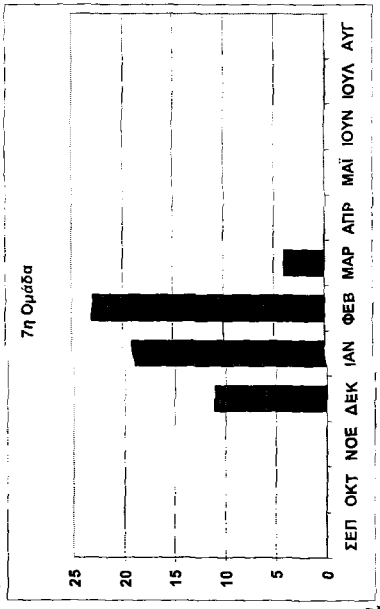
Ημέρα Η-1



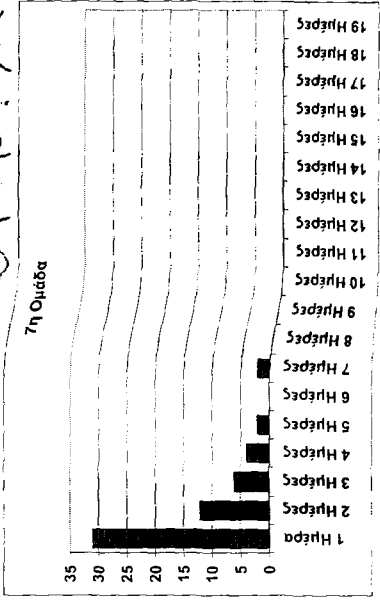
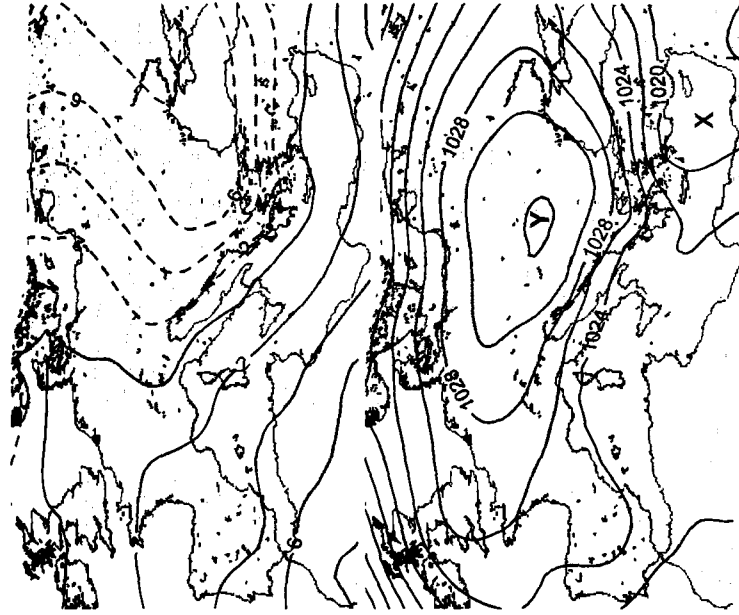
Ισθμική 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

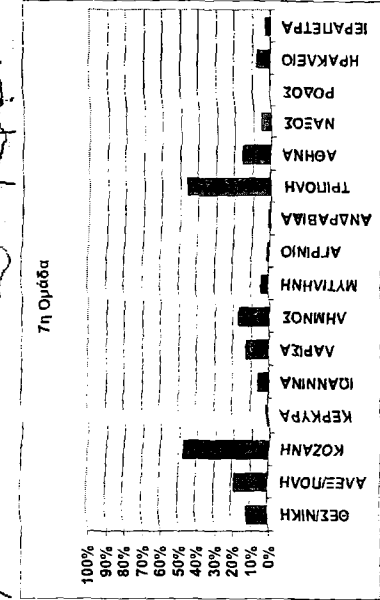
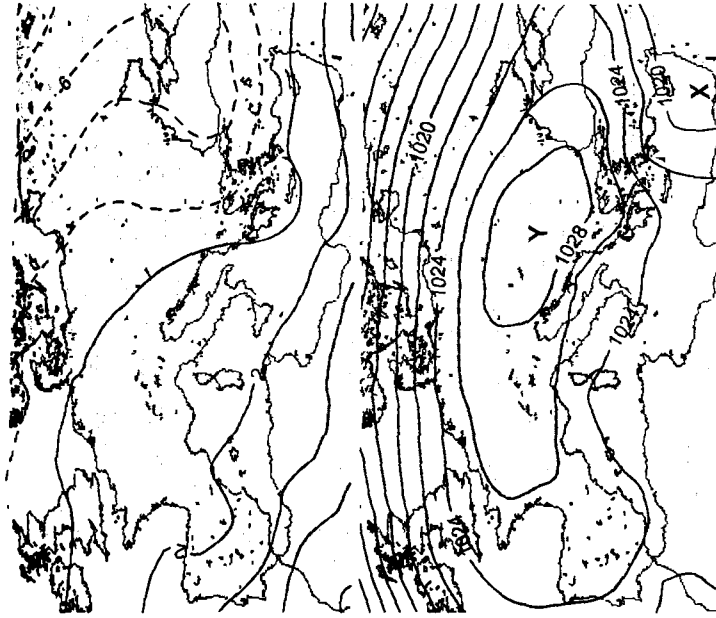
Ρύχος 1000-500hPa



α.



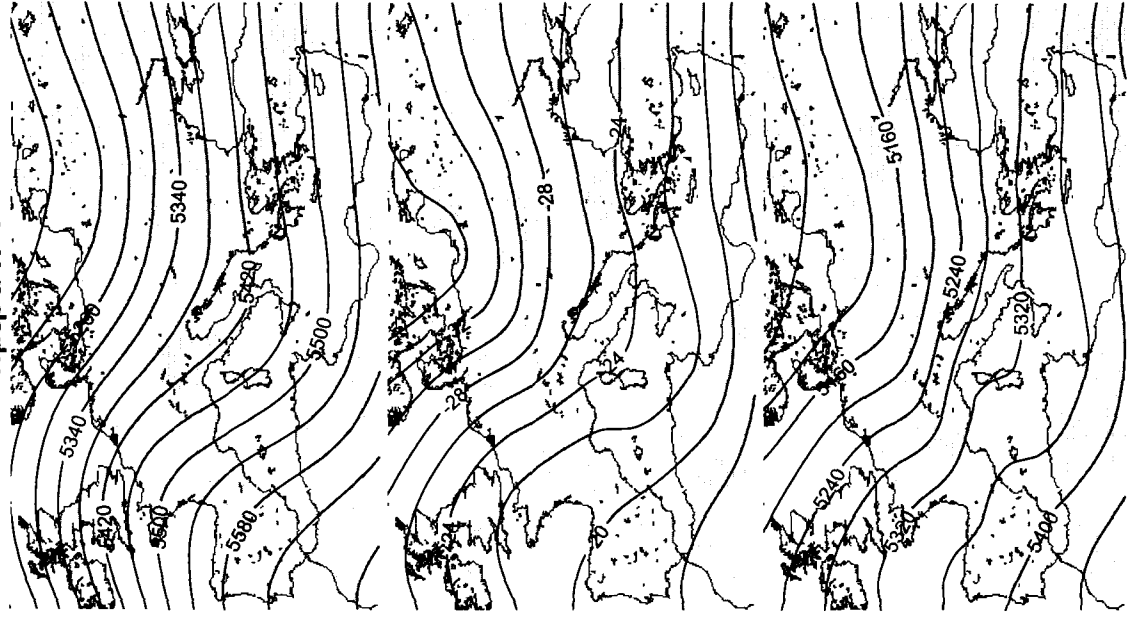
β.



γ.

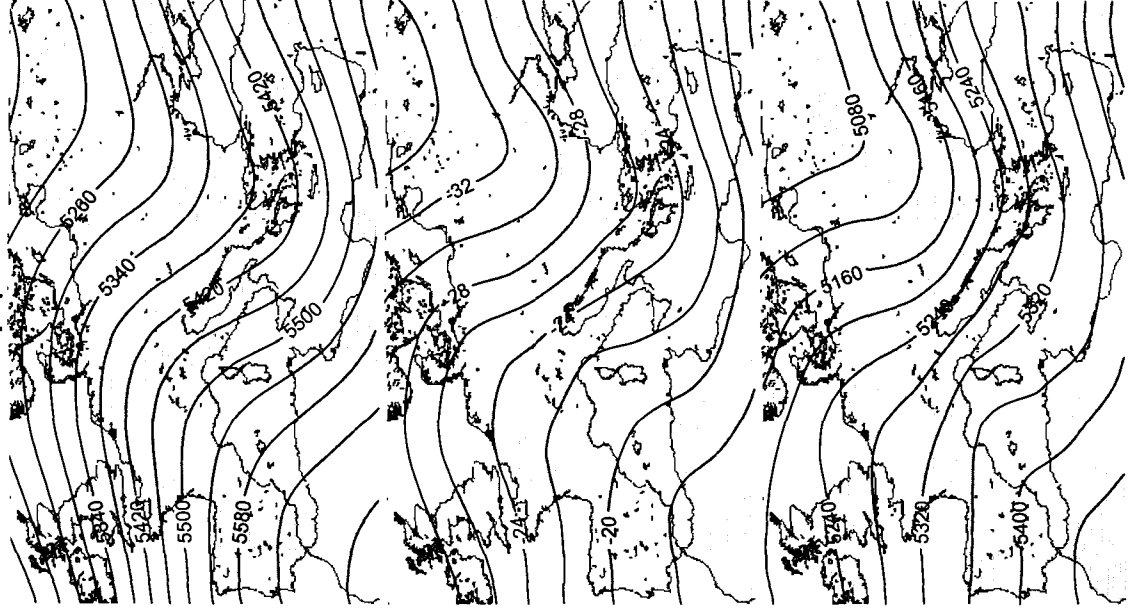
Σχήμα 6.15 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 7° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 7^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διηρέσαν τα επεισόδια της 7^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



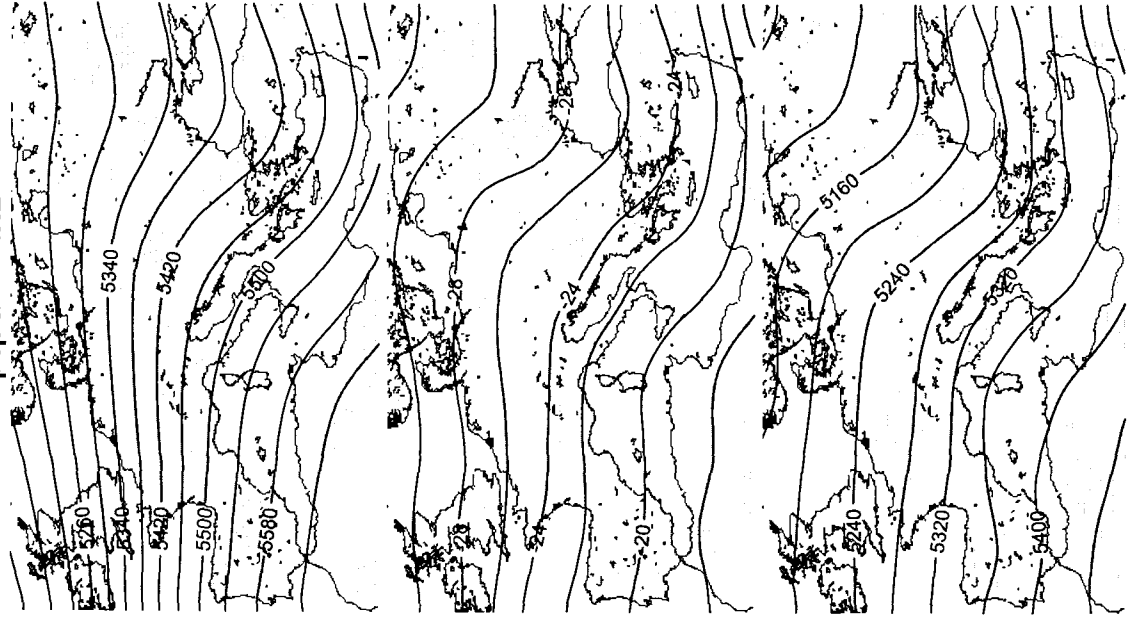
Υψόμετρο 500hPa

8η Ομάδα
Ημέρα Η



Επιφάνεια 500hPa

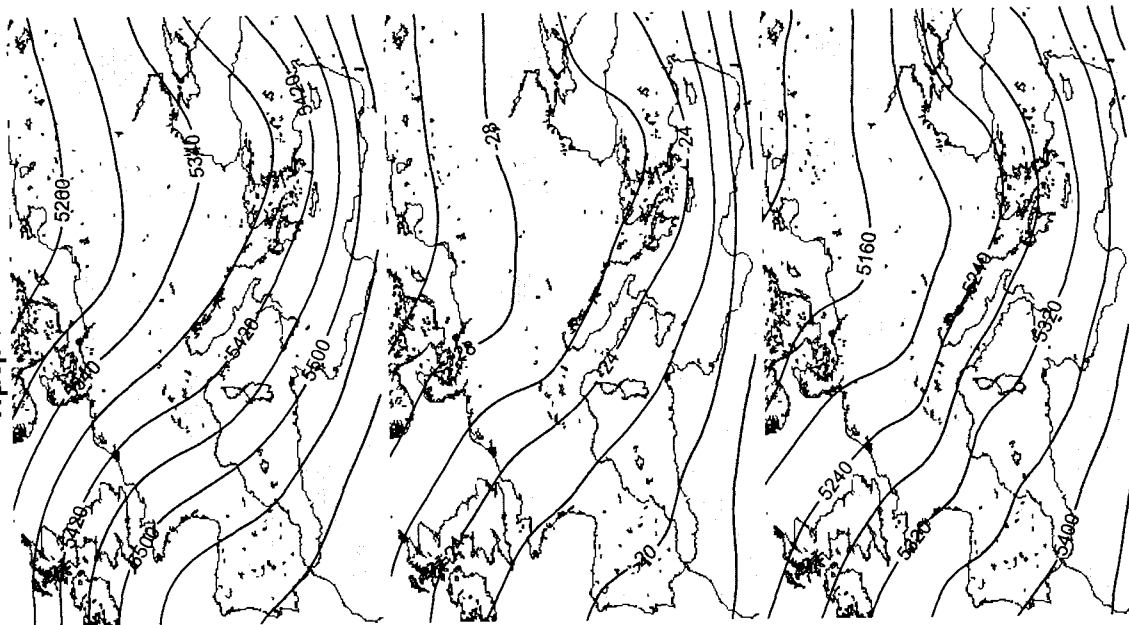
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



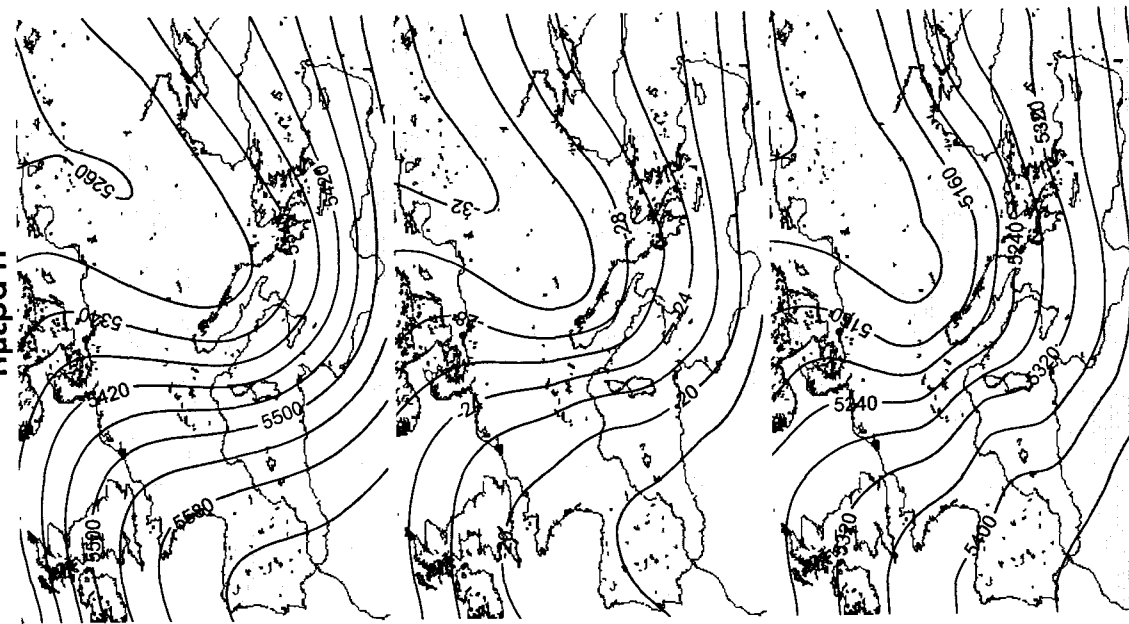
Υψόμετρο 1000-500hPa

Σχήμα 6.16 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

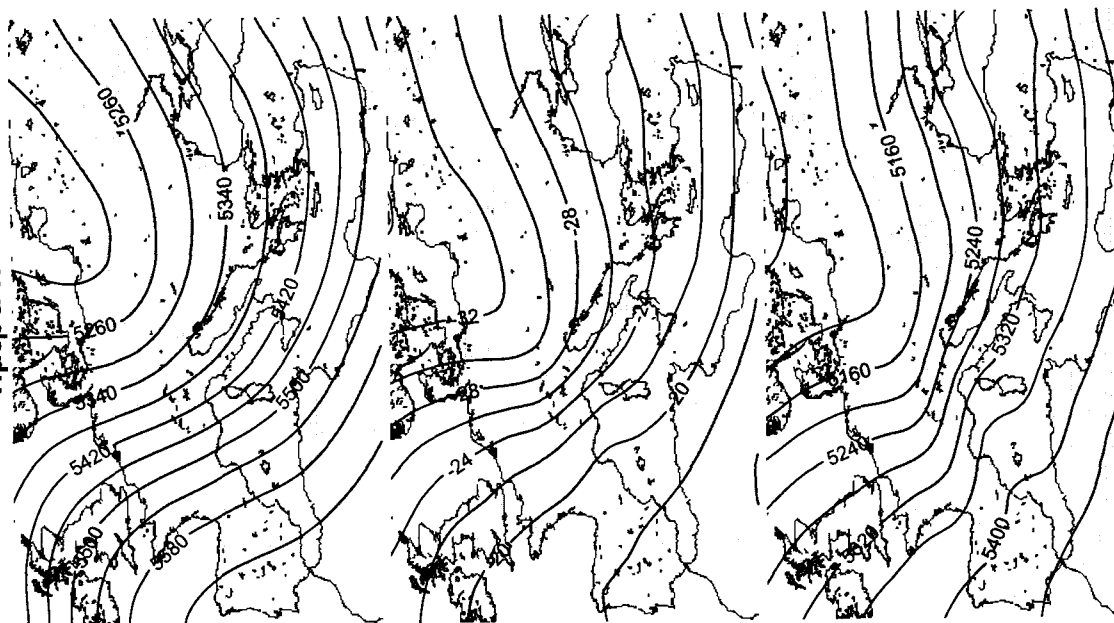
Ημέρα ΛΗΕΗΣ



9^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

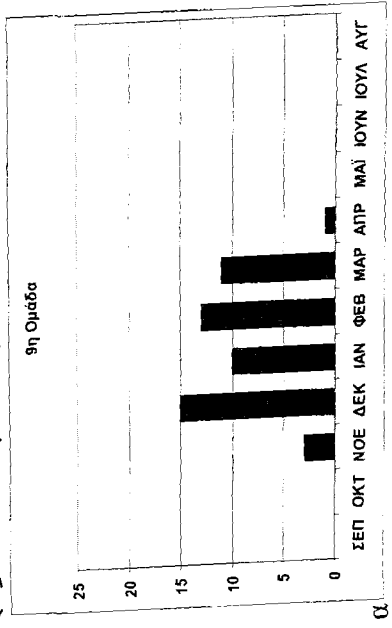
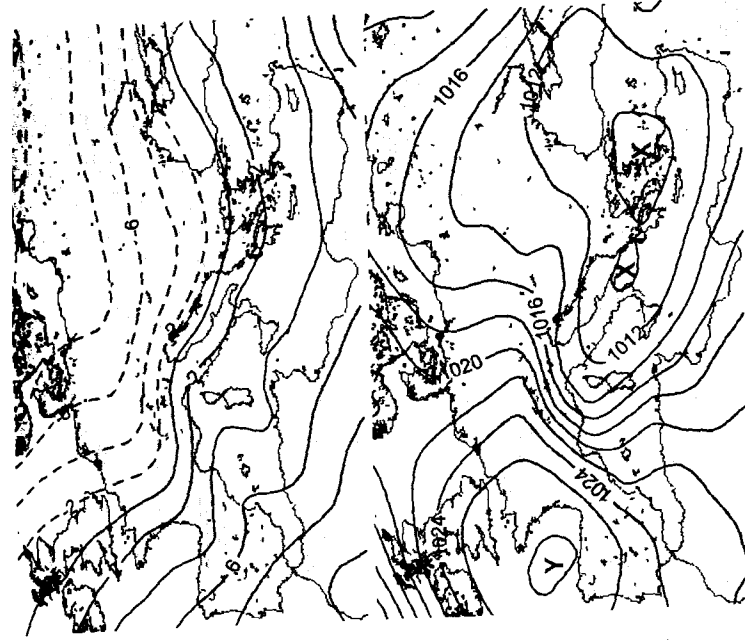
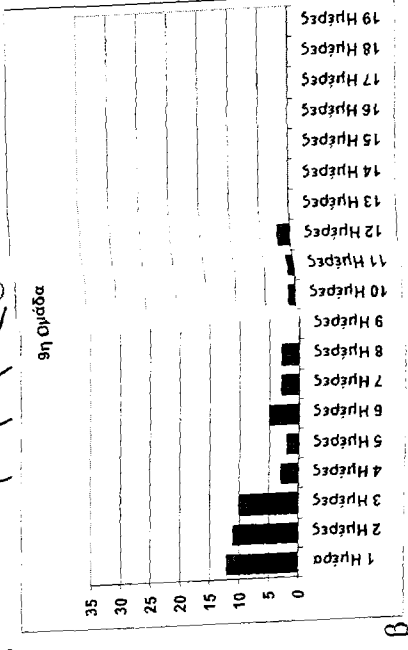
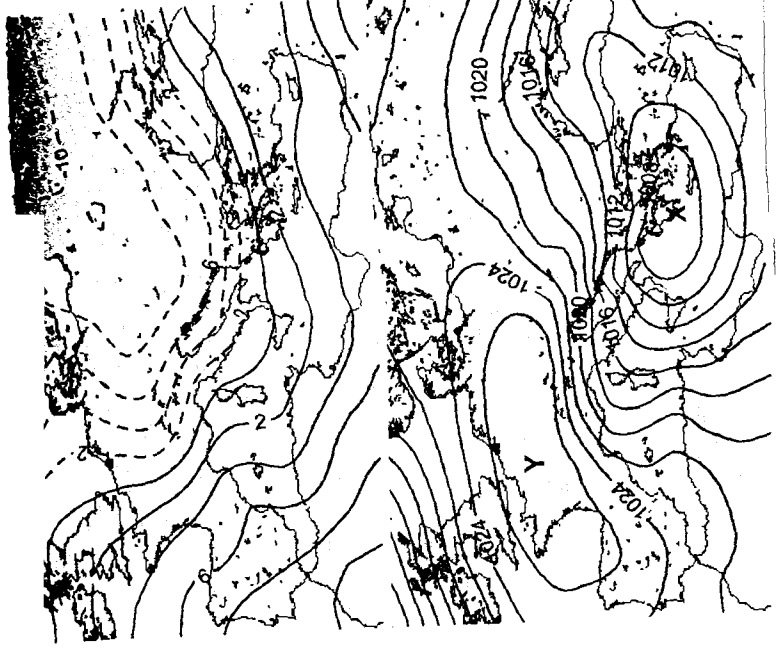
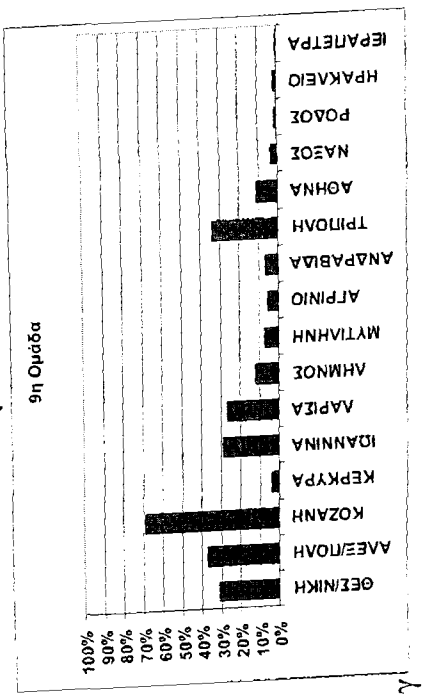


Ίσθμην 500hPa

Επιμορπαρία 500hPa

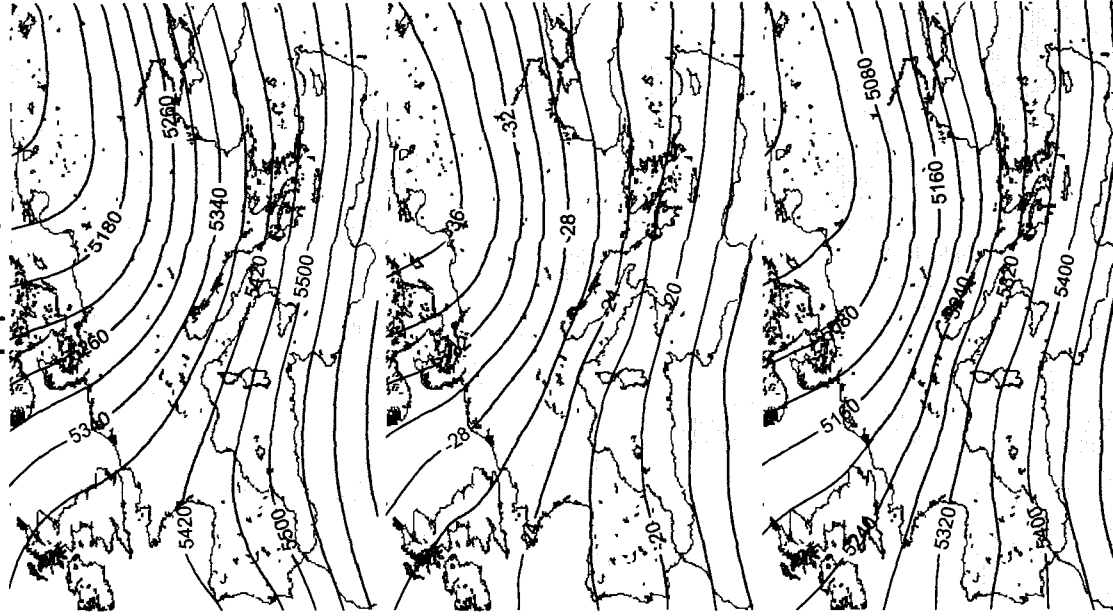
Πόχος 1000-500hPa

Σχήμα 6.17 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Σχήμα 6.17 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 9° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 9ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό στάθμο, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 9ης Ομάδας.

Ημέρα Η-1



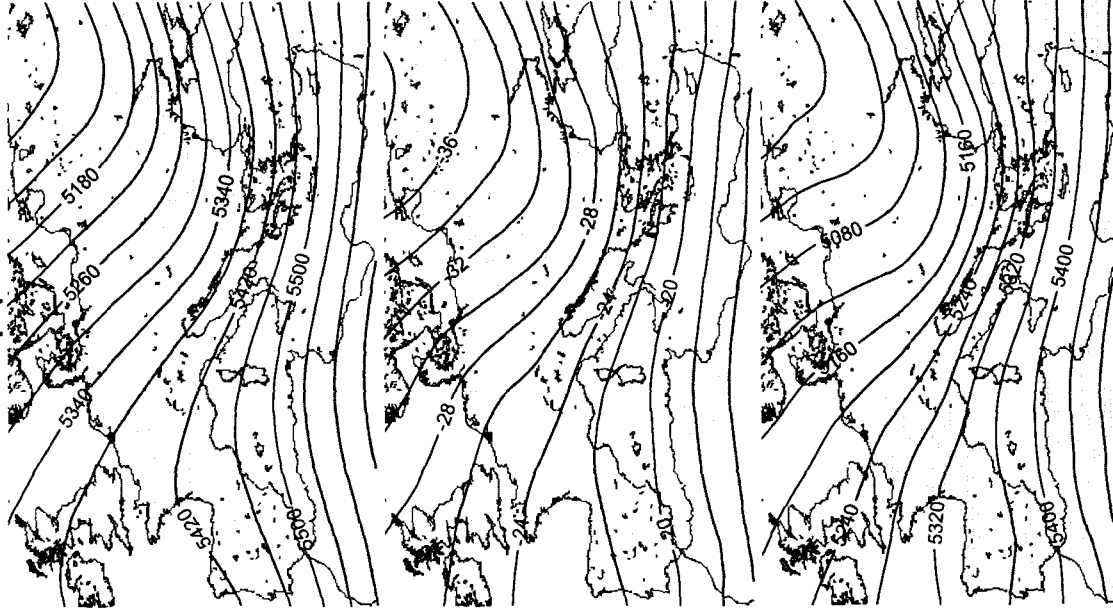
Υψόμετρο 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

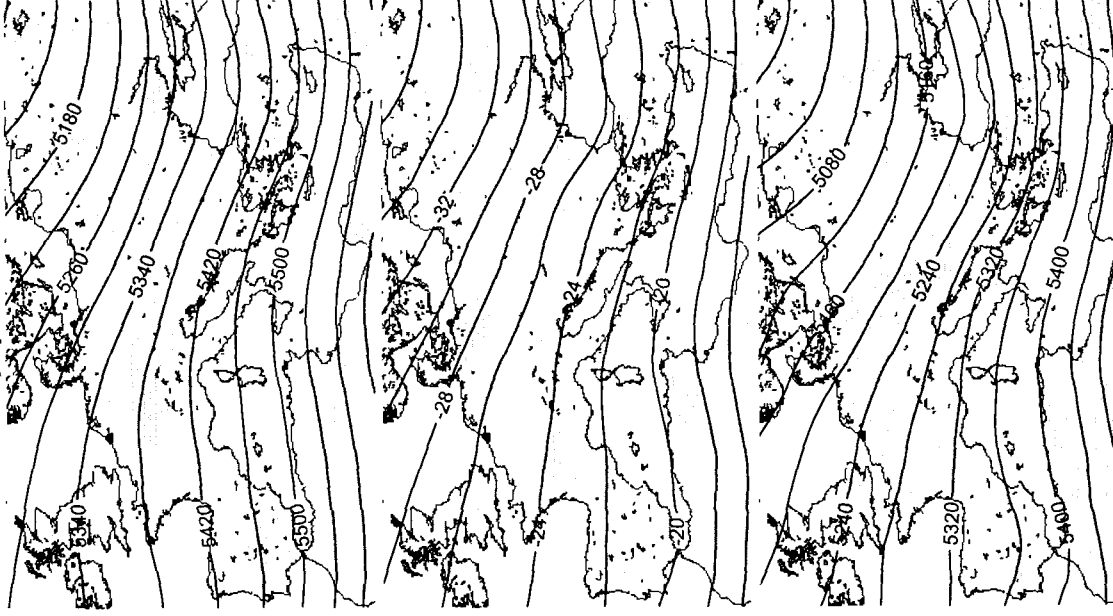
Πάχος 1000-500hPa

10^η Ομάδα

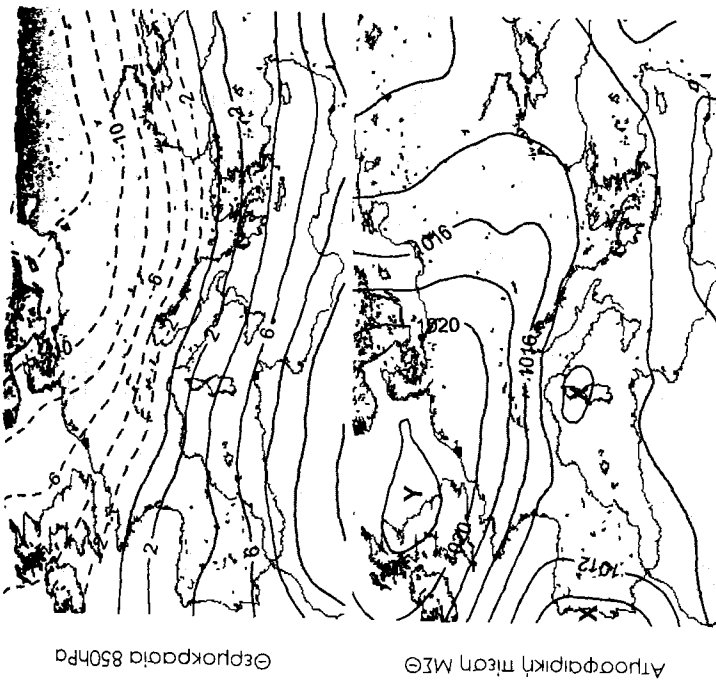
Ημέρα Η



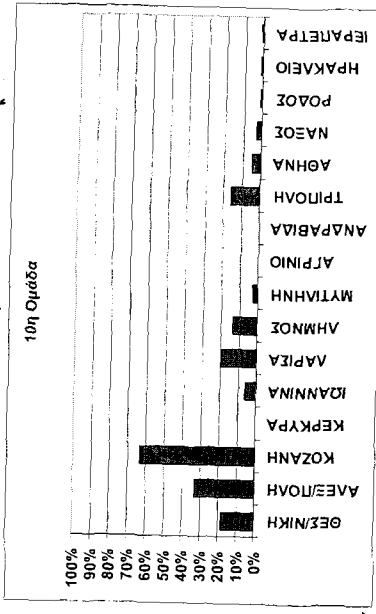
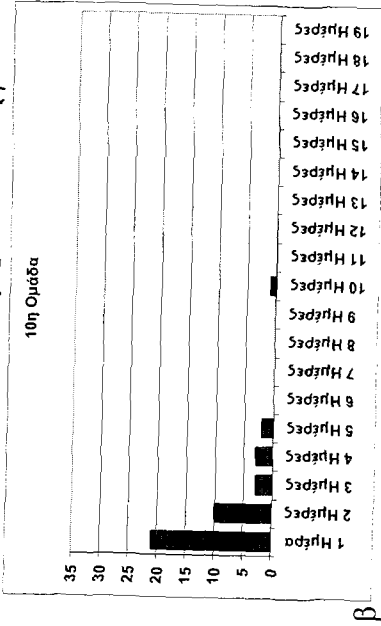
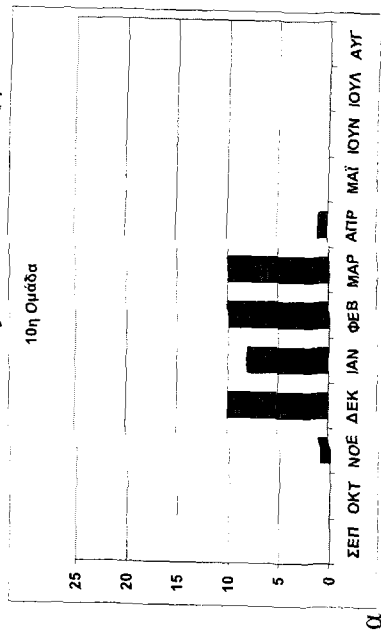
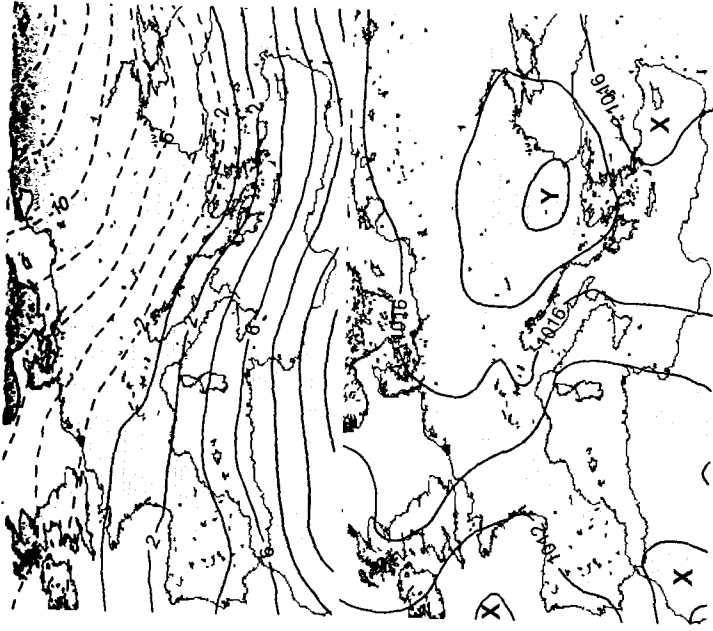
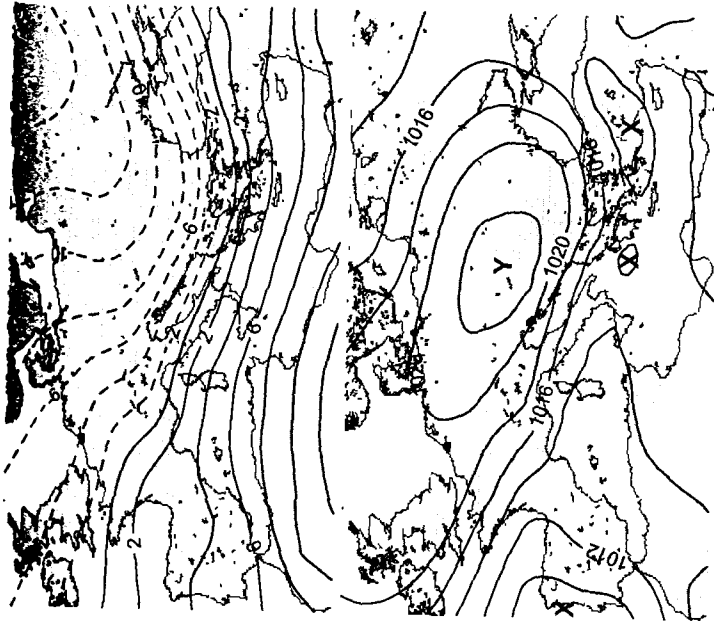
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



Σχήμα 6.18 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

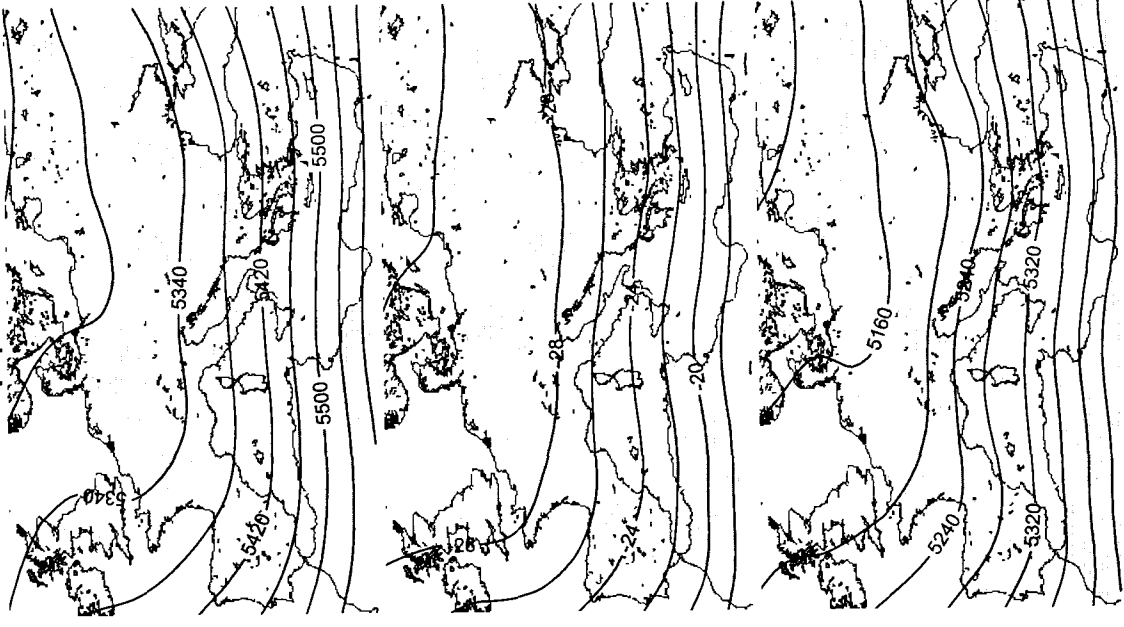


Επιμορφασία 850hp

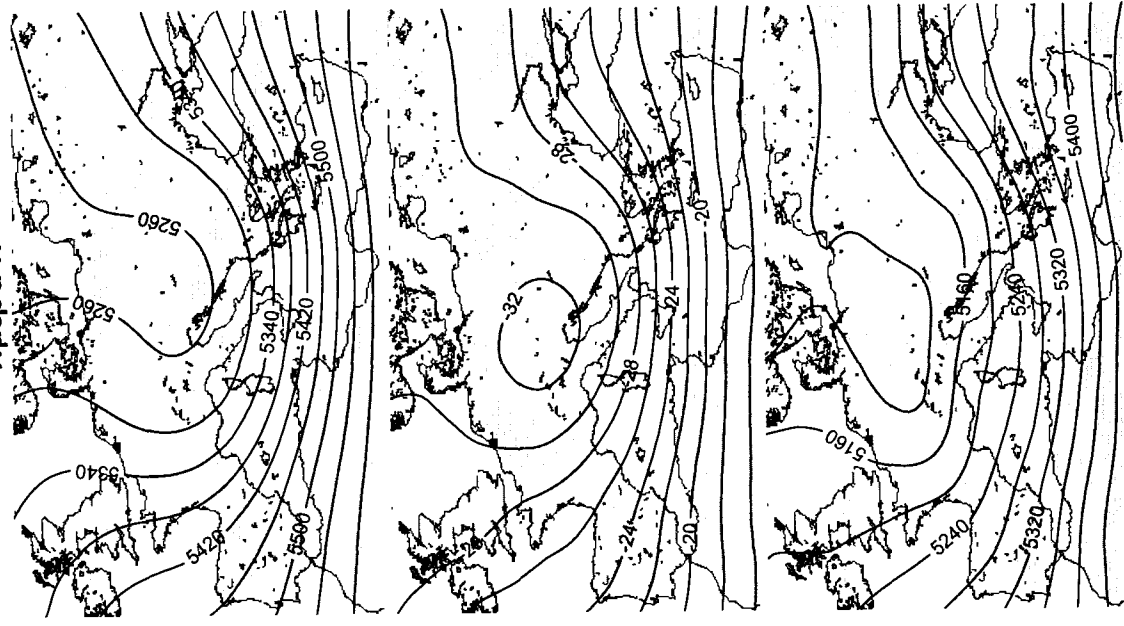


Σχήμα 6.18 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 10^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 10^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 10^{ης} Ομάδας.

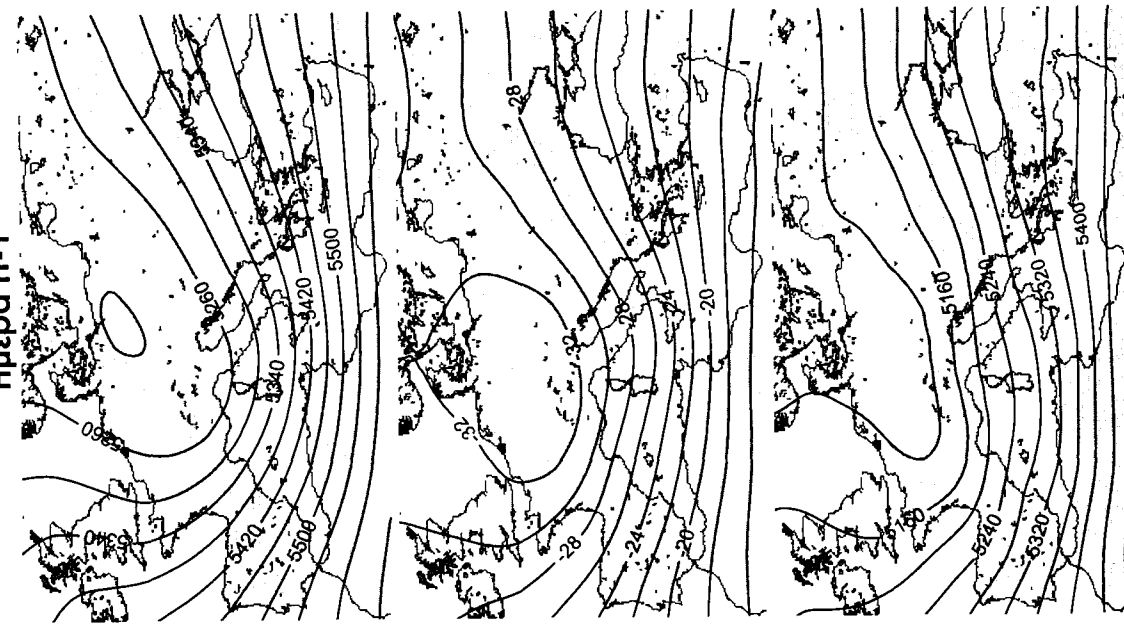
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



11η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

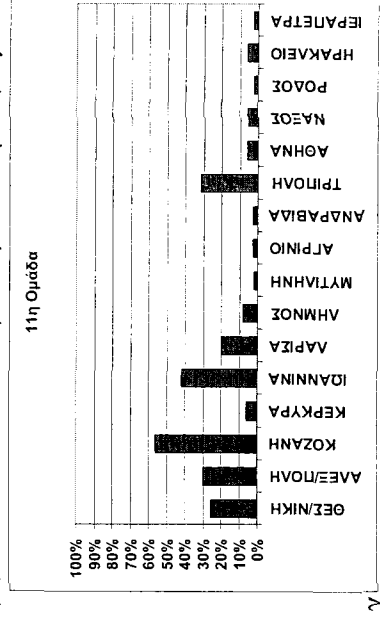
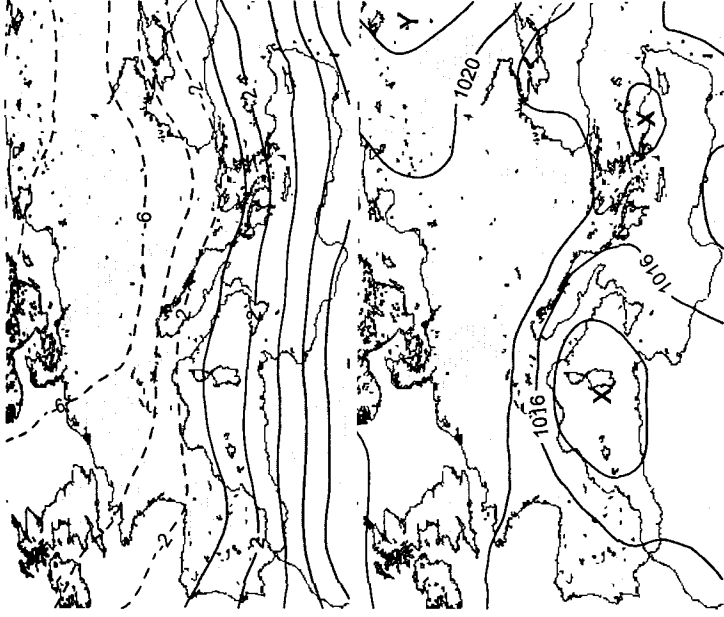
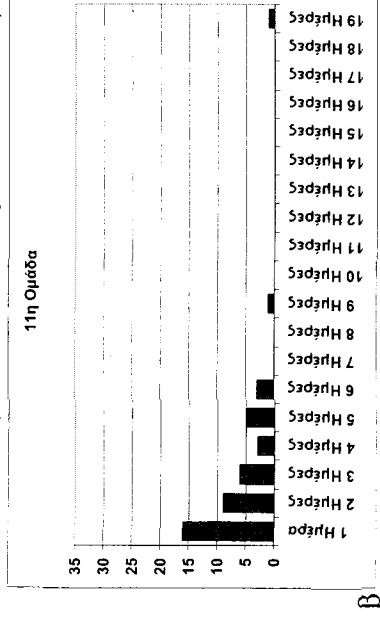
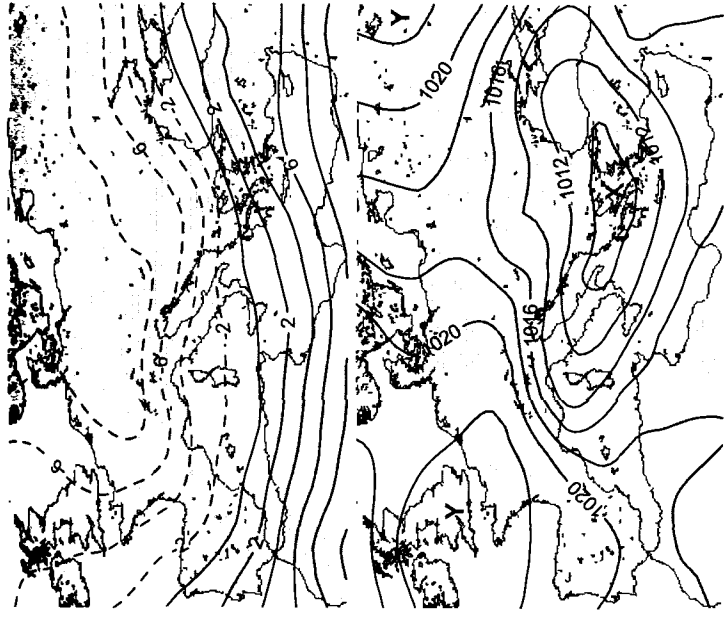
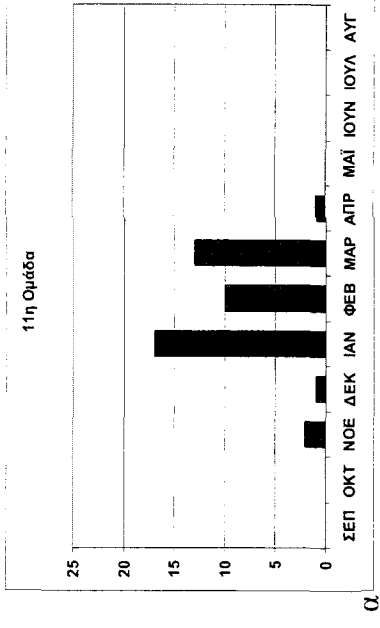
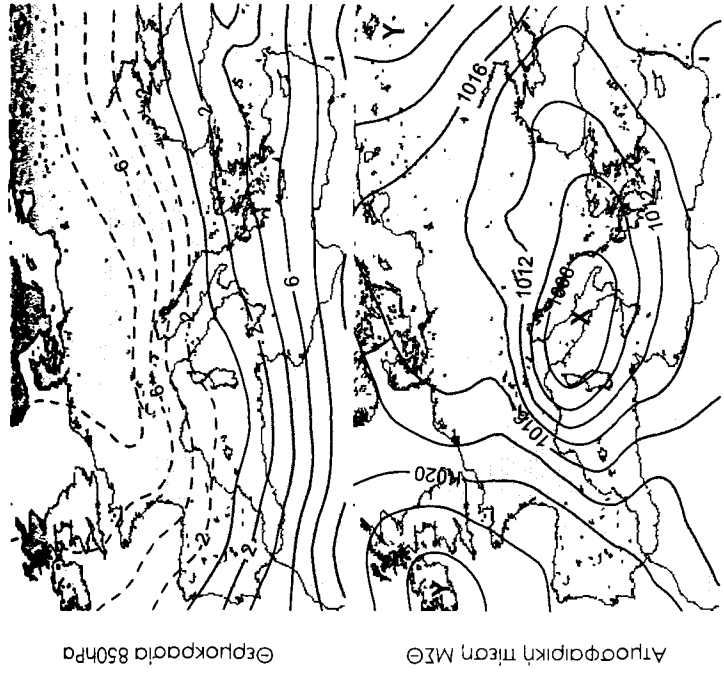


Ίσθμη 500hPa

Επικκροσία 500hPa

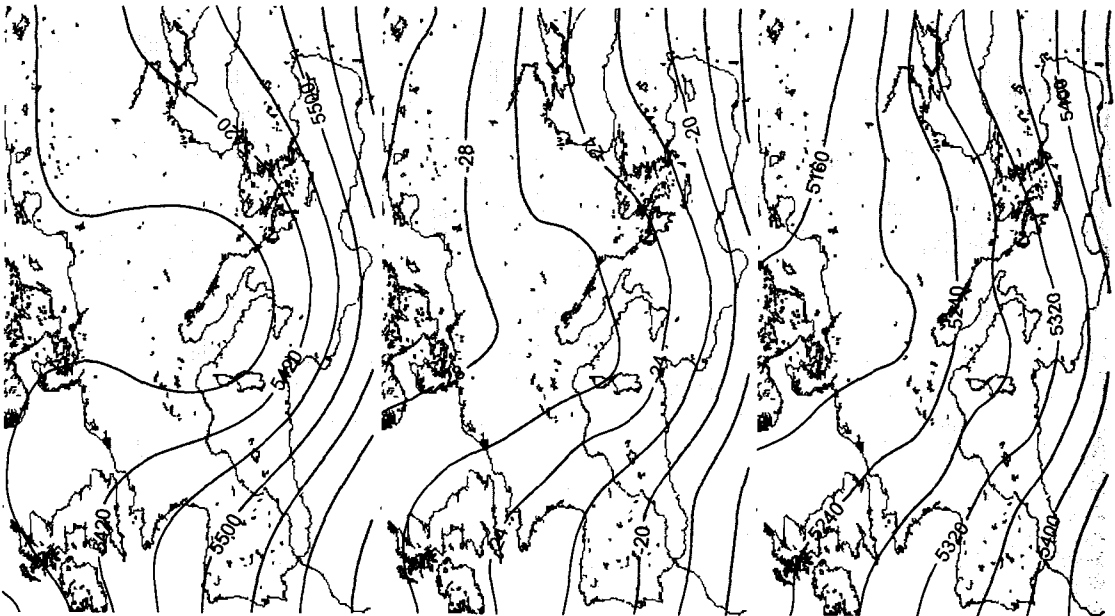
Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 6.19 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.



Σχήμα 6.19 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΕΗΣ, που δείχνουν τον 11° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 11^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 11^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1

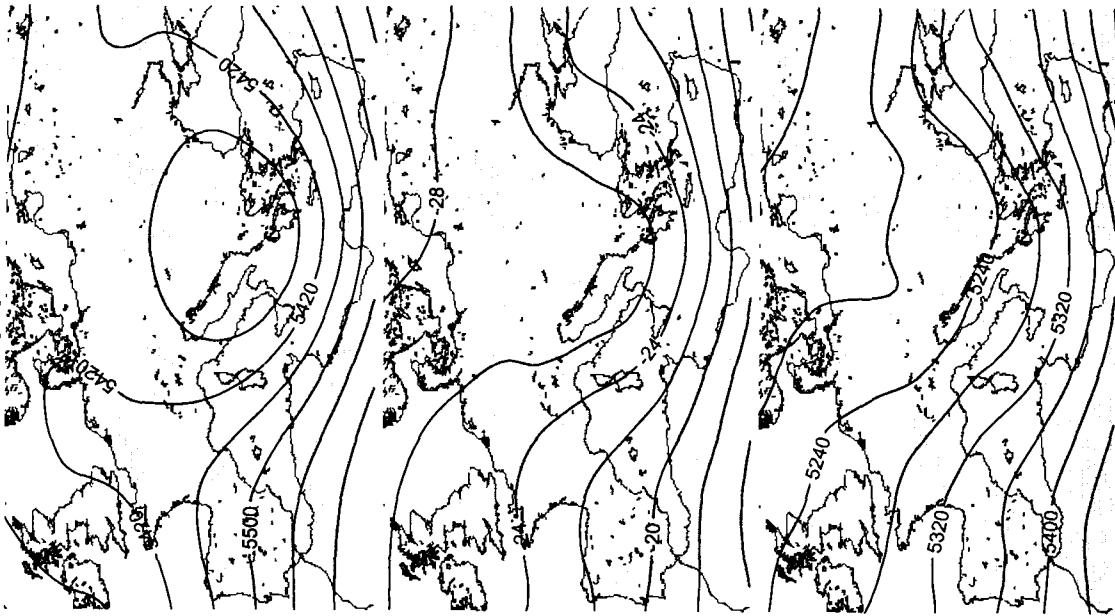


Πάχος 1000-500hPa

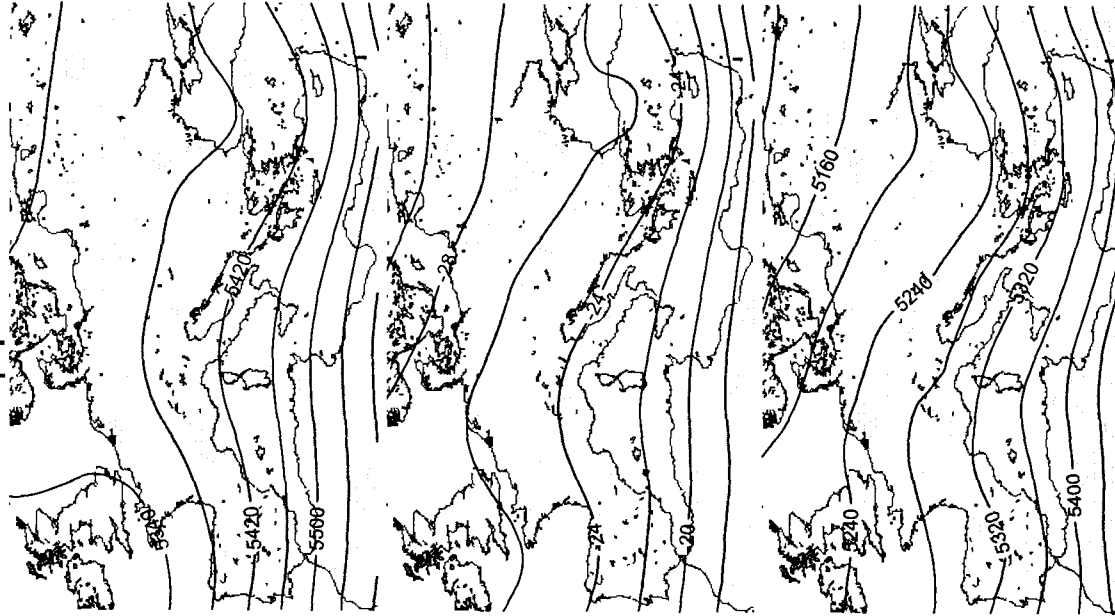
Επιφρακασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

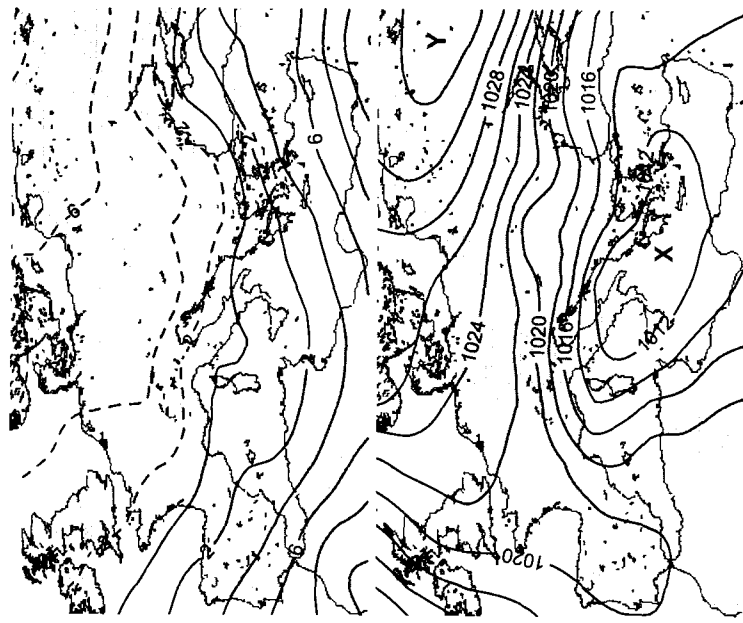
12^η Ομάδα
Ημέρα Η



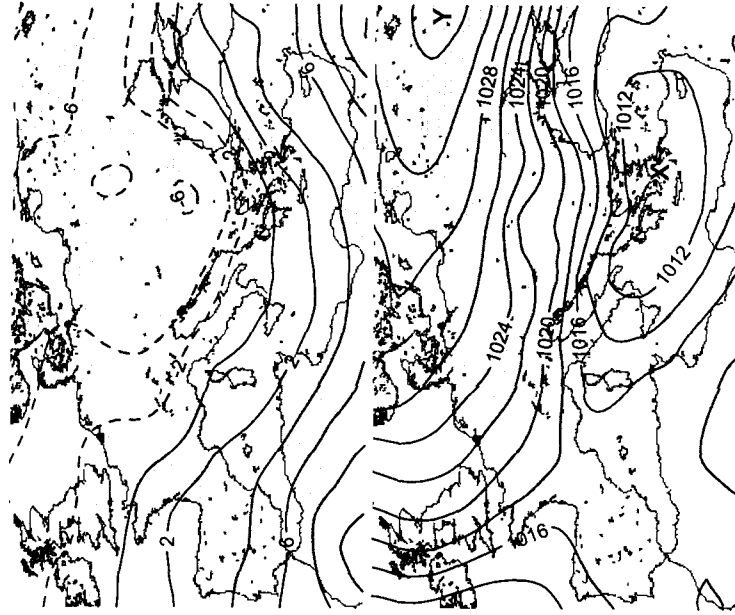
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



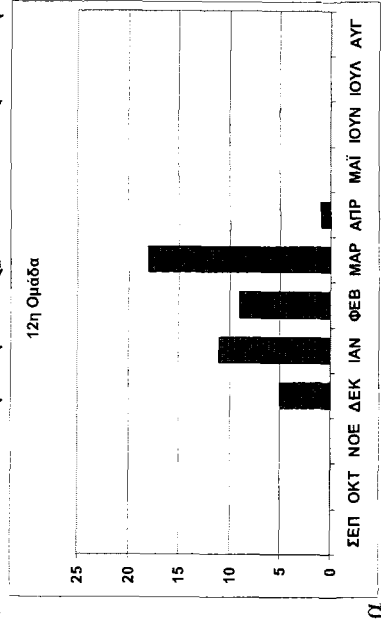
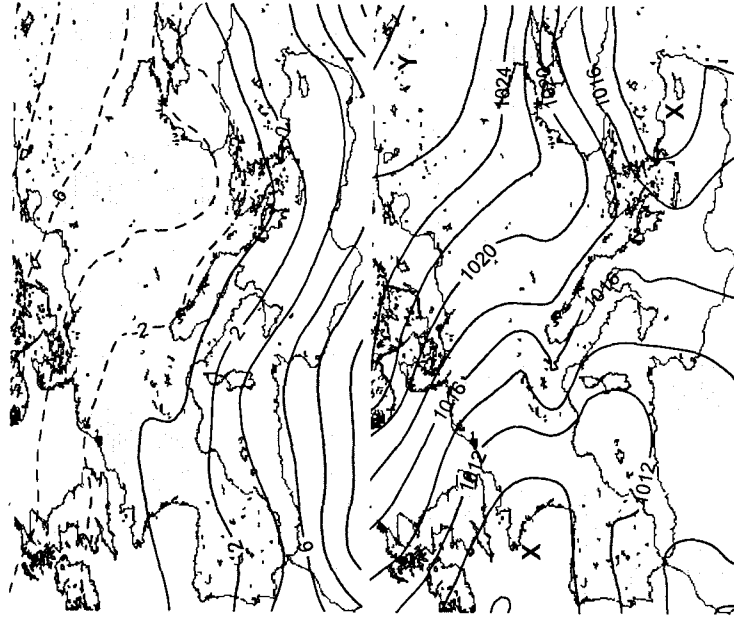
Σχήμα 6.20 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



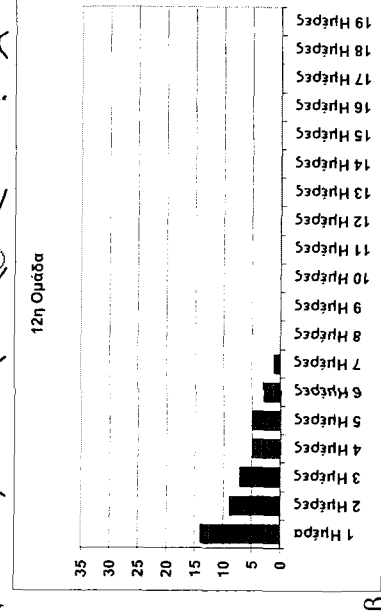
Επικρατία 850hPa



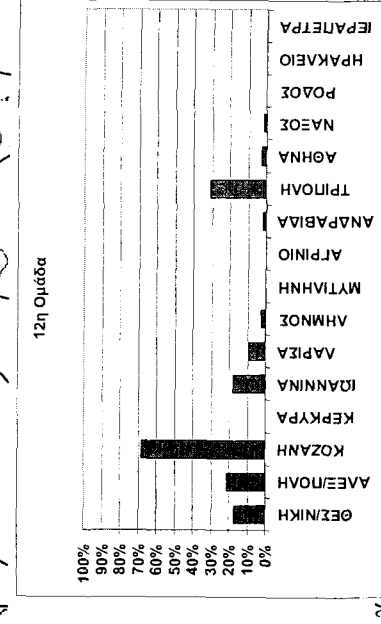
Ατμοσφαιρική πίεση M2



α



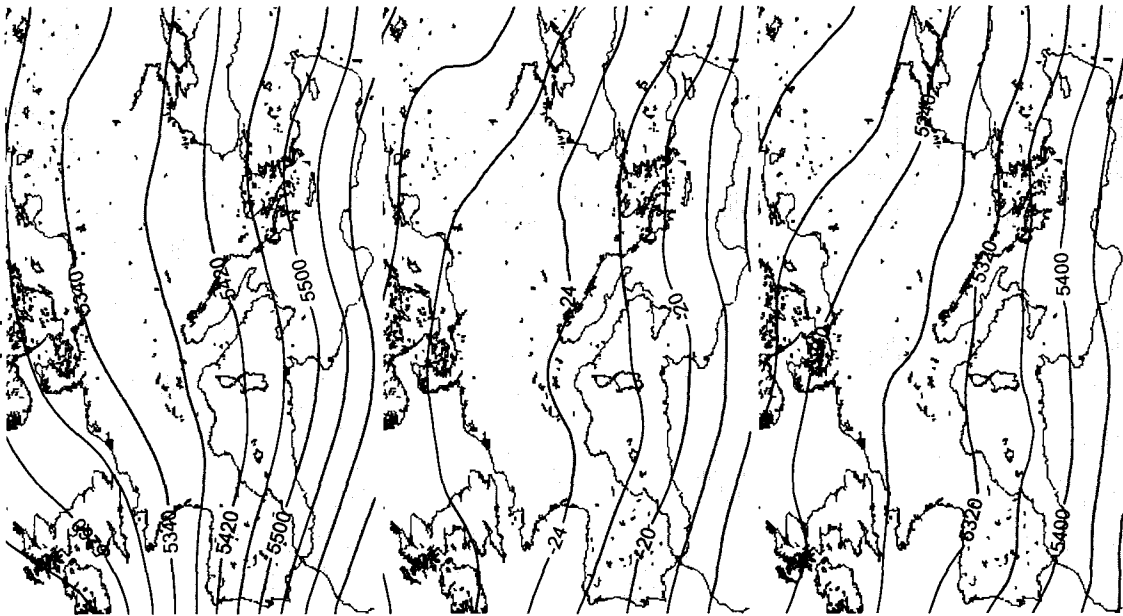
β



γ

Σχήμα 6.20 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 12^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της αμμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 12^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 12^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



Ίσχύς 500hPa

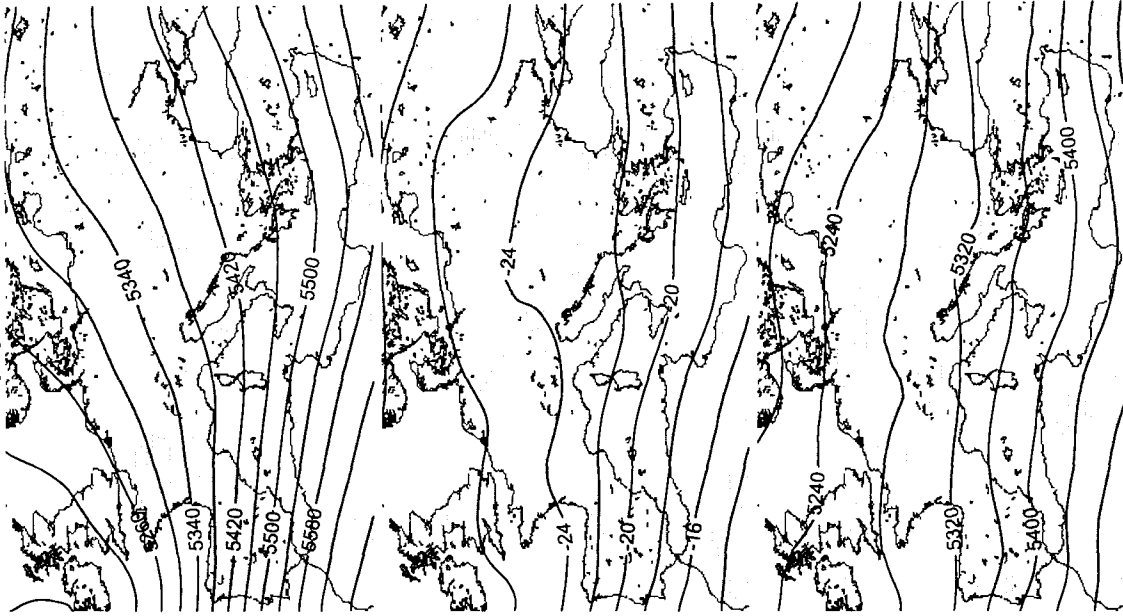
13^η Ομάδα

Ημέρα Η



Θερμοκρασία 500hPa

Ημέρα ΛΗΕΗΣ

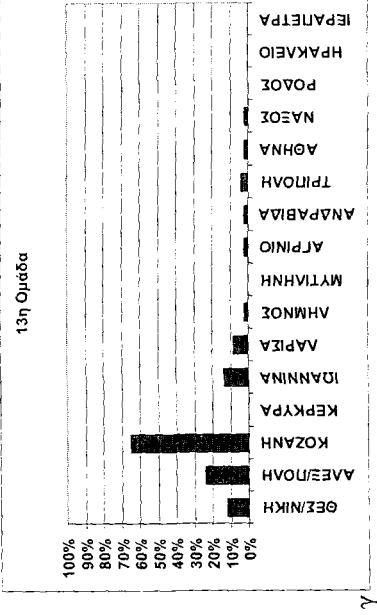
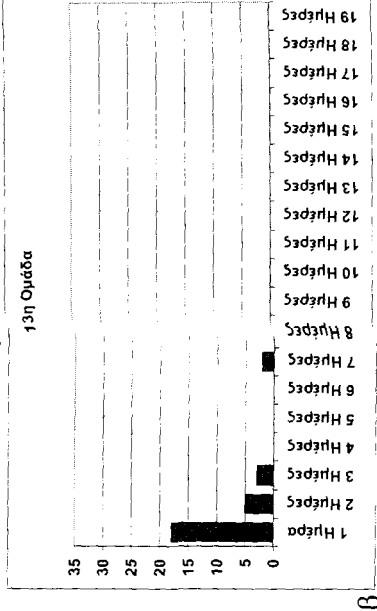
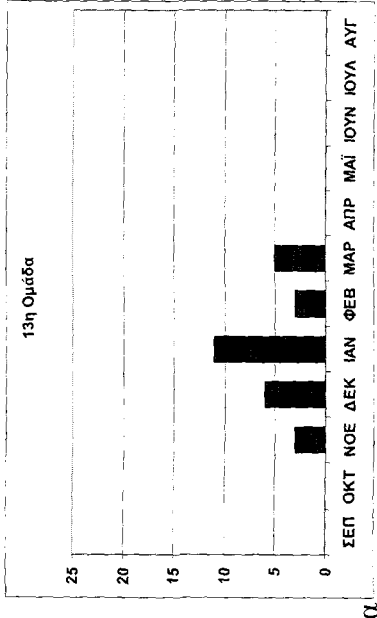
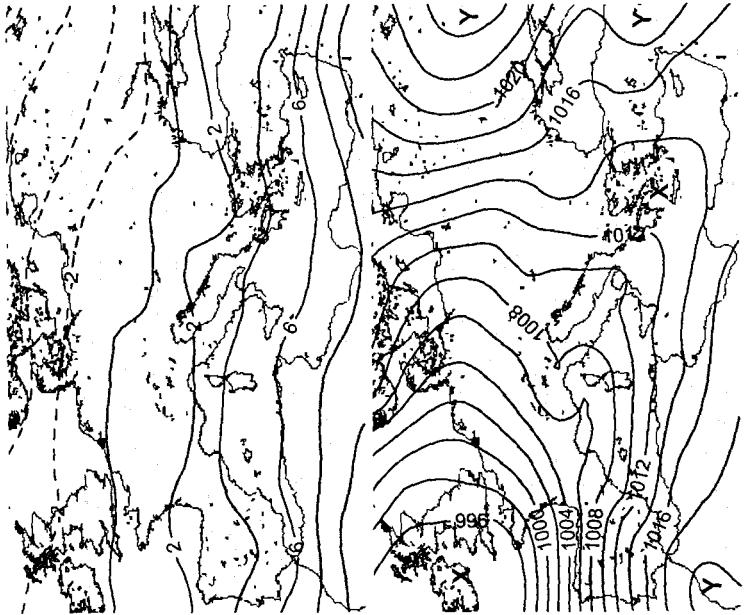
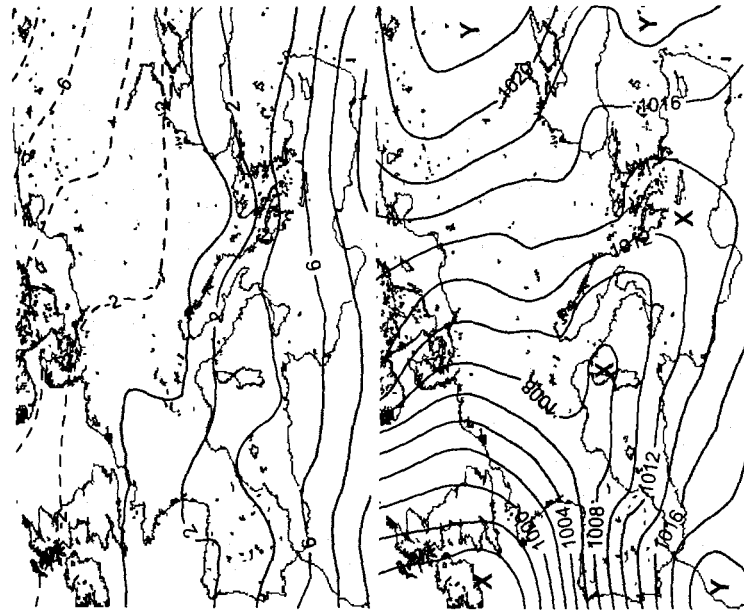
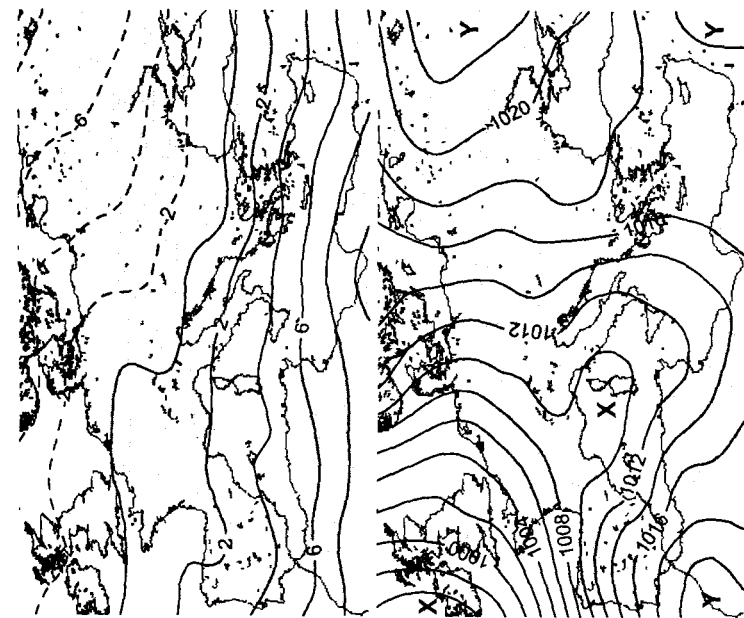


Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 6.21 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

Επιμορφασία 850hPa

Ατμοσφαιρική πίεση M2Θ

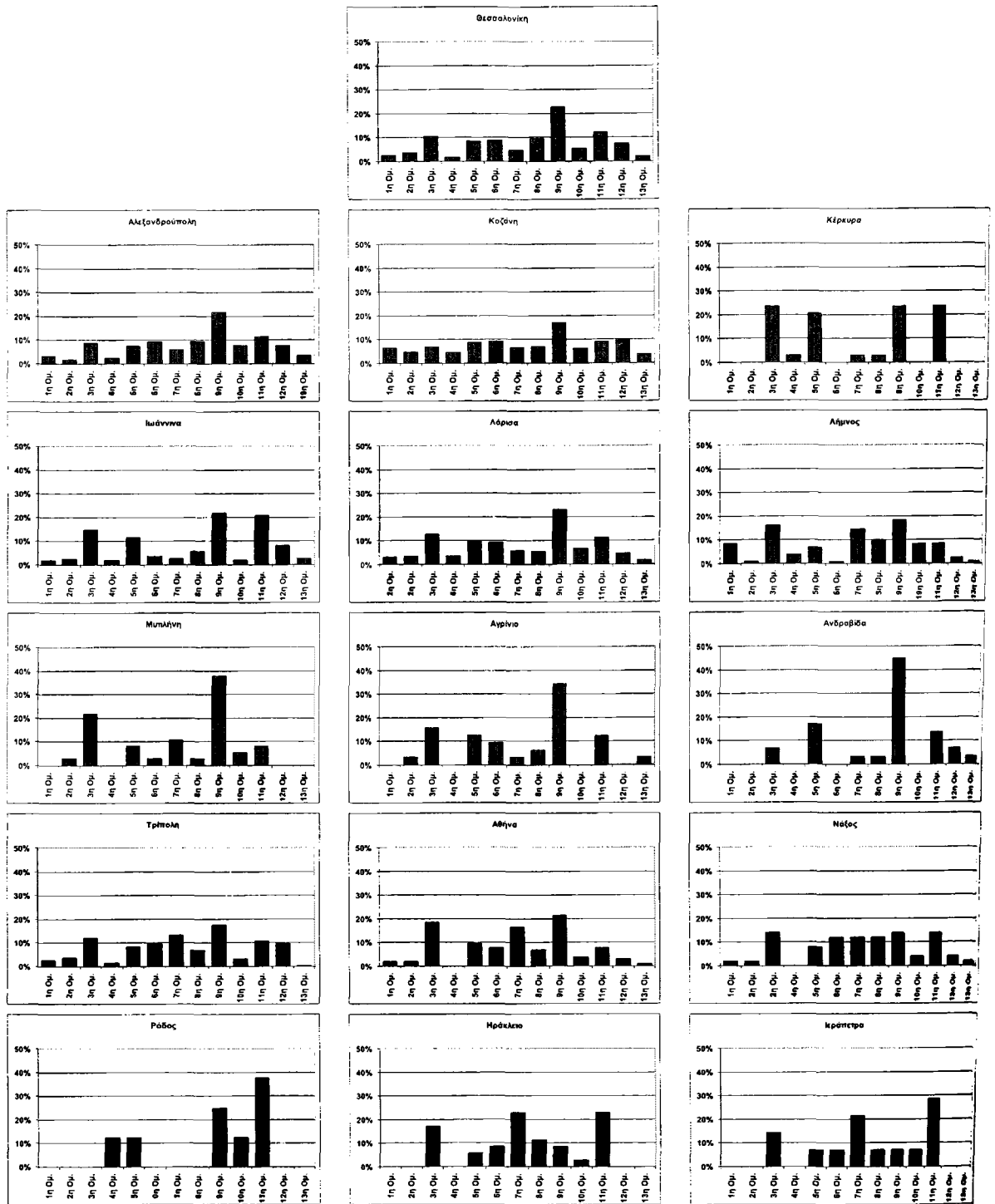


α)

β)

γ)

Σχήμα 6.21 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 13^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια χιονόπτωσης της 13^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων χιονόπτωσης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 13^{ης} Ομάδας.



Σχήμα 6.22 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό η ποσοστιαία κατανομή στις ομάδες των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση στο σταθμό.

7. Επεισόδια Ομίχλης (ΕΟ)

7.1. Εισαγωγή

Σε έναν τόπο επικρατεί ομίχλη όταν η οριζόντια ορατότητα περιορίζεται σε λιγότερο από 1Κm, εξαιτίας της ύπαρξης στην ατμόσφαιρα ύδατος σε μορφή υδροσταγονιδίων ή παγοκρυστάλλων. Το μέγεθος των υδροσταγονιδίων είναι από 2μm έως 65μm (Jiusto, 1981). Οι υδρατμοί υγροποιούνται σε πυρήνες συμπύκνωσης που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα όταν επέρχεται κορεσμός στην αέρια μάζα λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας ή της προσθήκης υδρατμών από διάφορες πηγές υγρασίας (ποτάμια, λίμνες θάλασσα). Η ομίχλη ουσιαστικά είναι ένα χαμηλό στρωματόμορφο νέφος το οποίο εφάπτεται με την επιφάνεια της γης.

Με βάση τους μηχανισμούς, που είναι υπεύθυνοι για το σχηματισμό ομιχλών, αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορα είδη. Από πολύ νωρίς, ο Willet (1928) σε μία εξαιρετικά λεπτομερή μελέτη του φαινομένου της ομίχλης, προέβη σε μία αναλυτική κατηγοριοποίηση των ομιχλών σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των αερίων μαζών στις οποίες προκαλείται το φαινόμενο καθώς και τους μηχανισμούς που το προκαλούν.

Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη ένα κύριο είδος ομιχλών είναι οι ομίχλες μεταφοράς. Τέτοιου είδους ομίχλες προκύπτουν όταν θερμή αέρια μάζα κινείται πάνω από ψυχρή επιφάνεια, ή όταν ψυχρή αέρια μάζα κινείται πάνω από θερμή επιφάνεια ύδατος. Στην πρώτη περίπτωση η μεταφορά θερμότητας από την αέρια μάζα προς την ψυχρή επιφάνεια προκαλεί την πτώση της θερμοκρασίας της αέριας μάζας και καθώς η απόλυτη υγρασία παραμένει σταθερή, η σχετική υγρασία αυξάνει, με αποτέλεσμα τον κορεσμό της αέριας μάζας και το σχηματισμό ομίχλης. Αυτός ο μηχανισμός σχηματισμού ομίχλης είναι συχνός σε παράκτιες περιοχές κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο πάνω από την ξηρά και κατά την ανοιξιότικη και καλοκαιρινή περίοδο πάνω από τη θάλασσα και καλείται μουσωνικός τύπος, αφού η μεταφορά της αέριας μάζας οφείλεται στη μουσωνική κυκλοφορία. Ο ίδιος μηχανισμός προκαλεί ομίχλη όταν θερμή αέρια μάζα προερχόμενη από θερμή θαλάσσια περιοχή μετακινείται πάνω από ψυχρή θαλάσσια περιοχή και τότε η ομίχλη καλείται θαλάσσια ομίχλη. Ακόμη, όταν θερμές τροπικές αέριες μάζες κινούνται προς βορειότερα γεωγραφικά πλάτη τότε πάλι η θερμοκρασία της αέριας μάζας μειώνεται και η ομίχλη που σχηματίζεται τότε καλείται τροπική ομίχλη. Στη δεύτερη περίπτωση κατά την οποία ψυχρή αέρια μάζα κινείται πάνω από θερμή επιφάνεια ύδατος ο σχηματισμός ομίχλης οφείλεται στην αύξηση της απόλυτης υγρασίας λόγω εμπλουτισμού της μάζας με υδρατμούς, η οποία καταλήγει στην αύξηση της σχετικής υγρασίας καθώς η θερμοκρασία της αέριας μάζας δεν αυξάνεται αισθητά. Ο θαλάσσιος καπνός είναι περίπτωση ομίχλης που σχηματίζεται με αυτόν τον μηχανισμό καθώς και πολύ τοπικές ομίχλες πάνω από λίμνες και ποταμούς. Ως ομίχλες μεταφοράς μπορούν να χαρακτηριστούν και ομίχλες που σχηματίζονται σε ορεινές περιοχές καθώς υγρή αέρια μάζα κινείται προς ορεινό όγκο και αναγκάζεται να ανέλθει, οπότε ψύχεται αδιαβατικά και επέρχεται κορεσμός.

Ένα άλλο κύριο είδος ομιχλών είναι οι ομίχλες ακτινοβολίας. Ο σχηματισμός τους προκαλείται εξαιτίας της έντονης ακτινοβολίας του εδάφους κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν ο ουρανός είναι έναστρος με απουσία νεφών. Η έντονη ακτινοβολία προκαλεί την πτώση της θερμοκρασίας του εδάφους και της αέριας μάζας που βρίσκεται σε επαφή με αυτό. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση της σχετικής υγρασίας και ο κορεσμός της αέριας μάζας προς σχηματισμό ομίχλης. Στη διάρκεια τέτοιων ομιχλών παρατηρούνται έντονες αναστροφές θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Η αντικυκλωνική κυκλοφορία που συνοδεύεται από αίθριο καιρό και η απουσία ανέμων ευνοούν το σχηματισμό ομιχλών ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, όπου η κυκλωνική κυκλοφορία είναι έντονη είναι συχνές οι μετωπικές ομίχλες οι οποίες συνοδεύουν το πέρασμα ενός μετώπου. Αυτές προκαλούνται με την πρόσμιξη σχεδόν κορεσμένων αερίων μαζών διαφορετικών θερμοκρασιών. Συνήθως παρατηρούνται κατά το πέρασμα από μία περιοχή ενός θερμού μετώπου και οφείλονται είτε στην πρόσμιξη της θερμής αέριας μάζας με ψυχρές αέριες μάζες που παρέμειναν στην περιοχή, είτε από την ψύξη της με την επαφή της με το ψυχρό έδαφος.

Η ομίχλη οποιουδήποτε είδους μπορεί να χαρακτηριστεί ως δυσμενές μετεωρολογικό φαινόμενο, εξαιτίας των δυσχερειών, καθυστερήσεων, ακυρώσεων και ατυχημάτων που επιφέρει στις αεροπορικές, θαλάσσιες και οδικές μεταφορές αγαθών και ανθρώπων. Σε αρκετές μελέτες έχουν διαπραγματευτεί οι επιπτώσεις της ομίχλης στην ασφάλεια των μεταφορών (George, 1960; Martin and Suckling, 1987; Johnson and Grascel, 1992). Στην έρευνα των Hillestad et al. (1993) μεταξύ άλλων αιτιών πρόκλησης αεροπορικών ατυχημάτων μελετήθηκε και η επίδραση των καιρικών συνθηκών συμπεριλαμβανομένης της ομίχλης. Αναφέρεται ότι 75 από τα αεροπορικά ατυχήματα που καταγράφηκαν παγκοσμίως για τη χρονική περίοδο 1987-1991 οφείλονταν στην παρουσία ομίχλης, αριθμός βέβαια που αντιστοιχεί σε πολύ μικρό ποσοστό των ατυχημάτων αυτής της περιόδου. Οι Perry και Symons (1991) εξέδωσαν ένα βιβλίο στο οποίο μελετήθηκε διεξοδικά η επίδραση των καιρικών συνθηκών στην κυκλοφορία των οχημάτων σε επαρχιακές και εθνικές οδούς. Στο έκτο κεφάλαιο του βιβλίου παρουσιάζεται από τον Musk (1991) μία αναλυτική μελέτη της επίδρασης της ομίχλης στην κυκλοφορία των οχημάτων και την πρόκληση ατυχημάτων, ενώ γίνεται και μία προσπάθεια καθορισμού ενός εμπειρικού δείκτη της επιδεκτικότητας ενός δρόμου στο σχηματισμό ομίχλης σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, π.χ. απόσταση από το δρόμο πηγών υγρασίας (λίμνες, ποτάμια, θάλασσα), τοπογραφικά χαρακτηριστικά όπως το αν ο δρόμος βρίσκεται σε κοιλάδα ή σε λόφο, η κλίση του εδάφους και άλλους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η εμφάνιση ομίχλης.

Από τις αρχές του περασμένου αιώνα είχε αναγνωριστεί η σπουδαιότητα της έγκυρης πρόγνωσης του φαινομένου της ομίχλης και πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν αρχικά με τις αναγκαίες συνθήκες σχηματισμού ομίχλης (Taylor, 1917; Douglas, 1930; Lamb, 1943; Emons and Montgomery, 1947) εστιάζοντας στις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις αέριες μάζες στις οποίες σχηματίζεται ομίχλη. Η έρευνα όσον αφορά την πρόγνωση της ομίχλης συνεχίστηκε σε όλη τη διάρκεια του περασμένου αιώνα μέχρι σήμερα με διάφορες μεθόδους. Πολλοί ερευνητές δημιούργησαν μαθηματικά μοντέλα (Guedalia and Bergot, 1994; Leipper, 1995; Bott, 2002) λαμβάνοντας υπόψη τις φυσικές διεργασίες σχηματισμού της ομίχλης. Άλλοι μελέτησαν την κλιματολογία των ομιχλών σε διάφορες περιοχές (Cereceda and Schemenauer, 1991; Nakanishi, 2000; Friedlein 2004; Tardif and Rasmussen, 2007) με σκοπό τον προσδιορισμό των τύπων ομίχλης που πλήττουν την κάθε περιοχή, την εποχικότητά τους, την ώρα έναρξης, τη διάρκειά και τη συχνότητά τους. Αρκετές άλλες έρευνες πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη συσχέτιση των διαφόρων τύπων ομίχλης με συγκεκριμένους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, οι οποίοι ευνοούν το σχηματισμό της (Meyer and Lala 1990; Tardif, 2006; Croft and Burton, 2005; Willett, 1930).

Τις μελέτες, τις σχετικές με την ομίχλη, που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα θα μπορούσε κανείς να τις ταξινομήσει στις παρακάτω τρεις κύριες κατηγορίες: α) της πρόγνωσης του φαινομένου με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων (Angouridakis and Flocas, 1983; Χαραντώνης, 1998), β) της ανάδειξης των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών ή και των συνοπτικών καταστάσεων, που ευνοούν τη δημιουργία της με τη χρήση στατιστικών μεθόδων (Αγγουριδάκης, 1966; Angouridakis, 1973; Anthis and Cracknell, 1999; Χαραντώνης και Φωτιάδης, 2003) και γ) της μελέτης συγκεκριμένων περιστατικών (Kyriazopoulos and Livadas, 1961).

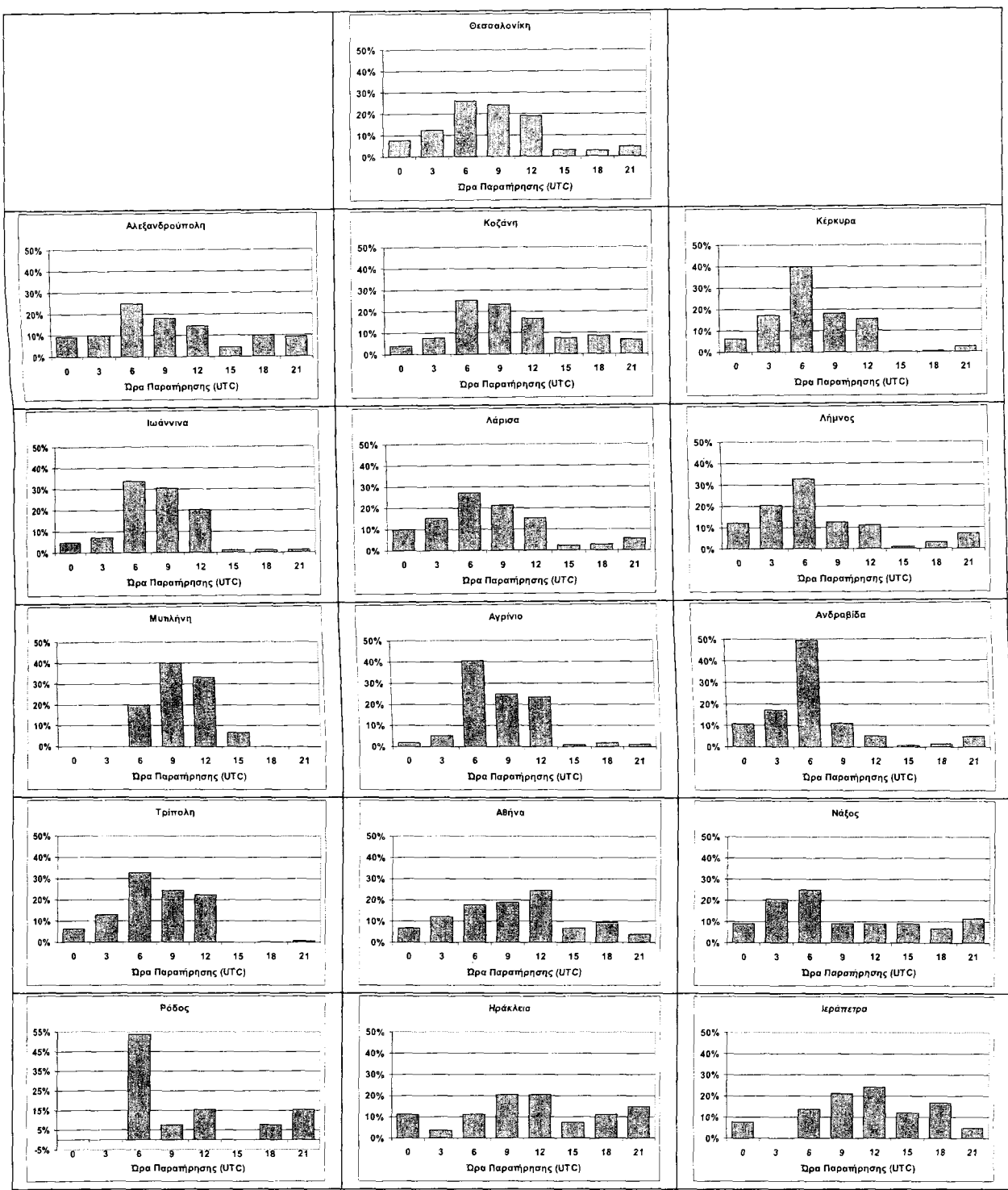
Στην παρούσα διατριβή με τη χρήση της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2 γίνεται προσπάθεια να διαπιστωθούν αντικειμενικά οι τύποι εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, οι οποίοι ευνοούν την εμφάνιση εκτεταμένων χωρικά ομιγλών στην Ελλάδα.

7.2. Γενικά Χαρακτηριστικά Επεισοδίων Ομίχλης

Η ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των παρατηρήσεων, στις οποίες έχει καταγραφεί το φαινόμενο της ομίχλης στον παρόντα καιρό με κωδικούς από 41 έως 49, ή/και στον παρελθόντα καιρό με κωδικό 4, στη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζεται για κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό στο σχήμα 7.1. Είναι φανερό ότι το φαινόμενο παρουσιάζει τη μικρότερη συχνότητα εμφάνισής του περί τις 15:00UTC στην πλειοψηφία των ΜΣ εκτός από αυτούς της νησιωτικής Ελλάδας. Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης της ομίχλης παρουσιάζεται περί τις 06:00 με 09:00 UTC. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι περισσότερες ομίχλες στην ηπειρωτική Ελλάδα είναι ομίχλες ακτινοβολίας οι οποίες συνήθως σχηματίζονται από νωρίς το βράδυ της προηγούμενης ημέρας και διαρκούν μέχρι τις πρώτες πρωινές ώρες της επόμενης ημέρας. Για το λόγο αυτό για κάθε έναν μετεωρολογικό σταθμό χαρακτηρίζονται ως ημέρες ομίχλης εκείνα τα 24ωρα, από τις 12:00UTC έως τις 12:00 UTC της επόμενης ημέρας, κατά τα οποία σε τουλάχιστον ένα από τα τρίαωρα τηλεγραφήματα έχει καταγραφεί στον παρόντα καιρό κωδικός 41 έως 49, ή στον παρελθόντα καιρό κωδικός 4.

Για το σχηματισμό ομίχλης εκτός από τη συνοπτική κατάσταση ουσιαστικό ρόλο έχουν πολλοί τοπικοί παράγοντες όπως πηγές υγρασίας (λίμνες, ποτάμια, θάλασσα) το ανάγλυφο (κοιλιάδα, πλαγιά) και άλλοι. Με σκοπό να περιοριστεί η επίδραση των τοπικών παραγόντων στα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης και να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στις συνοπτικές συνθήκες που προκαλούν το σχηματισμό ομίχλης χαρακτηρίζονται ως ημέρες ομίχλης στην Ελλάδα εκείνες, οι οποίες είναι ημέρες ομίχλης σε τουλάχιστον δύο μετεωρολογικούς σταθμούς. Καθώς οι μετεωρολογικοί σταθμοί απέχουν αρκετά μεταξύ τους και παρουσιάζουν διαφορετικά τοπικά χαρακτηριστικά, διασφαλίζεται ότι ο σχηματισμός ομίχλης οφείλεται κυρίως στην επίδραση της συνοπτικής κατάστασης. Από τα διαθέσιμα δεδομένα για την περίοδο από 1/9/1957 έως 31/8/2002 βρέθηκαν 1970 ημέρες ομίχλης στην Ελλάδα. Κάθε σειρά συνεχόμενων ημερών ομίχλης στην Ελλάδα ορίζεται ότι αποτελεί ένα επεισόδιο ομίχλης στην Ελλάδα. Από τα δεδομένα αποκαλύπτονται 1055 τέτοια επεισόδια. Στο σχήμα 7.2 παρουσιάζεται μία γραφική αναπαράσταση του ορισμού των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα.

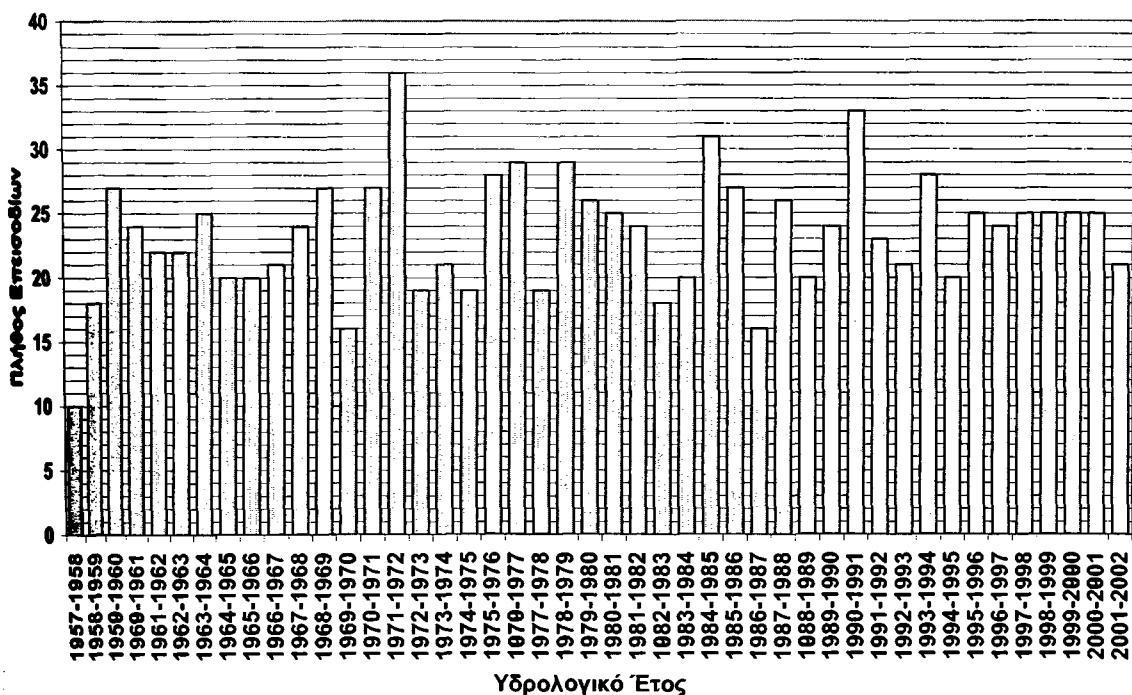
Στον πίνακα 7.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι χρονικές περιόδους για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα τηλεγραφήματα για κάθε μετεωρολογικό σταθμό, καθώς επίσης και το ποσοστό των διαθέσιμων τρίαωρων τηλεγραφημάτων σε σχέση με το συνολικό αριθμό που έπρεπε να υπάρχει. Ακόμη στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται το πλήθος των ημερών ομίχλης για κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό ξεχωριστά, όπου φαίνεται ότι ηπειρωτικές περιοχές (Ιωάννινα, Λάρισα, Τρίπολη) πλήττονται σε μεγάλο βαθμό από το φαινόμενο της ομίχλης. Αντίθετα στις νησιωτικές περιοχές του νότιου κυρίως και ανατολικού Αιγαίου πελάγους το φαινόμενο της ομίχλης είναι εξαιρετικά σπάνιο. Στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται το πλήθος των ημερών ομίχλης σε κάθε σταθμό κατά τις οποίες εμφανίστηκε ομίχλη και σε τουλάχιστον ένα ακόμη σταθμό στην Ελλάδα. Σε κάποιους σταθμούς (Ηράκλειο, Ιεράπετρα και Μυτιλήνη) το κλάσμα των ημερών κατά τις οποίες παρατηρήθηκε ομίχλη και σε άλλο σταθμό ως προς το συνολικό αριθμό ομιχλών σε αυτούς τους σταθμούς εμφανίζεται πολύ μικρό, κάτι το οποίο σημαίνει ότι οι εξαιρετικά σπάνιες ομίχλες σε αυτές τις περιοχές οφείλονται κυρίως σε τοπικούς παράγοντες και όχι στην γενικότερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Τέλος παρουσιάζονται για κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό το πλήθος των επεισοδίων ομίχλης στη διάρκεια των οποίων εμφανίστηκε ομίχλη σε αυτόν. Η πλειοψηφία των επεισοδίων ομίχλης αφορά τις ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας (Ιωάννινα, Λάρισα, Τρίπολη).



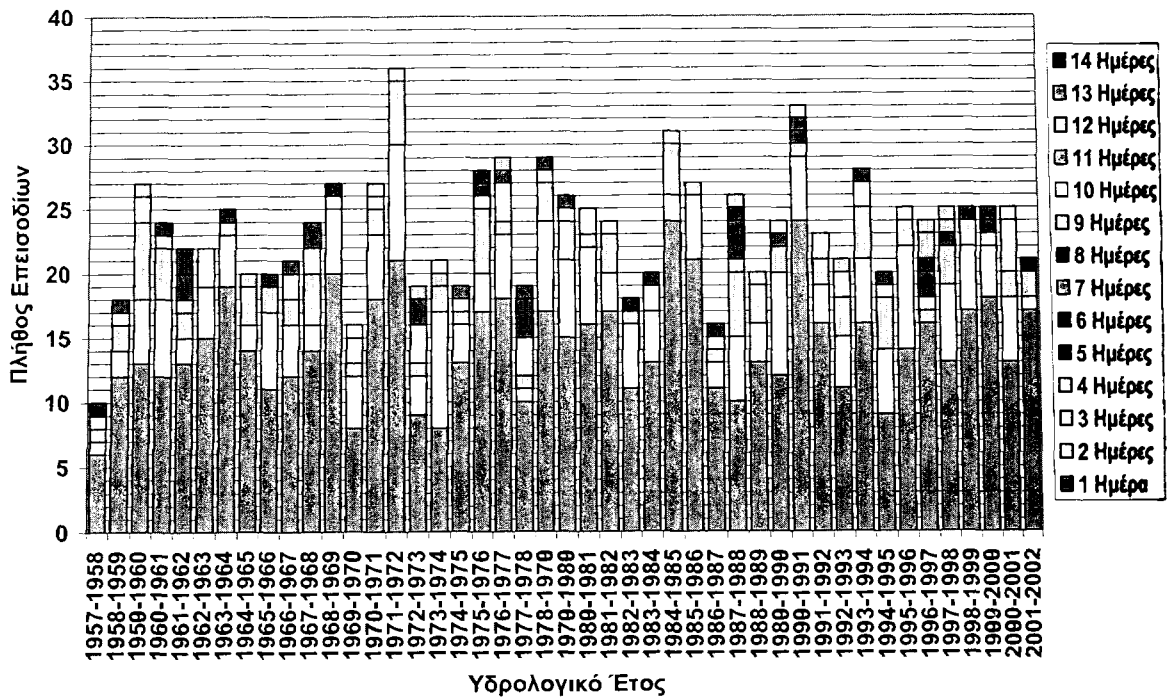
Σχήμα 7.1 Η ποσοστιαία κατανομή του πλήθους των παρατηρήσεων, στις οποίες έχει καταγραφεί το φαινόμενο της ομίχλης στον παρόντα καιρό με κωδικούς από 41 έως 49, ή/και στον παρελθόντα καιρό με κωδικό 4, στη διάρκεια της ημέρας για κάθε έναν μετεωρολογικό σταθμό.

Στο σχήμα 7.3 εμφανίζεται η ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης για την περίοδο από την 1/9/1957 έως 31/8/2002. Δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική (test Mann-Kendall) τάση αύξησης ή μείωσης του ετήσιου πλήθους των επεισοδίων για την υπό μελέτη χρονική περίοδο. Από το σχήμα 7.4 προκύπτει ότι τα περισσότερα έτη της περιόδου η διάρκεια των επεισοδίων ομίχλης δεν ξεπερνά τις 6 με 7 ημέρες. Ωστόσο επεισόδια ομίχλης στην Ελλάδα αρκετά μεγάλης διάρκειας (9 με 10 ημερών) παρουσιάζονται με αυξημένη συχνότητα από το 1969 έως το 1975 και από το 1989 έως το 2001 αφού σχεδόν σε κάθε έτος εμφανίζεται ένα τέτοιο επεισόδιο. Η μέση ενδο-ετήσια πορεία του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης (σχήμα 7.5) εμφανίζει ένα κύριο μέγιστο τον μήνα Δεκέμβριο και ένα δευτερεύον μέγιστο τον μήνα Μάρτιο. Ελάχιστη εμφανίζεται η συχνότητα των επεισοδίων ομίχλης τον μήνα Ιούλιο. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες τα λίγα επεισόδια που έχουν σημειωθεί έχουν διάρκεια μίας ημέρας (σχήμα 7.6). Τα επεισόδια μεγάλης διάρκειας (9 με 10 ημέρες) σημειώνονται αργά το φθινόπωρο και τους δύο πρώτους μήνες του χειμώνα. Γενικά τα επεισόδια ομίχλης στην Ελλάδα είναι διάρκειας κυρίως μίας με δύο ημερών (σχήμα 7.7).

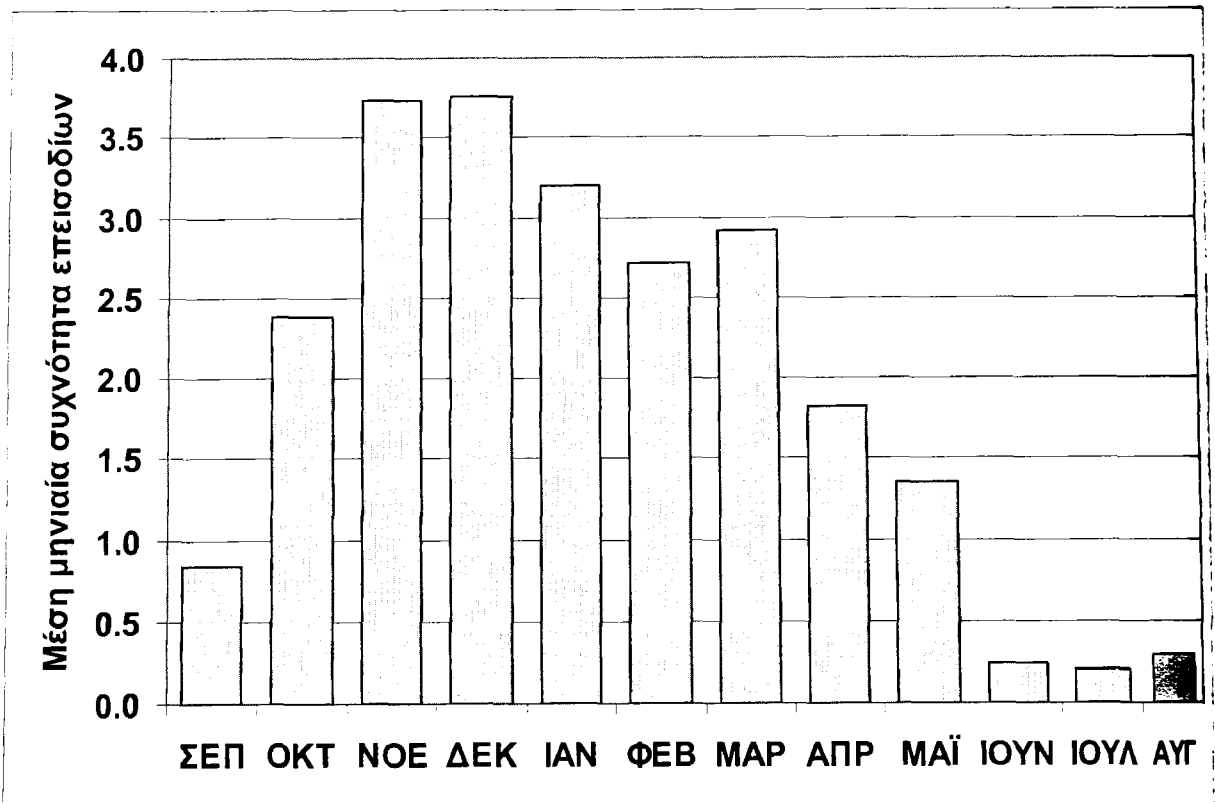
Το επεισόδιο ομίχλης με τη μεγαλύτερη διάρκεια 14 ημερών συνέβη στις 14/11/1974 και διάρκεσε μέχρι τις 27/11/1974. Καθ' όλη τη διάρκειά του στην ηπειρωτική χώρα (Ιωάννινα, Λάρισα, Τρίπολη) κάθε ημέρα σχηματίζονταν ομίχλες κατά τις βραδινές ώρες οι οποίες διαλύονταν το αργότερο μέχρι το μεσημέρι της επόμενης ημέρας, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι συνοπτικές συνθήκες ήταν ευνοϊκές για το σχηματισμό ομίχλης ακτινοβολίας σε όλη την ηπειρωτική χώρα. Στις 19/11/1974 παρατηρήθηκε ομίχλη σχεδόν σε όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς της βόρειας και κεντρικής Ελλάδας (Αλεξανδρούπολη, Κοζάνη, Κέρκυρα, Ιωάννινα, Λάρισα) και την επόμενη ημέρα ομίχλη σημειώθηκε και σε παράκτιους ΜΣ (Θεσσαλονίκη, Ανδραβίδα). Κατά την τελευταία ημέρα του επεισοδίου το φαινόμενο περιορίστηκε στη δυτική και κεντρική Ελλάδα κυρίως (Ιωάννινα, Αγρίνιο, Λάρισα).



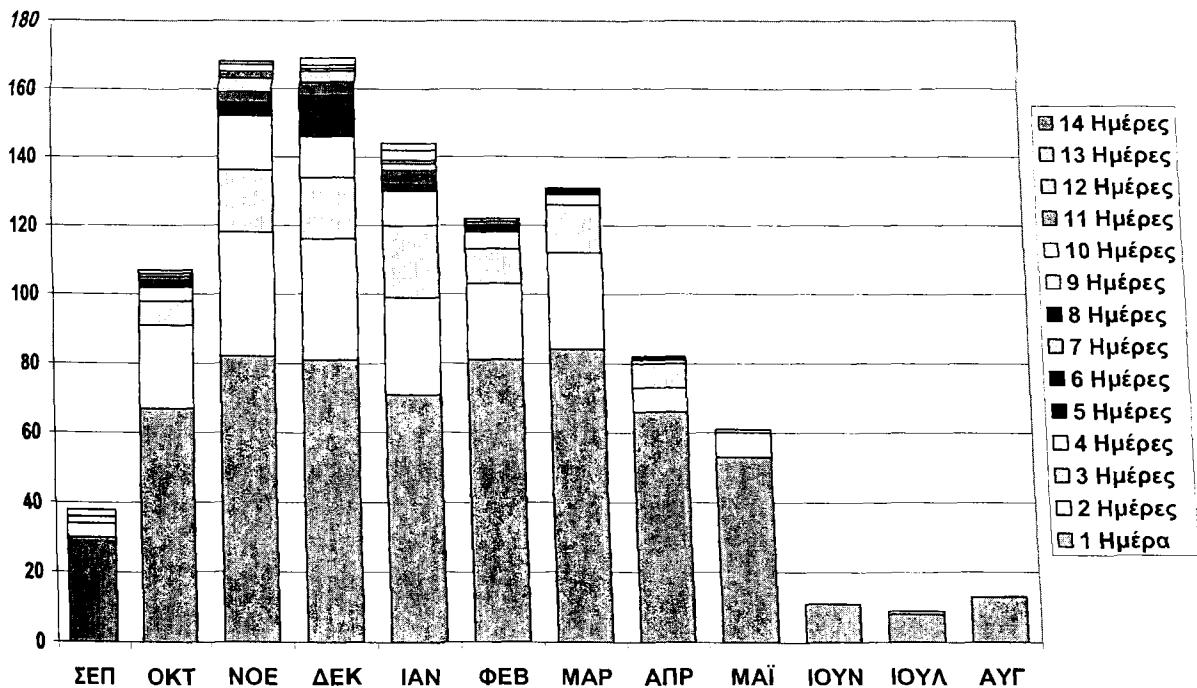
Σχήμα 7.3 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος.



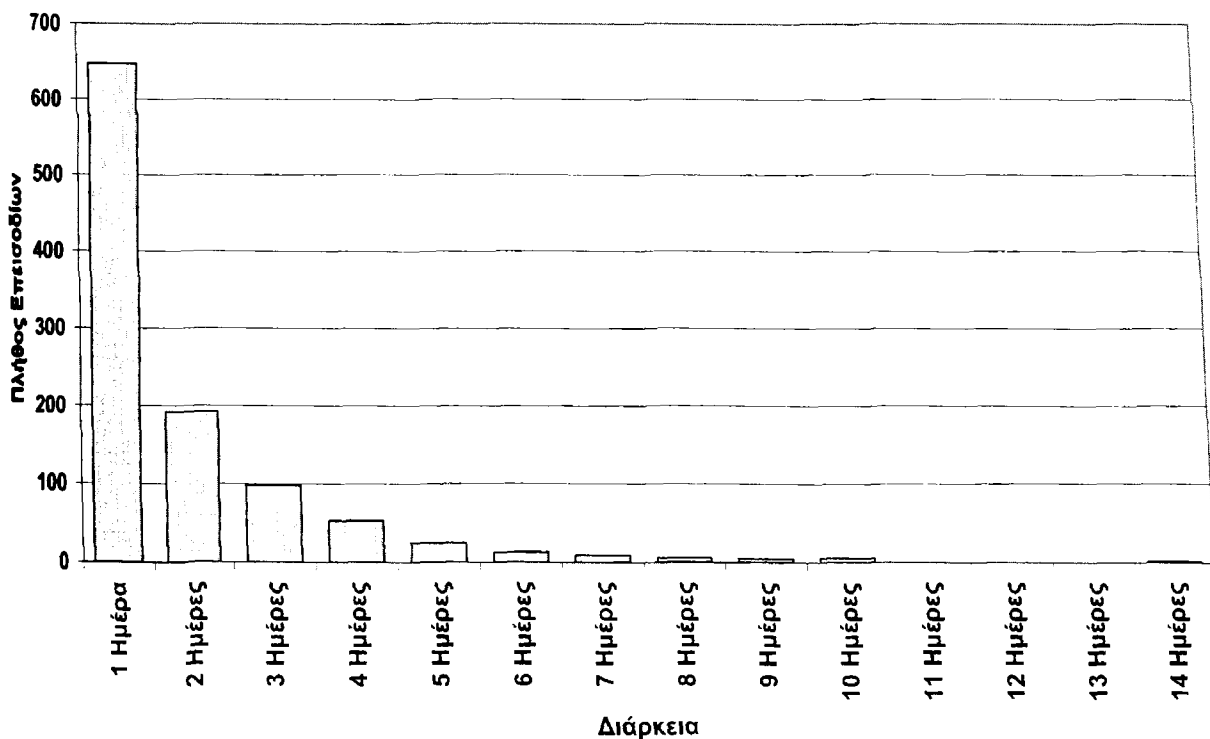
Σχήμα 7.4 Ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, με βάση το υδρολογικό έτος. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 7.5 Μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου.



Σχήμα 7.6 Ενδο - ετήσια διακύμανση του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ανά μήνα, με βάση την ημερομηνία έναρξης του κάθε επεισοδίου. Με τα διαφορετικά χρώματα εμφανίζεται το πλήθος των επεισοδίων συγκεκριμένης διάρκειας ημερών, όπως φαίνεται στο υπόμνημα δεξιά του γραφήματος.



Σχήμα 7.7 Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα για την περίοδο 1/9/1957-31/8/2002, ως προς τη διάρκειά τους.

7.3. **Κύριοι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν επεισόδια ομίχλης**

Για τα επεισόδια ομίχλης, ακολουθείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα του ECMWF λαμβάνουμε τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, της θερμοκρασίας της στάθμης των 850hPa, της θερμοκρασίας της στάθμης των 500hPa, του γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa και του πάχους στρώματος 1000-500hPa, στις 00:00UTC μία ημέρα πριν την έναρξη κάθε επεισοδίου (Ημέρα H-1), την ημέρα έναρξης του κάθε επεισοδίου (Ημέρα H) και μία ημέρα μετά τη λήξη του κάθε επεισοδίου (Ημέρα ΛΗΞΗΣ). Δημιουργούνται έτσι τρεις πίνακες 1365 στηλών και 1055 γραμμών, για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ αντίστοιχα. Σε κάθε έναν πίνακα, κάθε μία γραμμή από τις 1055 αντιστοιχεί στη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στις 00:00UTC για κάθε ένα από τα αντίστοιχα επεισόδια.

Εφαρμόζεται η Παραγοντική ανάλυση (S – mode) σε κάθε έναν από τους πίνακες, με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων. Προκύπτουν 10 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H-1, 10 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας H και 11 παράγοντες για τον πίνακα της Ημέρας ΛΗΞΗΣ, που ερμηνεύουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Οι τρεις νέοι πίνακες με τις τιμές επίδοσης των παραγόντων ενοποιούνται σε έναν πίνακα 31 στηλών και 1055 γραμμών. Στον ενοποιημένο πίνακα οι γραμμές αντιστοιχούν στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια κάθε ενός επεισοδίου ομίχλης. Σε αυτόν τον πίνακα εφαρμόζεται η K-Means Ανάλυση κατά Συστάδες και τα 1055 επεισόδια ομαδοποιούνται σε 10 ομάδες, λαμβάνοντας υπόψη το κριτήριο άλματος. Για κάθε ομάδα σχεδιάζονται οι μέσοι χάρτες στις 00:00UTC για κάθε μία παράμετρο για την Ημέρα H-1, την Ημέρα H και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ και παρουσιάζονται στα σχήματα 7.8 έως 7.17. Στα ίδια σχήματα παρουσιάζονται η εποχική κατανομή των επεισοδίων της κάθε ομάδας, η κατανομή των επεισοδίων ως προς τη διάρκειά τους για κάθε ομάδα καθώς και για κάθε μετεωρολογικό σταθμό το ποσοστό των ημερών ομίχλης στον ΜΣ ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της κάθε ομάδας.

1^η Ομάδα (95 ΕΟ 9%): Τα επεισόδια ομίχλης αυτής της ομάδας συμβαίνουν κυρίως κατά την περίοδο της άνοιξη και πολύ λίγα επεισόδια περί το τέλος του φθινοπώρου. Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισής τους παρουσιάζεται τον μήνα Απρίλιο. Η διάρκειά τους είναι μικρή και σπάνια ξεπερνά την μία ημέρα. Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα επεισοδίων, ευνοεί το σχηματισμό ομίχλης κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές (Ιωάννινα, Τρίπολη) ενώ φαίνεται να επηρεάζει και περιοχές της κεντρικής (Λάρισα) και δυτικής Ελλάδας (Κέρκυρα, Αγρίνιο), αλλά σε μικρότερο βαθμό.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων φαίνεται από το μέσο χάρτη του ύψους της στάθμης των 500hPa ότι ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων βρίσκεται ανατολικά της Ελλάδας, ο οποίος συνοδεύεται από ένα αβαθές σύστημα χαμηλών πιέσεων στην ανατολική Μεσόγειο. Την ημέρα έναρξης των επεισοδίων το πεδίο χαμηλών πιέσεων περιορίζεται ανατολικότερα και η αντικυκλωνική κυκλοφορία στη μέση τροπόσφαιρα που συνοδεύεται στην επιφάνεια από ένα πεδίο υψηλών πιέσεων στη Βαλκανική χερσόνησο προκαλούν αίθριο καιρό και ανέφελο ουρανό. Η πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας και η άπνοια εξαιτίας του σχεδόν σταθερού πεδίου πίεσης συμβάλουν στο σχηματισμό ομίχλης ακτινοβολίας. Τα επεισόδια ομίχλης λήγουν καθώς επέρχεται αύξηση της θερμοκρασίας.

2^η Ομάδα (118 ΕΟ 11%): Αυτή η ομάδα επεισοδίων παρουσιάζει μέγιστη συχνότητα εμφάνισης το μήνα Δεκέμβριο και η αντίστοιχη ατμοσφαιρική κυκλοφορία μπορεί να

χαρακτηριστεί ως χειμερινή. Τα επεισόδια ομίχλης στην Ελλάδα διαρκούν κυρίως 1 ημέρα. Κυρίως στην κεντρική ηπειρωτική χώρα (Ιωάννινα, Λάρισα) ευνοείται ο σχηματισμός ομιχλών και λιγότερο στην Τρίπολη και στη Θεσσαλονίκη.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα και κατά την ημέρα έναρξής τους στη μέση τροπόσφαιρα η ατμοσφαιρική κυκλοφορία εμφανίζεται αντικυκλωνική δυτικά και πάνω από την Ελλάδα. Στην επιφάνεια πάνω από τη χώρα επικρατεί ένα πεδίο σταθερών υψηλών πιέσεων, το οποίο ευνοεί το σχηματισμό ομίχλης ακτινοβολίας. Δυτικότερα στη βόρειο Ιταλία διαφαίνεται ο σχηματισμός μίας ύφεσης. Τα επεισόδια ομίχλης λήγουν γρήγορα καθώς η ύφεση πάνω από την Ιταλία αρχίζει να επηρεάζει την Ελλάδα με κακοκαιρία.

3^η Ομάδα (93 ΕΟ 9%): Ο τύπος της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα επεισοδίων εμφανίζεται κυρίως τους πρώτους μήνες της χειμερινής περιόδου και ευνοεί το σχηματισμό ομίχλης στην Ελλάδα μεγάλης διάρκειας. Περισσότερο από το 50% των επεισοδίων διαρκούν από 2 έως 4 ημέρες. Αρκετά είναι τα επεισόδια των οποίων η διάρκεια φτάνει μέχρι τις 10 ημέρες. Οι ηπειρωτικές περιοχές της κεντρικής και νότιας χώρας (Ιωάννινα, Λάρισα, Τρίπολη) επηρεάζονται από αυτή τη συνοπτική κατάσταση.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων ένας ισχυρός αντικυκλώνας καλύπτει την κεντρική Ευρώπη με το κέντρο του να βρίσκεται στη Βαλκανική χερσόνησο. Σε συνδυασμό με τις χαμηλές πιέσεις στην ανατολική Μεσόγειο προκαλεί βορειοανατολικό ρεύμα στην Ελλάδα, αλλά κυρίως στο νότιο Αιγαίο πέλαγος. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων η μικρή εξασθένιση του αντικυκλώνα και η μετακίνηση των χαμηλών πιέσεων της ανατολικής Μεσογείου νοτιότερα προκαλούν την εξασθένιση των βορειοανατολικών ανέμων. Η παρουσία του αντικυκλώνα και η εξασθένιση των ανέμων ευνοούν το σχηματισμό ομιχλών ακτινοβολίας κατά τις βραδινές ώρες. Τη λήξη των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα σηματοδοτεί η πλήρης εξασθένιση του αντικυκλώνα.

4^η Ομάδα (82 ΕΟ 8%): Αυτή η ομάδα επεισοδίων εμφανίζει ένα κύριο μέγιστο συχνότητας εμφάνισης τον μήνα Μάρτιο και ένα δευτερεύον το μήνα Δεκέμβριο. Δεν λείπουν τα επεισόδια μεγάλης διάρκειας, ωστόσο τα περισσότερα διαρκούν μόνο 1 ημέρα. Κυρίως η κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα (Ιωάννινα, Λάρισα) επηρεάζεται από τον αντίστοιχο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Η ατμοσφαιρική κυκλοφορία στη μέση τροπόσφαιρα πριν, κατά τη διάρκεια και κατά τη λήξη των επεισοδίων εμφανίζεται να είναι σχεδόν ζωνική πάνω από την Ελλάδα. Στην επιφάνεια μία ημέρα πριν και την ημέρα έναρξης των επεισοδίων ομίχλης ένας ασθενής αντικυκλώνας έχει το κέντρο του στη Βαλκανική χερσόνησο ευνοώντας συνθήκες ανέφελου ουρανού και έντονης γήινης ακτινοβολίας και ψύξης του οριακού στρώματος, συνθήκες ικανές για το σχηματισμό ομίχλης. Την ημέρα λήξης των επεισοδίων ο αντικυκλώνας έχει μετατοπιστεί ανατολικότερα και η ύφεση που έχει σχηματιστεί στην Ιταλία φαίνεται να αρχίζει να επηρεάζει τη χώρα και να προκαλεί νοτιοδυτική ροή, η οποία συμβάλλει στο σχηματισμό νεφών και κακοκαιρίας.

5^η Ομάδα (81 ΕΟ 8%): Τα επεισόδια ομίχλης αυτής της ομάδας παρουσιάζονται κυρίως περί το τέλος του φθινοπώρου και στις αρχές της άνοιξης. Η ενδοετήσια πορεία του πλήθους τους εμφανίζει ένα κύριο μέγιστο το μήνα Νοέμβριο και ένα δευτερεύον μέγιστο το μήνα Μάρτιο. Η διάρκειά τους είναι κυρίως 1 ημέρα, αρκετά όμως επεισόδια διαρκούν μέχρι και 4 ημέρες. Η κεντρική (Ιωάννινα, Λάρισα) και νότια (Τρίπολη) ηπειρωτική Ελλάδα επηρεάζονται από τον αντίστοιχο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Μία ημέρα πριν και κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων ένας εκτεταμένος αντικυκλώνας καλύπτει την κεντρική Ευρώπη και τα Βαλκάνια. Άπνοια επικρατεί στην Ελλάδα, καθώς η βαροβαθμίδα είναι πολύ μικρή. Αυτές οι συνοπτικές συνθήκες είναι ικανές για το σχηματισμό ομίχλων ακτινοβολίας. Κατά την ημέρα λήξης των επεισοδίων η ύπαρξη μίας ύφεσης στην κεντρική Μεσόγειο και η ενίσχυση των χαμηλών πιέσεων γενικότερα στη Μεσόγειο αυξάνουν τη βαροβαθμίδα στην Ελλάδα και προκαλούν αρκετά ισχυρή βορειοανατολική ροή αερίων μαζών, η οποία δεν ευνοεί πλέον το σχηματισμό ομίχλης.

6^η Ομάδα (93 ΕΟ 9%): Ο τύπος της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που αντιστοιχεί σε αυτή την ομάδα επεισοδίων μπορεί να χαρακτηριστεί ως χειμερινός. Η διάρκεια των ομίχλων στην Ελλάδα είναι κυρίως 1 ημέρα και οι ομίχλες σχηματίζονται στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας (Κοζάνη, Ιωάννινα, Λάρισα, Τρίπολη) και στη Θεσσαλονίκη. Οι υπόλοιπες περιοχές επηρεάζονται ελάχιστα.

Μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων ομίχλης μία αβαθής ύφεση στη δυτική Μεσόγειο σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα που έχει το κέντρο του στην βορειοανατολική Ευρώπη προκαλεί ασθενές νότιο ρεύμα αερίων μαζών εμπλουτισμένων με υδρατμούς, προκαλώντας ίσως κάποιες βροχοπτώσεις. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων η επικράτηση των υψηλών πιέσεων πάνω από την Ελλάδα ευνοεί το σχηματισμό ομίχλης ακτινοβολίας. Τα επεισόδια λήγουν καθώς η ύφεση στη δυτική Μεσόγειο ενισχύεται προκαλώντας ισχυρότερους νοτιοανατολικούς ανέμους και πιθανόν κακοκαιρία, συνθήκες που δεν ευνοούν το σχηματισμό ομίχλων.

7^η Ομάδα (132 ΕΟ 12%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν κυρίως από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα του χειμώνα. Η διάρκειά τους εμφανίζεται μεγάλη καθώς πολλά είναι αυτά που διαρκούν περισσότερο από 1 ημέρα. Σε αυτή την ομάδα ανήκει και το επεισόδιο της μεγαλύτερης διάρκειας 14 ημερών. Ο σχηματισμός ομίχλης ευνοείται κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές καθώς και στη Θεσσαλονίκη.

Μία ημέρα πριν και κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων ομίχλης πάνω από τη Ελλάδα στη μέση τροπόσφαιρα η κυκλοφορία εμφανίζεται αντικυκλωνική. Στην επιφάνεια την Ημέρα Η-1 η βαθιά εκτεταμένη ύφεση που έχει το κέντρο της στον βορειοανατολικό Ατλαντικό ωκεανό σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που επικρατούν στην Ανατολική Ευρώπη, προκαλεί μία ασθενή νότια ροή υγρών και σχετικά θερμών αερίων μαζών πάνω από τη Βαλκανική χερσόνησο. Κατά την Ημέρα Η το σταθερό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων και η άπνοια πάνω από την Ελλάδα ευνοεί την καλοκαιρία και το σχηματισμό ομίχλων ακτινοβολίας κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές. Τα επεισόδια ομίχλης λήγουν καθώς από τα δυτικά η ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από την Ελλάδα αλλάζει σε κυκλωνική, τόσο στην επιφάνεια, όσο και στη μέση τροπόσφαιρα.

8η Ομάδα (137 ΕΟ 13%): Η ενδο-ετήσια πορεία του πλήθους των επεισοδίων αυτής της ομάδας δείχνει ότι ο αντίστοιχος τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμφανίζεται κατά την θερινή περίοδο του έτους αλλά κυρίως νωρίς το φθινόπωρο με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης τον μήνα Οκτώβριο. Η διάρκεια των επεισοδίων είναι κυρίως 1 ημέρα και ο σχηματισμός ομίχλης ευνοείται κυρίως στη δυτική και νότια ηπειρωτική χώρα.

Στη μέση τροπόσφαιρα πριν κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη των επεισοδίων ομίχλης η ατμοσφαιρική κυκλοφορία είναι ζωνική με μία μικρή κυκλωνικότητα να εμφανίζεται στην ανατολική Μεσόγειο. Στην επιφάνεια ένα σταθερό πεδίο υψηλών σχετικά πιέσεων επικρατεί στη νότια Ευρώπη και κυρίως στη Βαλκανική χερσόνησο ενώ σχετικά χαμηλές πιέσεις επικρατούν στη Μεσόγειο. Οι υψηλές πιέσεις πάνω από την ξηρά οφείλονται σε θερμικά αίτια καθώς κυρίως το φθινόπωρο η ξηρά ψύχεται λόγω της μείωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη θερινή περίοδο και νωρίς το φθινόπωρο η απόλυτη υγρασία παρουσιάζει υψηλές τιμές εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών των αερίων μαζών που

αυξάνει τη δυνατότητα κατακράτησης υδρατμών. Το φθινόπωρο η ξηρά αρχίζει να ψύχεται λόγω της μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλώντας την ψύξη των υπερκείμενων αερίων μαζών και την αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια. Καθώς αυτές οι αέριες μάζες είναι πλούσιες σε υδρατμούς η ψύξη τους, η οποία ενισχύεται κατά τις βραδινές ώρες λόγω της γήινης ακτινοβολίας, είναι ικανή να προκαλέσει το σχηματισμό ομίχλων. Αυτό φαίνεται στους μέσους χάρτες της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850hPa όπου οι ισόθερμες κάμπτονται πάνω από την ηπειρωτική χώρα, υποδεικνύοντας ψύξη των αερίων μαζών πάνω από την ξηρά στα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας, Δεν συμβαίνει το ίδιο στο πάχος στρώματος 1000hPa – 500hPa, αλλά ούτε και στη θερμοκρασία στη στάθμη των 500hPa, το οποίο σημαίνει ότι μόνο τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ψύχονται.

9η Ομάδα (101 ΕΟ 9%): Τα επεισόδια αυτής της ομάδας συμβαίνουν κυρίως το χειμώνα αλλά και κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης του αντίστοιχου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας παρουσιάζεται το μήνα Δεκέμβριο. Η διάρκεια των επεισοδίων σπάνια ξεπερνά την 1 ημέρα. Ο σχηματισμός ομίχλης ευνοείται κυρίως στην κεντρική (Λάρισα) και δυτική (Ιωάννινα) ηπειρωτική Ελλάδα.

Κατά την Ημέρα Η-1 στη μέση τροπόσφαιρα ένας αυλώνας χαμηλών πιέσεων βρίσκεται πάνω από την Ιταλία ο οποίος κατά την Ημέρα Η μετατοπίζεται ανατολικότερα. Στην επιφάνεια μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα μία ύφεση που έχει το κέντρο της στο Ιόνιο προκαλεί νοτιοανατολική ροή σχετικά θερμών και υγρών αερίων μαζών πάνω από την Ελλάδα με αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμού μετώπου και την πρόκληση βροχοπτώσεων. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων η ύφεση εξασθενεί σημαντικά, το πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης πάνω από τη χώρα παρουσιάζεται σχεδόν σταθερό και επικρατεί σχεδόν άπνοια. Ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με υδρατμούς από την προηγούμενη βροχόπτωση, η άπνοια και η πτώση της θερμοκρασίας κατά τις βραδινές ώρες ευνοούν το σχηματισμό ομίχλων. Η διάρκειά τους δεν είναι μεγάλη, καθώς στο Αιγαίο πέλαγος αλλά και στο Ιόνιο φαίνεται να σχηματίζονται υφειακά κέντρα που προκαλούν εκ νέου κακοκαιρία και τη λήξη των επεισοδίων ομίχλης.

10η Ομάδα (123 ΕΟ 12%): Τα επεισόδια ομίχλης αυτής της ομάδας συμβαίνουν κυρίως στην αρχή της χειμερινής περιόδου και στο τέλος της. Ένα κύριο μέγιστο στη συχνότητα εμφάνισής τους παρουσιάζεται τον μήνα Μάρτιο και ένα δευτερεύον μέγιστο τον μήνα Δεκέμβριο. Η διάρκεια των επεισοδίων είναι κυρίως 1 ημέρα, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις διαρκούν 2 ημέρες και περισσότερες. Ο αντίστοιχος τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας φαίνεται να ευνοεί το σχηματισμό ομίχλης σε νησιωτικές περιοχές του Αιγαίου (Νάξος), αλλά και στη Θεσσαλονίκη και την Λάρισα. Οι ηπειρωτικές περιοχές της χώρας όπως τα Ιωάννινα και η Τρίπολη φαίνεται να επηρεάζονται λίγο από αυτόν τον τύπο.

Στη μέση τροπόσφαιρα πριν, κατά τη διάρκεια και κατά τη λήξη των επεισοδίων ομίχλης στην Ελλάδα επικρατεί κυκλωνική κυκλοφορία αρχικά πάνω από τη δυτική Μεσόγειο και στη συνέχεια πάνω από την κεντρική Μεσόγειο. Στην επιφάνεια μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων μία ύφεση, η οποία έχει το κέντρο της στον κόλπο της Γένοβας, σε συνδυασμό με το πεδίο υψηλών πιέσεων που επικρατεί στη Μικρά Ασία και τον Καύκασο, προκαλεί τη ροή θερμών αερίων μαζών εμπλουτισμένων με υδρατμούς πάνω από την Ελλάδα. Κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων η μείωση της βαροβαθμίδας προκαλεί την εξασθένιση των νοτίων ανέμων που αποτελεί απαραίτητη συνθήκη για το σχηματισμό ομίχλης. Καθώς η υγρή αέρια μάζα φτάνει στην ψυχρή λόγω της εποχής ξηρά ψύχεται στα κατώτερα στρώματά της και σχηματίζονται ομίχλες σε περιοχές κυρίως παράκτιες με νότιο προσανατολισμό, όπως είναι η Θεσσαλονίκη.

Συμπερασματικά Οι περισσότεροι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προκαλούν κυρίως στην ηπειρωτική Ελλάδα ομίχλες ακτινοβολίας. Οι διαφορές τους

εντοπίζονται κυρίως στη θέση και την ένταση των συστημάτων ατμοσφαιρικής πίεσης που επηρεάζουν την περιοχή της Ελλάδας. Ακόμη διαφορές παρουσιάζονται στην εποχή του έτους που εμφανίζεται ο κάθε τύπος.

Στον 1^ο, 2^ο και 4^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ένα σταθερό πεδίο σχετικά υψηλών πιέσεων πάνω από την Ελλάδα συμβάλει στον αίθριο καιρό και σε συνθήκες άπνοιας, που ευνοούν το σχηματισμό ομίχλων ακτινοβολίας κυρίως σε ηπειρωτικές περιοχές. Ο 1^{ος} τύπος εμφανίζεται κυρίως την άνοιξη και ο 2^{ος} το χειμώνα, ενώ ο 4^{ος} στην αρχή και στο τέλος της χειμερινής περιόδου και η διάρκεια των επεισοδίων είναι κυρίως 1 ημέρα.

Στον 3^ο και στον 4^ο τύπο η παρουσία ενός αντικυκλώνα στην κεντρική Ευρώπη και τα Βαλκάνια επηρεάζει την Ελλάδα με καλοκαιρία και συμβάλει στη δημιουργία ομίχλων ακτινοβολίας. Η λήξη των επεισοδίων σηματοδοτείται με την εξασθένηση του αντικυκλώνα στον 1^ο τύπο και με την ενίσχυση των ανέμων εξαιτίας της αύξησης της βαροβαθμίδας στο 2^ο τύπο. Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης αυτών των τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας παρουσιάζεται στις αρχές της χειμερινής περιόδου. Η διάρκεια των επεισοδίων εμφανίζεται σχετικά μεγάλη.

Στον 6^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας η επέκταση πάνω από τα Βαλκάνια του αντικυκλώνα, που έχει το κέντρο του στη Ρωσία, συμβάλει στην καλοκαιρία και στο σχηματισμό ομίχλης ακτινοβολίας μικρής διάρκειας στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας. Η ενίσχυση μίας ύφεσης στην κεντρική Μεσόγειο προκαλεί τη λήξη της καλοκαιρίας και των ομίχλων.

Στον 7^ο και τον 10^ο τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ο σχηματισμός της ομίχλης ευνοείται κυρίως από την ασθενή νότια ροή υγρών αερίων μαζών πάνω από την ψυχρή ξηρά η οποία προκαλεί την ψύξη των χαμηλότερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων και κατά συνέπεια τον κορεσμό τους. Αυτοί οι τύποι συμβαίνουν κυρίως κατά τη φθινοπωρινή και ανοιξιάτικη περίοδο. Αρκετά είναι τα επεισόδια των οποίων η διάρκεια είναι μεγάλη.

Ο 8^{ος} τύπος είναι καλοκαιρινός με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης το τέλος της καλοκαιρινής περιόδου (Σεπτέμβριος, Οκτώβριος). Οι ομίχλες αυτού του τύπου είναι ομίχλες ακτινοβολίας και ο σχηματισμός τους οφείλεται κυρίως στην ψύξη του εδάφους και των υπερκείμενων αερίων στρωμάτων λόγω μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και της νυχτερινής γήινης ακτινοβολίας κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Εύκολα οι αέριες μάζες φτάνουν στον κορεσμό ακόμη και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες αφού οι τιμές της απόλυτης υγρασίας που εμφανίζονται είναι μεγάλες λόγω της εποχής.

Στον 9^ο τύπο η έλευση ενός θερμού μετώπου φαίνεται να είναι η αιτία των επεισοδίων ομίχλης τα οποία συμβαίνουν κυρίως τη χειμερινή περίοδο αλλά και την άνοιξη. Η διάρκειά τους είναι μικρή καθώς τα επεισόδια λήγουν με το σχηματισμό υφέσεων στο Αιγαίο και το Ιόνιο πέλαγος που ευνοούν τη συνέχιση της κακοκαιρίας.

Όσον αφορά στις περιοχές της Ελλάδας στις οποίες ευνοείται περισσότερο ο σχηματισμός ομίχλης εξαιτίας της επικράτησης του κάθε τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, στο σχήμα 7.18 φαίνεται για κάθε μετεωρολογικό σταθμό το ποσοστό των ημερών ομίχλης σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό ως προς τον τύπο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Ο 7^{ος} τύπος επηρεάζει όλη την ηπειρωτική χώρα εκτός από τα νησιά του νοτίου Αιγαίου και την Κέρκυρα. Σε αυτόν οφείλονται κυρίως οι ομίχλες στην Αθήνα. Ο 8^{ος} και κυρίως ο 10^{ος} τύπος ευνοούν το σχηματισμό ομίχλων στην Κρήτη και στη Ρόδο, ενώ το μοναδικό επεισόδιο ομίχλης κατά το οποίο σημειώθηκε ομίχλη και στη Μυτιλήνη ανήκει στη 10^η ομάδα. Ακόμη για τη Θεσσαλονίκη ο 10^{ος} τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αποτελεί τη δεύτερη σε συχνότητα αιτία για το σχηματισμό ομίχλης. Στη δυτική Ελλάδα (Κέρκυρα, Ιωάννινα, Αγρίνιο) καθώς και στη νότια ηπειρωτική (Τρίπολη) φαίνεται ότι ο 3^{ος} τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας

αποτελεί μετά τον 7^ο τύπο την πιο συνηθισμένη συνοπτική κατάσταση που ευνοεί τις ομίχλες σε αυτές τις περιοχές.

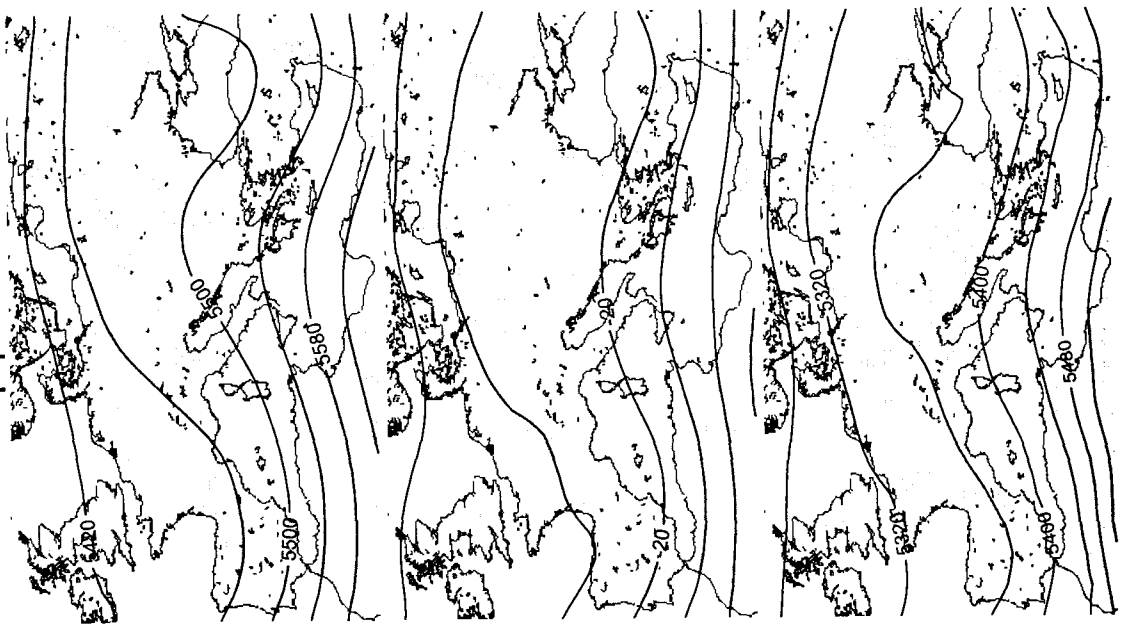
Συγκριτικά. Οι περισσότερες μελέτες, που αφορούν το φαινόμενο της ομίχλης σε ένα τόπο, έχουν ως αντικείμενο στη δημιουργία αριθμητικών μοντέλων για την πρόγνωση του φαινομένου, με τη χρήση τιμών μετεωρολογικών παραμέτρων καταγεγραμμένων στην υπό μελέτη τοποθεσία. Ωστόσο, μελέτες που έχουν γίνει με γενικότερο στόχο τη συσχέτιση τύπων καιρού σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας με τύπους συνοπτικών καταστάσεων καταλήγουν σε συμπεράσματα, τα οποία συμφωνούν με τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής όσον αφορά το φαινόμενο της ομίχλης.

Οι Michailidou et al. (2008) απεκάλυψαν 5 διαφορετικούς τύπους καιρού για τη Θεσσαλονίκη, εκ των οποίων οι τύποι WT_1 και WT_4 αφορούν μικρή ένταση ανέμου και αρκετά υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Αυτές οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για την εμφάνιση ομίχλης στην περιοχή και συσχετίστηκαν ο WT_1 με αντικυκλωνική κυκλοφορία ανατολικά της Ελλάδας και ο WT_4 με κυκλωνική κυκλοφορία δυτικά της Ελλάδας. Στην 7η και στη 10η ομάδα (σχήματα 7.14 και 7.17) επεισοδίων ομίχλης η ατμοσφαιρική κυκλοφορία κατά την Ημέρα Η περιγράφεται γενικά από ένα πεδίο υψηλών πιέσεων ανατολικά της Ελλάδας, οι οποίες σε συνδυασμό με χαμηλές πιέσεις ή κυκλωνική κυκλοφορία στα δυτικά της χώρας προκαλούν ασθενή νότια ροή υγρών αερίων μαζών στην περιοχή της Ελλάδας και συνδέεται με τις περισσότερες ημέρες ομίχλης στη Θεσσαλονίκη (σχήμα 7.18), κατά τις οποίες προφανώς συμβαίνουν επεισόδια ομίχλης μεταφοράς. Τέτοιου είδους ομίχλες είναι συχνές στην περιοχή της Θεσσαλονίκης (Stolaki et al., 2008). Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και στη μελέτη των Χούσος κ.α. (2008).

Στην ταξινόμηση των συνοπτικών καταστάσεων, που επιχειρήθηκε από τον Kassomenos (2003a), ο τέταρτος τύπος συνοπτικής κατάστασης (cluster 4), που προέκυψε για τη χειμερινή περίοδο, συσχετίζεται με συνθήκες αυξημένης υγρασίας στην Αθήνα και είναι ίδιος με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία της 7ης ομάδας επεισοδίων ομίχλης (σχήμα 7.14), στην οποία όπως φαίνεται οφείλεται αρκετά μεγάλος πλήθος ημερών ομίχλης στην Αθήνα (σχήμα 7.18). Σε μία άλλη μελέτη του Kassomenos (2003b), η οποία αφορά τη φθινοπωρινή περίοδο, ο 1ος τύπος συνοπτικής κατάστασης (cluster 1), που προέκυψε και συνδέθηκε με συνθήκες σχετικής άπνοιας και υψηλής σχετικής υγρασίας στην Αθήνα, είναι όμοιος με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία που αντιστοιχεί στην 10η ομάδα επεισοδίων ομίχλης (σχήμα 7.17), η οποία παρουσιάζει επίσης αρκετά μεγάλη επίδραση στην πρόκληση ομίχλων στην Αθήνα (σχήμα 7.18).

Αντίθετα οι μορφές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που αντιστοιχούν στην 2η, 3η, 4η και στην 5η ομάδα επεισοδίων ομίχλης, και χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης ανατολικά της Ελλάδας ή αντικυκλωνική κυκλοφορία στην περιοχή των Βαλκανίων με μικρή βαροβαθμίδα, συνδέονται ελάχιστα ή και καθόλου με τη δημιουργία ομίχλης στην περιοχή της Αθήνας (σχήμα 7.18). Αυτή η διαπίστωση συμφωνεί με τα ευρήματα της μελέτης των Kassomenos et al. (1998), στην οποία οι τύποι συνοπτικών καταστάσεων OA και CA που αφορούν υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης ανατολικά της Ελλάδας ή αντικυκλωνική κυκλοφορία στην περιοχή των Βαλκανίων συσχετίστηκαν με συνθήκες άπνοιας αλλά και ξηρασίας στην περιοχή των Αθηνών κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

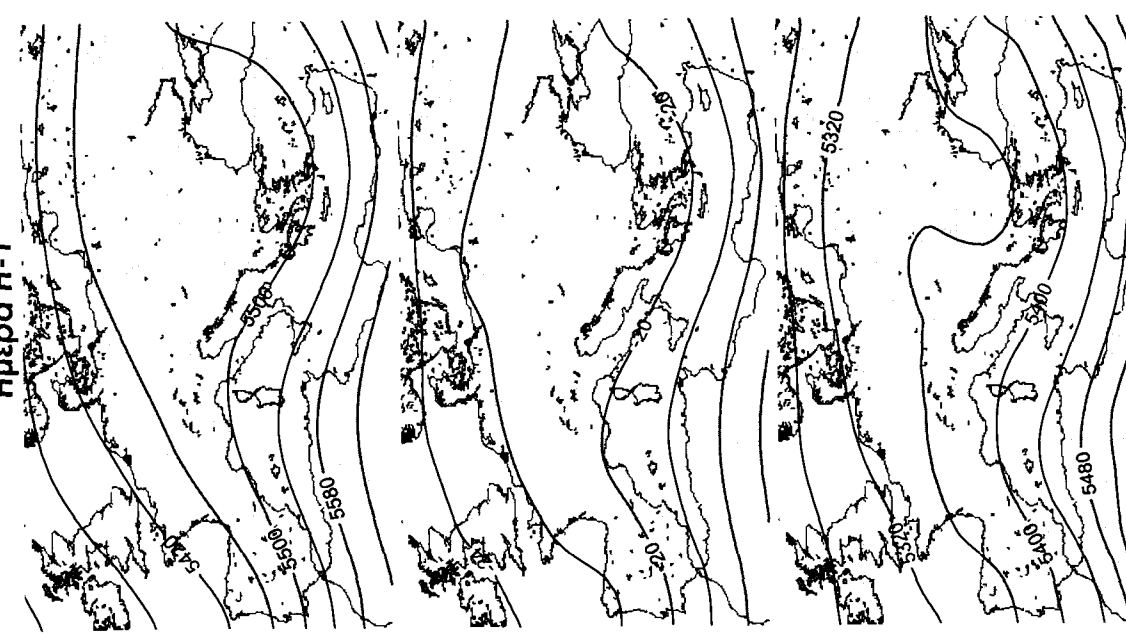
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



1η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

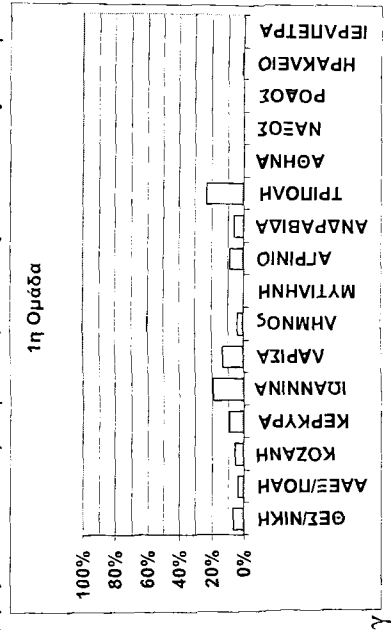
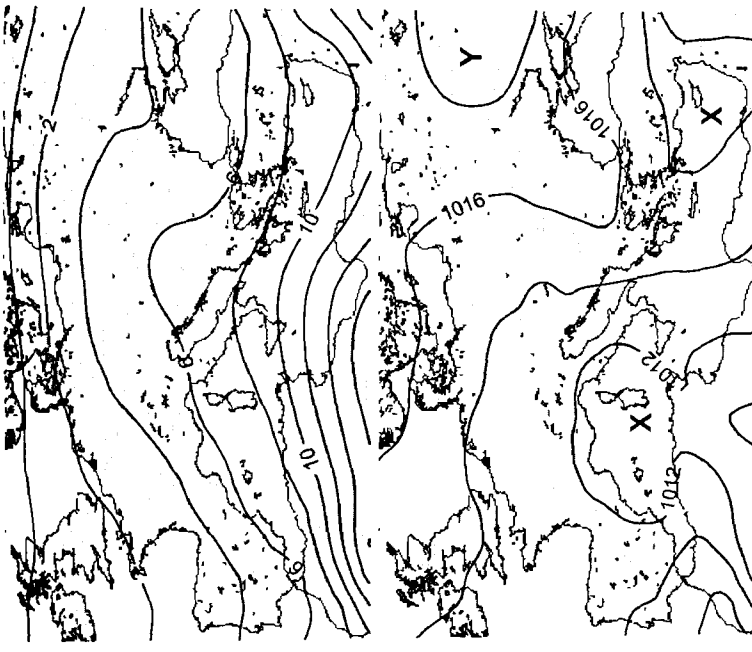
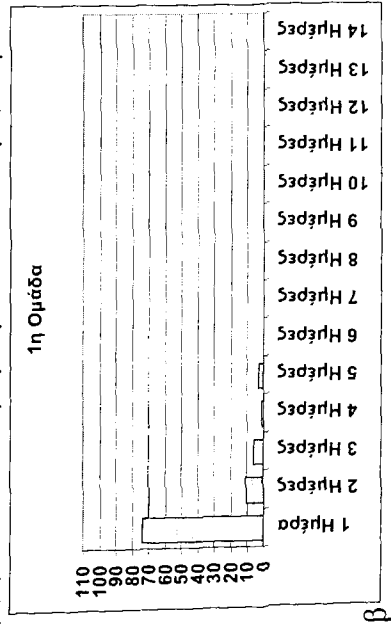
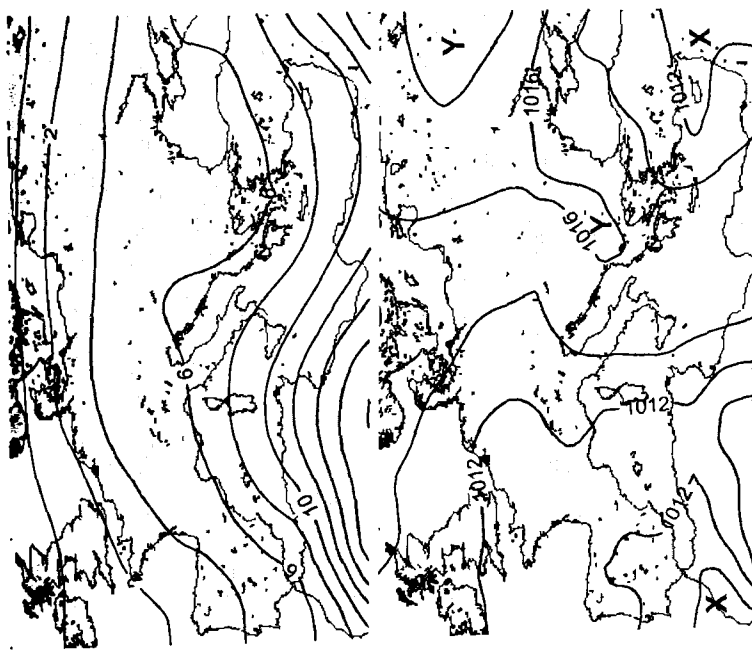
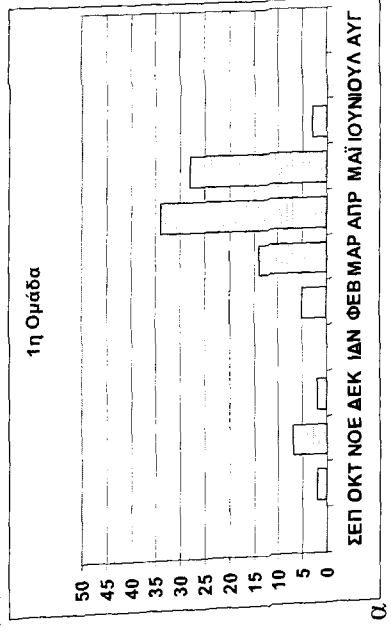
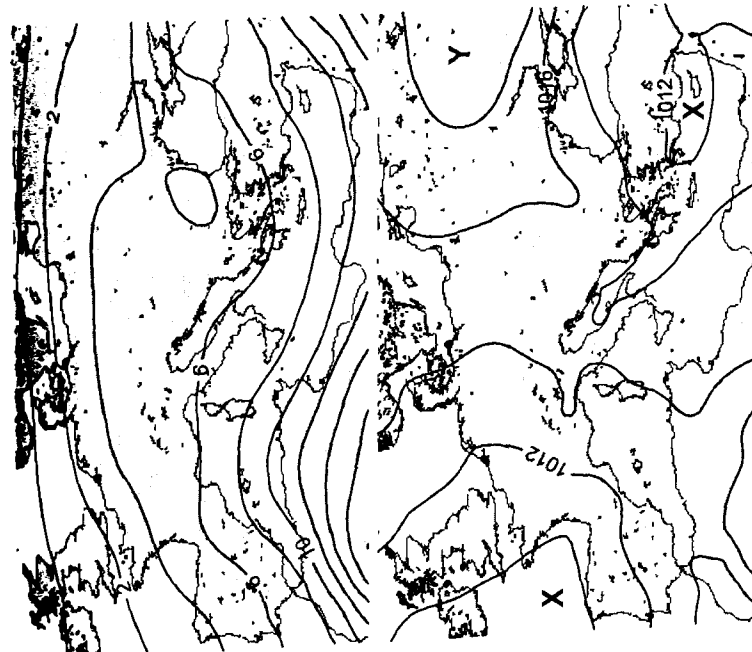


Στάθμη 500hPa

Επιμάρκασια 500hPa

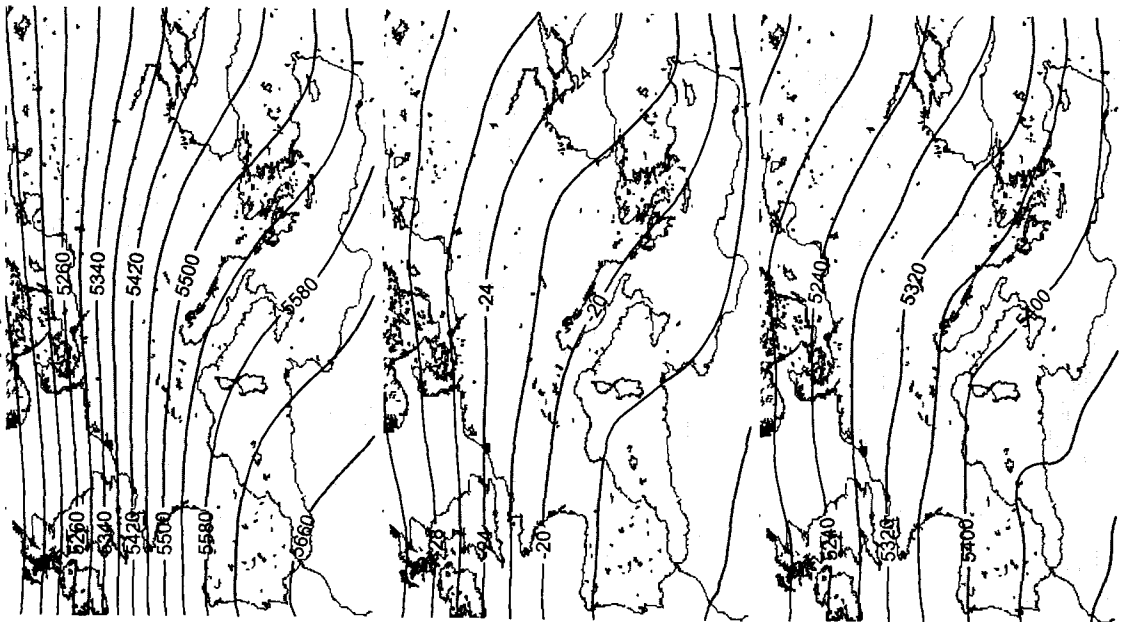
Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 7.8 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.



Σχήμα 7.8 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, που δείχνουν τον 1° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 1ης Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 1ης Ομάδας.

Ημέρα Η-1



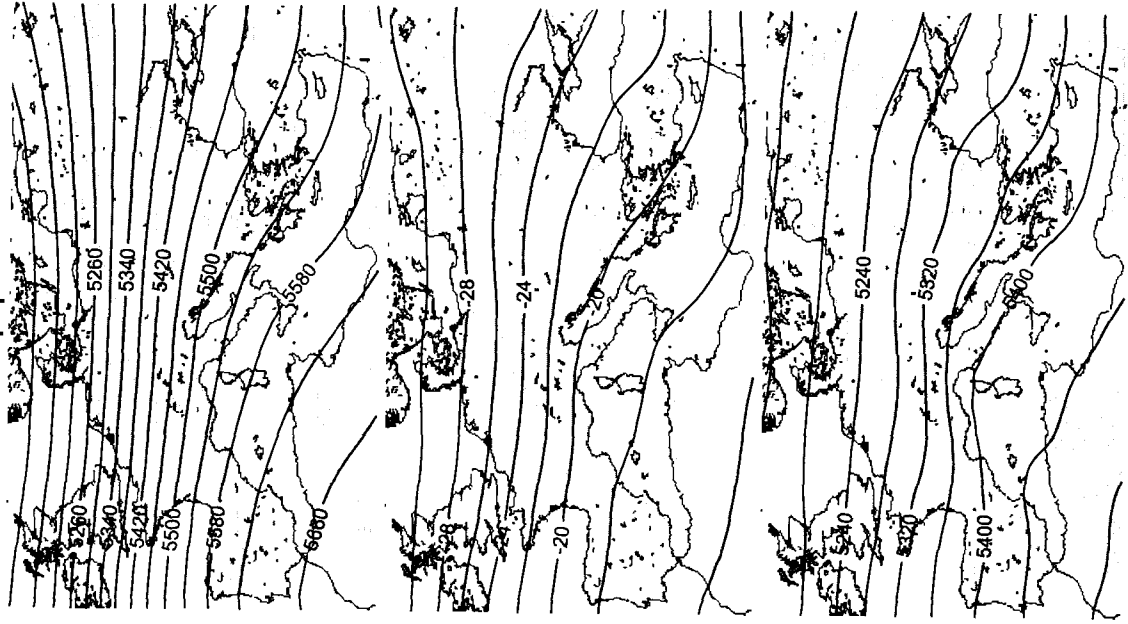
500hPa

500hPa

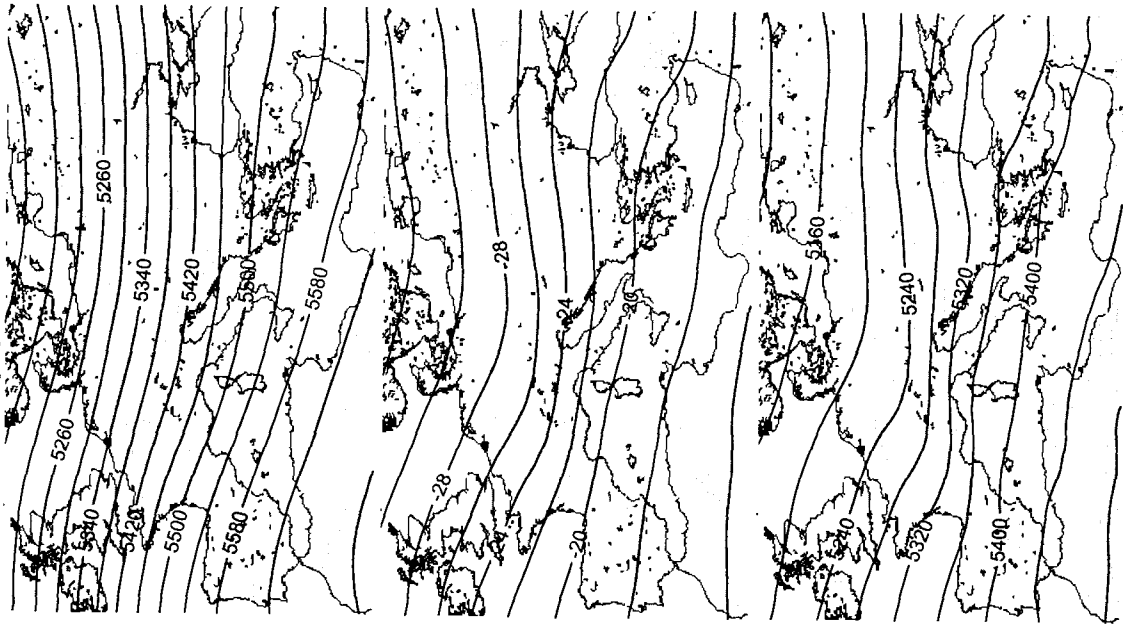
1000-500hPa

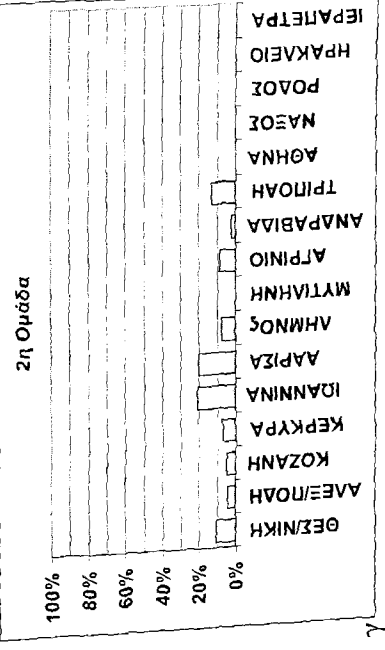
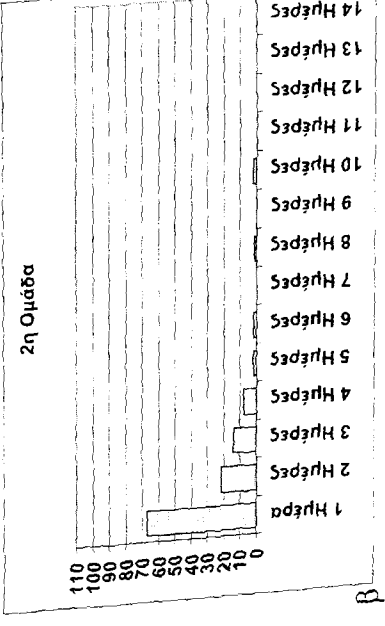
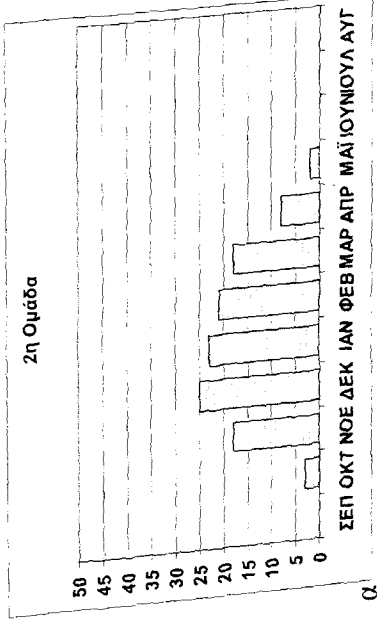
2^η Ομάδα

Ημέρα Η



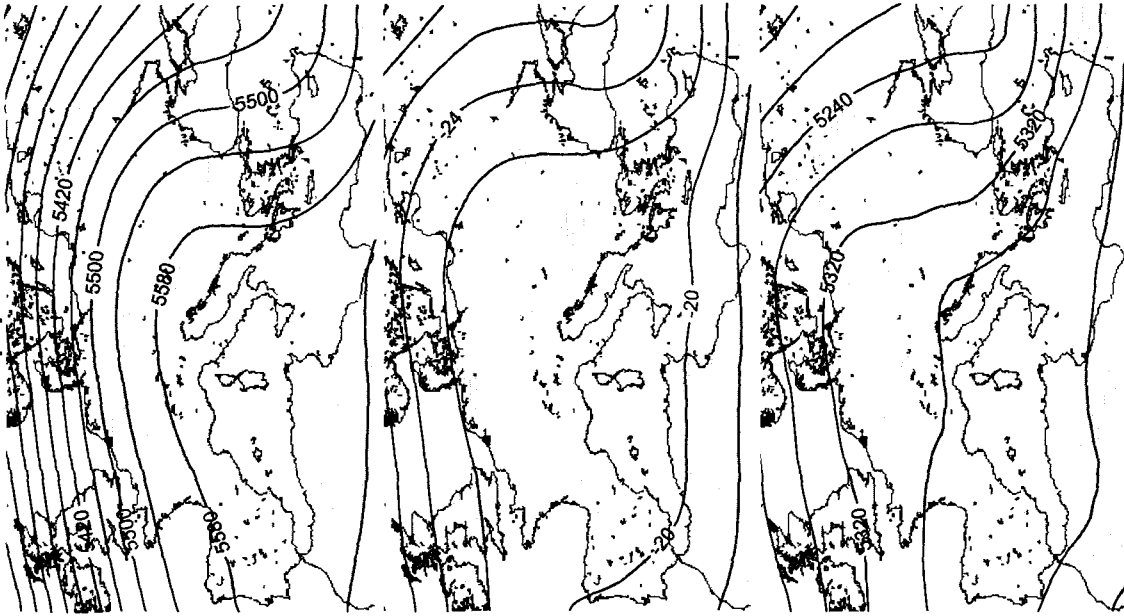
Ημέρα ΛΗΞΗΣ





Σχήμα 7.9 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που διαχρονούν τον 2° κύριο τύπο της εξέλιξης της αεροσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 2^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 2^{ης} Ομάδας.

Ημέρα H-1

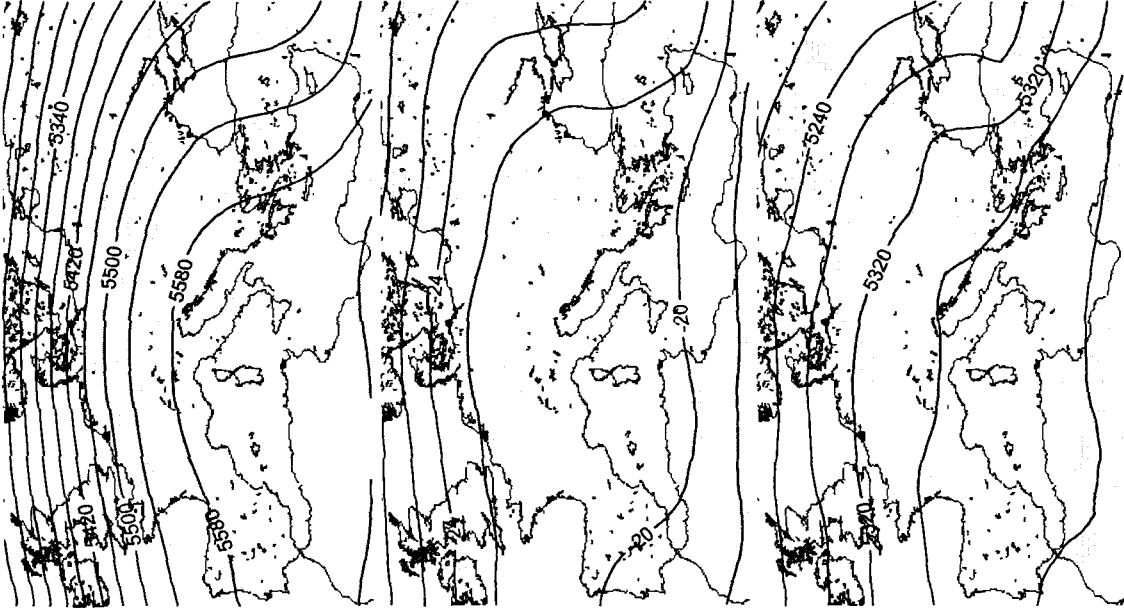


Ίσόθερη 500hPa

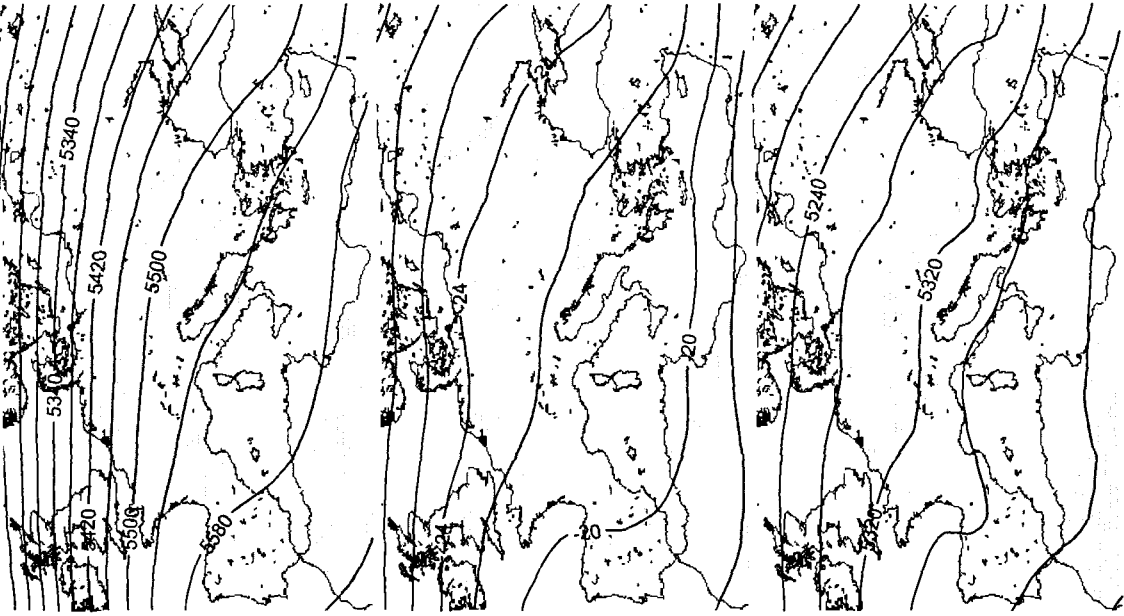
Θερμοκρασία 500hPa

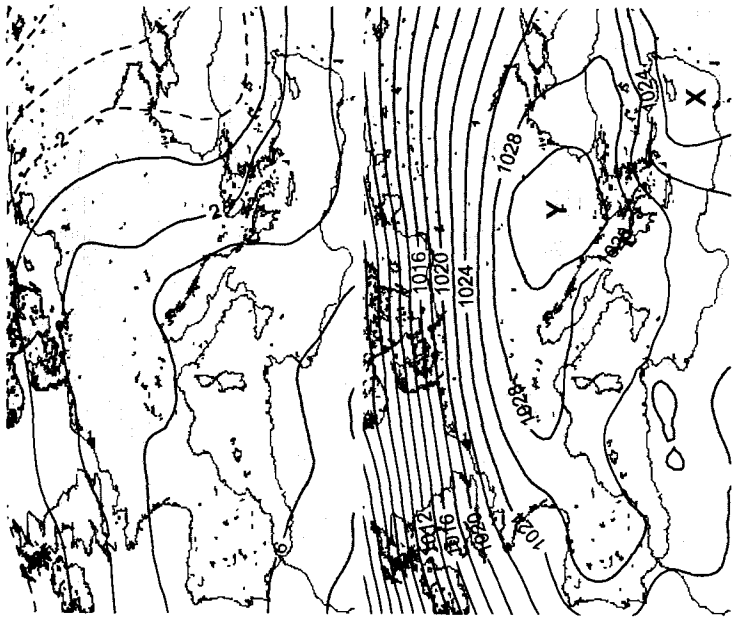
Πάχος 1000-500hPa

**3η Ομάδα
Ημέρα H**

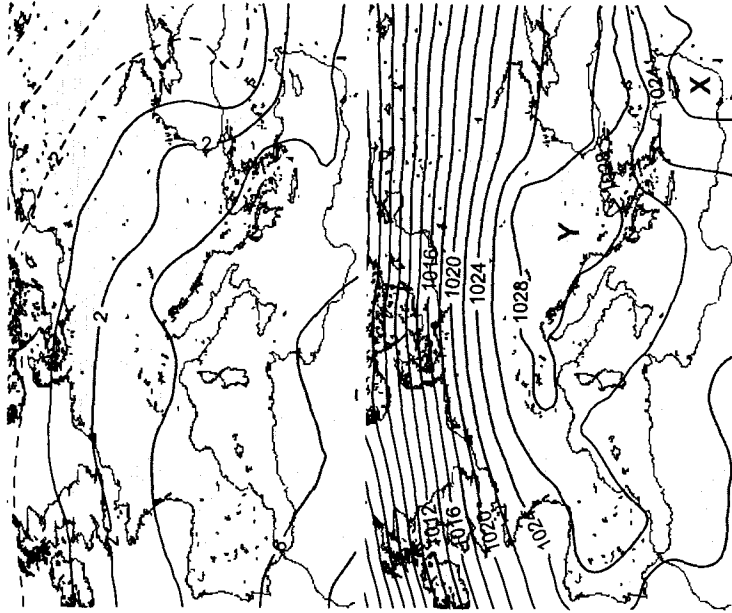


Ημέρα ΛΗΞΗΣ

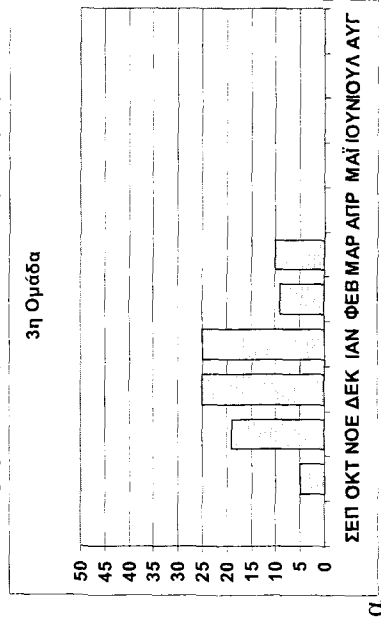
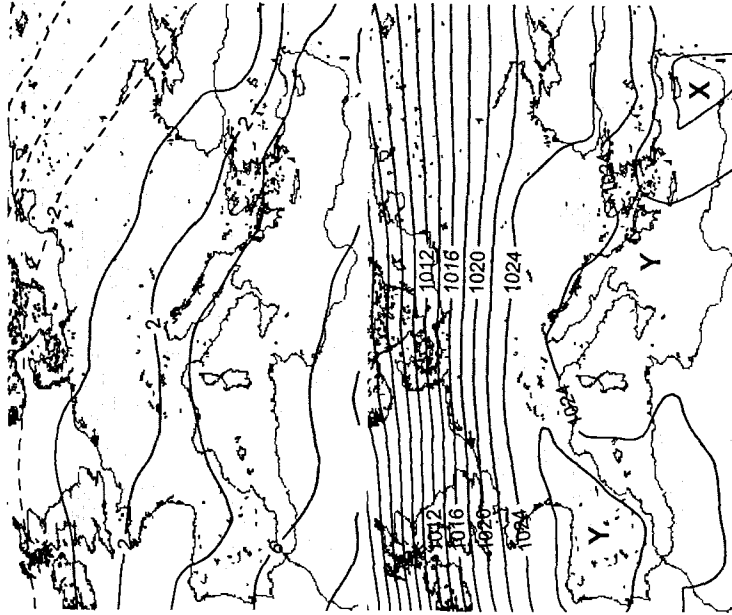




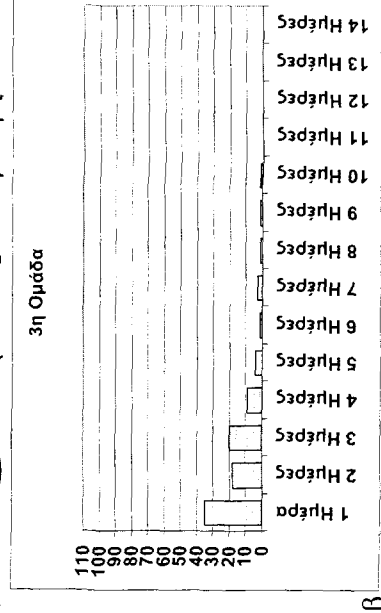
Επιμορφασία 850hpα



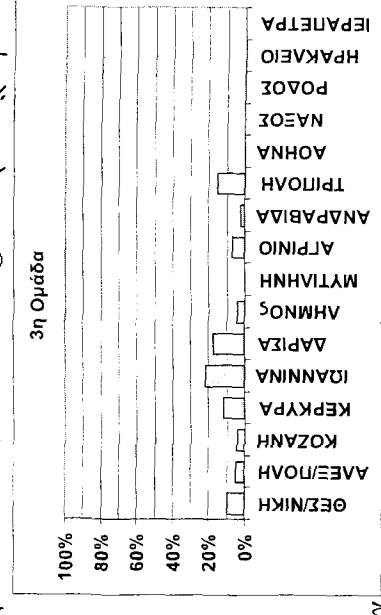
Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ



α.



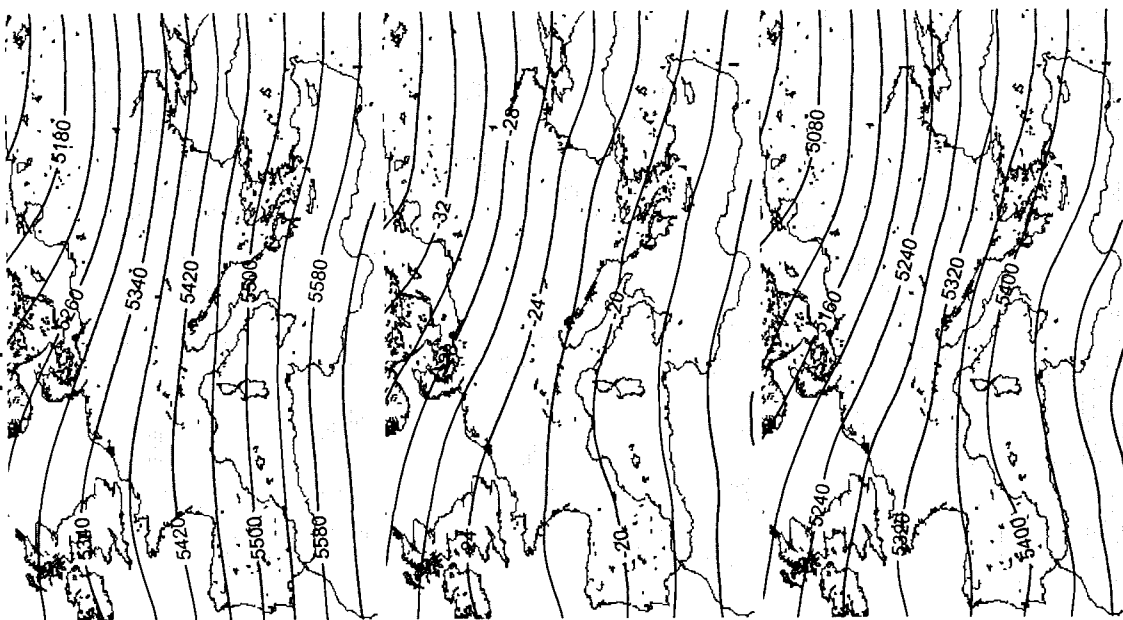
β.



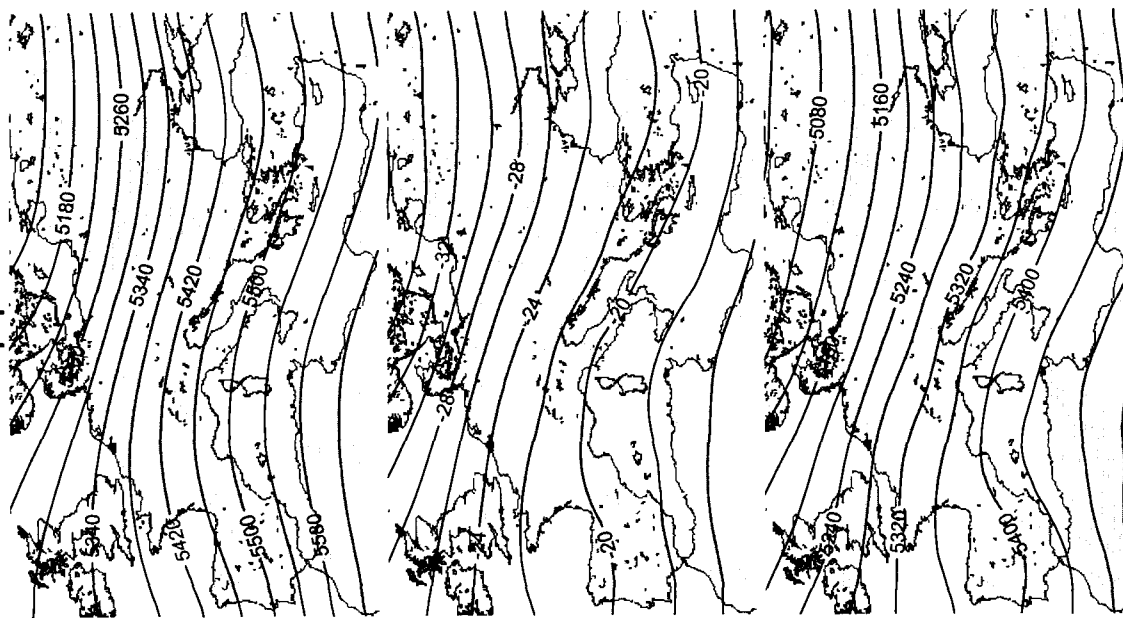
γ.

Σχήμα 7.10 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 3° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 3^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 3^{ης} Ομάδας.

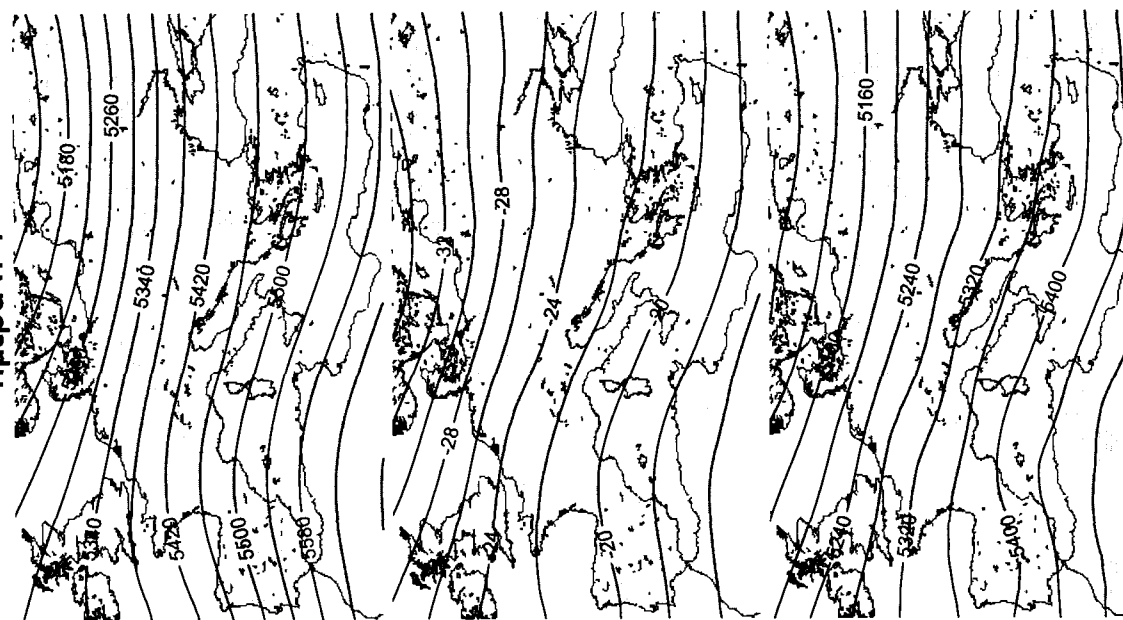
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



4η Ομάδα Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

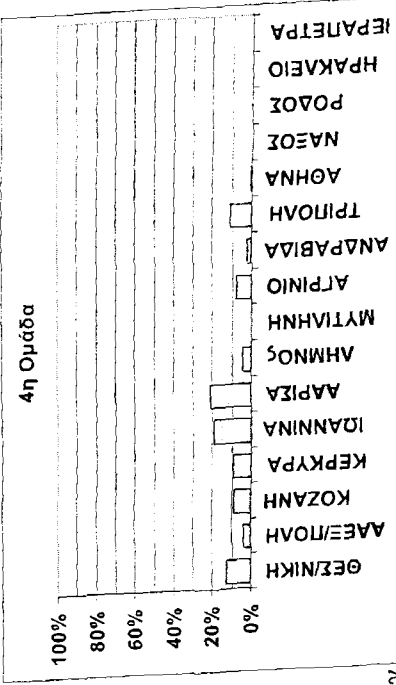
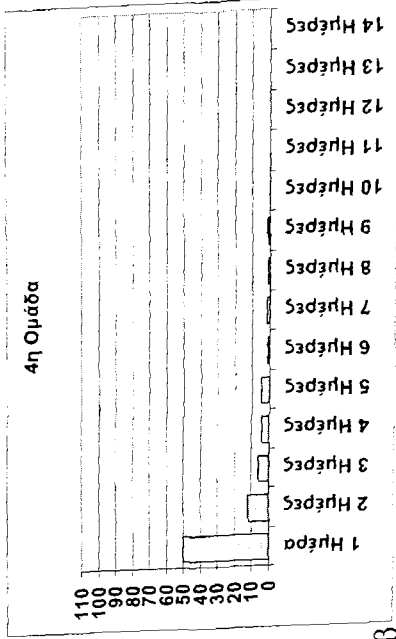
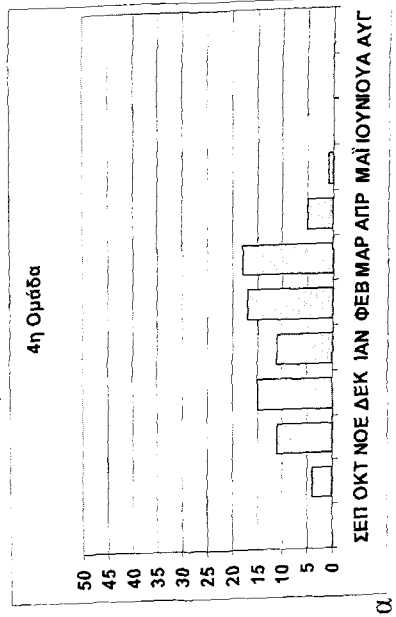
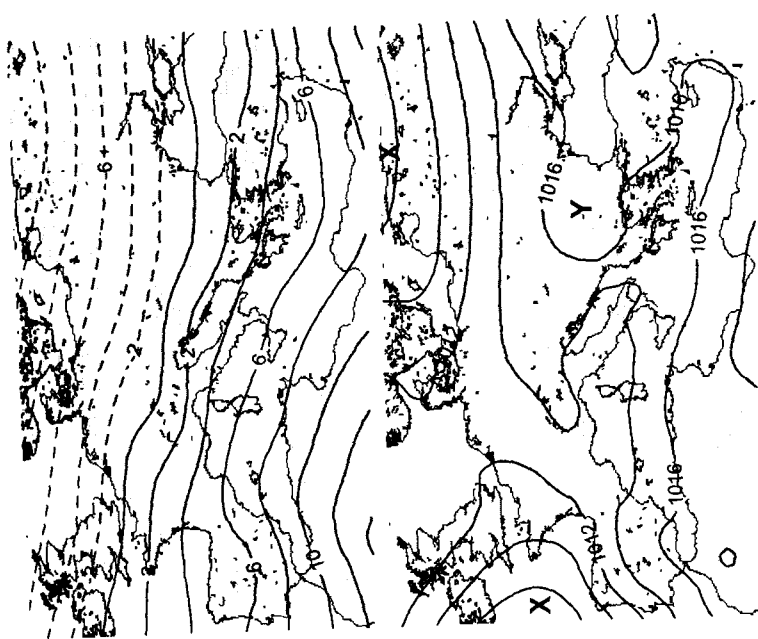
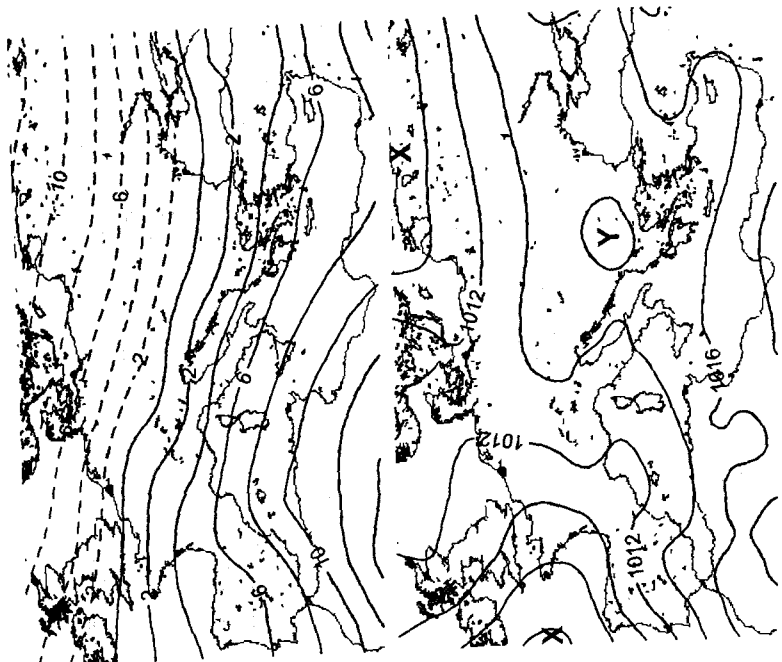
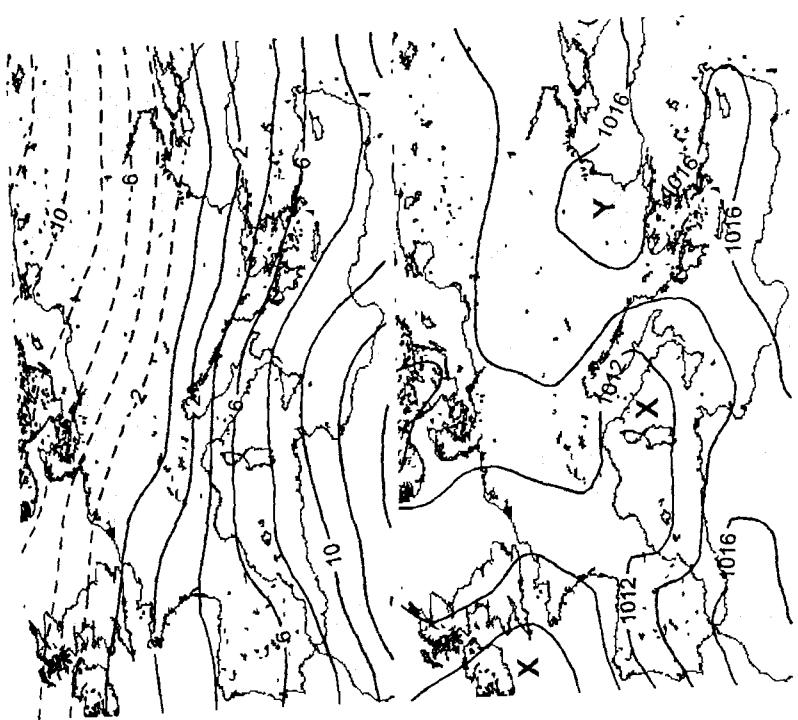


Ίσθμια 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

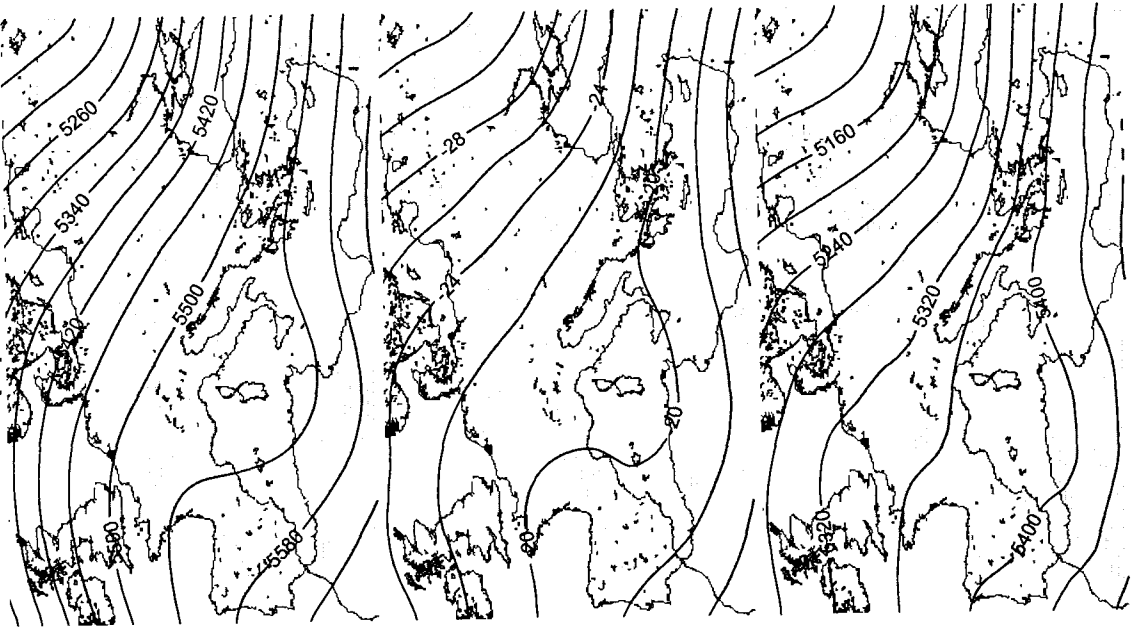
Σχήμα 7.11 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



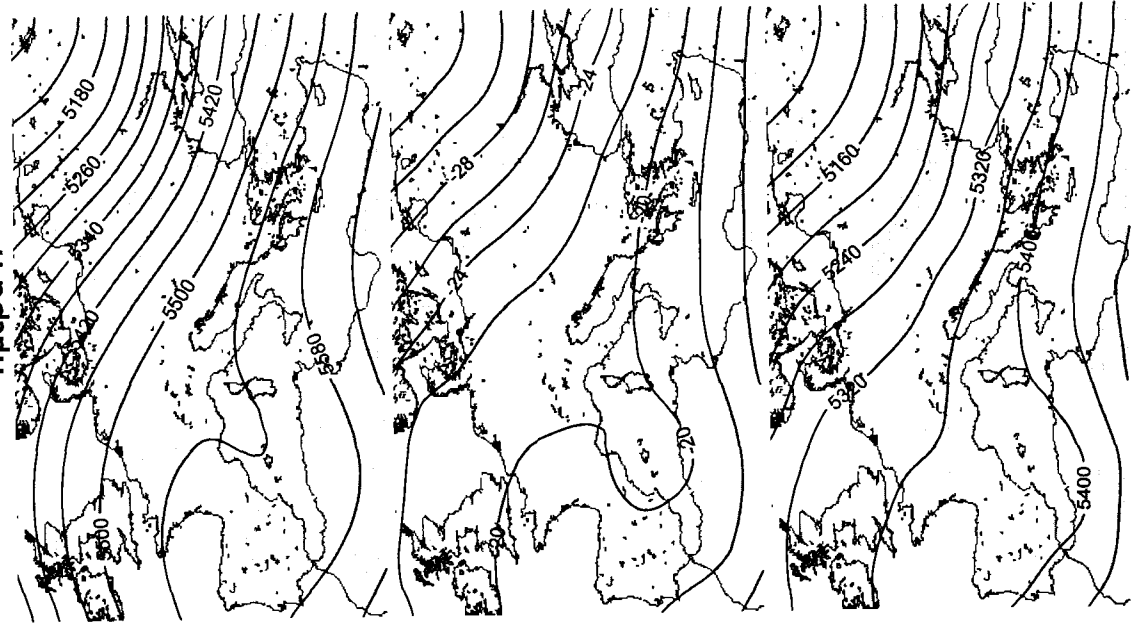
Σχήμα 7.11 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 4^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της εμποσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 4^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 4^{ης} Ομάδας.

5^η Ομάδα

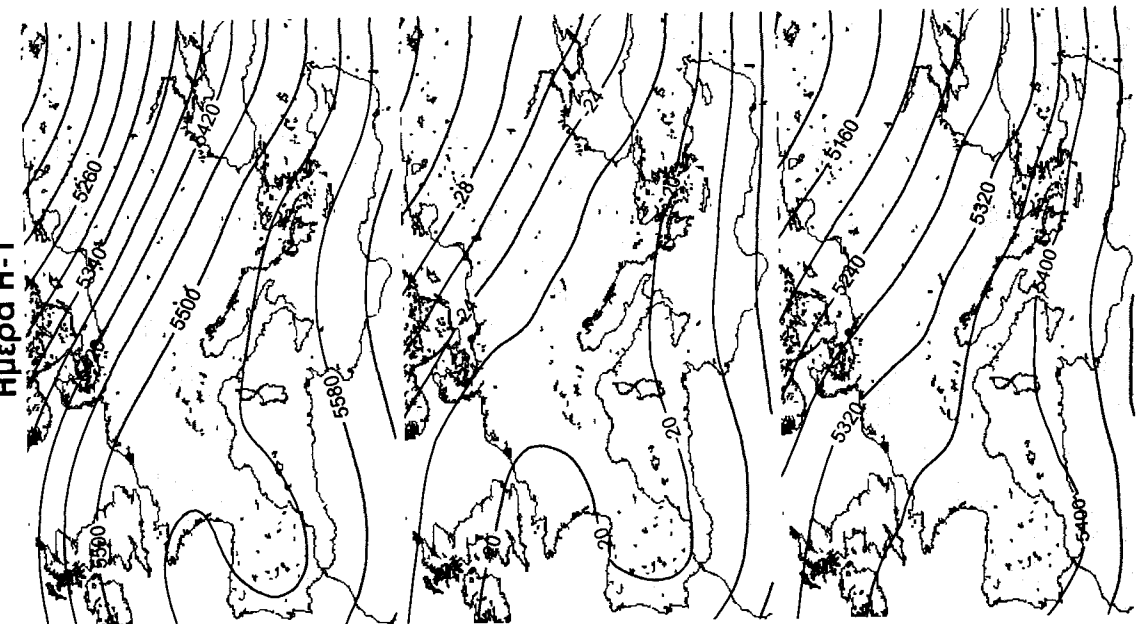
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

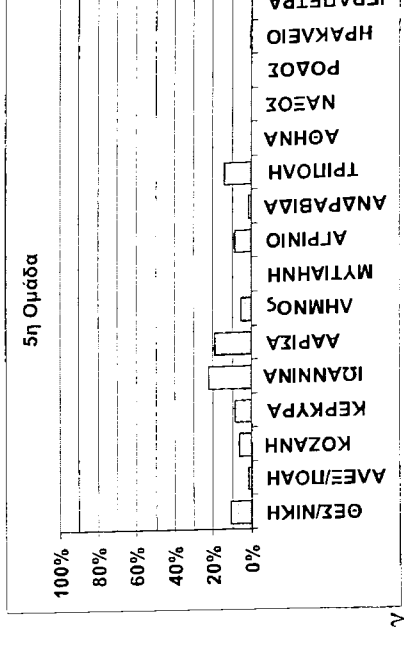
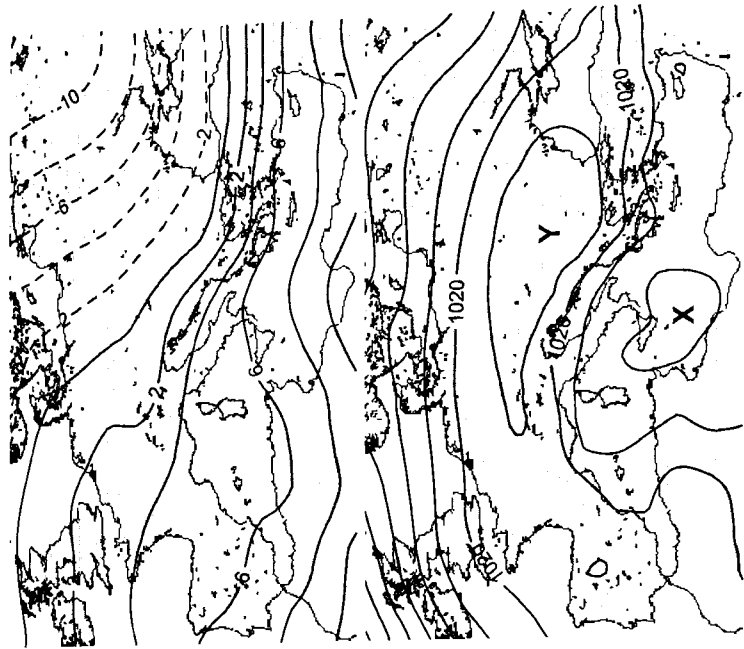
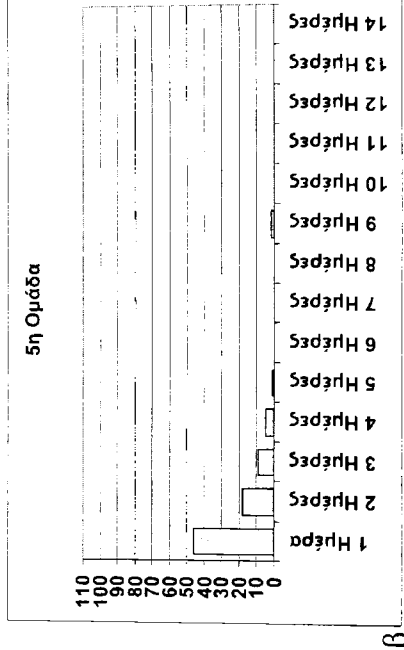
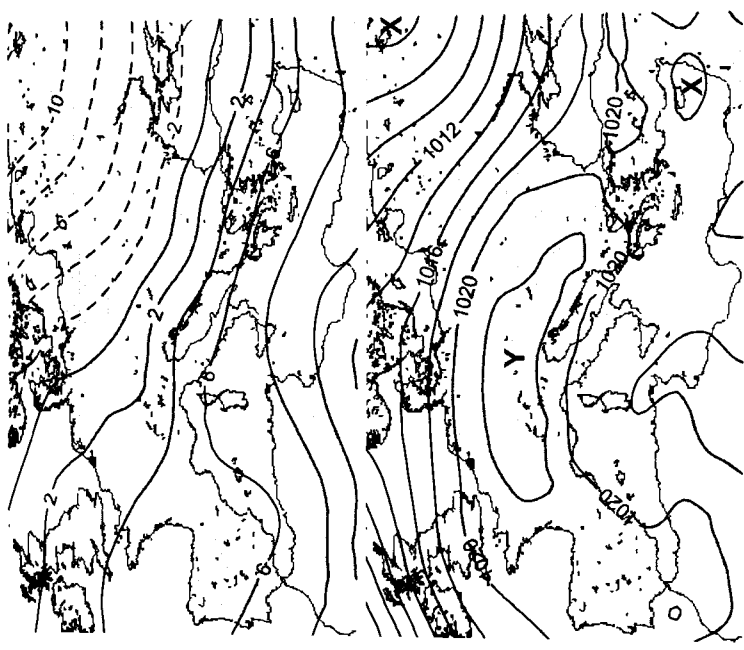
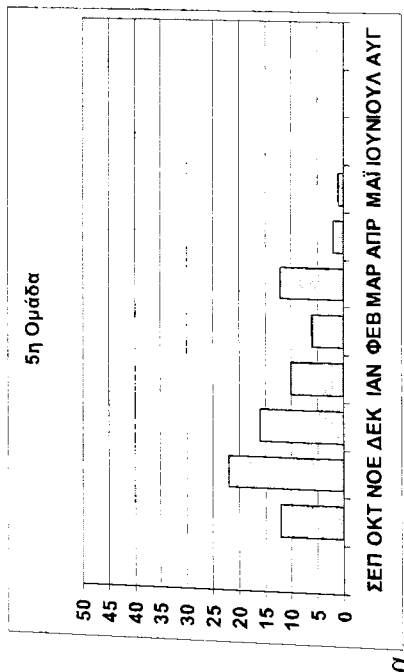
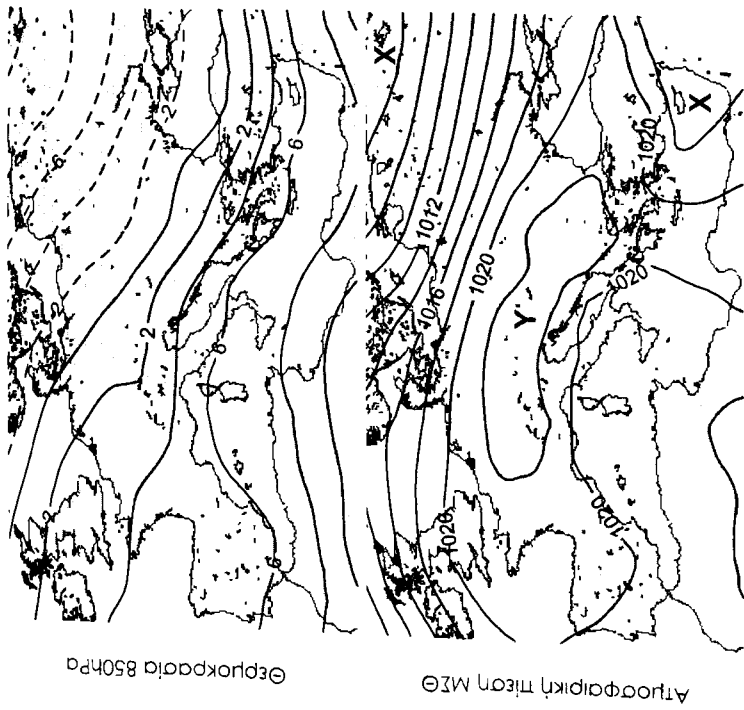


Ίσοθμια 500hPa

Θερμοκρασία 500hPa

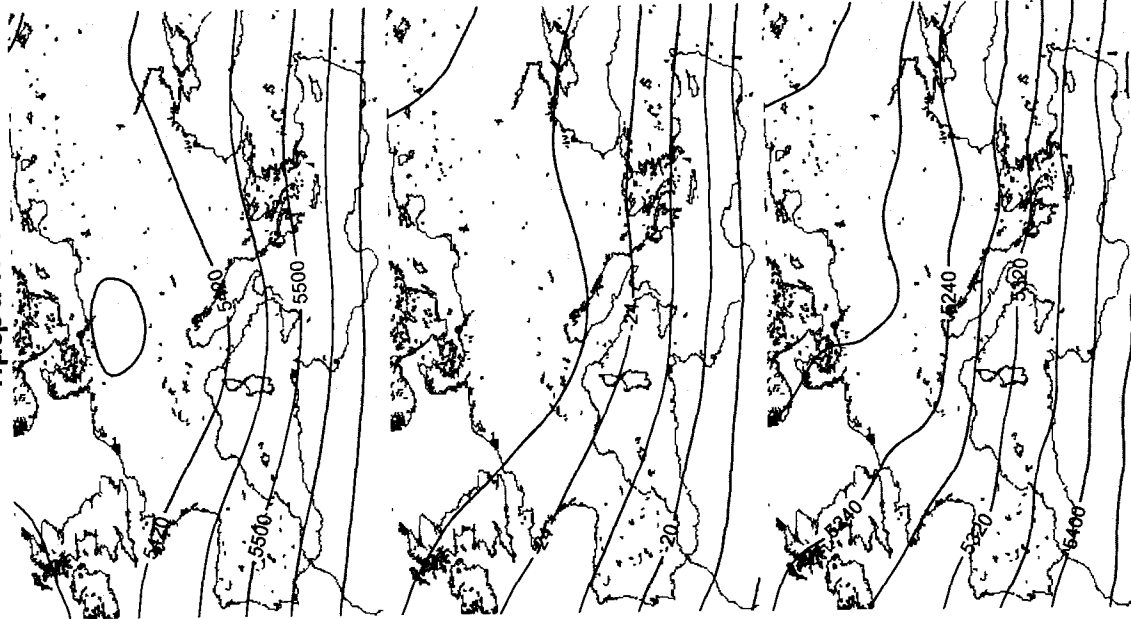
Ίσοθμια 1000-500hPa

Σχήμα 7.12 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.



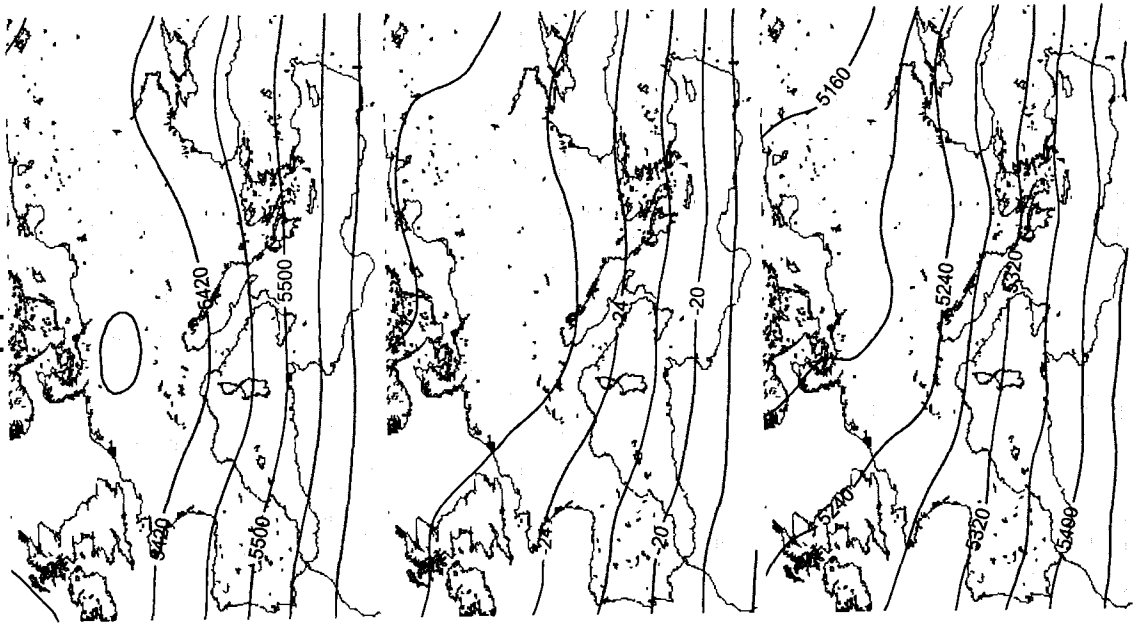
Σχήμα 7.12 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα ΔΕΗΣ, που δείχνουν τον 5^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 5^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 5^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



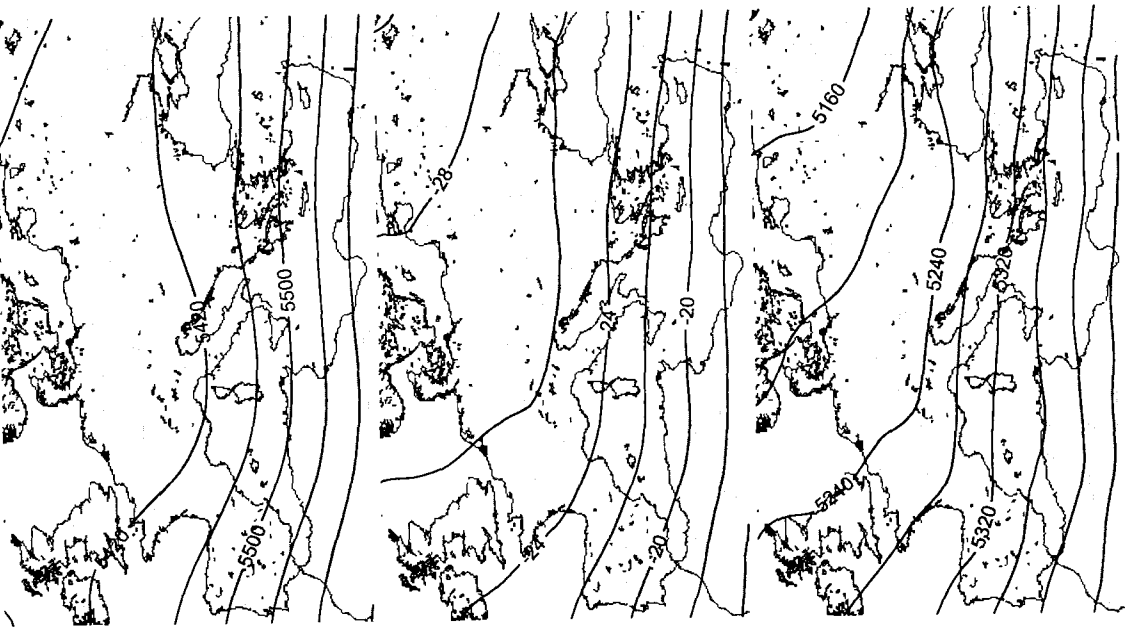
Ίσθμια 500hPa

6^η Ομάδα
Ημέρα Η



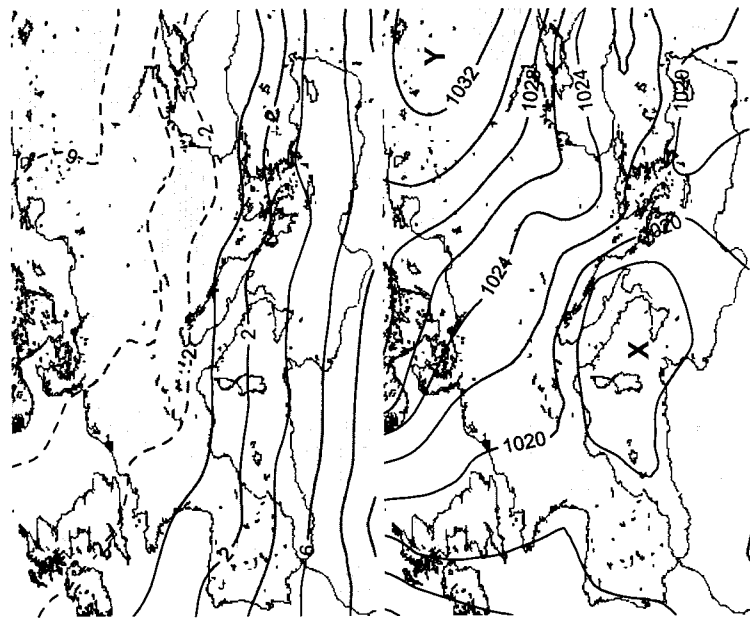
Θερμοκρασία 500hPa

Ημέρα ΛΗΨΗΣ



Πάχος 1000-500hPa

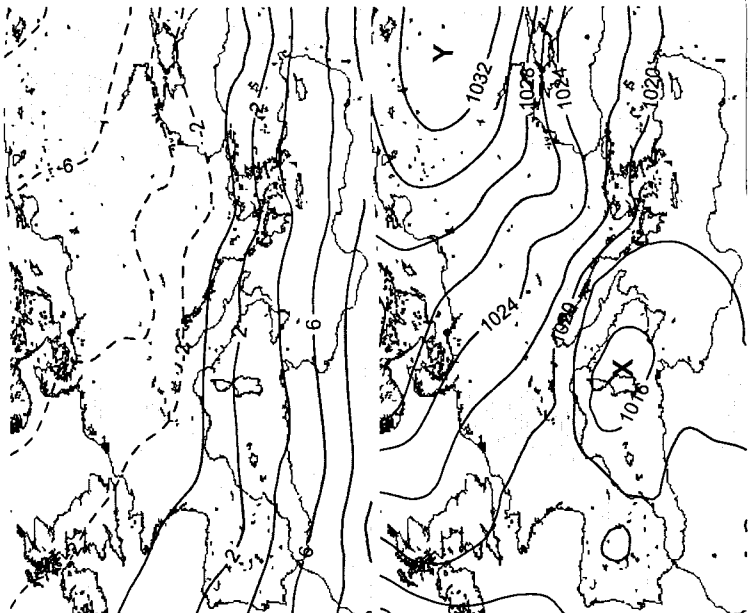
Σχήμα 7.13 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Επιμορφασία 850hpα



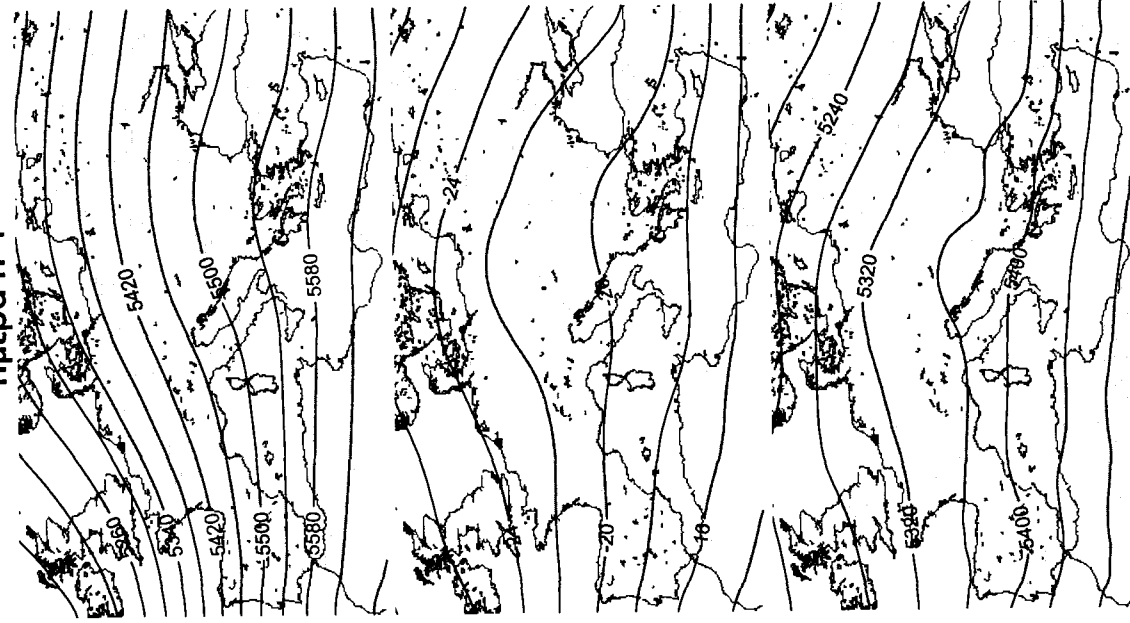
Ατμοσφαιρική πίεση M2Θ



01

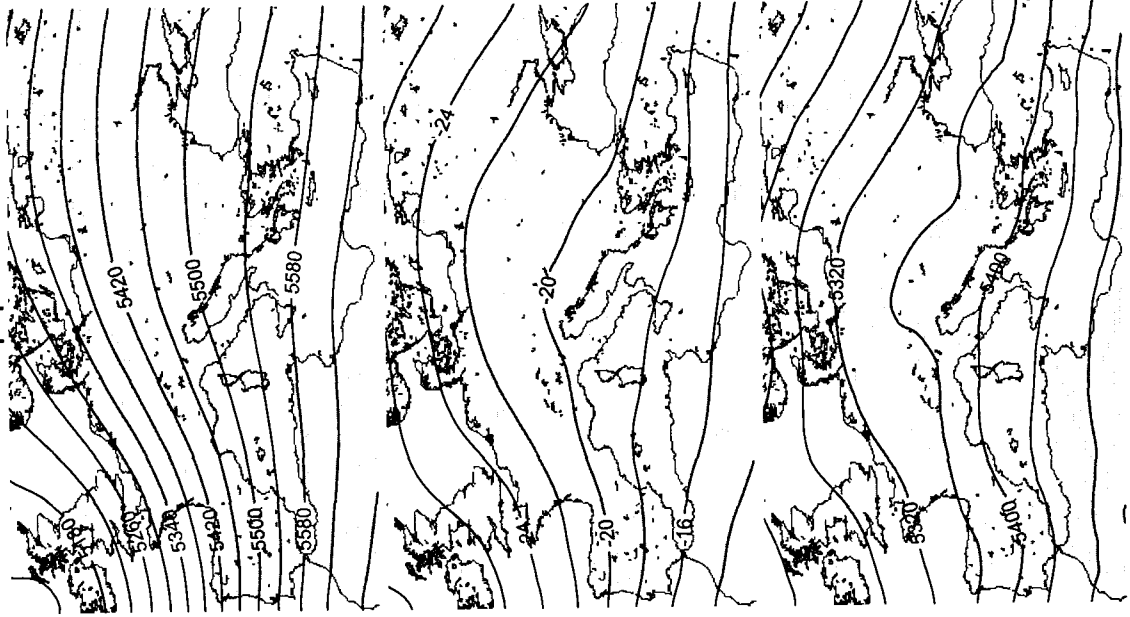
Σχήμα 7.13 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, που δείχνουν τον 6^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 6^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 6^{ης} Ομάδας.

Ημέρα Η-1



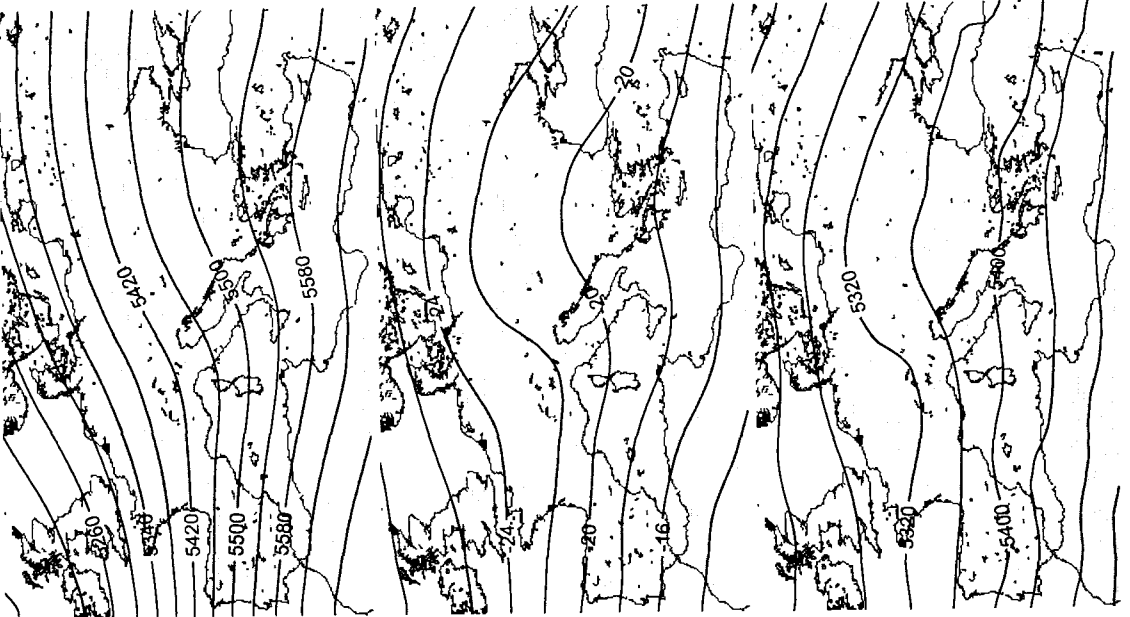
Υψόμετρο 500hPa

7η Ομάδα
Ημέρα Η



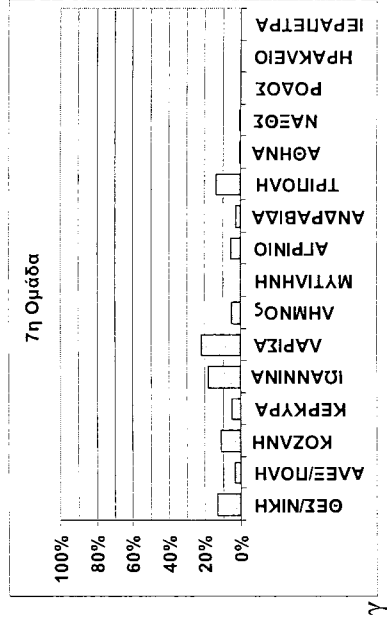
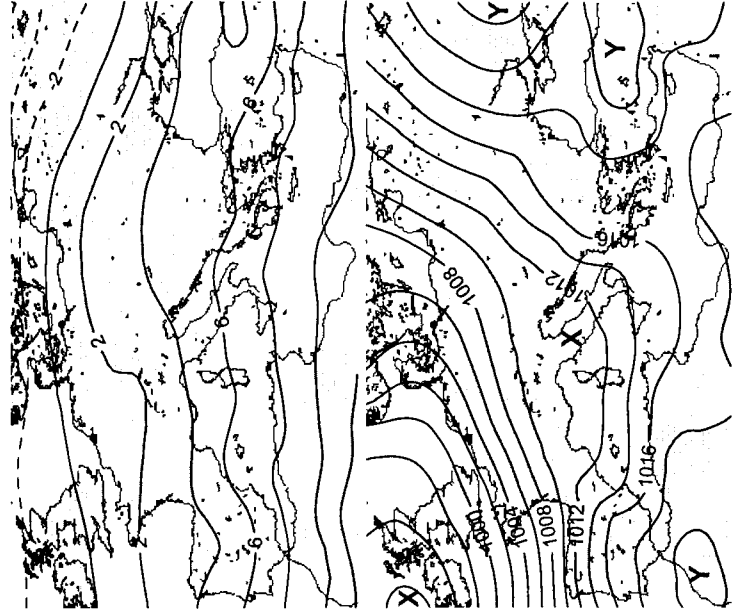
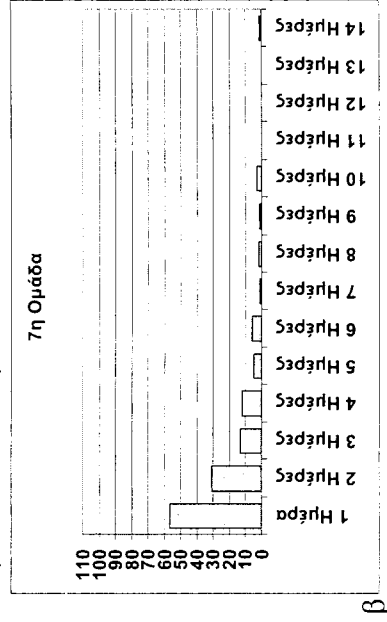
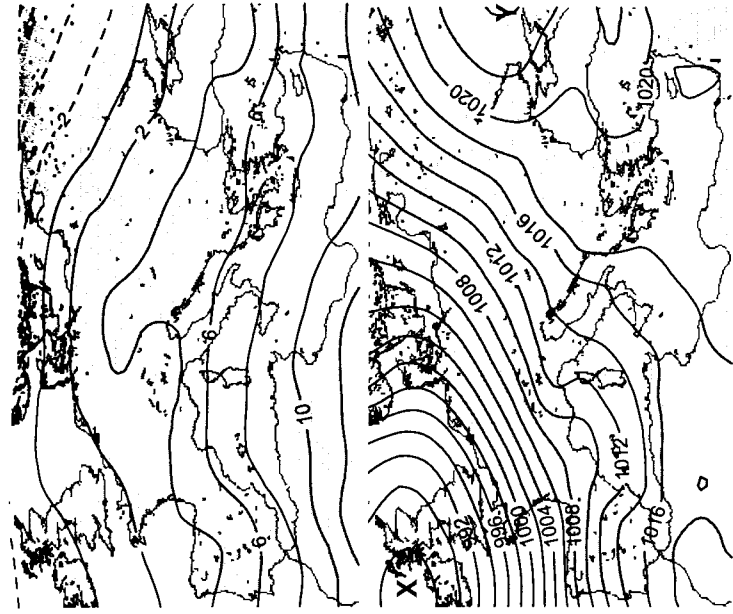
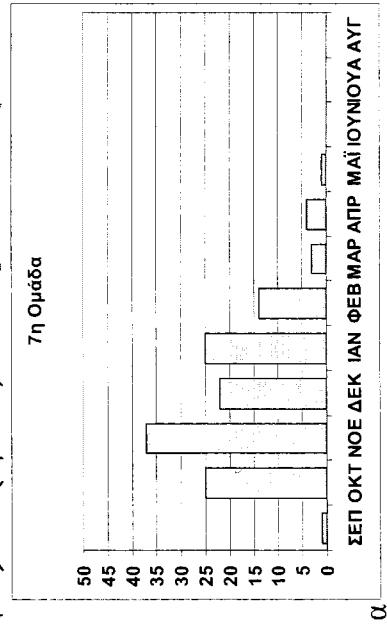
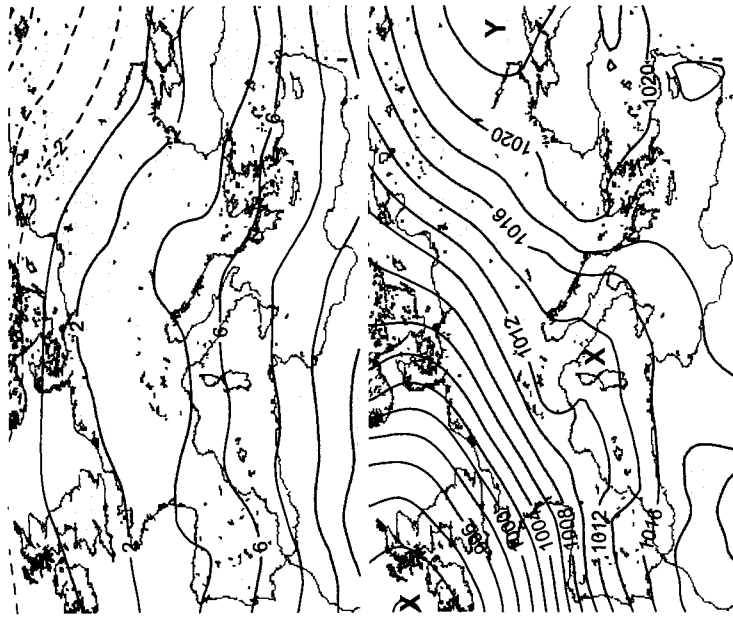
Θερμοκρασία 500hPa

Ημέρα ΛΗΕΗΣ



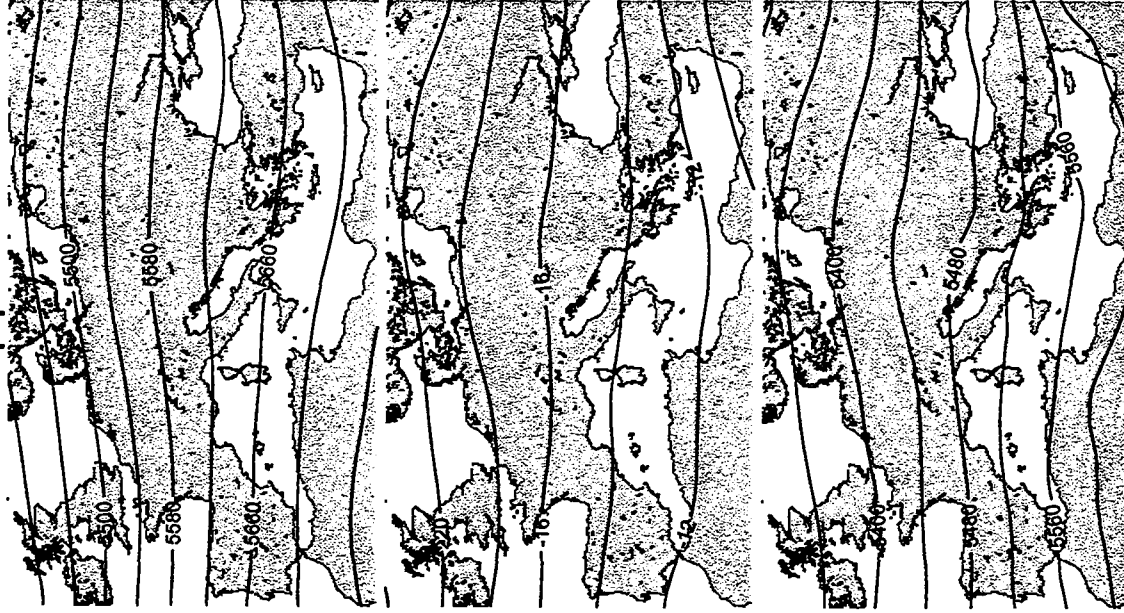
Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 7.14 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Σχήμα 7.14 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΔΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 7° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίγλης της 7^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίγλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίγλης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίγλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 7^{ης} Ομάδας.

Ημέρα H-1

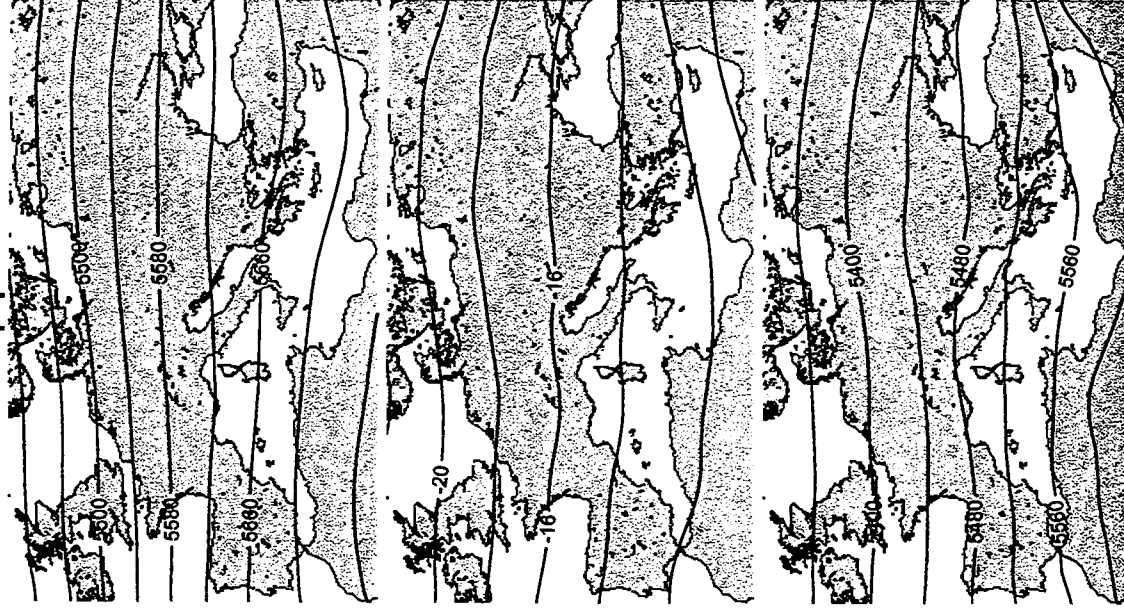


Στάθμη 500hPa

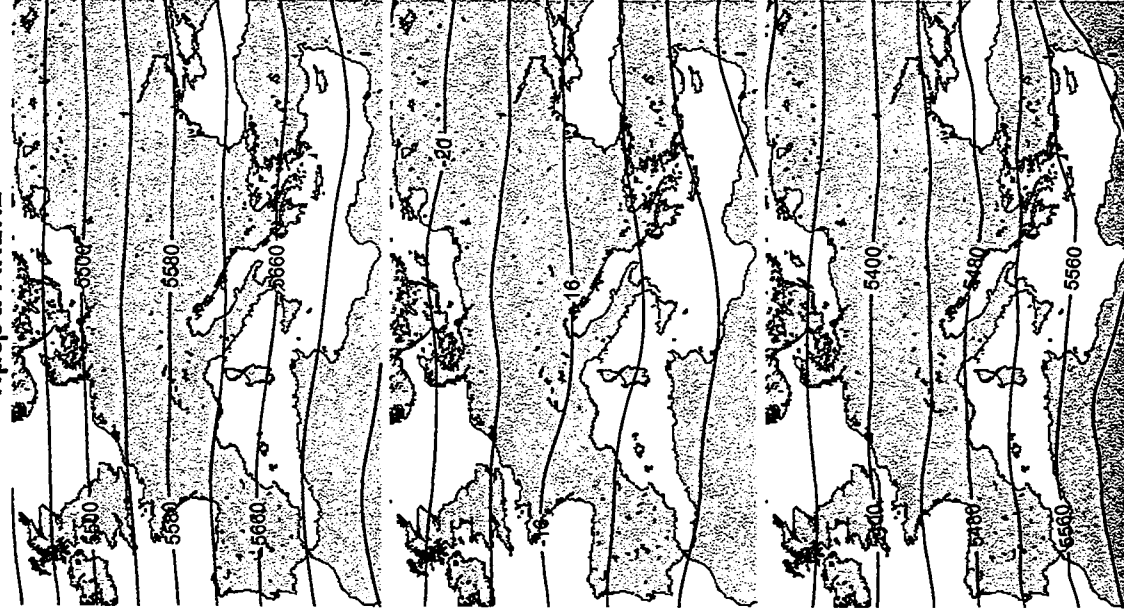
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

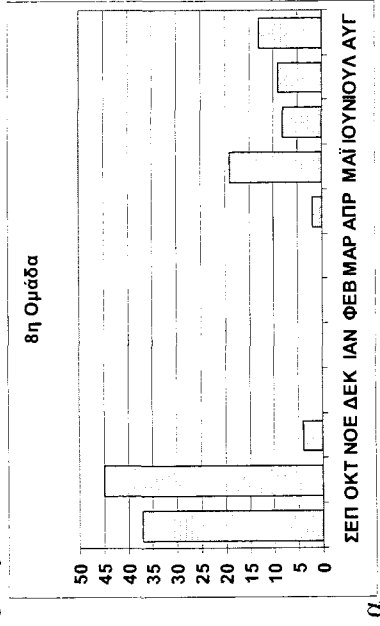
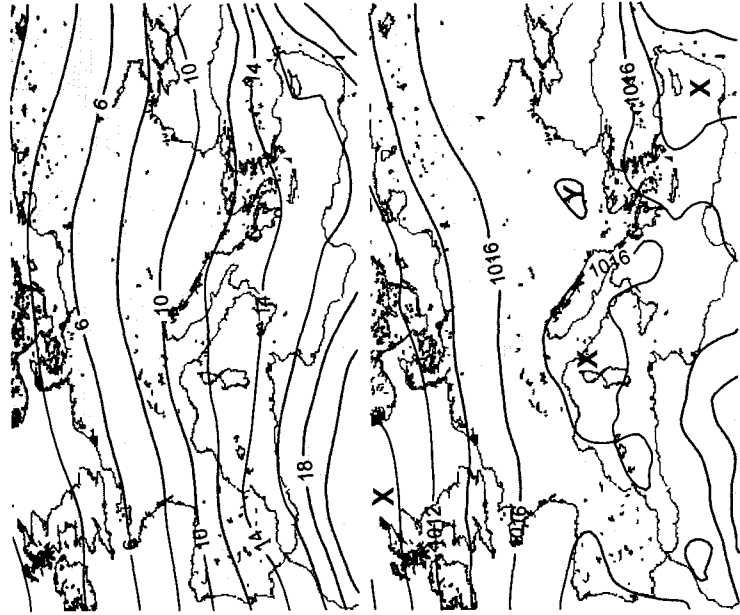
8η Ομάδα
Ημέρα H



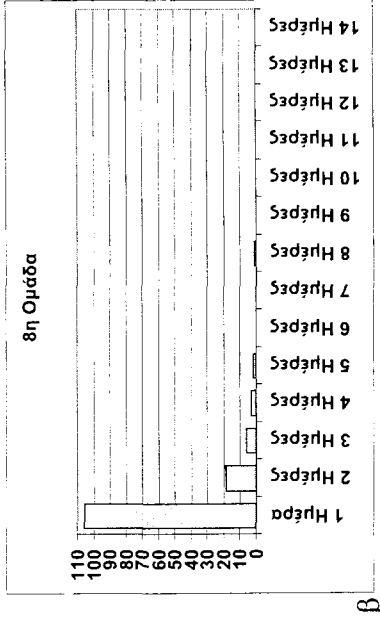
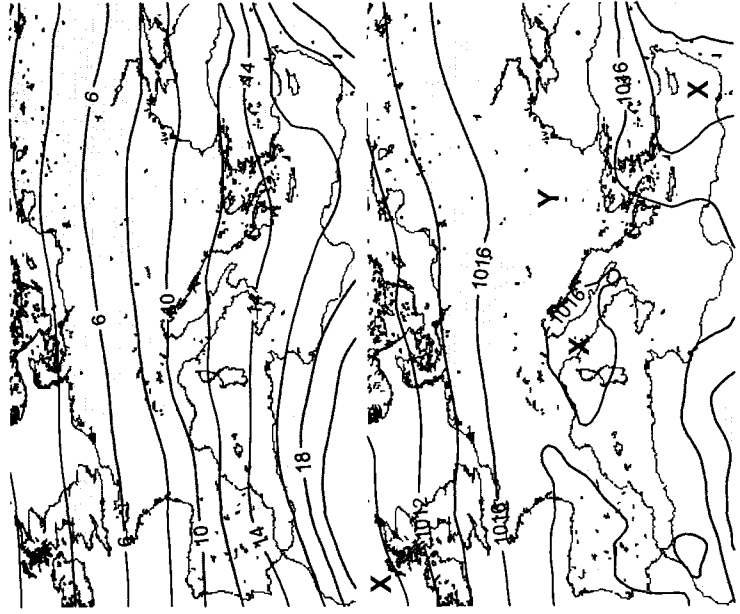
Ημέρα ΛΗΨΗΣ



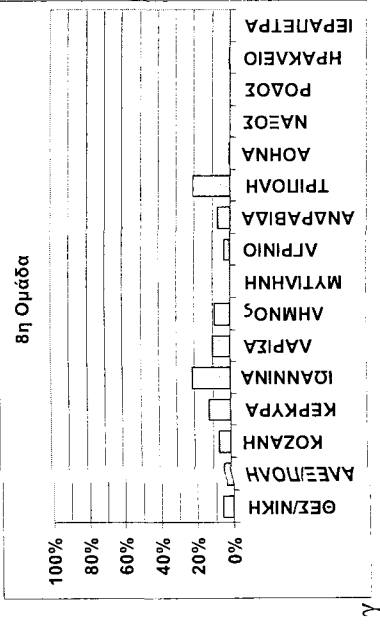
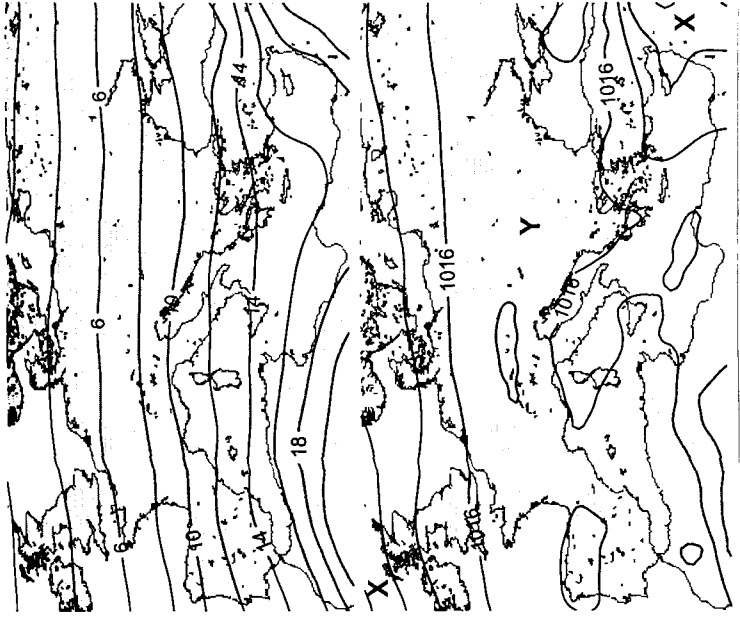
Σχήμα 7.15 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



α)



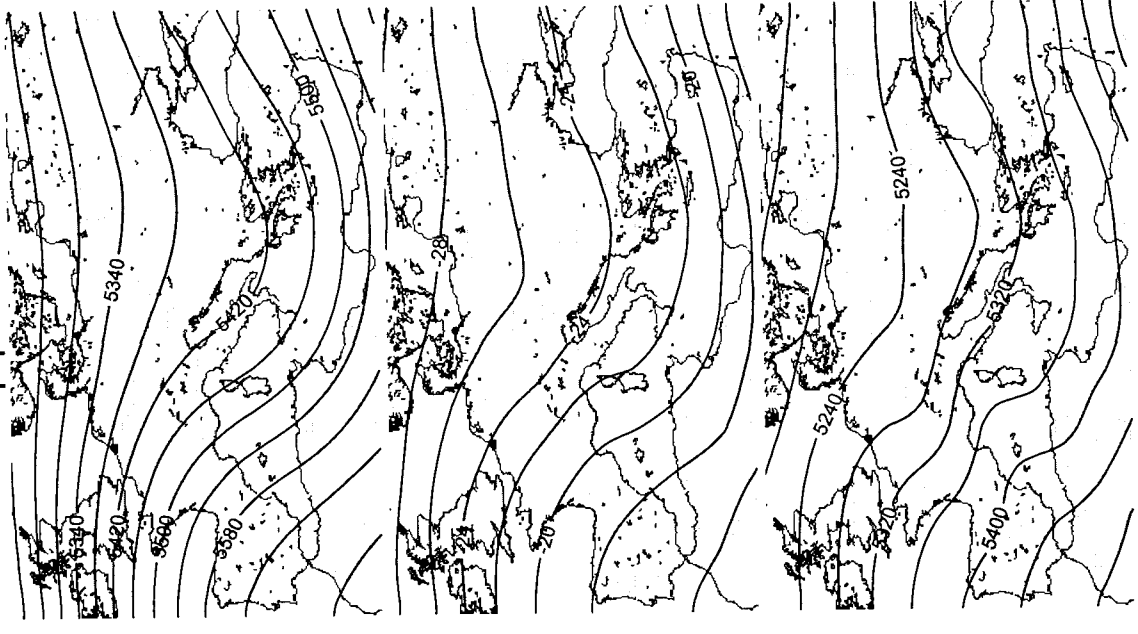
β)



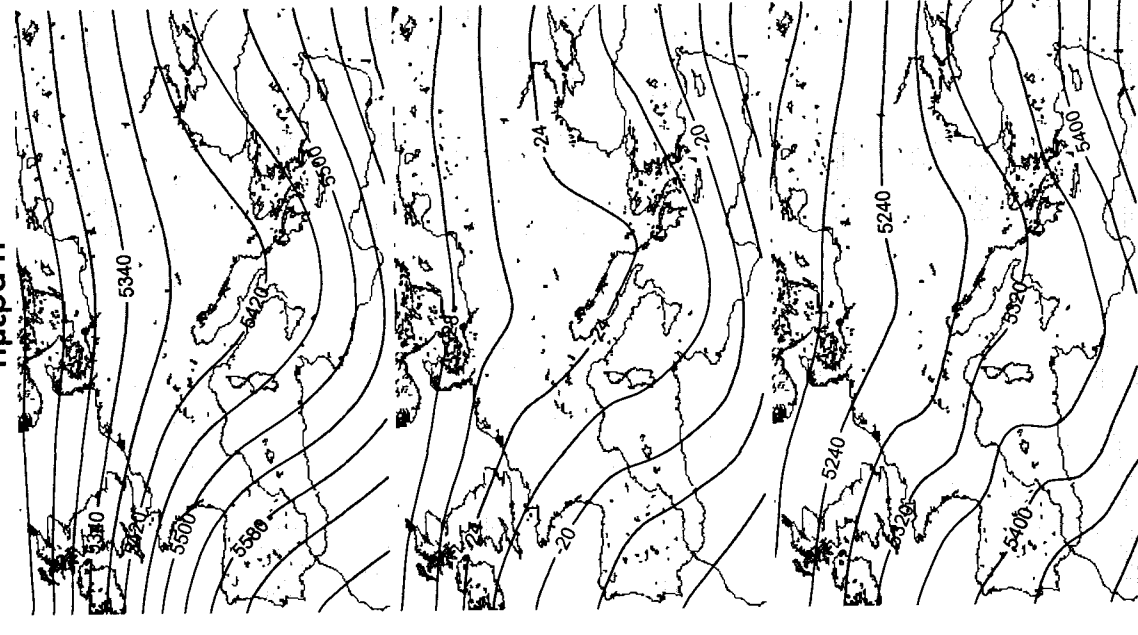
γ)

Σχήμα 7.15 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, που δείχνουν τον 8^ο κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίγλης της 8^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίγλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίγλης ως προς τη διάρκειά τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίγλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 8^{ης} Ομάδας.

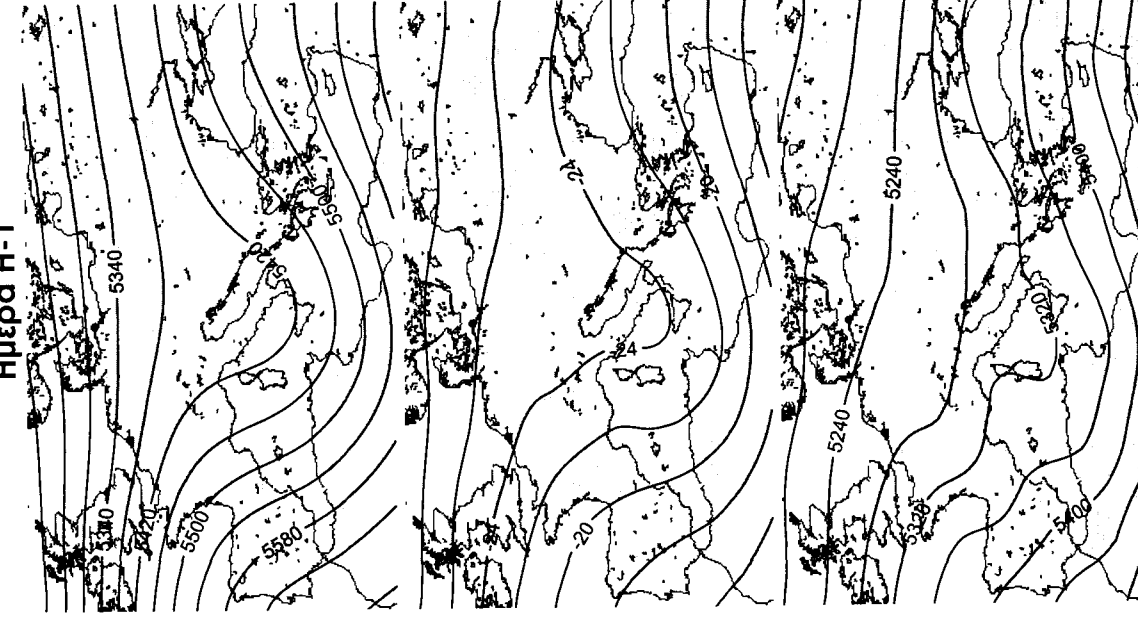
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



9η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1



Ίσobar 500hPa

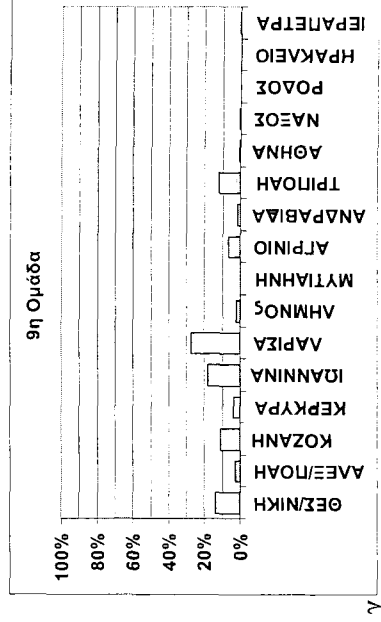
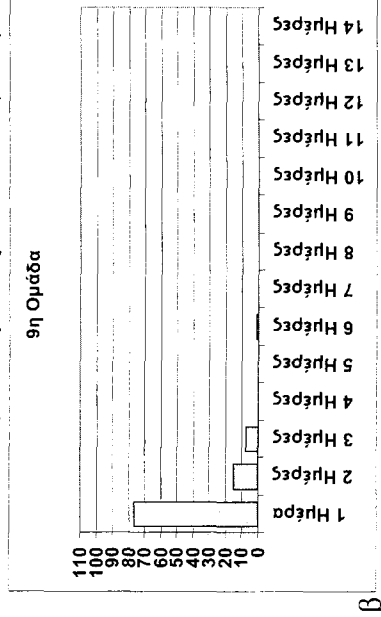
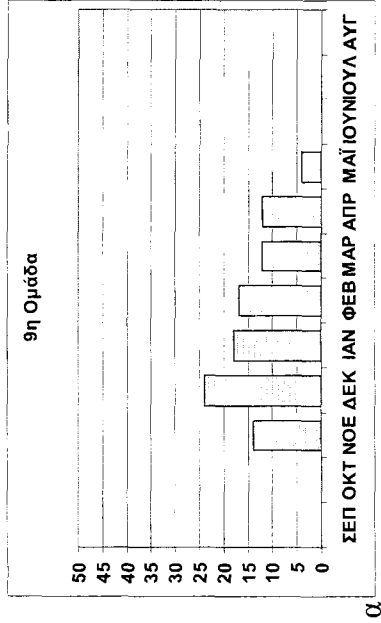
Θερμοκρασία 500hPa

Πάχος 1000-500hPa

Σχήμα 7.16 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

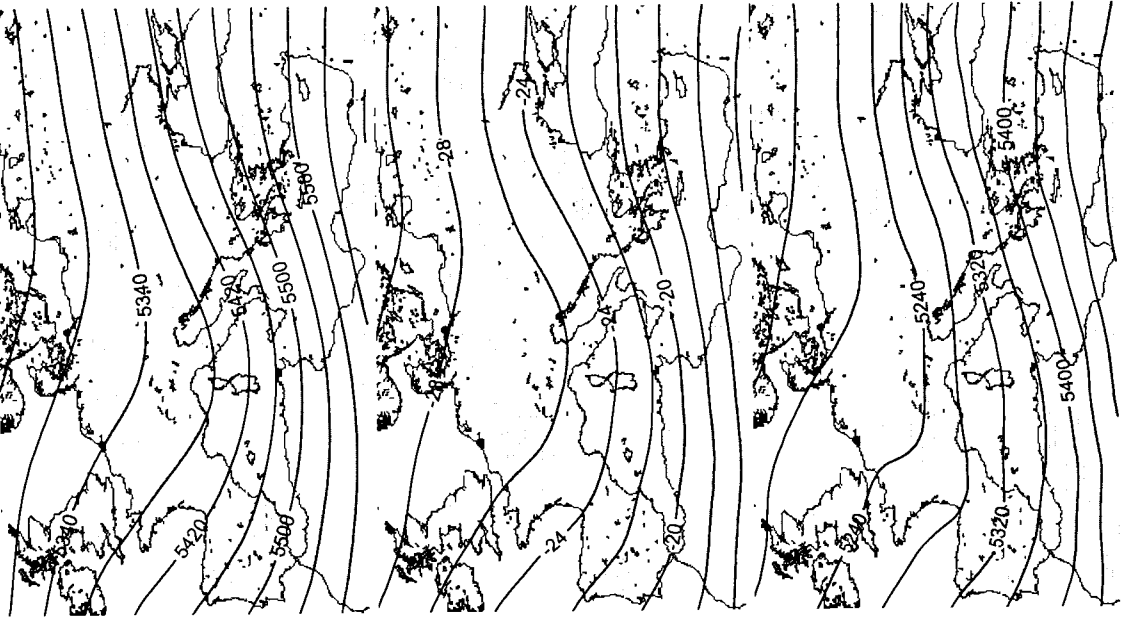
Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ

Ατμοσφαιρική πίεση ΜΣΘ

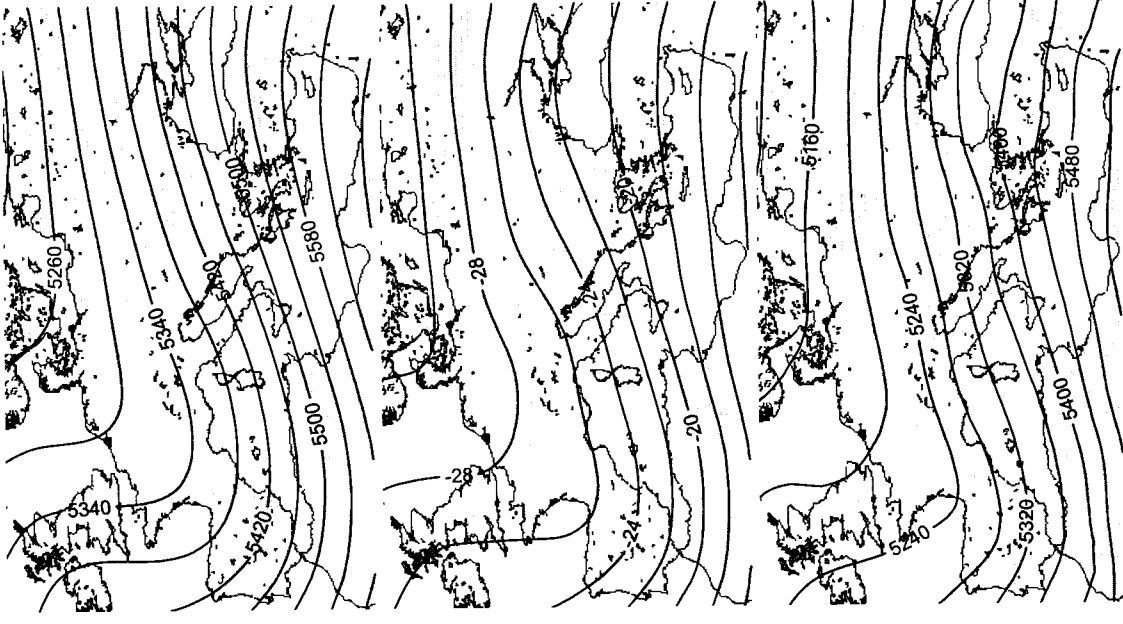


Σχήμα 7.16 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα Η και την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΘΗΣ, που δείχνουν τον 9° κύριο τύπο της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίγλης της 9^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίγλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίγλης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίγλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 9^{ης} Ομάδας.

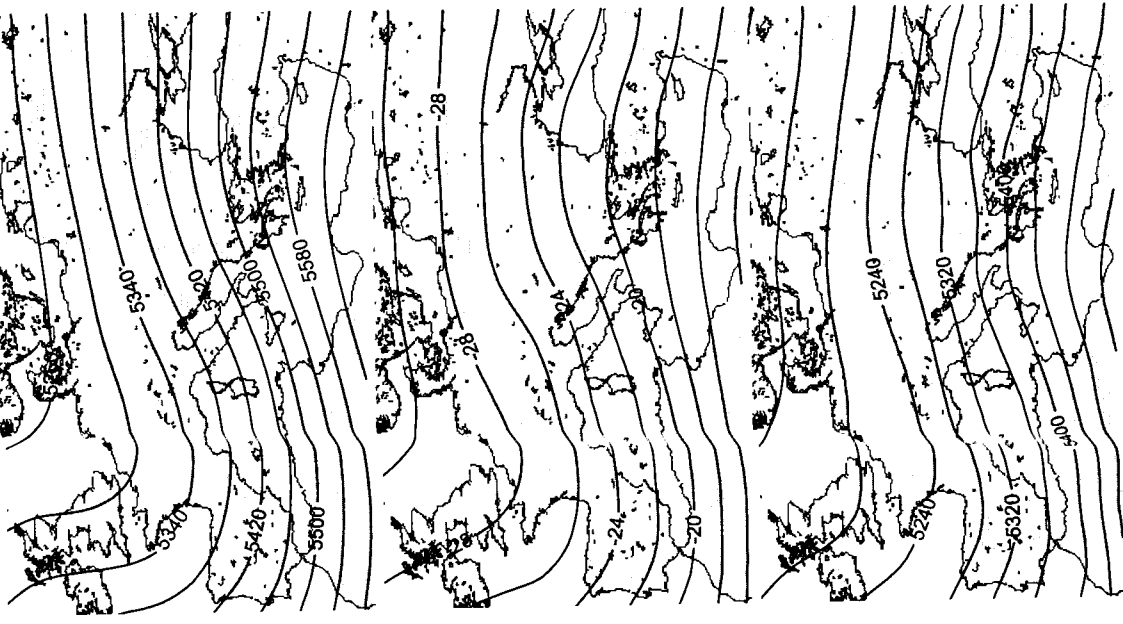
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



10^η Ομάδα
Ημέρα Η



Ημέρα Η-1

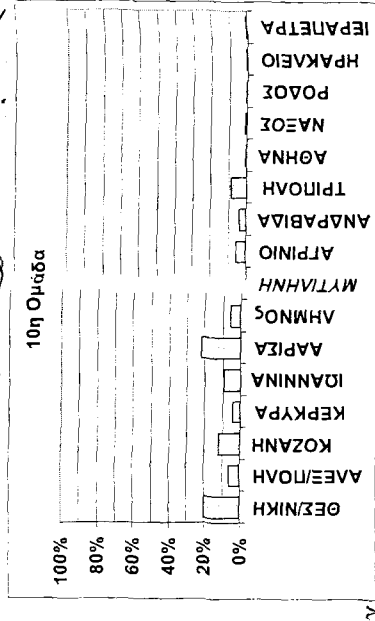
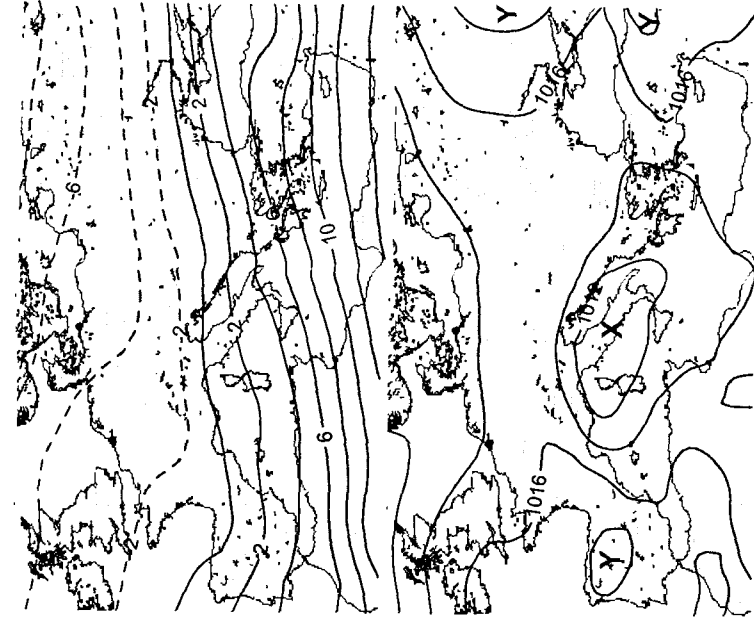
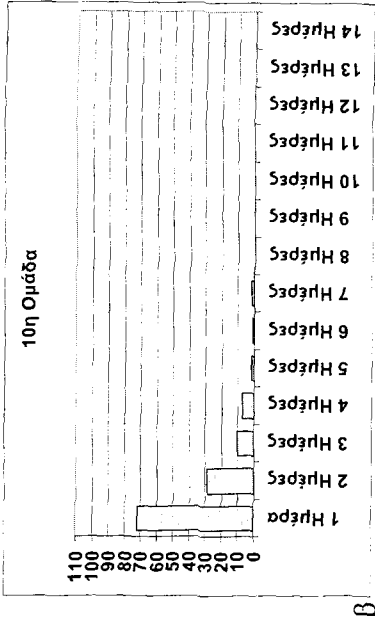
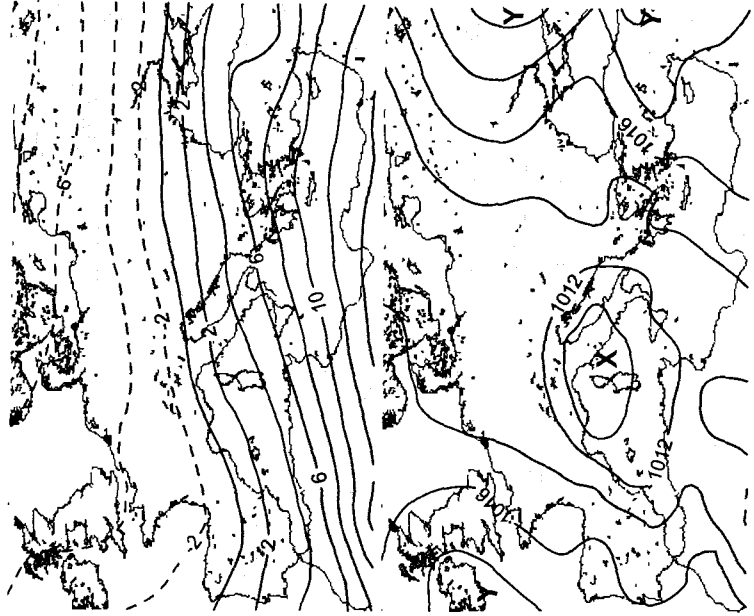
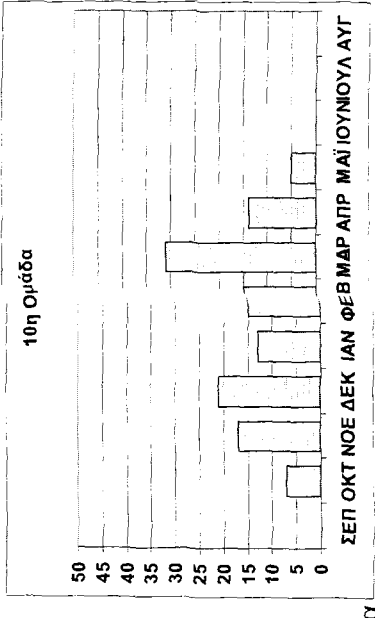
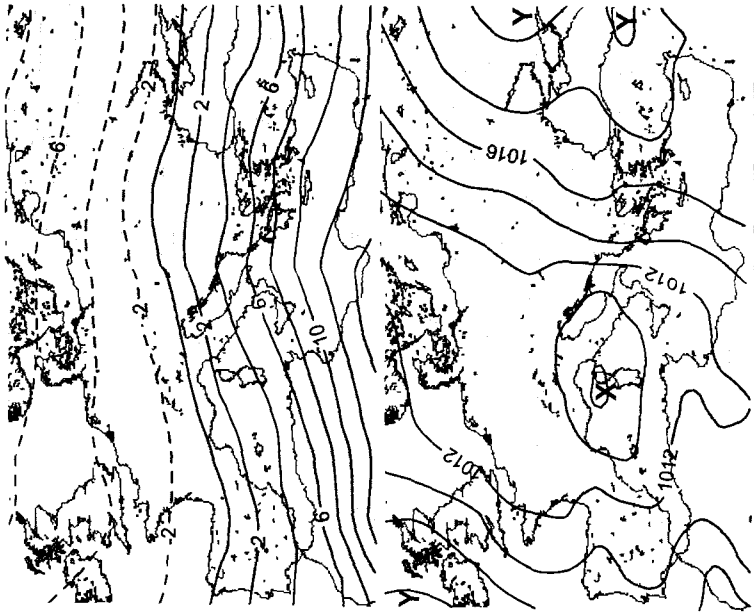


Ίσobar 500hPa

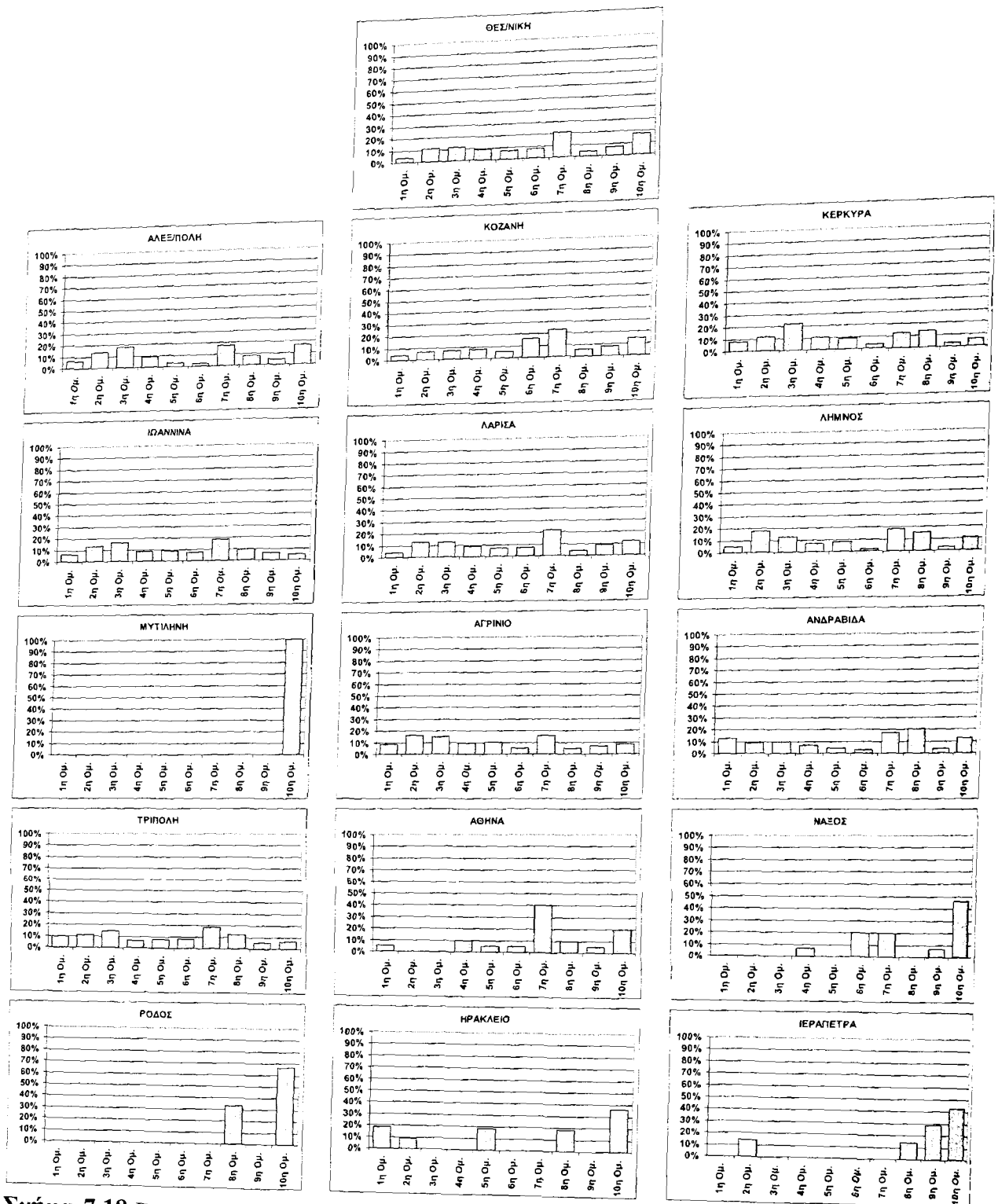
Θερμοκρασία 500hPa

Πόχος 1000-500hPa

Σχήμα 7.17 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Σχήμα 7.17 Μέσοι χάρτες για κάθε μία από τις 5 μετεωρολογικές παραμέτρους, για την Ημέρα ΛΗΘΣ, που δείχνουν τον 10^ο κύριο τύπο της εξελίξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για τα επεισόδια ομίχλης της 10^{ης} Ομάδας, που προέκυψε από την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες. α) Εποχική κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης. β) Κατανομή του πλήθους των επεισοδίων ομίχλης ως προς τη διάρκεια τους. γ) Το ποσοστό των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη σε κάθε ένα μετεωρολογικό σταθμό, ως προς το συνολικό πλήθος των ημερών που διήρκεσαν τα επεισόδια της 10^{ης} Ομάδας.



Σχήμα 7.18 Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό η ποσοστιαία κατανομή στις ομάδες των ημερών κατά τις οποίες καταγράφηκε ομίχλη στο σταθμό.

8. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή επιχειρείται ο εντοπισμός των κύριων τύπων της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα, για την περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου, που ευνοούν την εμφάνιση 5 ειδών επεισοδίων ακραίων και επικίνδυνων καιρικών φαινομένων σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας (θερμά επεισόδια, ψυχρά επεισόδια, επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης, επεισόδια χιονόπτωσης και επεισόδια ομίχλης).

Για το σκοπό αυτό καθορίζονται επακριβώς τα επεισόδια ακραίων καιρικών φαινομένων και για κάθε ένα είδος επεισοδίων χρησιμοποιείται μία μεθοδολογία, που περιλαμβάνει τη χρήση δύο πολυμεταβλητών στατιστικών μεθόδων, της Παραγοντικής Ανάλυσης και της Ανάλυσης κατά Συστάδες.

Για κάθε ένα είδος επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων χρησιμοποιείται αρχικά η Παραγοντική Ανάλυση (S-mode) για τη μείωση του πλήθους των αρχικών δεδομένων, που περιγράφουν τη δομή της κατώτερης και μέσης τροπόσφαιρας μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων, κατά την ημέρα έναρξης των επεισοδίων και μία ημέρα μετά τη λήξη τους. Οι παράγοντες που προκύπτουν αντιστοιχούν χωρικά σε περιοχές πάνω από την Ευρώπη και τη Μεσόγειο, στις οποίες οι αρχικές μετεωρολογικές παράμετροι, που περιγράφουν την τριδιάστατη δομή της κατώτερης και μέσης τροπόσφαιρας, συµμεταβάλλονται. Οι τιμές επίδοσης των παραγόντων μπορούν πλέον να χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της δομής της κατώτερης και μέσης τροπόσφαιρας στη θέση των αρχικών μετεωρολογικών παραμέτρων.

Η Ανάλυση κατά Συστάδες (K-means) χρησιμοποιείται για την αντικειμενική κατάταξη σε ομάδες των χαρακτηριστικών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα κατά τη διάρκεια των επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται, κρινόμενη εκ των αποτελεσμάτων, μπορεί να θεωρηθεί αποτελεσματική για την αντικειμενική ταξινόμηση των μορφών της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που συνδέονται με τα επεισόδια ακραίων καιρικών φαινομένων, σε ομάδες οι οποίες είναι ομοιογενείς και διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους.

Κάθε ομάδα μπορεί να αντιστοιχηθεί σε έναν κύριο τύπο τόσο της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της κατώτερης και μέσης τροπόσφαιρας πάνω από την Ευρώπη και την Μεσόγειο, όσο και της εξέλιξης αυτής της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μία ημέρα πριν την έναρξη των επεισοδίων έως μία ημέρα μετά τη λήξη τους. Για κάθε ένα είδος ακραίου καιρικού φαινομένου, οι κύριοι τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που προκύπτουν, αν και έχουν γενικά κάποια κοινά χαρακτηριστικά, ωστόσο παρουσιάζουν διαφορές είτε στην κατώτερη τροπόσφαιρα, είτε στη μέση τροπόσφαιρα είτε στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Τα κυριότερα συμπεράσματα, που προκύπτουν από τα αποτελέσματα, για κάθε ένα είδος επεισοδίων ακραίων και επικίνδυνων καιρικών φαινομένων συνοψίζονται παρακάτω.

Θερμά Επεισόδια

- Το ετήσιο πλήθος των θερμών επεισοδίων την τελευταία δεκαετία του περασμένου αιώνα εμφανίζει τάση αύξησης, η οποία όμως δεν είναι στατιστικά σημαντική.
- Οι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν τα θερμά επεισόδια στην Ελλάδα είναι 7. Από τη μελέτη τους προκύπτει ότι η κύρια αιτία των θερμών επεισοδίων στην Ελλάδα είναι η αντικυκλωνική κυκλοφορία στην περιοχή της Ελλάδας. Η επικράτηση της κυκλοφορίας αυτής οφείλεται στην επέκταση υποτροπικού αντικυκλώνα

των Αζορών, που συνοδεύεται από καθοδικές κινήσεις αερίων μαζών, στην περιοχή που καλύπτεται από τον αντικυκλώνα, με συνέπεια την αδιαβατική τους θέρμανση και την αύξηση της θερμοκρασίας.

- Η παρουσία μίας ύφεσης στην κεντρική Μεσόγειο κατά τις μεταβατικές εποχές του φθινοπώρου και της άνοιξης είναι δυνατό να προκαλεί θερμά επεισόδια μικρής διάρκειας στη νότια νησιωτική Ελλάδα εξαιτίας μεταφοράς θερμών αερίων μαζών Αφρικανικής προέλευσης.
- Η βορειοανατολική ροή (ετησίες άνεμοι), που είναι συχνή στη διάρκεια της θερινής περιόδου παρ' ότι προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας στην ανατολική Ελλάδα, ευνοεί τα θερμά επεισόδια στη δυτική Ελλάδα, που βρίσκεται στην υπήνεμη πλευρά της οροσειράς της Πίνδου και ο άνεμος είναι καταβατικός.

Ψυχρά Επεισόδια

- Το ετήσιο πλήθος των ψυχρών επεισοδίων δεν εμφανίζει κάποια στατιστικώς σημαντική τάση αύξησης ή μείωσης. Ωστόσο, η διάρκειά τους σπάνια ξεπερνά τις 4 ημέρες κατά την τελευταία δεκαετία του περασμένου αιώνα.
- Από τους 6 τύπους εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που συμβάλλουν στην εμφάνιση ψυχρών επεισοδίων στην Ελλάδα, συμπεραίνεται ότι η κύρια αιτία που προκαλεί ψυχρά επεισόδια στην Ελλάδα είναι η βορειοανατολική ροή ψυχρών αερίων μαζών, που οφείλεται στο συνδυασμό αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην περιοχή της δυτικής ή της κεντρικής Ευρώπης ή των Βαλκανίων και κυκλωνικής κυκλοφορίας στην ανατολική Μεσόγειο. Η αντικυκλωνική κυκλοφορία οφείλεται είτε στον αντικυκλώνα της δυτικής Ευρώπης, που αναπτύσσεται κατά τη χειμερινή περίοδο, είτε στην επέκταση του Σιβηρικού αντικυκλώνα. Στη δεύτερη περίπτωση οφείλουν κυρίως την εμφάνισή τους ψυχρά επεισόδια στο νοτιοανατολική νησιωτική Ελλάδα.
- Οι κύριοι τύποι της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που προκύπτουν για τα ψυχρά επεισόδια, διαφέρουν κυρίως στην ακριβή θέση και ένταση των συστημάτων πίεσης στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα και στην εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια των επεισοδίων.

Επεισόδια Ακραίων βροχοπτώσεων

- Σχεδόν σε όλους τους τύπους εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που προκαλούν επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων, η ύπαρξη μίας ύφεσης στην περιοχή της Μεσογείου και ενός αυλώνα δυτικά της Ελλάδας στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa αποτελεί το βασικό αίτιο της πρόκλησης των επεισοδίων.
- Σε κάποιους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας η ύφεση, που προκαλεί τις ακραίες βροχοπτώσεις διέρχεται από την Ελλάδα ξεκινά από την κεντρική Μεσόγειο και καταλήγει στη Μικρά Ασία επηρεάζοντας κυρίως την ανατολική νησιωτική Ελλάδα καθώς βαθαίνει όταν το κέντρο της βρίσκεται πάνω στην Ελλάδα.
- Στη δυτική Ελλάδα οι περισσότερες ημέρες ακραίας βροχόπτωσης σχετίζονται με τους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, στους οποίους μία ύφεση βρίσκεται στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου, προκαλώντας νοτιοδυτική ροή υγρών αερίων μαζών και κατά συνέπεια βροχοπτώσεις στην δυτική προσήνεμη πλευρά της οροσειράς της Πίνδου.
- Μία βαθιά ύφεση στη δυτική Ευρώπη σε συνδυασμό με τον σιβηρικό αντικυκλώνα, ο οποίος επεκτείνεται ως τη Ρωσία προκαλεί νότια ροή στην περιοχή της Ελλάδας η οποία ευνοεί τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης κυρίως στη νότιο και δυτική Ελλάδα και λιγότερο στη βόρειο χώρα.

- Ο συνδυασμός αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην κεντρική Ευρώπη και κυκλωνικής κυκλοφορίας στην ανατολική Μεσόγειο προκαλεί επεισόδια ακραίας βροχοπτώσης κυρίως στη νότια νησιωτική Ελλάδα.
- Κατά τη θερινή περίοδο του έτους προκύπτει ένας τύπος της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, στον οποίο ένας αυλώνας στη στάθμη των 500hPa διέρχεται από την Ελλάδα που συνοδεύεται από τη διέλευση ψυχρής αέριας μάζας στη μέση τροπόσφαιρα και προκαλεί συνθήκες αστάθειας. Αυτός ο τύπος ευνοεί τις ακραίες βροχοπτώσεις κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας.
- Όλοι οι τύποι εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ένταση των συστημάτων πίεσης στην κατώτερη τροπόσφαιρα, την ακριβή τους θέση σε σχέση με την Ελλάδα, τη δομή της μέσης τροπόσφαιρας και τον προσανατολισμό των αυλώνων, που συνοδεύουν την υφειακή δραστηριότητα, την εποχή του χρόνου που παρατηρούνται, και τις περιοχές τις χώρας που επηρεάζουν περισσότερο.

Επεισόδια Χιονόπτωσης

- Από τη μελέτη των τύπων εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που ευνοούν τις χιονοπτώσεις στην Ελλάδα, προκύπτει ότι γενικά ο συνδυασμός αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στην δυτική, ή κεντρική, ή ανατολική Ευρώπη και η ύπαρξη μίας βαθιάς ύφεσης στην περιοχή της Μεσογείου συμβάλλει στη ροή ιδιαίτερα ψυχρών αερίων μαζών και στην ανάπτυξη συνθηκών έντονης βαροκλινοκλιότητας στην περιοχή της Ελλάδας, με αποτέλεσμα την πρόκληση χιονοπτώσεων.
- Στον κορμό της Ελλάδας αρκετά μεγάλο πλήθος ημερών χιονόπτωσης οφείλεται στη ραγδαία ανάπτυξη μιας βαθιάς ύφεσης νότια της Ελλάδας, εξαιτίας των έντονων ροών θερμότητας από τη Μεσόγειο θάλασσα προς την ατμόσφαιρα. Η ύφεση σε συνδυασμό με τον αντικυκλώνα της δυτικής Ευρώπης προκαλεί τη σύγκλιση ψυχρών αερίων μαζών βόρειας προέλευσης και θερμών και υγρών αερίων μαζών νότιας προέλευσης πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα, με αποτέλεσμα την πρόκληση χιονοπτώσεων στην περιοχή σύγκλισης των αερίων μαζών.
- Η νότια νησιωτική Ελλάδα αλλά και η δυτική Ελλάδα επηρεάζονται περισσότερο όταν το κέντρο της ύφεσης βρίσκεται στο βόρειο Αιγαίο ή λίγο δυτικότερα ή ανατολικότερα οπότε η ροή σε αυτές τις περιοχές είναι βορειοδυτική και μεταφέρει ψυχρές εμπλουτισμένες με υδρατμούς αέριες μάζες.
- Ειδικά στη νότια νησιωτική χώρα, αλλά και στη νότια ηπειρωτική, πολλές ημέρες χιονόπτωσης συνδέονται με το συνδυασμό κυκλωνικής κυκλοφορίας στην περιοχή της Κύπρου και της παρουσίας αντικυκλώνα στην κεντρική Ευρώπη.
- Χιονοπτώσεις συμβαίνουν μόνο στη βόρεια ορεινή Ελλάδα όταν στην κατώτερη τροπόσφαιρα επικρατεί νότια ροή σχετικά θερμών και υγρών αερίων μαζών, εξαιτίας του συνδυασμού βαθιάς ύφεσης στη βορειοδυτική Ευρώπη και υφειακής δραστηριότητας στη δυτική Μεσόγειο και της επέκτασης του Σιβηρικού αντικυκλώνα προς τη Ρωσία. τότε οι χιονοπτώσεις περιορίζονται κυρίως στη βόρεια ορεινή Ελλάδα.
- Νότια ροή σχετικά θερμών και υγρών αερίων μαζών στην κατώτερη τροπόσφαιρα σε συνδυασμό με την παρουσία ψυχρής αέριας μάζας στη μέση τροπόσφαιρα προκαλεί χιονοπτώσεις μόνο στη βόρεια ορεινή Ελλάδα. Ο τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοεί τέτοια επεισόδια χιονόπτωσης χαρακτηρίζεται από την παρουσία μιας βαθιάς ύφεσης στη βορειοδυτική Ευρώπη και υφειακής δραστηριότητας στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο καθώς και από την επέκταση του Σιβηρικού αντικυκλώνα προς την ανατολική Ευρώπη.

Επεισόδια Ομίχλης

- Ο σχηματισμός ομίχλης, κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδας, σχετίζεται κυρίως με τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που χαρακτηρίζονται από αντικυκλωνική κυκλοφορία και πεδίο σταθερών πιέσεων στην περιοχή της Ελλάδας. Αυτές οι συνθήκες ευνοούν την εμφάνιση ομίχλων ακτινοβολίας.
- Ασθενής νότια ροή υγρών αερίων μαζών είναι ικανή να προκαλέσει ομίχλες μεταφοράς επηρεάζοντας τόσο τις ηπειρωτικές, όσο περισσότερο τις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές της χώρας. Η ασθενής νότια ροή προκαλείται από την παρουσία πεδίου υψηλών πιέσεων ανατολικά της Ελλάδας και μίας ρηχής ύφεσης στην κεντρική Μεσόγειο κυρίως κατά την περίοδο της άνοιξης, ή μίας βαθιάς ύφεσης στη βορειοδυτική Ευρώπη που συνοδεύεται από υφεσιακή δραστηριότητα στη δυτική Μεσόγειο κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο.
- Αρκετά επεισόδια ομίχλης μικρής διάρκειας οφείλονται στην παρουσία υφεσιακής δραστηριότητας δυτικά της Ελλάδας, η οποία προκαλεί τη διέλευση θερμού *μετώπου*, στο οποίο μπορεί να συμβεί ανάμειξη σχεδόν κορεσμένων αερίων μαζών διαφορετικών θερμοκρασιών και σχηματισμός ομίχλης.
- Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο, που σηματοδοτούν τη λήξη της θερμής εποχής, η έντονη ψύξη του εδάφους, λόγω της μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και της έντονης ακτινοβολίας προς το διάστημα κατά τη διάρκεια της νύχτας, εύκολα προκαλεί τον κορεσμό των υπερκείμενων αερίων μαζών, ακόμη και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες καθώς η ποσότητα των περιεχόμενων υδρατμών είναι ακόμη μεγάλη.

Γενικά οι τύποι της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα, που προέκυψαν από την παρούσα διατριβή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από προγνώστες μετεωρολόγους, σε συνδυασμό με τις προγνώσεις των αριθμητικών μοντέλων, ως βοηθητικό εργαλείο για την έγκαιρη και έγκυρη πρόγνωση ακραίων καιρικών φαινομένων σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Η μεθοδολογία, που ακολουθήθηκε στην παρούσα διατριβή και τα αποτελέσματα, που προέκυψαν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά με ελαφρές τροποποιήσεις μαζί με τη χρήση κι άλλων μεθόδων όπως τα Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα για τη δημιουργία ενός στατιστικού μοντέλου το οποίο θα είναι ικανό με αυτοματοποιημένες διαδικασίες να συσχετίζει τις συνοπτικής κλίμακας προγνώσεις αριθμητικών μοντέλων με ακραία καιρικά φαινόμενα σε περιοχές της Ελλάδας και να εξάγει έγκυρες προειδοποιήσεις ακραίων και επικίνδυνων καιρικών φαινομένων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Επεξήγηση
CHGN	Global Historical Climatology Network
CRU	Climate Research Unit
ECMWF	European Center of Mesoscale Weather Forecast
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GPCP	Global Precipitation Climatology Project
ICAO	International Civil Aviation Organization
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LMDZ	Laboratoire de Météorologie Dynamique, Paris, ('z' stands for zoom)
NCDC	National Climatic Data Center
PREC/L	Precipitation Reconstruction over Land
UTC	Coordinated Universal Time
WMO	World Meteorological Organization
ΑΚΦ	Ακραίο Καιρικό Φαινόμενο
EAB	Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης: Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα σημειώθηκε ύψος βροχής 24ώρου (από 06:00UTC έως 06:00UTC της επόμενης ημέρας) μεγαλύτερο ή ίσο με την τιμή που αντιστοιχεί στο 95% της κατανομής των υψών βροχής 24ώρου στο μετεωρολογικό σταθμό.
ΕΑΚΦ	Επεισόδιο Ακραίου Καιρικού Φαινομένου
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΕΟ	Επεισόδια Ομίχλης: Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ελλάδα και σε τουλάχιστον μία 3ωρη παρατήρηση σε κάθε έναν σταθμό καταγράφηκε κωδικός παρόντος καιρού 41 έως 49, ή κωδικός παρελθόντος καιρού 4.

Συντομογραφία	Επεξήγηση
ΕΧ	Επεισόδια Χιονόπτωσης: Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα και σε τουλάχιστον μία 3ωρη παρατήρηση στο σταθμό καταγράφηκε κωδικός παρόντος καιρού 22 ή 26 ή 85 ή 86 ή 70 έως 79, ή κωδικός παρελθόντος καιρού 7.
ΘΕ	Θερμά Επεισόδια: Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα σημειώθηκε ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση με την τιμή που αντιστοιχεί στο 99% της κατανομής των μέγιστων θερμοκρασιών στο μετεωρολογικό σταθμό.
ΜΣ	Μετεωρολογικός Σταθμός
ΜΣΘ	Μέση Στάθμη της Θάλασσας
ΨΕ	Ψυχρά Επεισόδια: Συνεχόμενες ημέρες κατά τις οποίες σε τουλάχιστον ένα μετεωρολογικό σταθμό στην Ελλάδα σημειώθηκε ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία μικρότερη ή ίση με την τιμή που αντιστοιχεί στο 1% της κατανομής των ελαχίστων θερμοκρασιών στο μετεωρολογικό σταθμό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Αποτελέσματα Παραγοντικής Ανάλυσης για τα Θερμά Επεισόδια

Περιοχές της ατμόσφαιρας στις οποίες οι 5 μετεωρολογικές παράμετροι που περιγράφουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία της κατώτερης και μέσης τροπόσφαιρας συμμεταβάλλονται κατά την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ των ΘΕ.

Η Παραγοντική Ανάλυση χρησιμοποιείται για τη μείωση του πλήθους των αρχικών μετεωρολογικών παραμέτρων που περιγράφουν τη δομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα. Οι παράγοντες που προκύπτουν, αντιστοιχούν σε περιοχές της ατμόσφαιρας στις οποίες οι αρχικές μετεωρολογικές παράμετροι συμμεταβάλλονται και οι τιμές τους μπορούν να αντικατασταθούν από τις τιμές επίδοσης των παραγόντων.

Στα σχήματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των φορτίων (>0.6) των χρονοσειρών των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων (στήλες) στα 273 πλεγματικά σημεία, για κάθε ένα παράγοντα (γραμμές), για την Ημέρα Η-1, την Ημέρα Η και την Ημέρα ΛΗΞΗΣ των ΘΕ. Τα πλεγματικά σημεία που παρουσιάζουν υψηλά φορτία (>0.6) σε κάποιο παράγοντα ορίζουν μία περιοχή της ατμόσφαιρας, στην οποία οι χρονοσειρές των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων που αντιστοιχούν σε αυτά συμμεταβάλλονται και μπορούν να αντικατασταθούν από τη χρονοσειρά των τιμών επίδοσης του παράγοντα.

Στην επιφάνεια αυτές οι περιοχές εντοπίζονται κυρίως στην Μεγάλη Βρετανία, στη Μαύρη Θάλασσα και στον Ελλαδικό χώρο, στην Ουκρανία στις χώρες της Βαλτικής και Δυτική Ρωσία, στην Ιβηρική χερσόνησο μαζί με την βορειοδυτική Αφρική και τη Δυτική Μεσόγειο, ενώ στην μέση τροπόσφαιρα οι περιοχές αυτές εντοπίζονται στην Δυτική Μεσόγειο και βορειοδυτική Αφρική, στη δυτική Ρωσία, στη Σκανδιναβία, στην Ανατολική Μεσόγειο και Μικρά Ασία, στην κεντρική Ευρώπη, στη Μαύρη Θάλασσα και τέλος ανατολικά της Ιβηρικής χερσονήσου.

Από τα σχήματα Β.1, Β.2 και Β.3 διαπιστώνεται, ότι κατά τις περιπτώσεις θερμών επεισοδίων η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας δεν συμμεταβάλλεται με τις υπόλοιπες παραμέτρους, που αντιπροσωπεύουν υψηλότερα επίπεδα της τροπόσφαιρας. Μόνο στις περιοχές της Μεγάλης Βρετανίας (σχήμα Β.1 Παράγοντας 8, σχήμα Β.2 Παράγοντας 7, σχήμα Β.3 Παράγοντας 10) και των δυτικών Βαλκανίων – βορείου Αιγαίου (σχήμα Β.2 Παράγοντας 8, σχήμα Β.3 Παράγοντας 9) οι χρονοσειρές της επιφανειακής ατμοσφαιρικής πίεσης ανήκουν στους ίδιους παράγοντες με τις χρονοσειρές του ύψους της στάθμης των 500hPa. Ακόμη οι χρονοσειρές της θερμοκρασίας στη στάθμη των 500hPa δεν συμμεταβάλλονται με τις χρονοσειρές των υπολοίπων παραμέτρων των υψηλότερων επιπέδων της τροπόσφαιρας (θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa, πάχος στρώματος 1000-500hPa και ύψος στάθμης 500hPa) στις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου (σχήμα Β.1 Παράγοντας 12, σχήμα Β.2 Παράγοντας 6 και Παράγοντας 10, σχήμα Β.3 Παράγοντας 7 και Παράγοντας 12).

Είναι εμφανές ότι τα αποτελέσματα της Παραγοντικής Ανάλυσης επιδέχονται φυσική ερμηνεία, καθώς από την εφαρμογή της ορίζονται περιοχές, στις οποίες τα χαρακτηριστικά των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων και άρα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μπορούν να περιγραφούν από τις τιμές επίδοσης των παραγόντων. Ωστόσο, επειδή η εφαρμογή της

γίνεται με στόχο μόνο τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων, δεν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Παραγοντικής Ανάλυσης για τα υπόλοιπα είδη επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων.

ΗΜΕΡΑ Η-1

Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΙΘ

Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa

Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa

Πάχος στρώματος 1000 ~ 500hPa

Ύψος στάθμης 500hPa

Παράγοντας 1

Παράγοντας 2

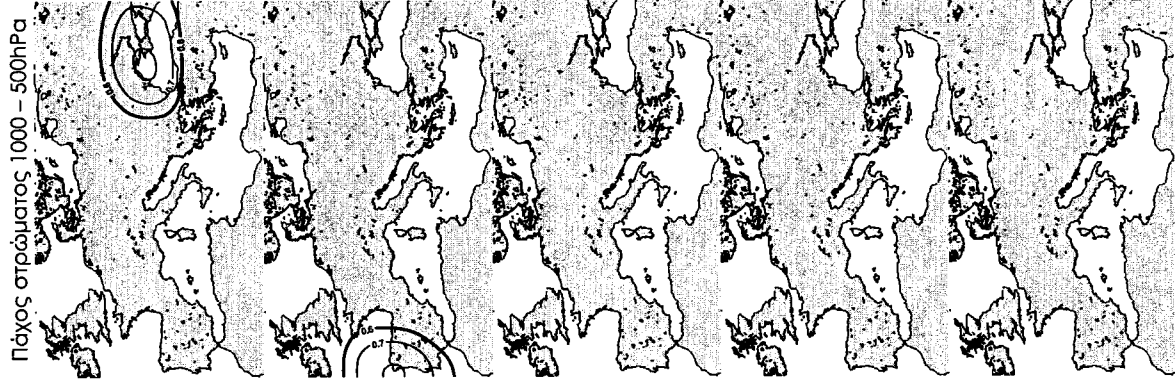
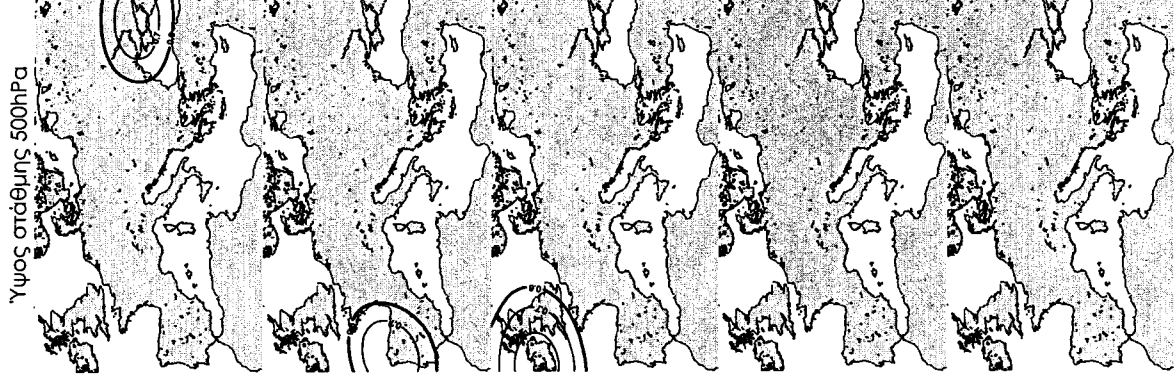
Παράγοντας 3

Παράγοντας 4

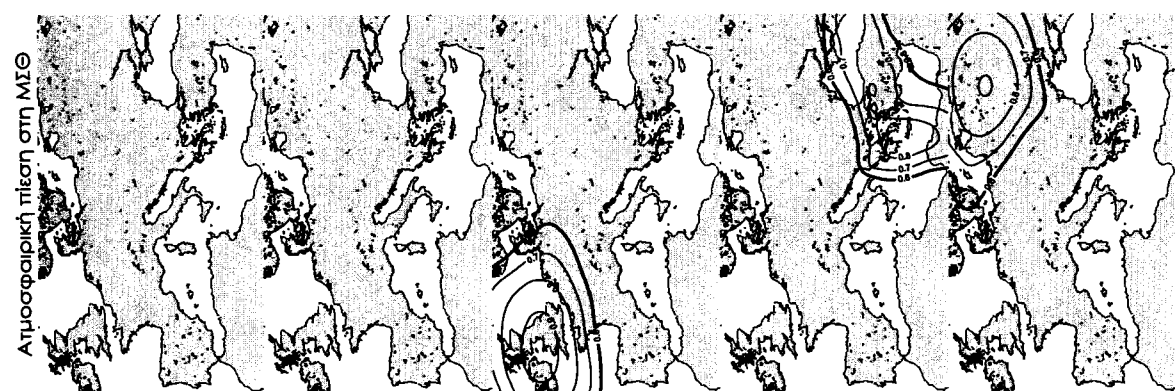
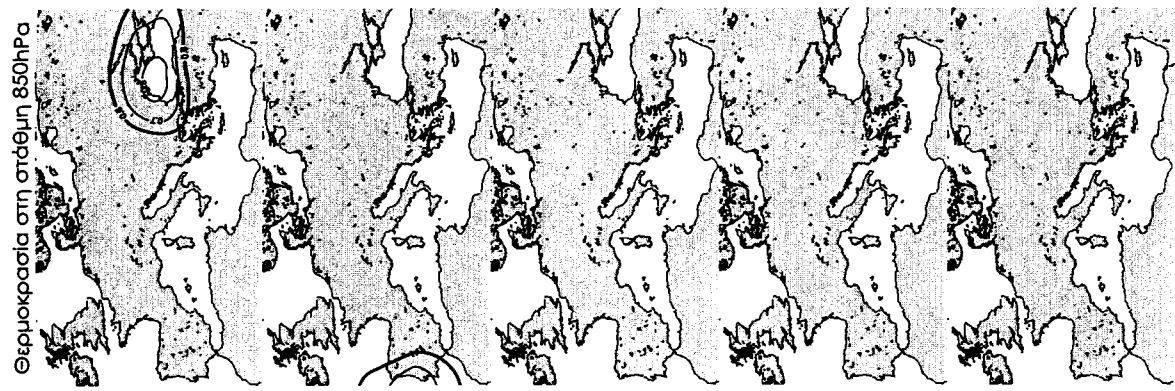
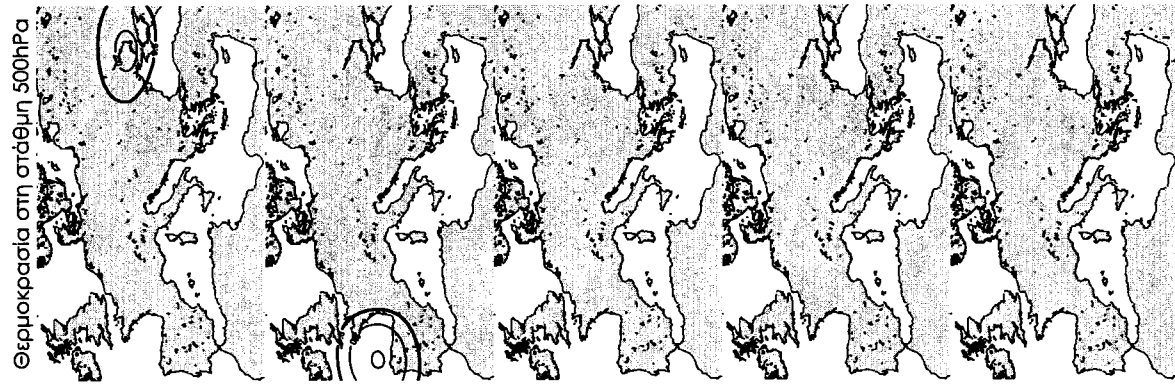
Παράγοντας 5

Σχήμα Β.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.





ΗΜΕΡΑ Η-1



Παράλογος 6

Παράλογος 7

Παράλογος 8

Παράλογος 9

Παράλογος 10

Σχήμα Β.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

ΗΜΕΡΑ Η-1

Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΣΘ

Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa

Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa

Πάχος στρώματος 1000 – 500hPa

Υψος στάθμης 500hPa



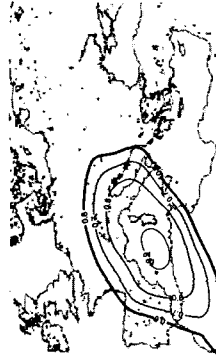
Σχήμα Β.1 Η χωρική κατανομή των φορτίων των χρονοσειρών των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων στα 273 πλεγματικά σημεία για την Ημέρα Η-1, για κάθε έναν παράγοντα. Η έντονη καμπύλη είναι η ισοπληθής του 0.6 και οι υπόλοιπες καμπύλες είναι οι ισοπληθείς των 0.7, 0.8 και 0.9.

ΗΜΕΡΑ Η

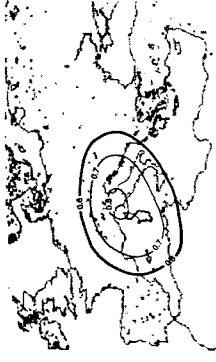
Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΙΘ



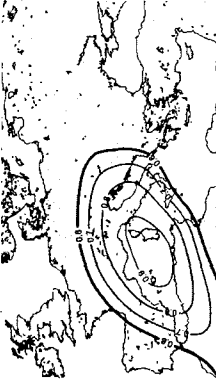
Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa



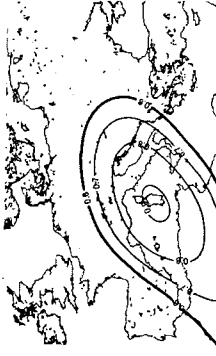
Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa



Πάχος στρώματος 1000 – 500hPa



Υψος στρώμης 500hPa



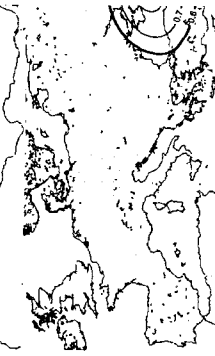
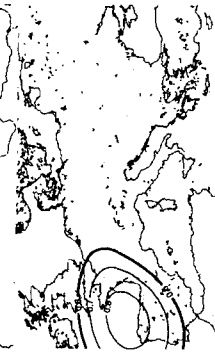
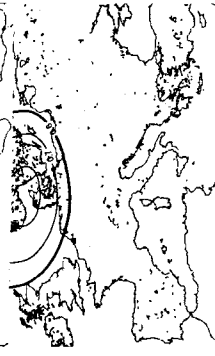
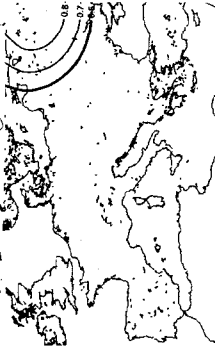
Παράγοντας 1

Παράγοντας 2

Παράγοντας 3

Παράγοντας 4

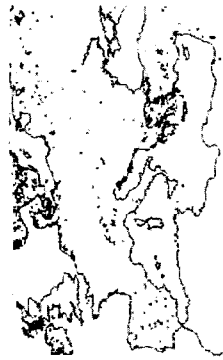
Παράγοντας 5



Σχήμα Β.2 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

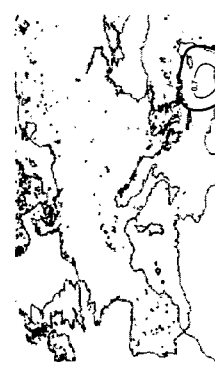
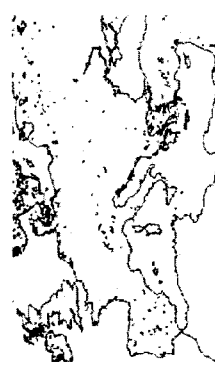
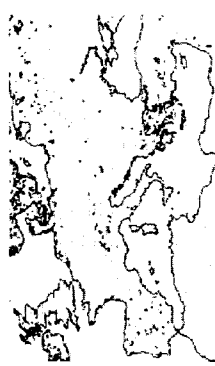
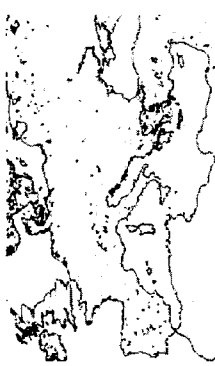
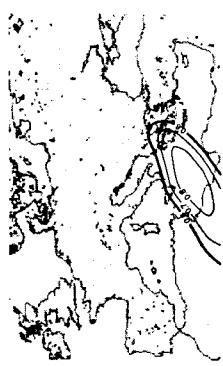
ΗΜΕΡΑ Η

Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΣΘ

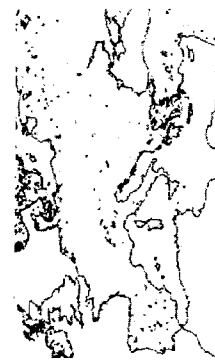
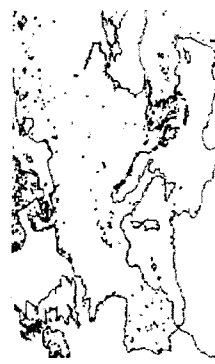
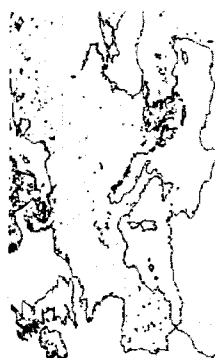
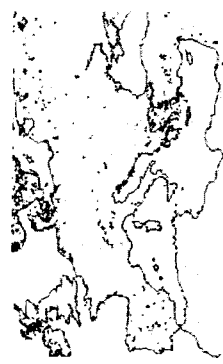


Παράλογος 6

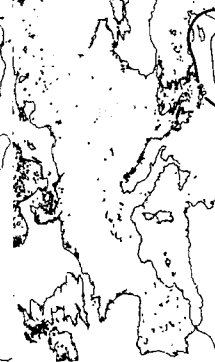
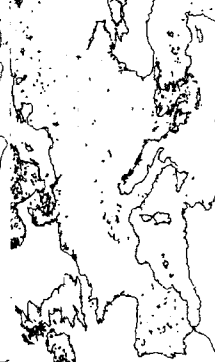
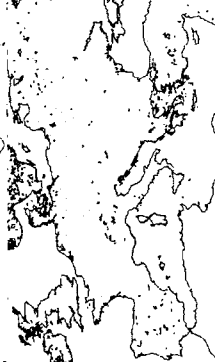
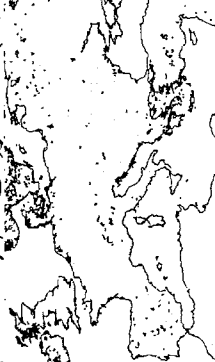
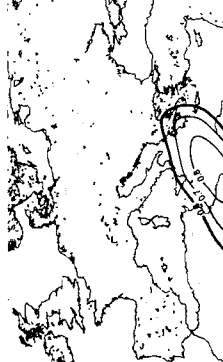
Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa



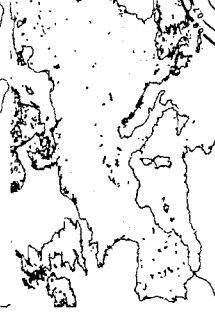
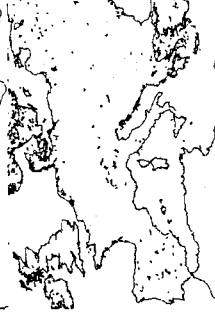
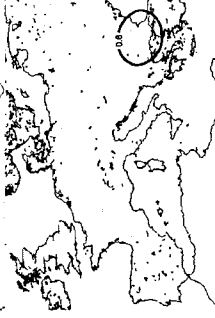
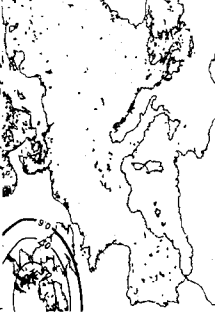
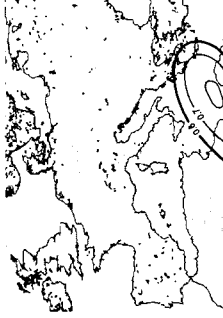
Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa



Πάχος στρώματος 1000 - 500hPa



Ύψος στάθμης 500hPa



Παράλογος 7

Παράλογος 8

Παράλογος 9

Παράλογος 10

Σχήμα Β.2 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

ΗΜΕΡΑ Η

Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΣΘ

Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa

Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa

Πάχος στρώματος 1000 - 500hPa

Ύψος στάθμης 500hPa



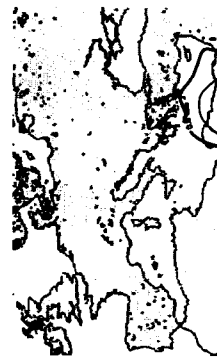
Παράγοντας 11



Παράγοντας 12



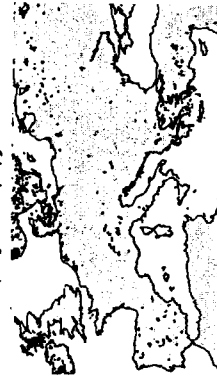
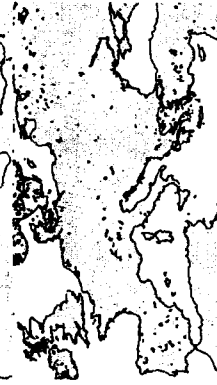
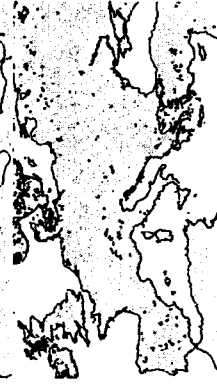
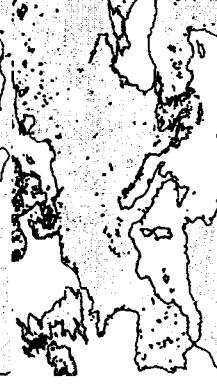
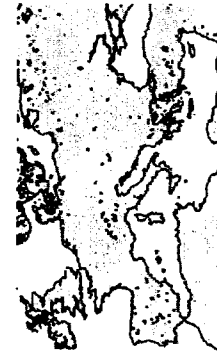
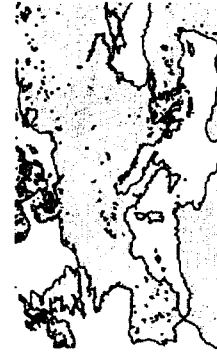
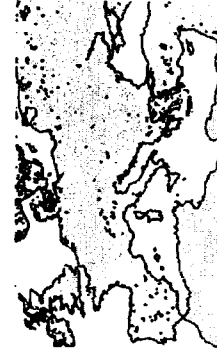
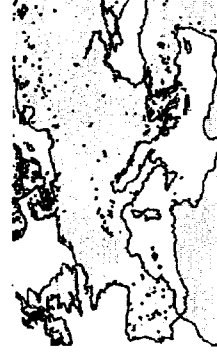
Παράγοντας 13



Παράγοντας 14

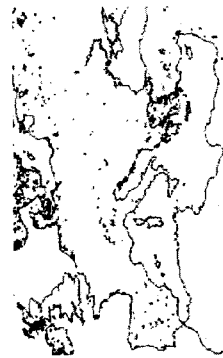


Παράγοντας 15

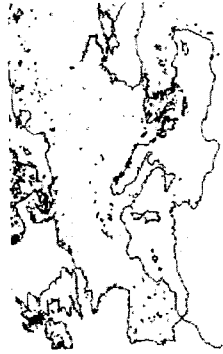


ΗΜΕΡΑ Η

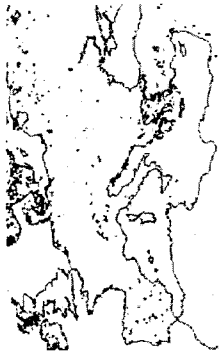
Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΣΘ



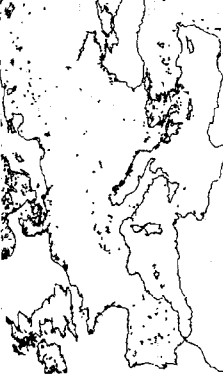
Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa



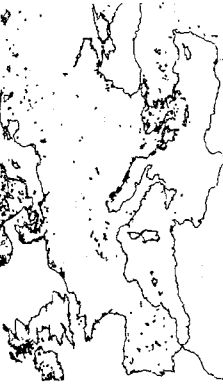
Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa



Πάχος στρώματος 1000 - 500hPa



Υψος στάθμης 500hPa



Σχήμα Β.2 Η χωρική κατανομή των φορτίων των χρονοσειρών των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων στα 273 πλεγματοειδή σημεία για την Ημέρα Η, για κάθε έναν παράγοντα. Η έντονη καμπύλη είναι η ισοπληθής του 0.6 και οι υπόλοιπες καμπύλες είναι οι ισοπληθείς των 0.7, 0.8 και 0.9.

ΗΜΕΡΑ ΛΗΞΗΣ

Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΣΘ

Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa

Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa

Πάχος στρώματος 1000 - 500hPa

Υψος στάθμης 500hPa

Παράγοντας 6

Παράγοντας 7

Παράγοντας 8

Παράγοντας 9

Παράγοντας 10



Σχήμα Β.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

ΗΜΕΡΑ ΛΗΞΗΣ

Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΙΘ

Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa

Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa

Πάχος στρώματος 1000 - 500hPa

Ύψος στάθμης 500hPa



Παράγοντας 1
Παράγοντας 2
Παράγοντας 3
Παράγοντας 4
Παράγοντας 5

Σχήμα Β.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

ΗΜΕΡΑ ΛΗΞΗΣ

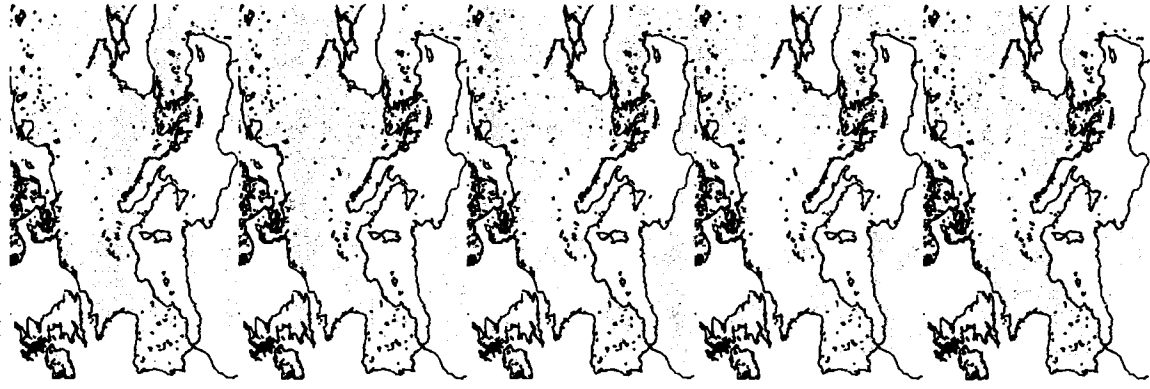
Ατμοσφαιρική πίεση στη ΜΙΘ



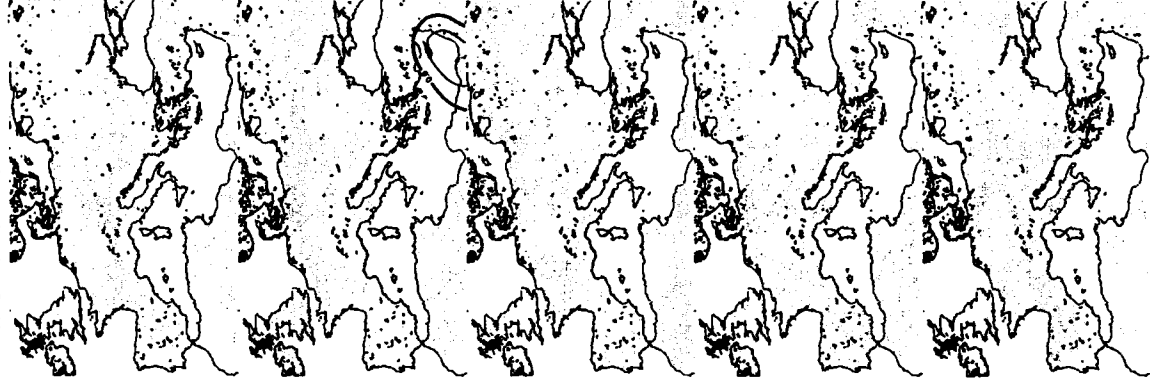
Θερμοκρασία στη στάθμη 850hPa



Θερμοκρασία στη στάθμη 500hPa



Πάχος στρώματος 1000 - 500hPa



Υψος στάθμης 500hPa



Παράγοντας 11

Παράγοντας 12

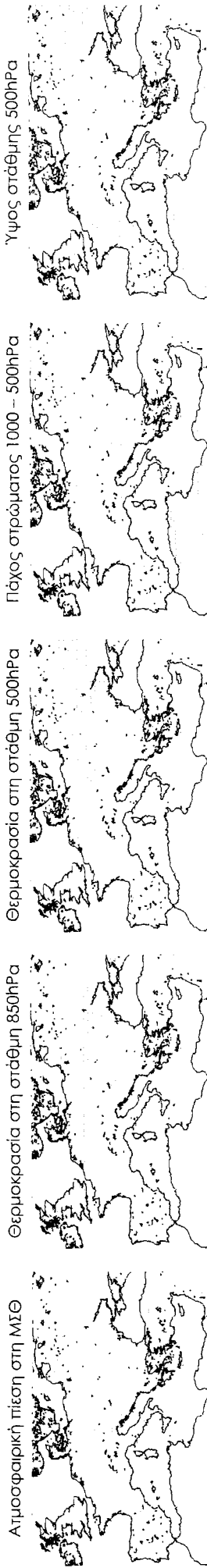
Παράγοντας 13

Παράγοντας 14

Παράγοντας 15

Σχήμα Β.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα.

ΗΜΕΡΑ ΛΗΞΗΣ

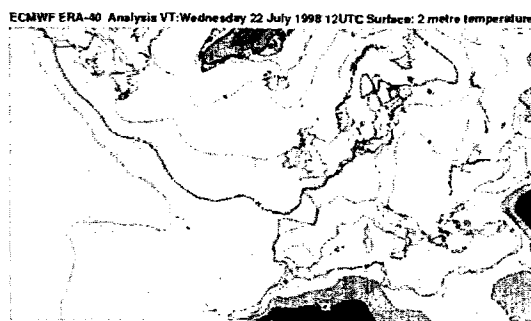
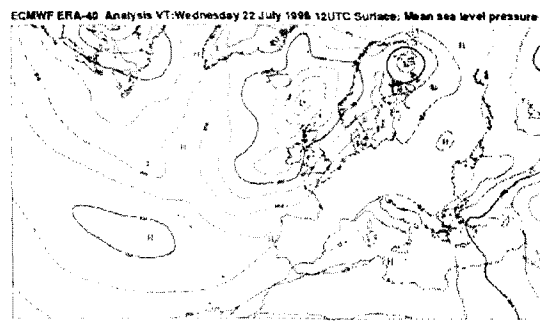


Σχήμα Β.3 Η χωρική κατανομή των φορτίων των χρονοσειρών των 5 μετεωρολογικών παραμέτρων στα 273 πλεγματοειδή σημεία για την Ημέρα ΛΗΞΗΣ, για κάθε έναν παράγοντα. Η έντονη καμπύλη είναι η ισοπληθής του 0.6 και οι υπόλοιπες καμπύλες είναι οι ισοπληθείς των 0.7, 0.8 και 0.9.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

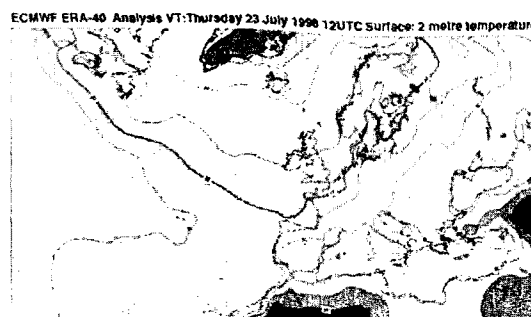
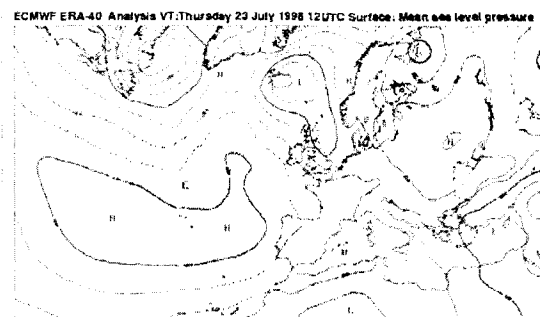
Εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν την έναρξη έως μία ημέρα μετά τη λήξη των μεγαλύτερων σε διάρκεια επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων

Θερμό Επεισόδιο από 23/07/1998 έως 11/08/1998 διάρκειας 20 ημερών.



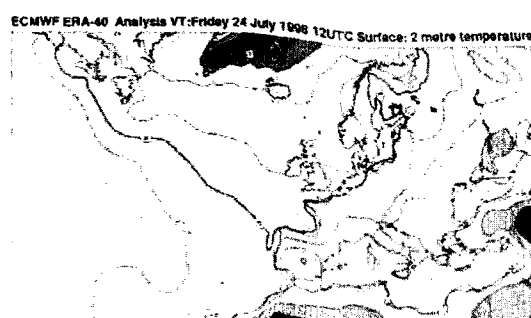
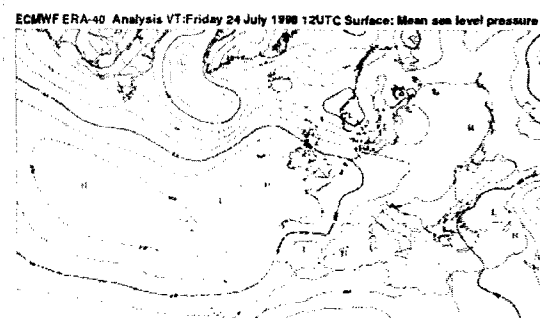
Ημέρα Η-1

0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C



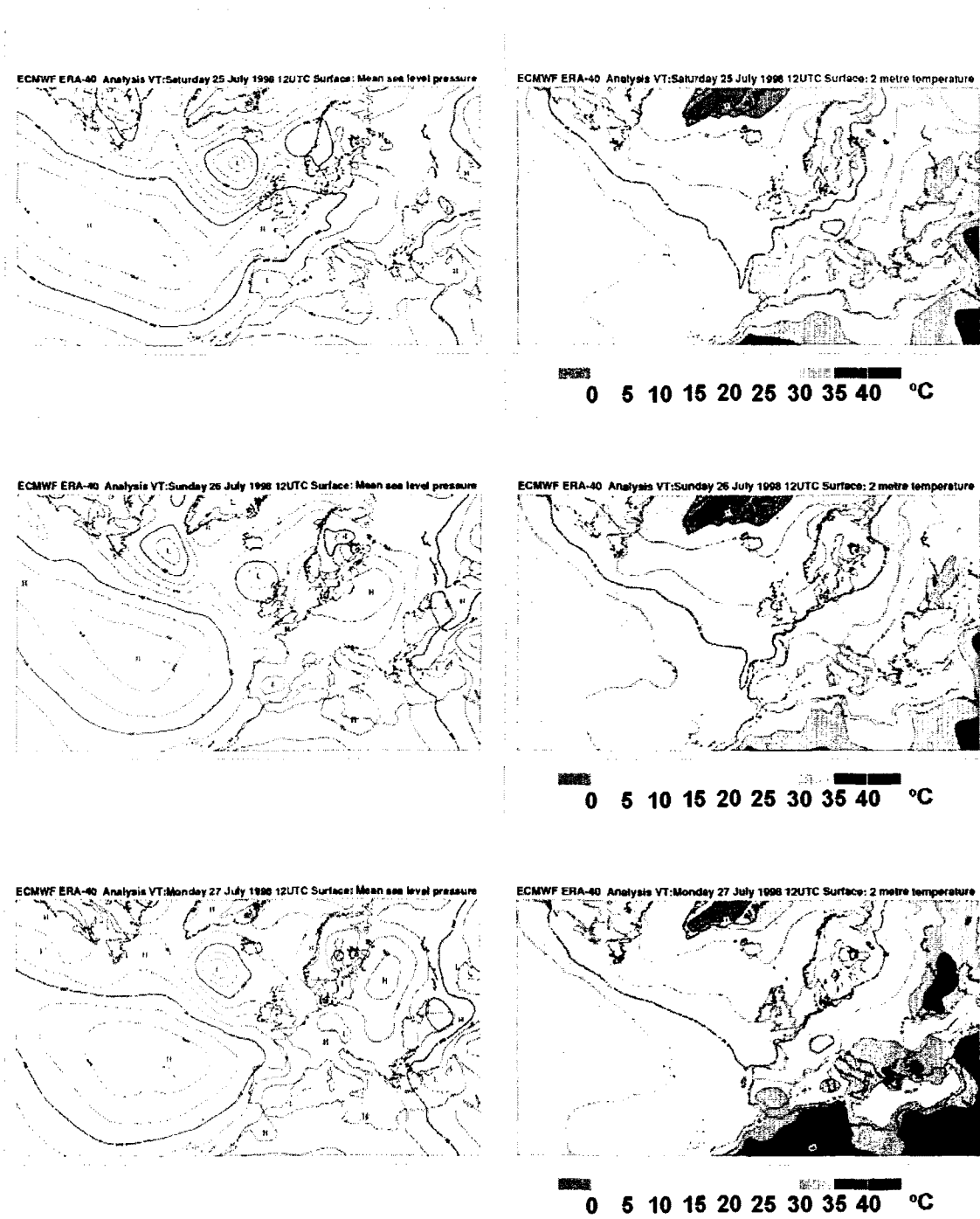
Ημέρα Η

0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

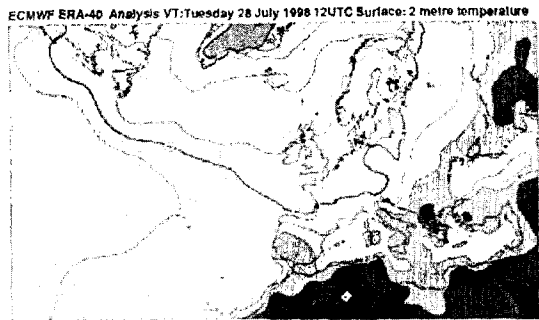
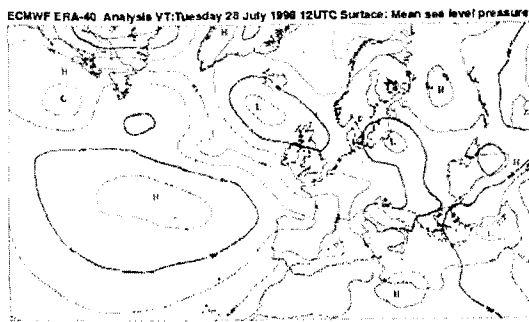


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

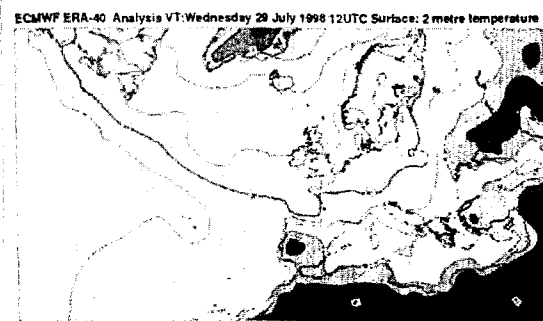
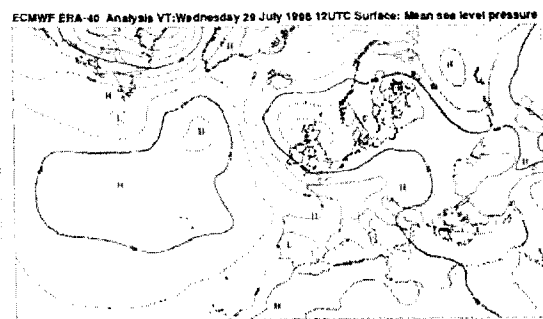
Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



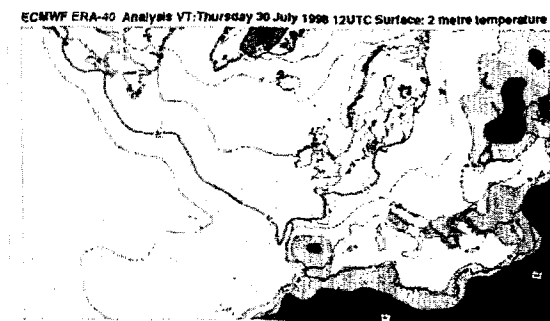
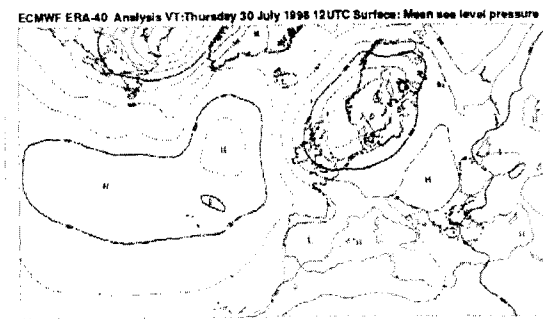
Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C



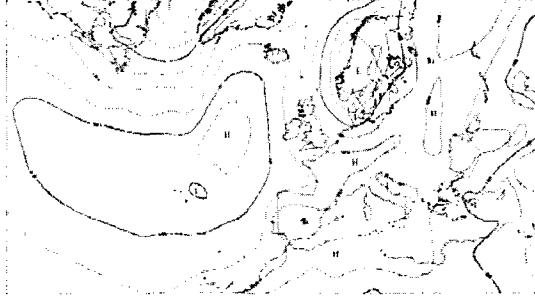
0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C



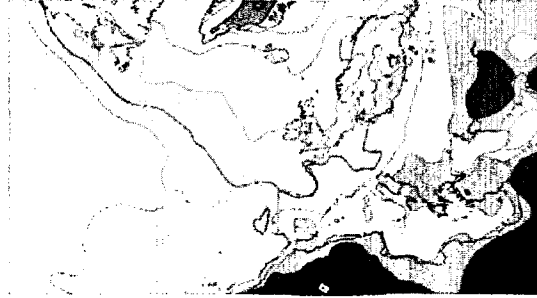
0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Friday 31 July 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

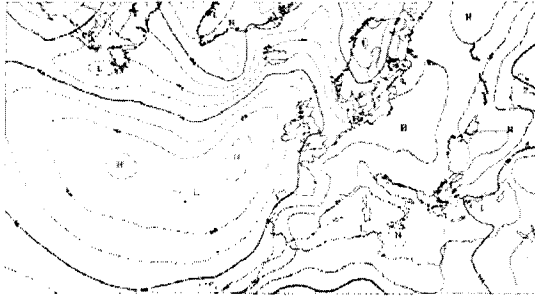


ECMWF ERA-40 Analysis VT:Friday 31 July 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

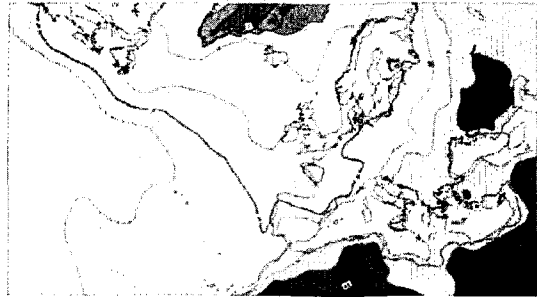


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Saturday 1 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

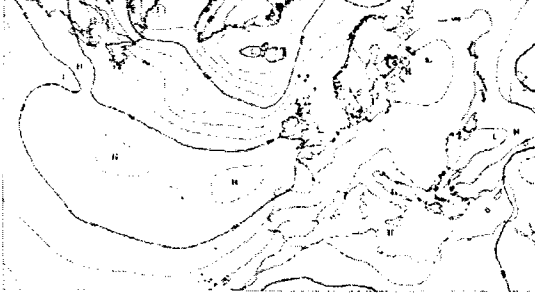


ECMWF ERA-40 Analysis VT:Saturday 1 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

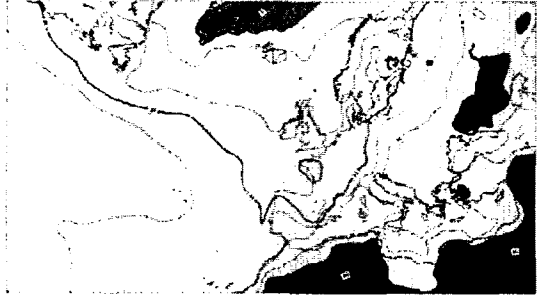


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Sunday 2 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure



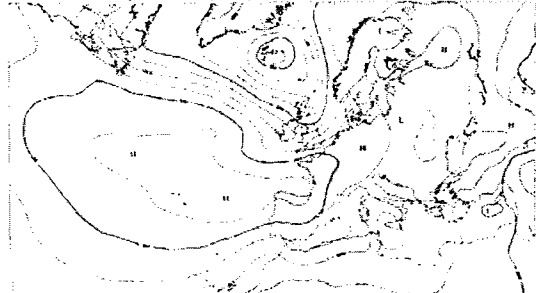
ECMWF ERA-40 Analysis VT:Sunday 2 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature



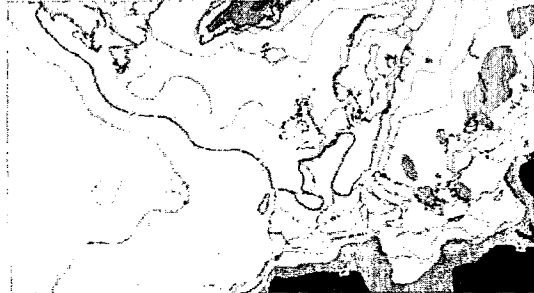
0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 3 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

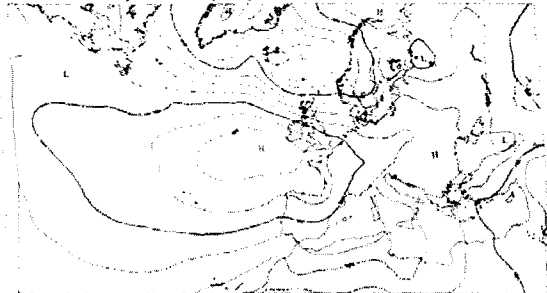


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 3 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

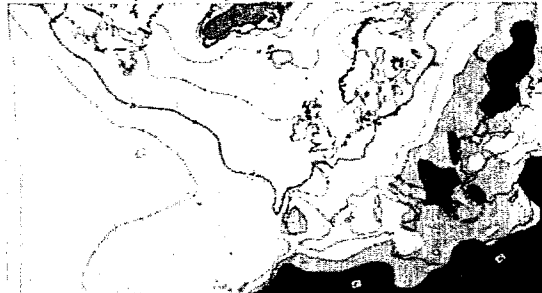


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 4 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

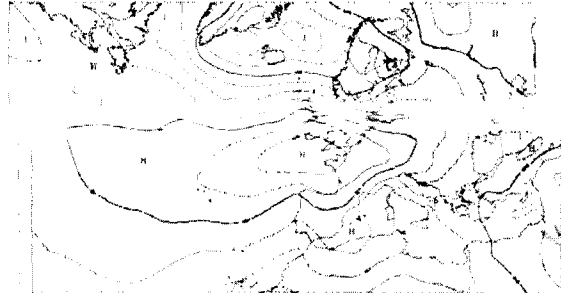


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 4 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

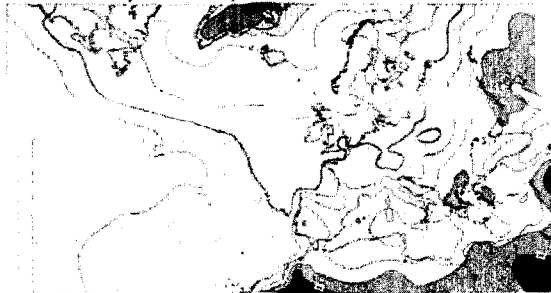


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 5 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure



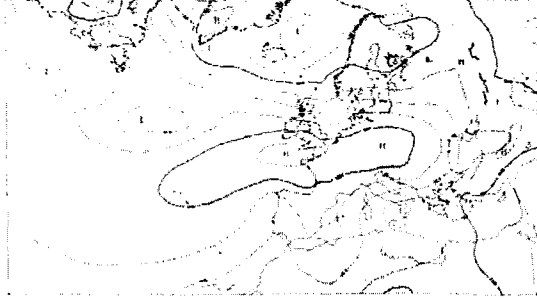
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 5 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature



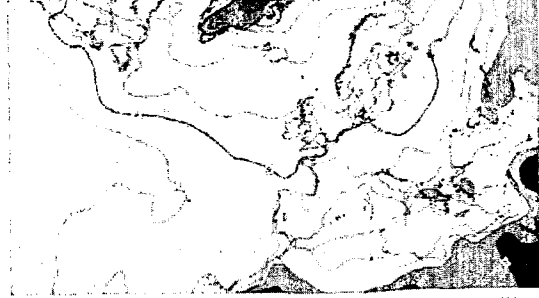
0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 6 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

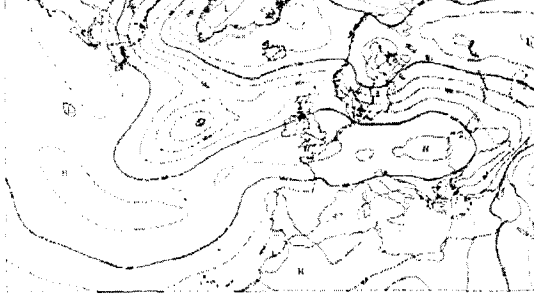


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 6 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

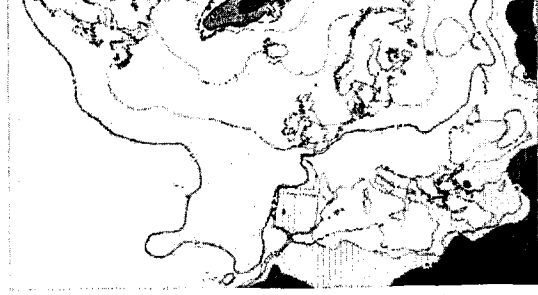


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Friday 7 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

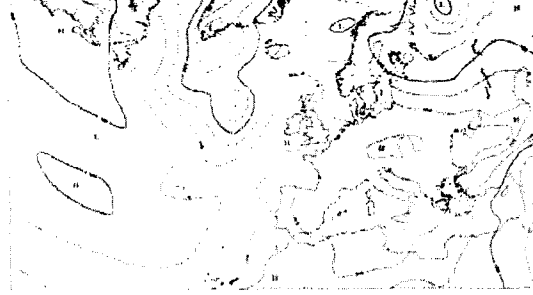


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Friday 7 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

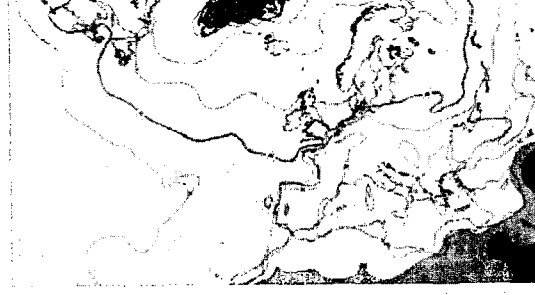


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Saturday 8 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure



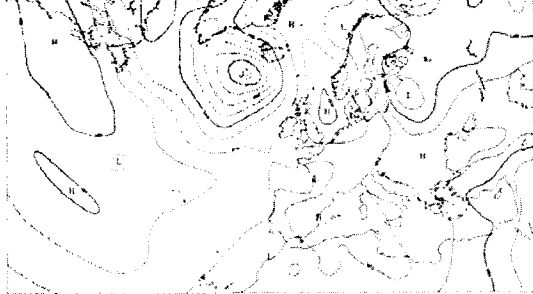
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Saturday 8 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature



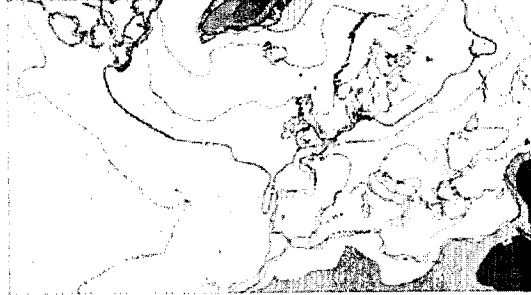
0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

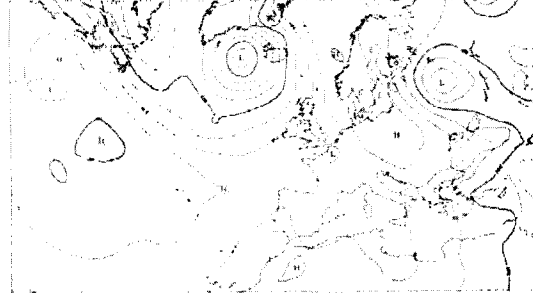
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 9 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure



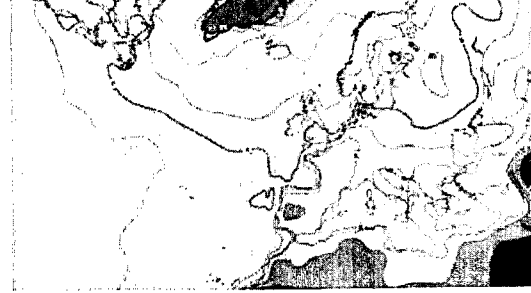
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 9 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature



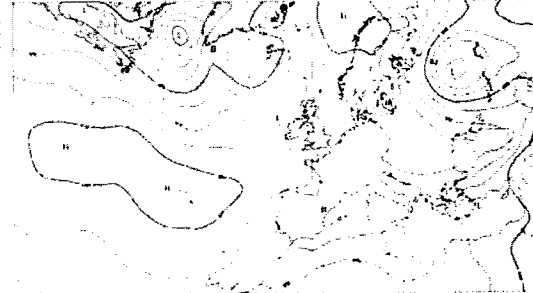
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 10 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure



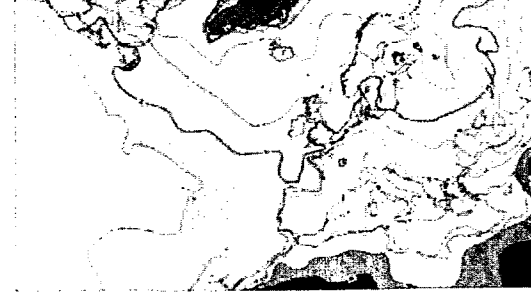
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 10 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature



ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 11 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure

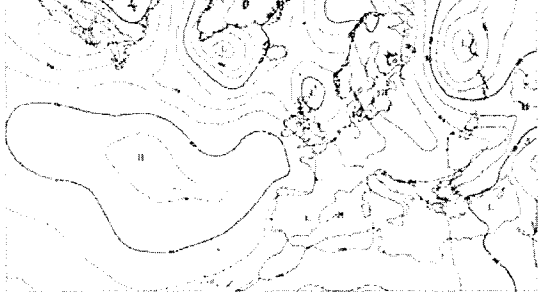


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 11 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

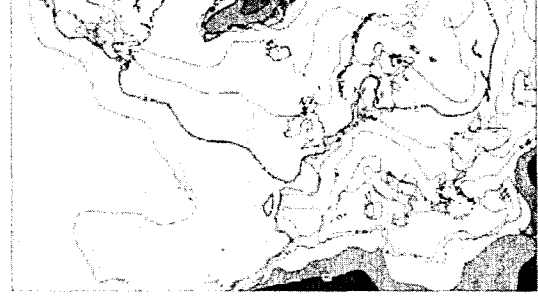


Σχήμα Γ.1 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 12 August 1998 12UTC Surface: Mean sea level pressure



ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 12 August 1998 12UTC Surface: 2 metre temperature

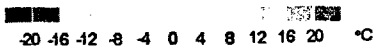
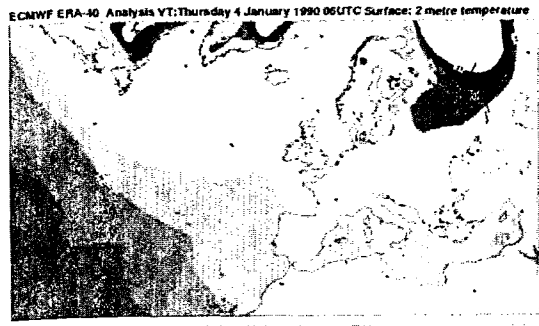
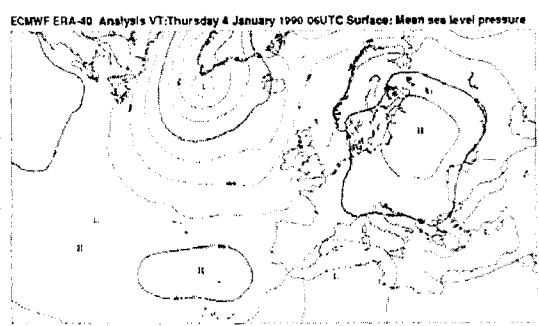


0 5 10 15 20 25 30 35 40 °C

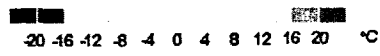
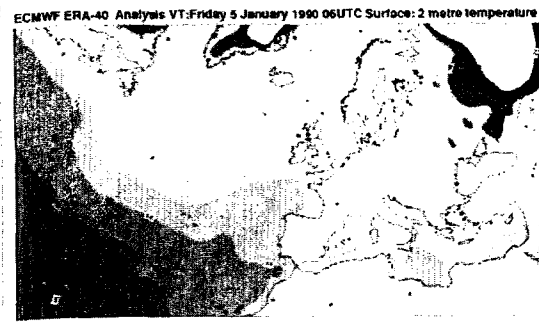
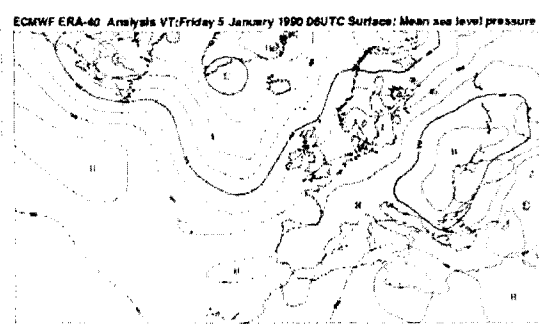
Ημέρα ΛΗΞΗΣ

Σχήμα Γ.1 Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν (22/07/1998) έως μία ημέρα μετά (12/08/1998) για το θερμό επεισόδιο με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Αριστερά είναι η ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στις 12:00 UTC κάθε ημέρας και δεξιά η θερμοκρασία στα 2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους στις 12:00 UTC κάθε ημέρας. Οι χάρτες σχεδιάστηκαν με βάση τα δεδομένα του Reanalysis Project ERA40 του ECMWF.

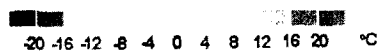
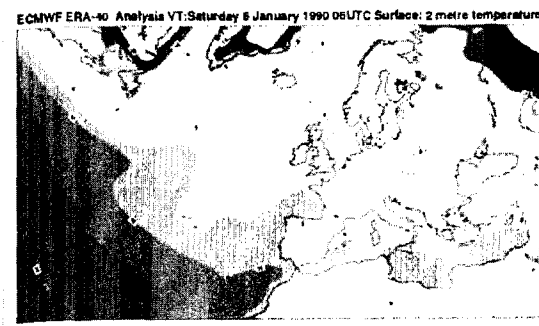
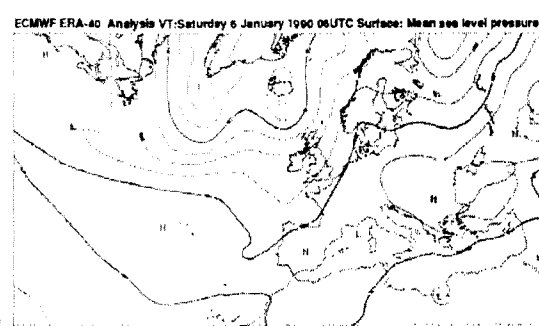
Ψυχρό Επεισόδιο από 05/01/1990 έως 17/01/1990 διάρκειας 13 ημερών



Ημέρα Η-1

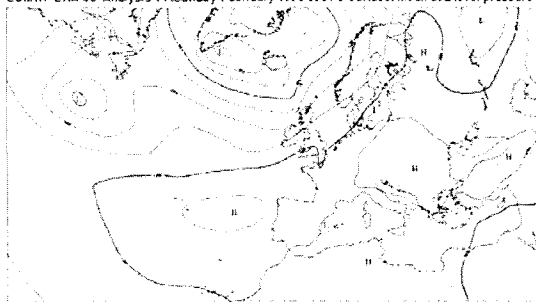


Ημέρα Η

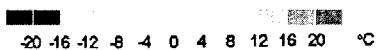


Σχήμα Γ.2 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

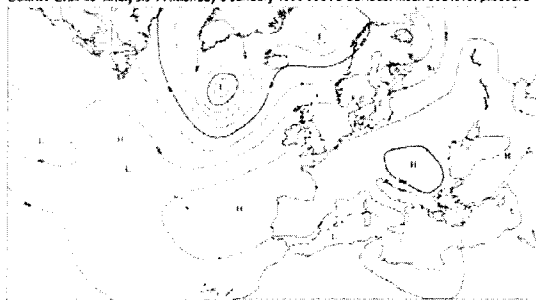
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 7 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure



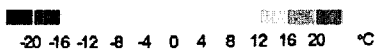
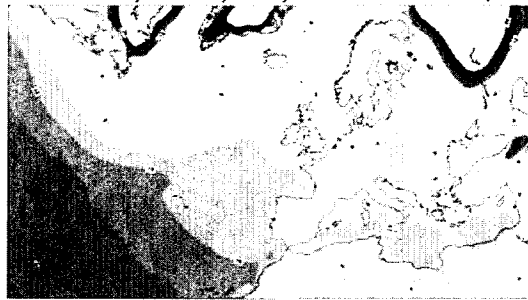
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 7 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



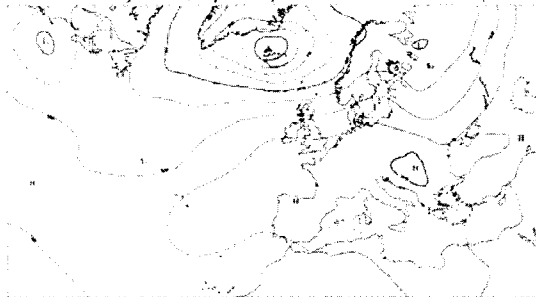
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 8 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure



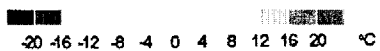
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 8 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 9 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

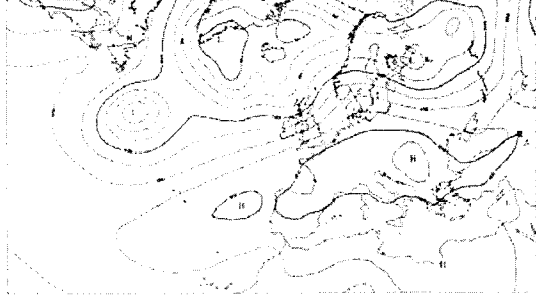


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 9 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature

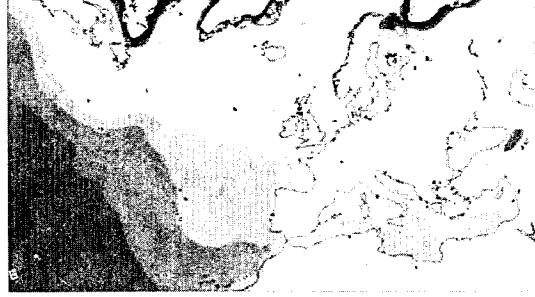


Σχήμα Γ.2 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Wednesday 10 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

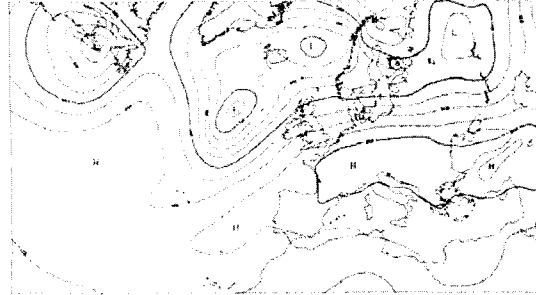


ECMWF ERA-40 Analysis VT:Wednesday 10 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Thursday 11 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

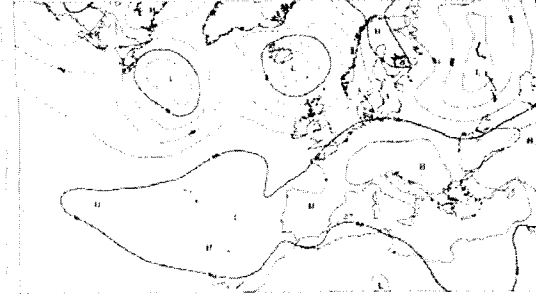


ECMWF ERA-40 Analysis VT:Thursday 11 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Friday 12 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure



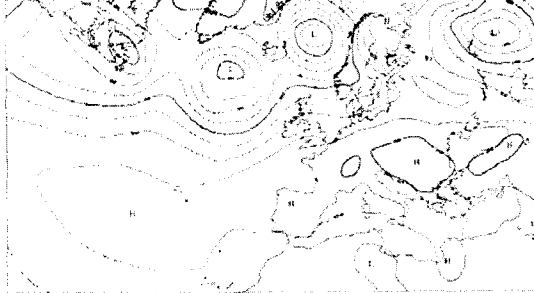
ECMWF ERA-40 Analysis VT:Friday 12 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



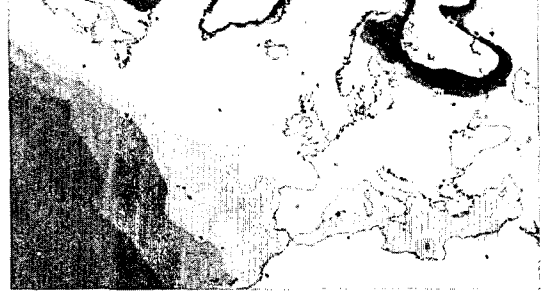
-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

Σχήμα Γ.2 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Saturday 13 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

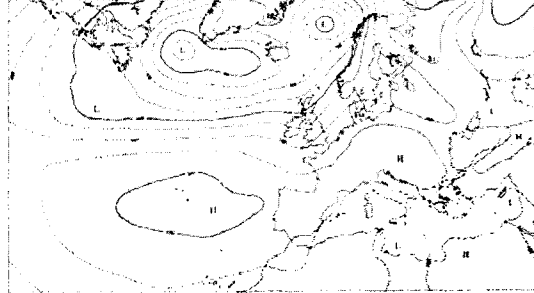


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Saturday 13 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature

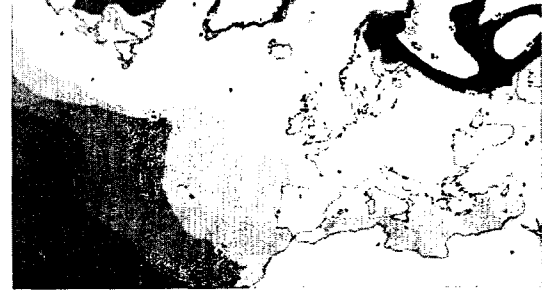


-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 14 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

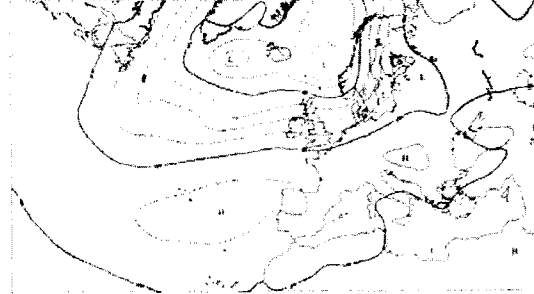


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 14 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature

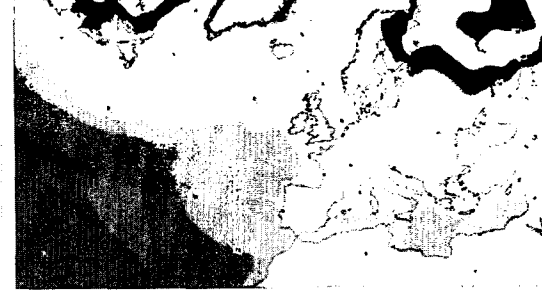


-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 15 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure



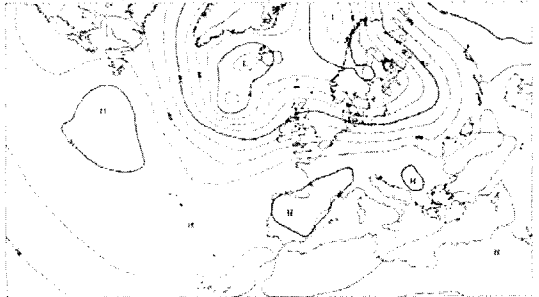
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 15 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



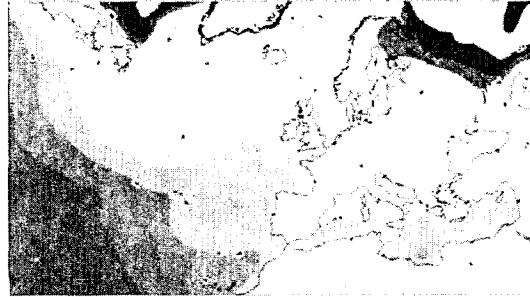
-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

Σχήμα Γ.2 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 16 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

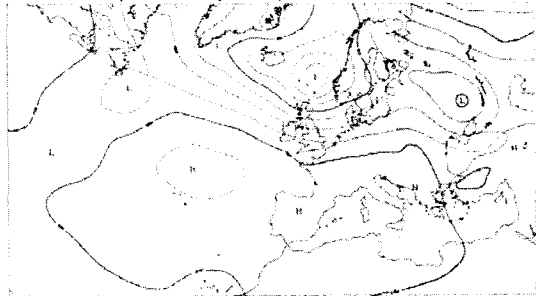


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 16 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature

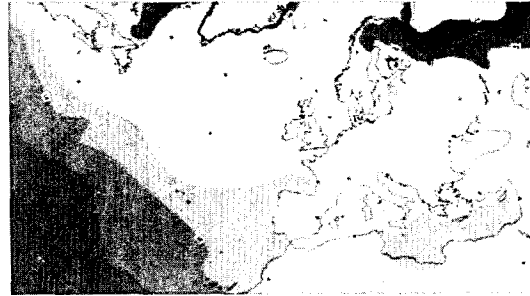


-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 17 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure

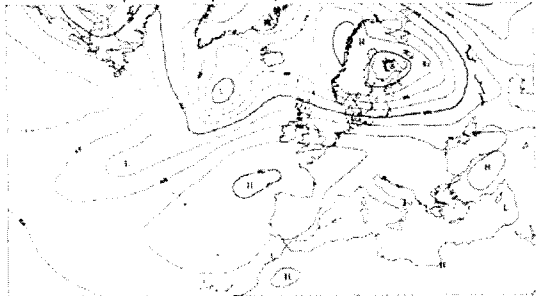


ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 17 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 18 January 1990 06UTC Surface: Mean sea level pressure



ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 18 January 1990 06UTC Surface: 2 metre temperature



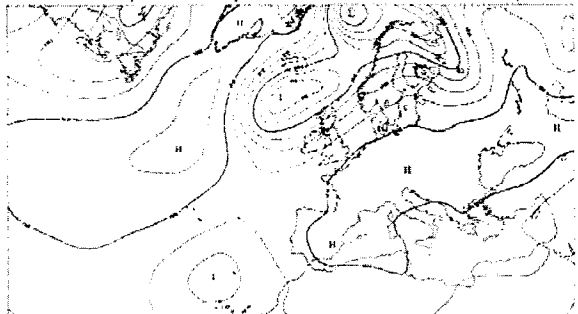
-20 -16 -12 -8 -4 0 4 8 12 16 20 °C

Ημέρα ΛΗΞΗΣ

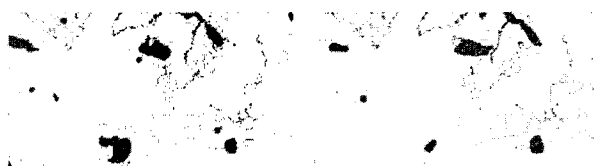
Σχήμα Γ.2 Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν (04/01/1990) έως μία ημέρα μετά (18/01/1990) για το ψυχρό επεισόδιο με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Αριστερά είναι η ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στις 06:00 UTC κάθε ημέρας και δεξιά η θερμοκρασία στα 2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους στις 06:00 UTC κάθε ημέρας. Οι χάρτες σχεδιάστηκαν με βάση τα δεδομένα του Reanalysis Project ERA40 του ECMWF.

Επεισόδιο Ακραίας Βροχόπτωσης από 25/10/1962 έως 03/11/1962 διάρκειας 10 ημερών

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 24 October 1962 18UTC Surface: Mean sea level pressure



Ημέρα H-1



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18

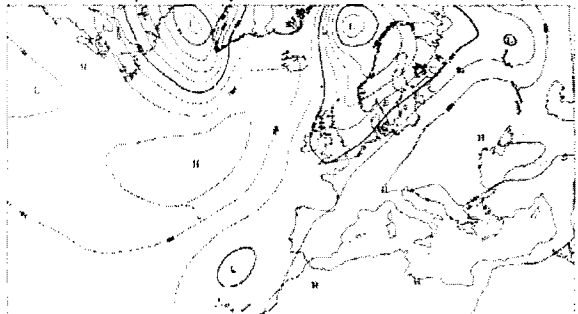


Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00

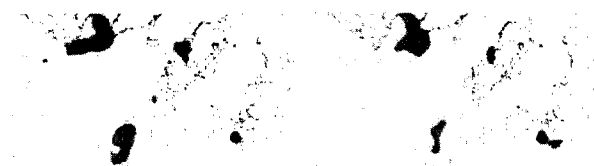


Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 25 October 1962 18UTC Surface: Mean sea level pressure



Ημέρα H



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18



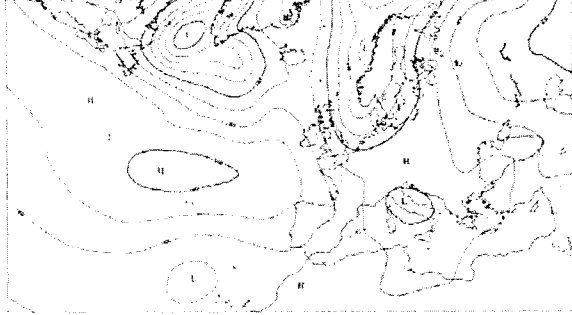
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

Σχήμα Γ.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Sunday 28 October 1962 18UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12



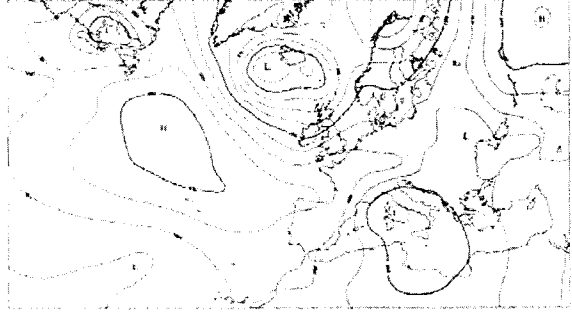
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 29 October 1962 18UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18

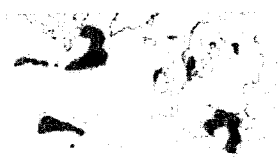
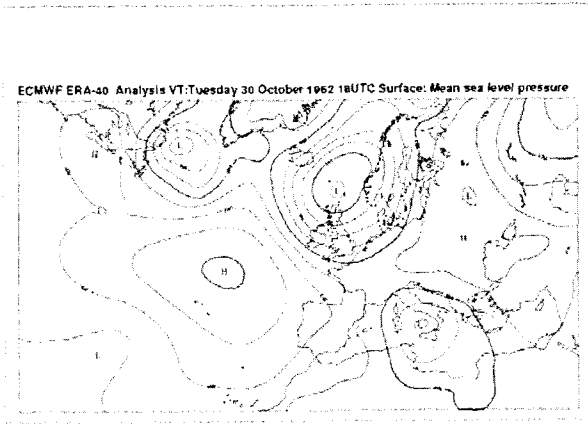


Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

Σχήμα Γ.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

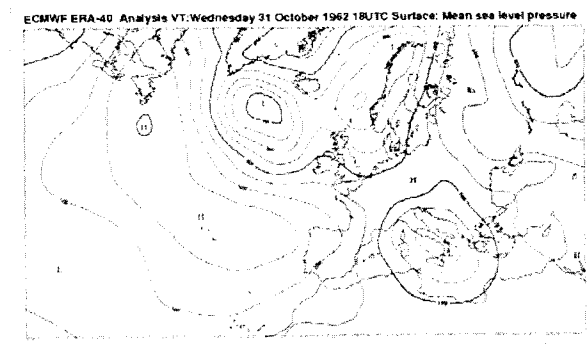


Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12

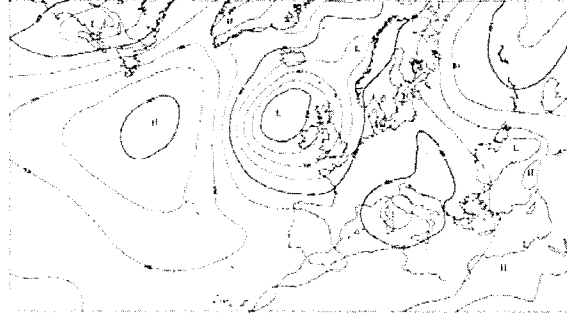
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

Σχήμα Γ.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 1 November 1962 18UTC Surface: Mean sea level pressure



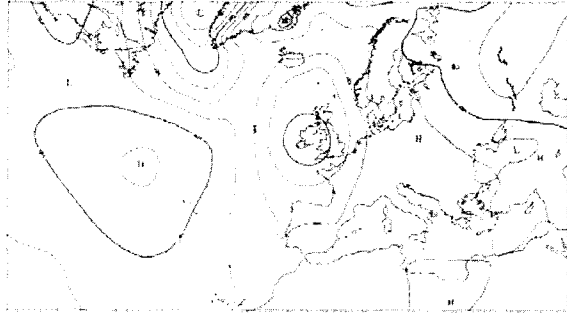
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Friday 2 November 1962 18UTC Surface: Mean sea level pressure



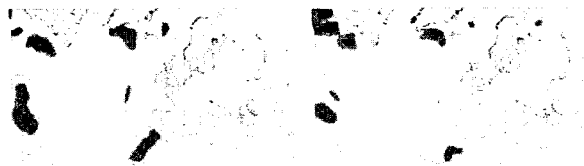
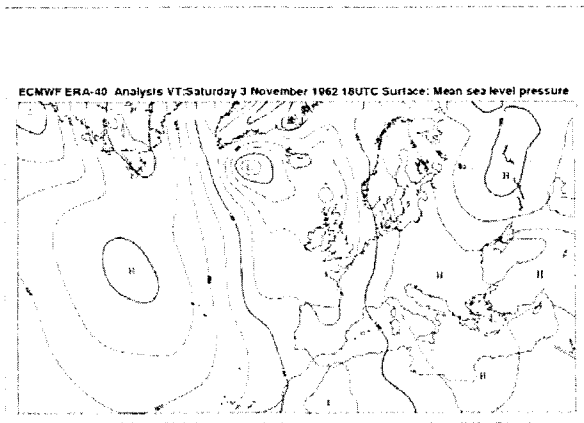
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18

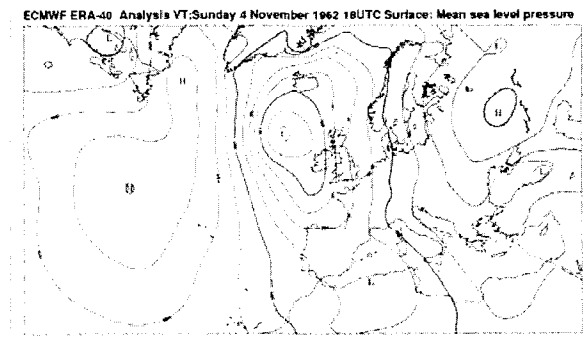
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00

Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

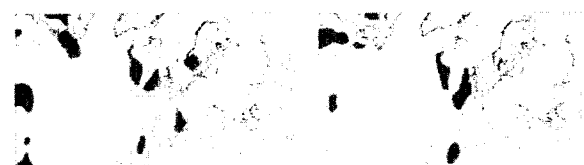
Σχήμα Γ.3 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12 Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18 Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00 Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06



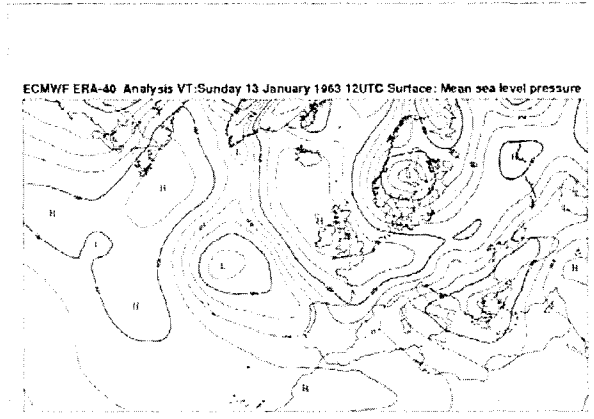
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



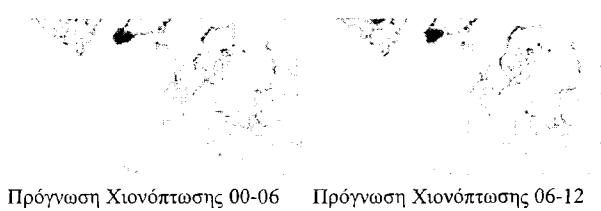
Πρόγνωση Ύψους Βροχής 06-12 Πρόγνωση Ύψους Βροχής 12-18 Πρόγνωση Ύψους Βροχής 18-00 Πρόγνωση Ύψους Βροχής 00-06

Σχήμα Γ.3 Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν (24/10/1962) έως μία ημέρα μετά (04/11/1962) για το επεισόδιο ακραίας βροχόπτωσης με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Σε κάθε ομάδα χαρτών επάνω είναι η ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στις 18:00 UTC της ημέρας ακραίας βροχόπτωσης, που αντιστοιχεί στο μέσο του 24ώρου ακραίας βροχόπτωσης, και κάτω η πρόγνωση βροχόπτωσης για κάθε εξάωρο από 06:00 UTC της μίας ημέρας έως 06:00 UTC της επόμενης ημέρας. Οι χάρτες σχεδιάστηκαν με βάση τα δεδομένα του Reanalysis Project ERA40 του ECMWF.

Επεισόδιο Χιονόπτωσης από 14/01/1963 έως 01/02/1963 διάρκειας 19 ημερών

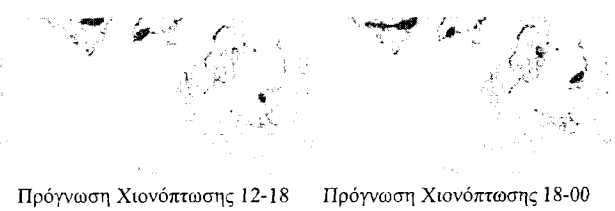


Ημέρα Η-1



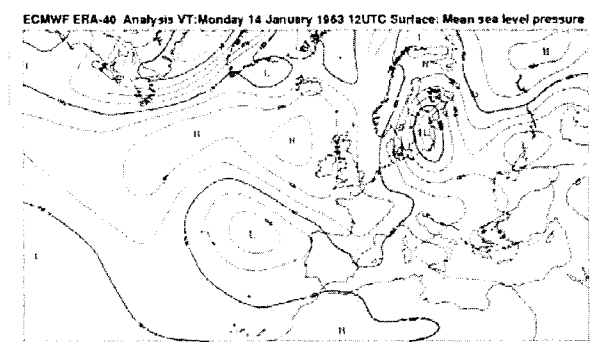
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

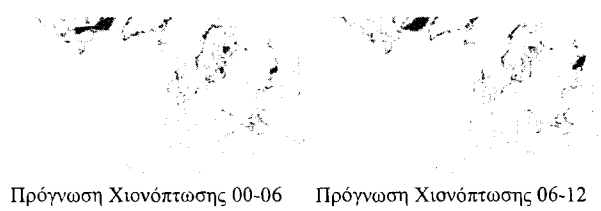


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

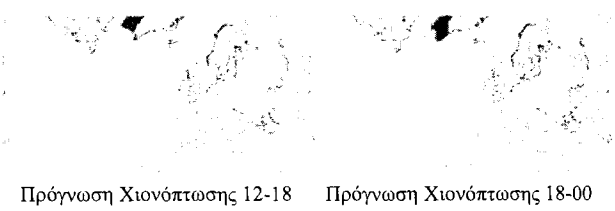


Ημέρα Η



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06

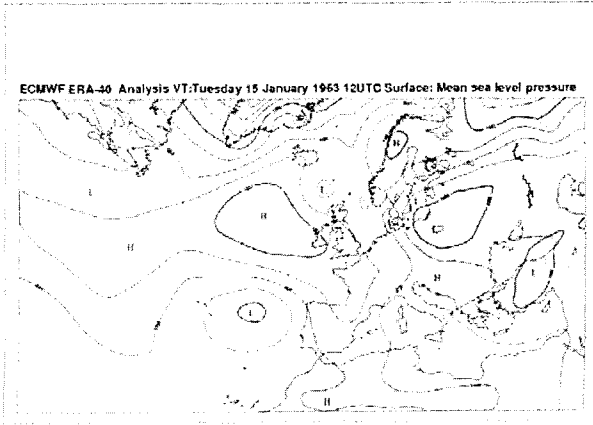
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



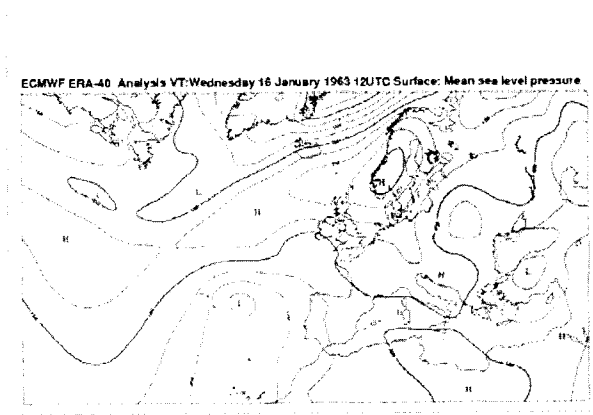
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



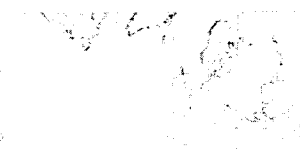
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



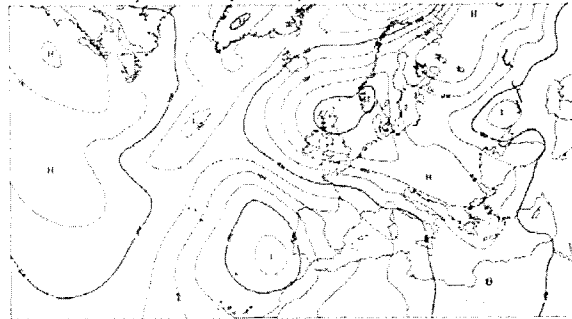
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 17 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

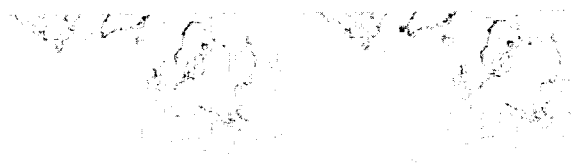
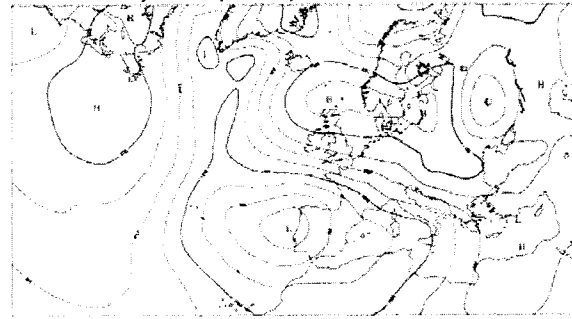


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Friday 18 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

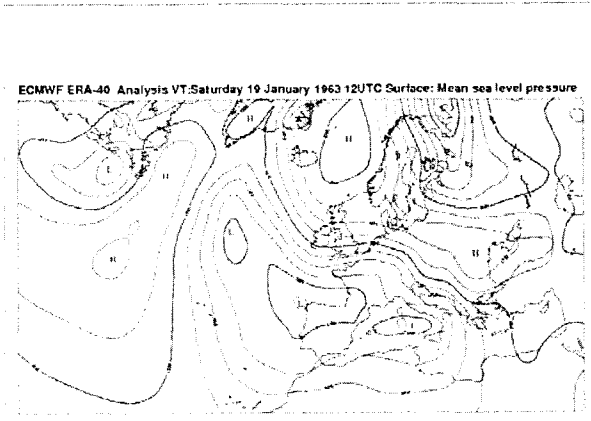


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



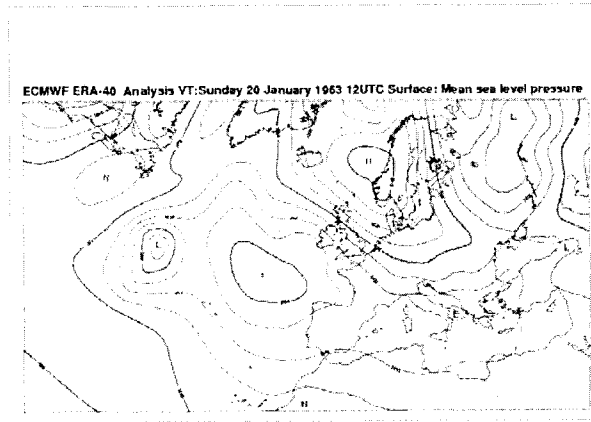
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



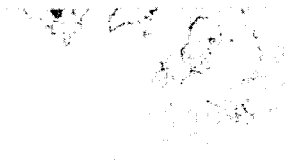
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



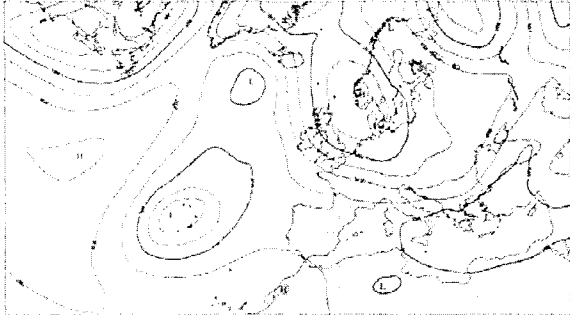
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Monday 21 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06

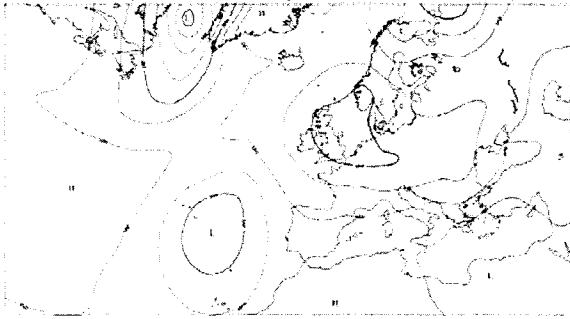
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18

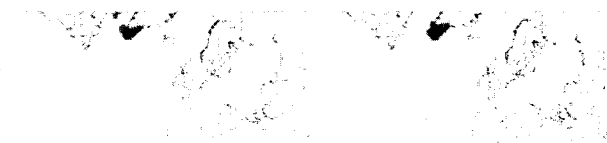
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Tuesday 22 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

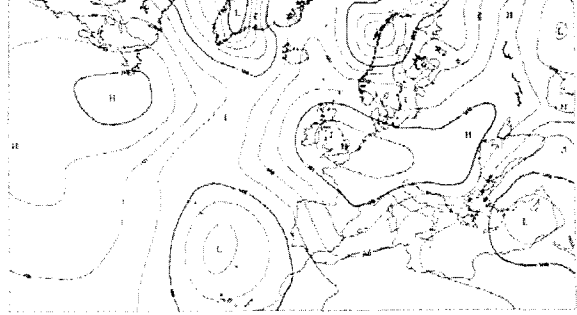


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT: Wednesday 23 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

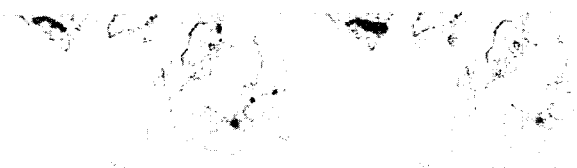
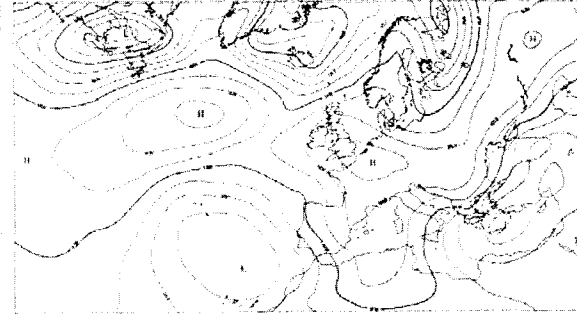


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

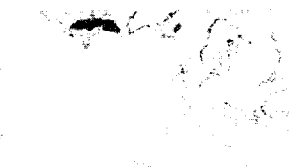
ECMWF ERA-40 Analysis VT: Thursday 24 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



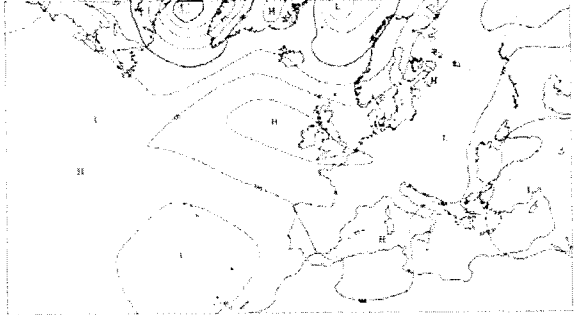
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Friday 25 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

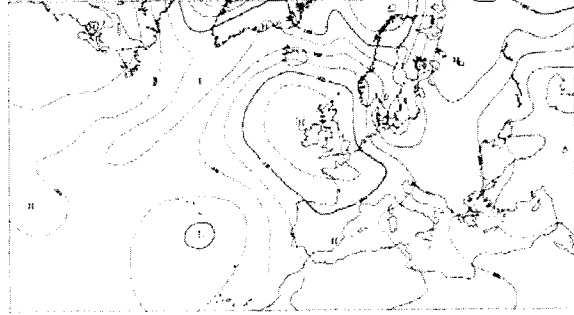


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

ECMWF ERA-40 Analysis VT:Saturday 26 January 1963 12UTC Surface: Mean sea level pressure



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06

Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

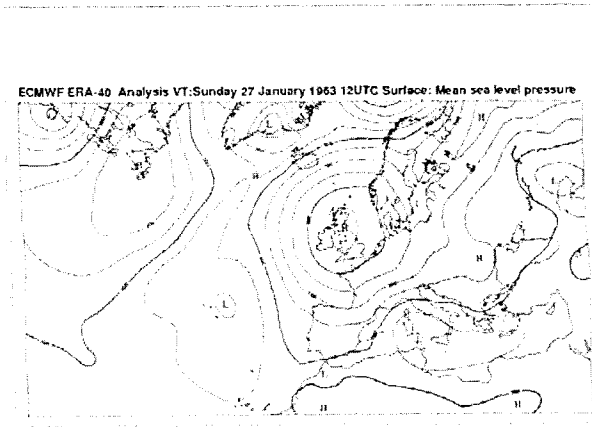


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



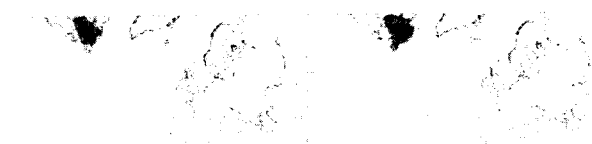
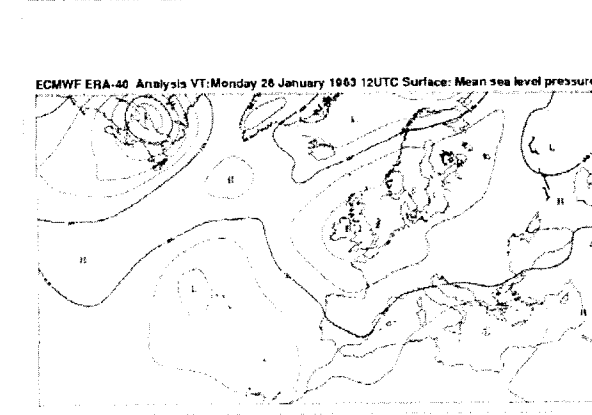
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



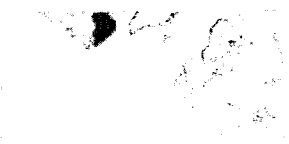
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

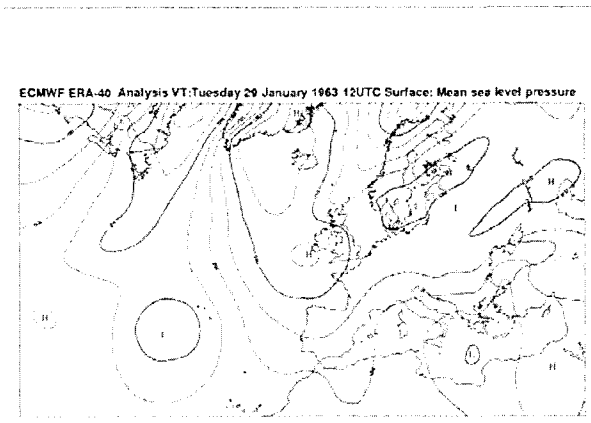


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



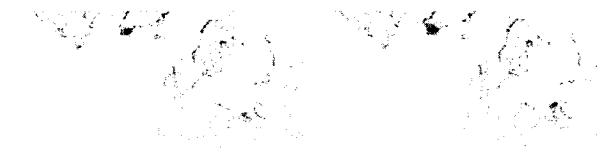
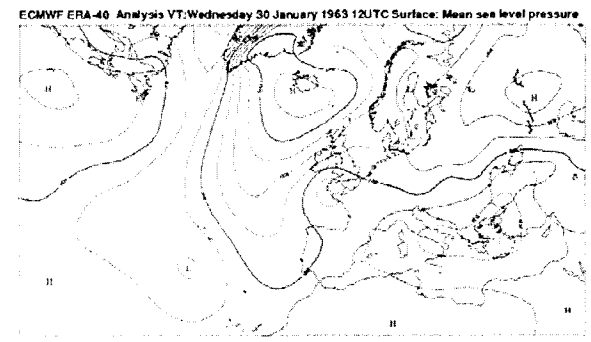
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

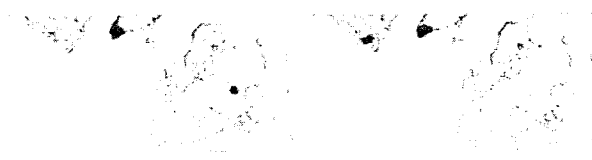
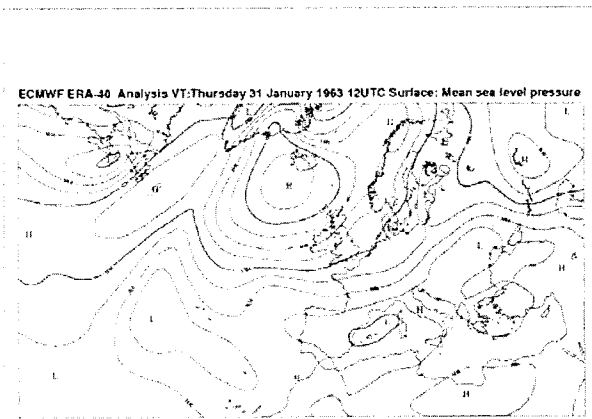


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



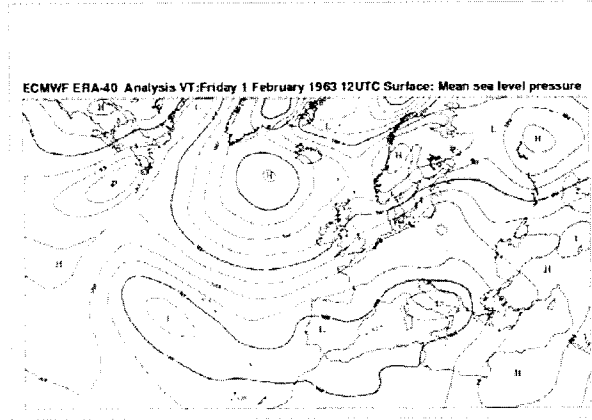
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12

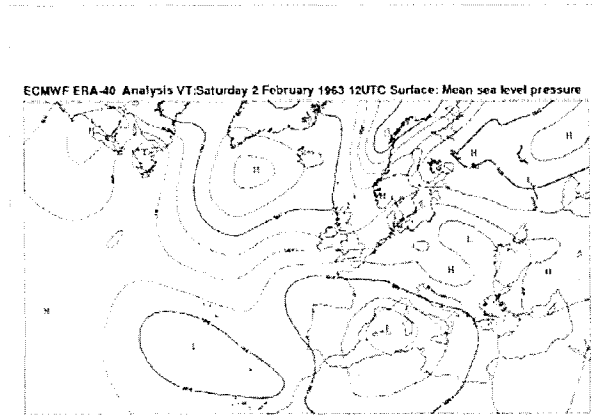


Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18



Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



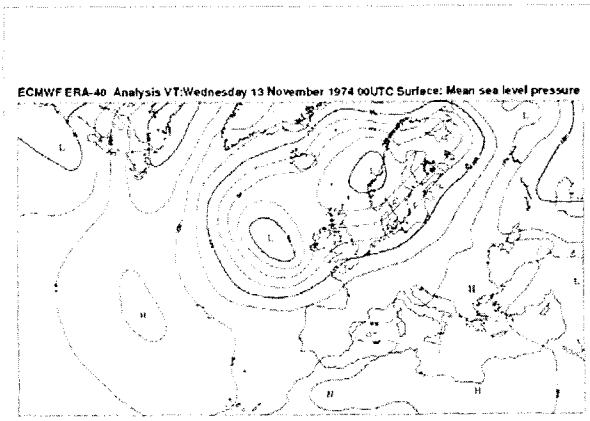
Ημέρα ΛΗΞΗΣ



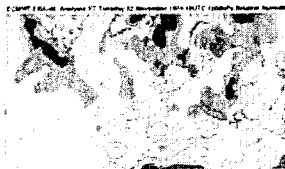
Πρόγνωση Χιονόπτωσης 00-06 Πρόγνωση Χιονόπτωσης 06-12 Πρόγνωση Χιονόπτωσης 12-18 Πρόγνωση Χιονόπτωσης 18-00

Σχήμα Γ.4 Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν (13/01/1963) έως μία ημέρα μετά (02/02/1963) για το επεισόδιο χιονόπτωσης με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Σε κάθε ομάδα χαρτών επάνω είναι η ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στις 12:00 UTC της ημέρας χιονόπτωσης, που αντιστοιχεί στο μέσο του 24ώρου χιονόπτωσης, και κάτω η πρόγνωση χιονόπτωσης για κάθε εξάωρο από 00:00 UTC έως 00:00 UTC. Οι χάρτες σχεδιάστηκαν με βάση τα δεδομένα του Reanalysis Project ERA40 του ECMWF.

Επεισόδιο Ομίχλης από 14/11/1974 έως 27/11/1974 διάρκειας 14 ημερών



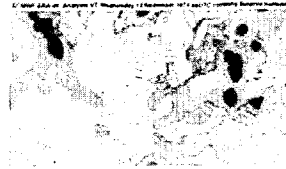
Ημέρα H-1



Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



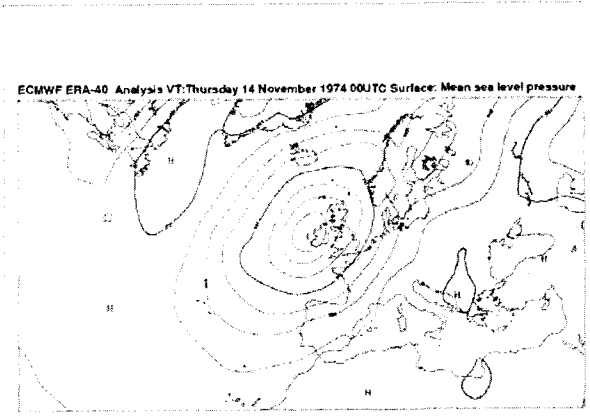
Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



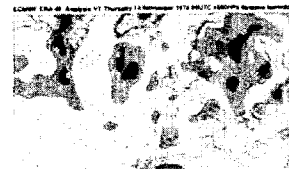
Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa



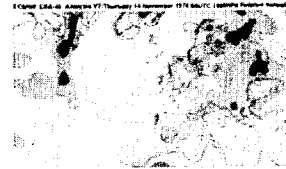
Ημέρα H



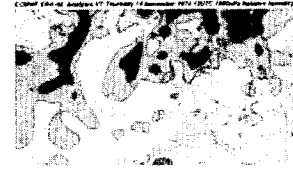
Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa

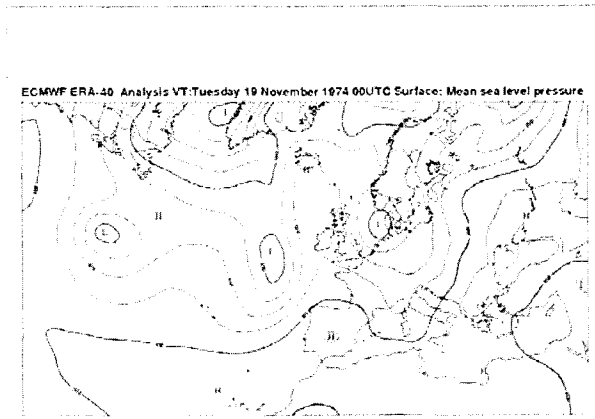


Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

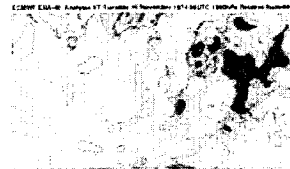
Σχήμα Γ.5 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



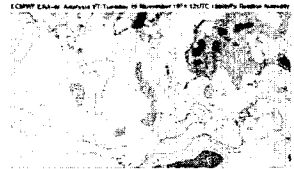
Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



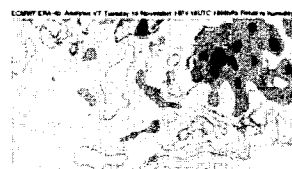
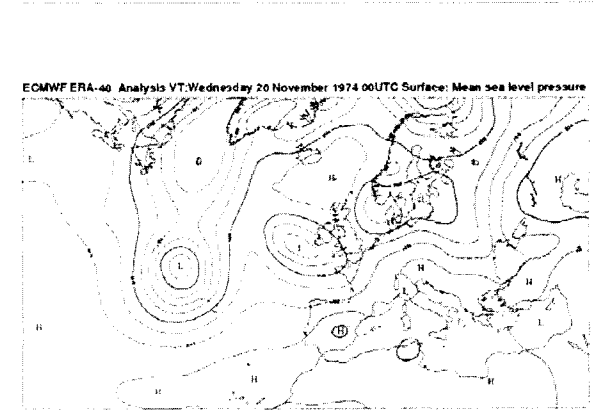
Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa



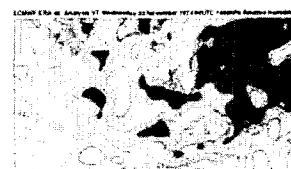
Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



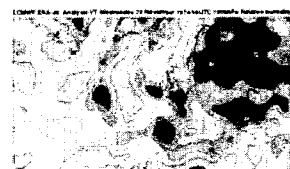
Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa



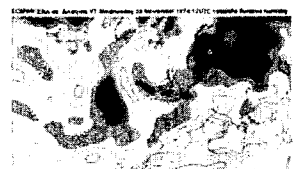
Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa

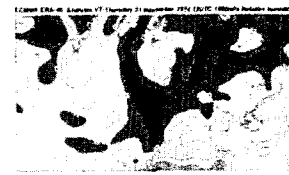
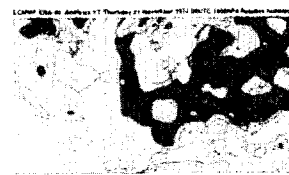
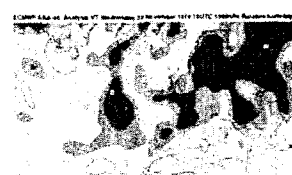
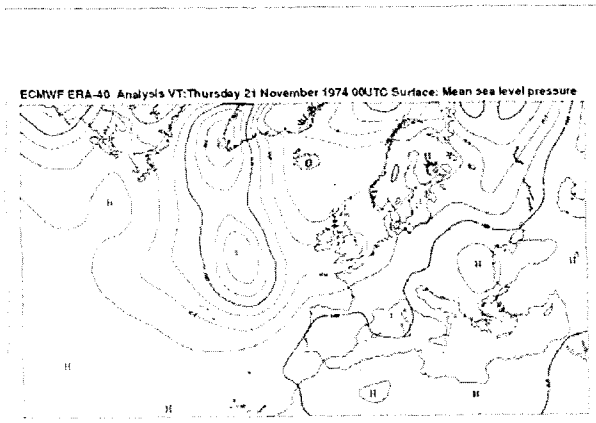


Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

Σχήμα Γ.5 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

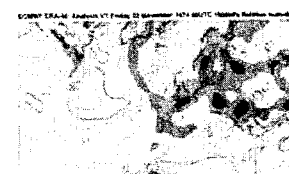
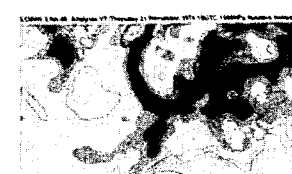
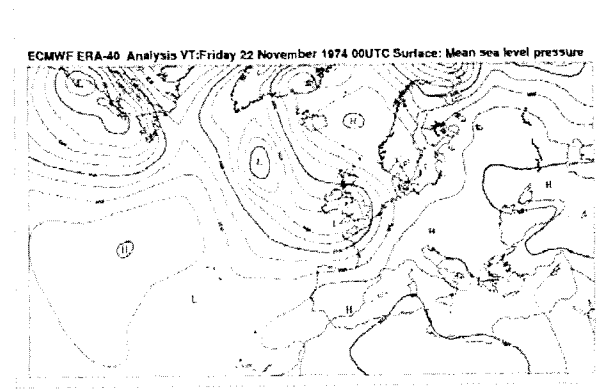


Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa

Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa

Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa

Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa



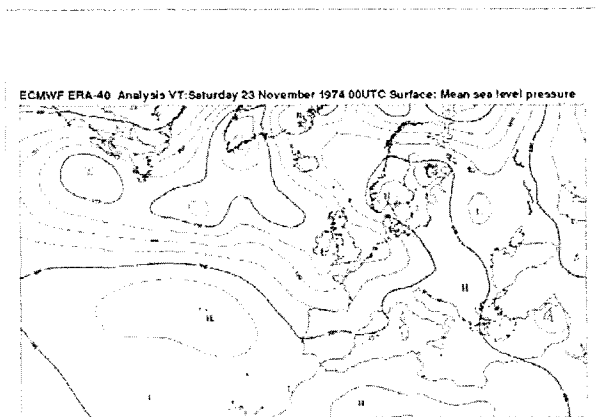
Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa

Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa

Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa

Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

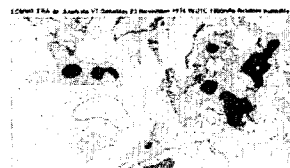
Σχήμα Γ.5 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



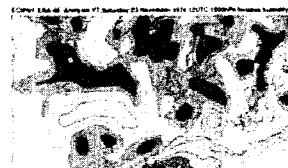
Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



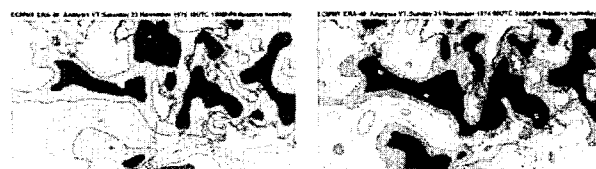
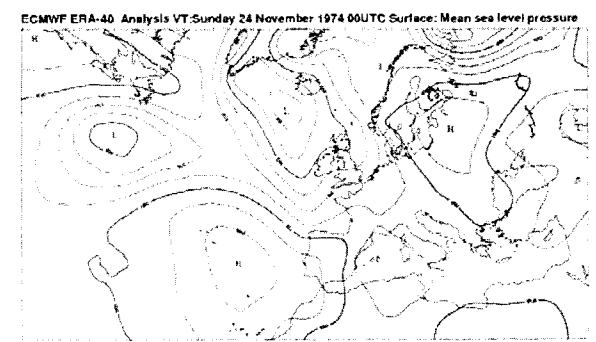
Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa



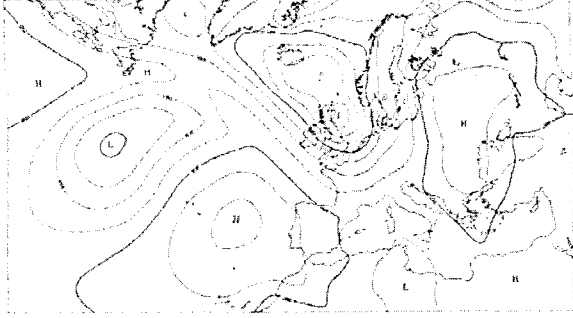
Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

Σχήμα Γ.5 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα

ECMWF ERA-40 Analysis VT-Monday 25 November 1974 00UTC Surface: Mean sea level pressure



Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa

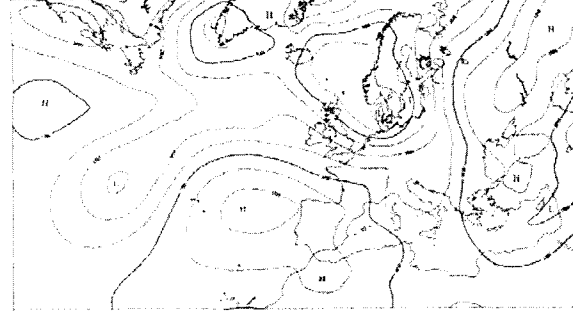


Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

ECMWF ERA-40 Analysis VT-Tuesday 26 November 1974 00UTC Surface: Mean sea level pressure



Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa

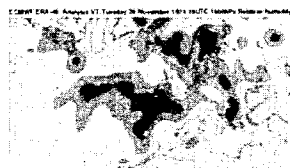
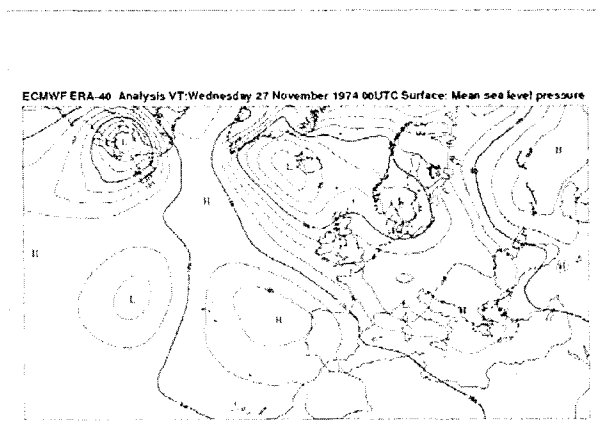


Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

Σχήμα Γ.5 Συνέχεια στην επόμενη σελίδα



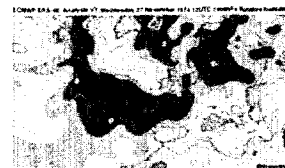
Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



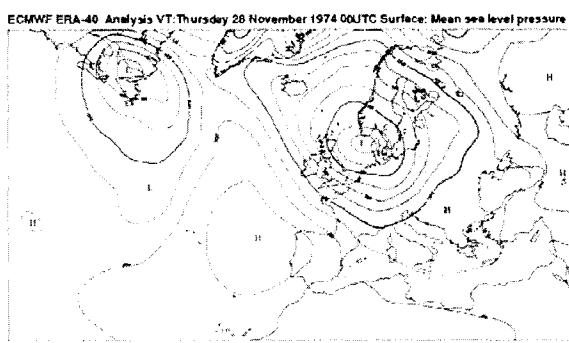
Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa



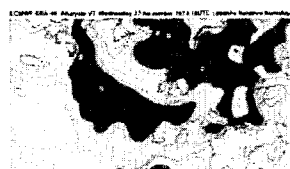
Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa



Ημέρα ΛΗΞΗΣ



Σχετ. Υγρ. 18UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 00UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 06UTC 1000hPa



Σχετ. Υγρ. 12UTC 1000hPa

Σχήμα Γ.5 Η εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη τροπόσφαιρα μία ημέρα πριν (13/11/1974) έως μία ημέρα μετά (28/11/1974) για το επεισόδιο ομίχλης με τη μεγαλύτερη διάρκεια. Σε κάθε ομάδα χαρτών επάνω είναι η ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στις 00:00 UTC της ημέρας ομίχλης, που αντιστοιχεί στο μέσο του 24ώρου ομίχλης, και κάτω η σχετική υγρασία στη στάθμη των 1000hPa από τις 18:00 UTC της προηγούμενης ημέρας έως της 12:00 UTC της ημέρας ομίχλης. Το γαλάζιο χρώμα αντιστοιχεί σε σχετική υγρασία πάνω από 85% και οι διαβαθμίσεις μπλε χρώματος αντιστοιχούν σε σχετική υγρασία πάνω από 95%. Οι χάρτες σχεδιάστηκαν με βάση τα δεδομένα του Reanalysis Project ERA40 του ECMWF.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Αποτελέσματα της μεθόδου του “άλματος” και επιλογή του πλήθους των ομάδων για κάθε είδος επεισοδίων ακραίων καιρικών φαινομένων

Η επιλογή του πλήθους των ομάδων για κάθε είδος επεισοδίων γίνεται αφού ληφθεί υπόψη το γράφημα των αλμάτων J_k (διαφορών της μετασχηματισμένης στρέβλωσης $J_k = d_k^{-Y} - d_{k-1}^{-Y}$) που έχουν υπολογιστεί για κάθε περίπτωση k αριθμού ομάδων. Το πλήθος ομάδων k για το οποίο το άλμα J_k παρουσιάζει μεγάλη τιμή, είναι το κατάλληλο πλήθος ομοιογενών και διαφορετικών μεταξύ τους ομάδων, στις οποίες μπορούν να καταταγούν η παρατηρήσεις. Αναλυτικότερα η μέθοδος περιγράφεται στην ενότητα 2.4.3.

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου του “άλματος” φαίνεται ότι το καταλληλότερο πλήθος ομάδων για την κατάταξη των μορφών της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα δεν είναι ένας και μοναδικός αριθμός. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των ομάδων τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του άλματος και κατά συνέπεια τόσο περισσότερο κατάλληλο είναι το πλήθος των ομάδων. Αυτό είναι φυσικό καθώς η ατμόσφαιρα είναι ένα συνεχές μέσο τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Παρόμοιες μορφές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μπορούν να επαναλαμβάνονται άλλοτε με μεγαλύτερες και άλλοτε με μικρότερες διαφορές. Το πλήθος των ομάδων, ανάμεσα στα καταλληλότερα, μπορεί να επιλέγεται κάθε φορά λαμβάνοντας υπόψη και τη φυσική ερμηνεία των τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που προκύπτουν και ανάλογα με το πόσο λεπτομερείς είναι επιθυμητό να είναι οι διαφορές μεταξύ τους.

Θερμά Επεισόδια

Από τη μελέτη του γραφήματος στο σχήμα Δ.1 αποφασίζεται ότι για τις μορφές εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση ατμόσφαιρα, που αφορούν τα θερμά επεισόδια, το καταλληλότερο πλήθος ομάδων, που πρέπει να επιλεγεί, ώστε αυτές να είναι ομοιογενείς και αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους είναι 7.

Ψυχρά Επεισόδια

Από τη μελέτη του γραφήματος στο σχήμα Δ.2 αποφασίζεται ότι για τις μορφές εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση ατμόσφαιρα, που αφορούν τα ψυχρά επεισόδια, το καταλληλότερο πλήθος ομάδων, που πρέπει να επιλεγεί, ώστε αυτές να είναι ομοιογενείς και αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους είναι 6.

Επεισόδια Ακραίας Βροχόπτωσης

Από τη μελέτη του γραφήματος στο σχήμα Δ.3 αποφασίζεται ότι για τις μορφές εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση ατμόσφαιρα, που αφορούν τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης, το καταλληλότερο πλήθος ομάδων, που πρέπει να επιλεγεί, ώστε αυτές να είναι ομοιογενείς και αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους είναι 16.

Το πλήθος των ομάδων, ενώ θα μπορούσε να είναι 8 ή 11, ωστόσο επιλέγεται να είναι το αμέσως μεγαλύτερο αποδεκτό, με σκοπό να εντοπιστούν και επισημανθούν λεπτομερείς διαφορές στους κύριους τύπους της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα, οι οποίες μπορεί να προκαλούν ΕΑΒ διαφορετικής διάρκειας, διαφορετικής εποχικότητας και σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας.

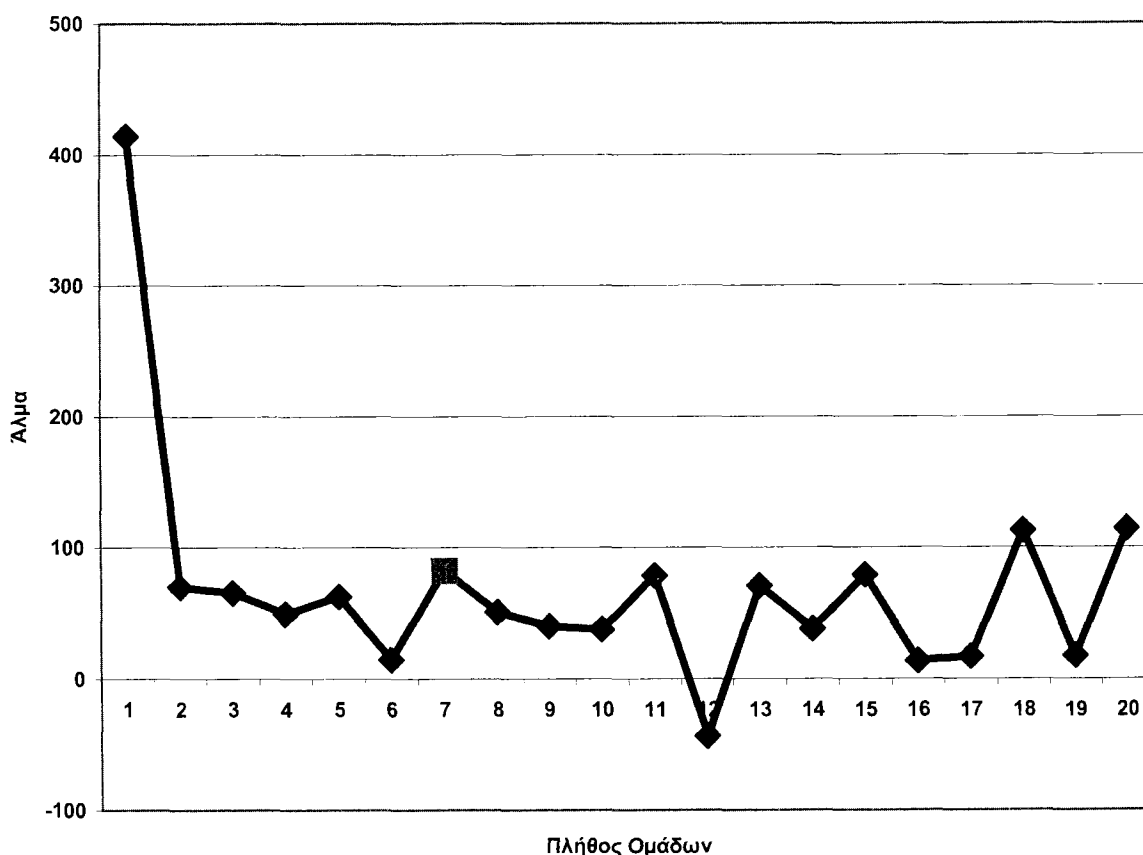
Επεισόδια Χιονόπτωσης

Από τη μελέτη του γραφήματος στο σχήμα Δ.4 αποφασίζεται ότι για τις μορφές εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση ατμόσφαιρα, που αφορούν τα επεισόδια χιονόπτωσης, το καταλληλότερο πλήθος ομάδων, που πρέπει να επιλεγεί, ώστε αυτές να είναι ομοιογενείς και αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους είναι 13.

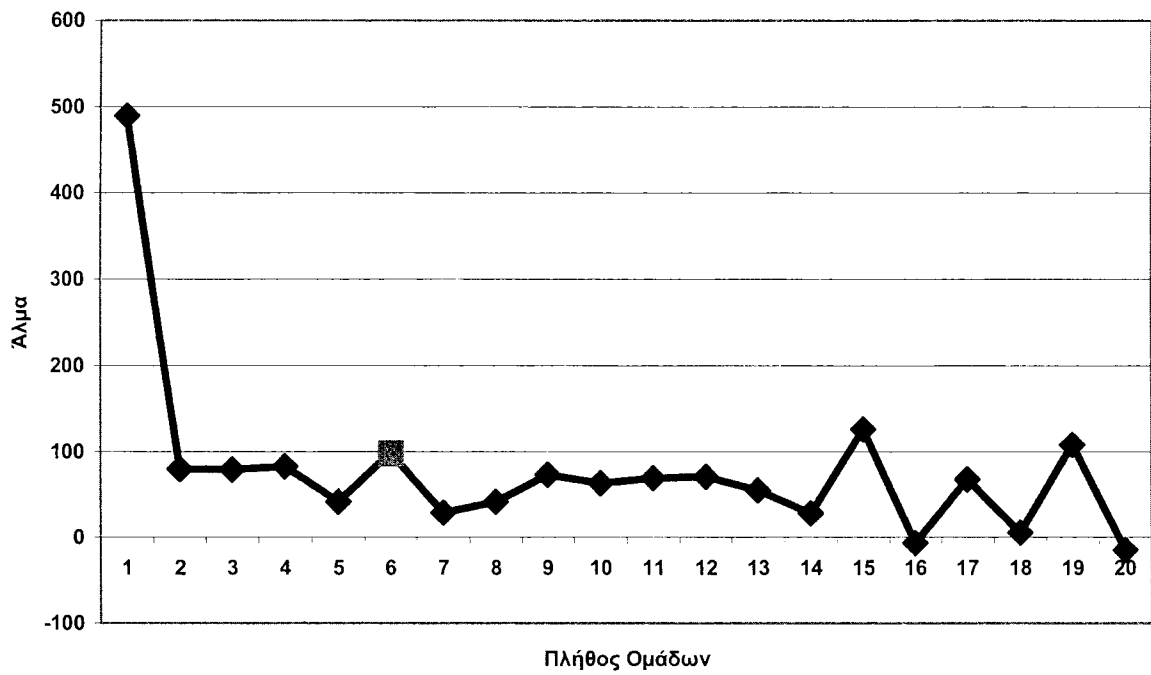
Το πλήθος των ομάδων, ενώ θα μπορούσε να είναι 7 ή 11, ωστόσο επιλέγεται να είναι το αμέσως μεγαλύτερο αποδεκτό, με σκοπό να εντοπιστούν και επισημανθούν λεπτομέρειες στους κύριους τύπους της εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα, οι οποίες να συνιστούν αιτίες πρόκλησης χιονόπτωσης σε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας.

Επεισόδια Ομίχλης

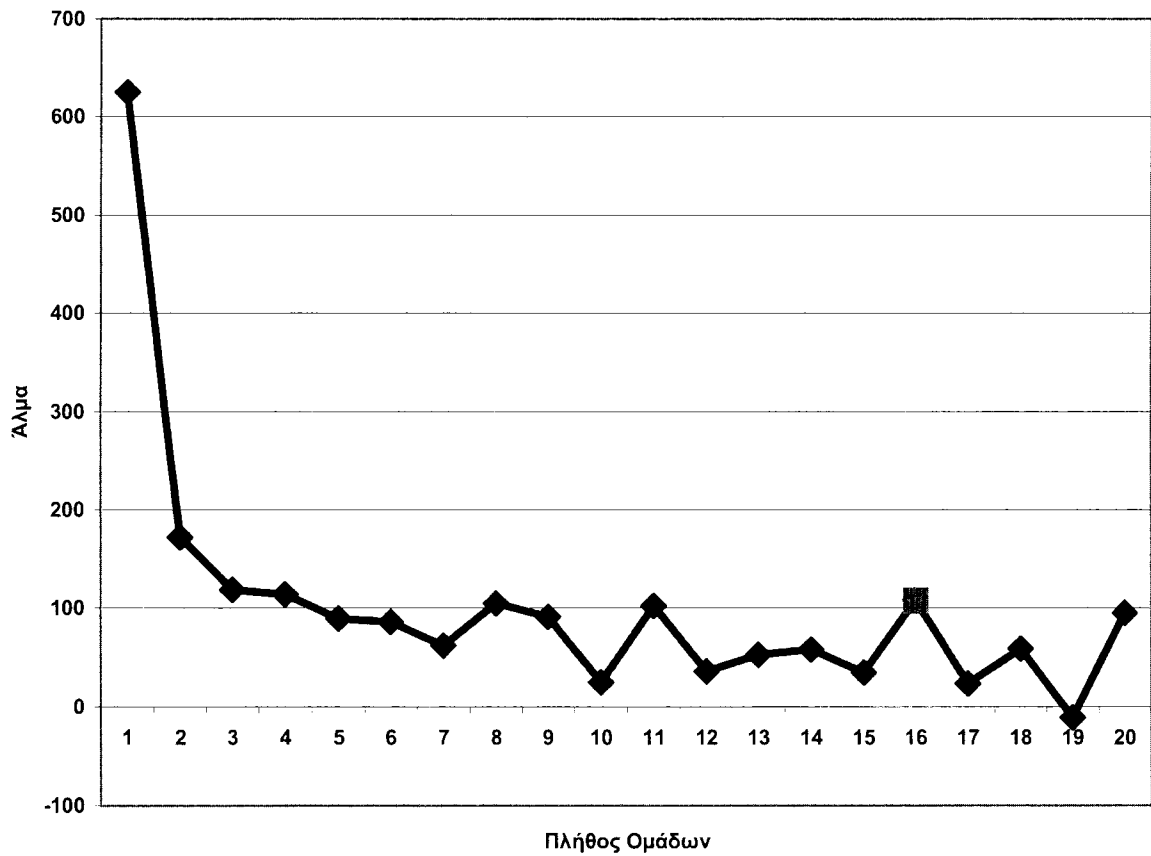
Από τη μελέτη του γραφήματος στο σχήμα Δ.5 αποφασίζεται ότι για τις μορφές εξέλιξης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην κατώτερη και μέση ατμόσφαιρα, που αφορούν τα επεισόδια ομίχλης, το καταλληλότερο πλήθος ομάδων, που πρέπει να επιλεγεί, ώστε αυτές να είναι ομοιογενείς και αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους είναι 10.



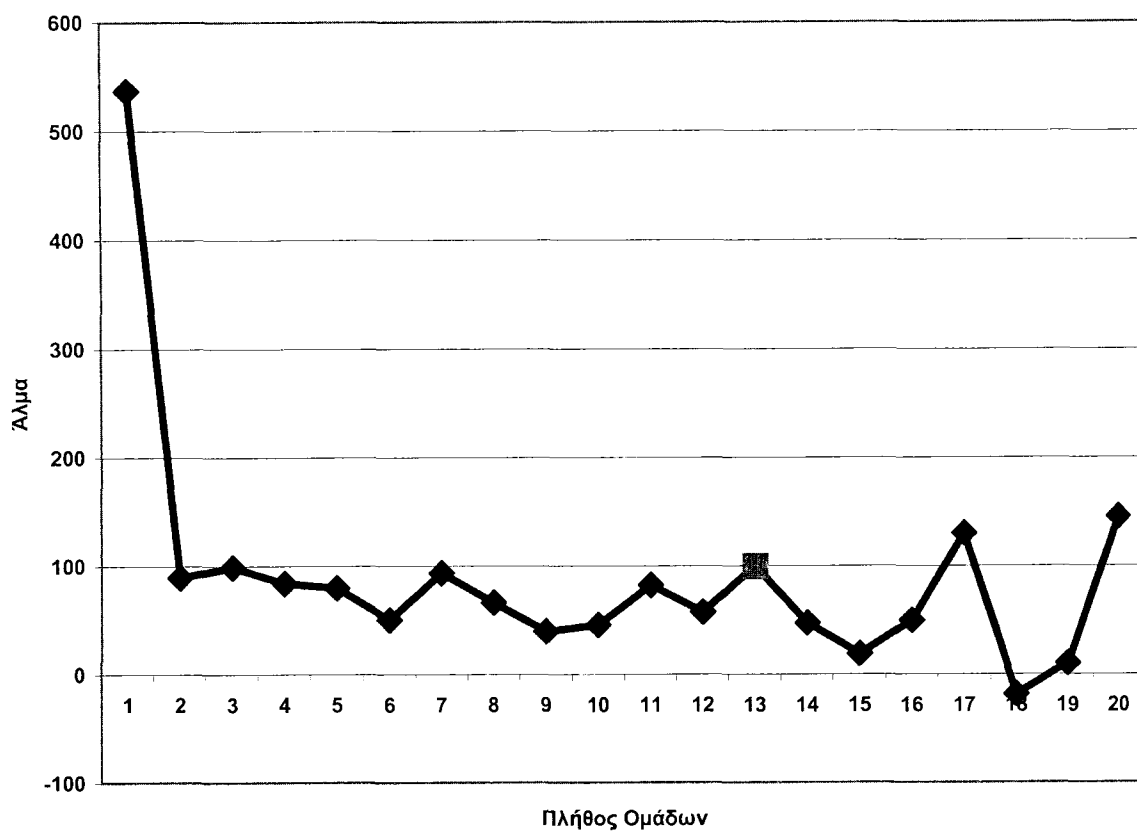
Σχήμα Δ.1 Το γράφημα των αλμάτων σε σχέση με τον αριθμό των ομάδων για τα ΘΕ.



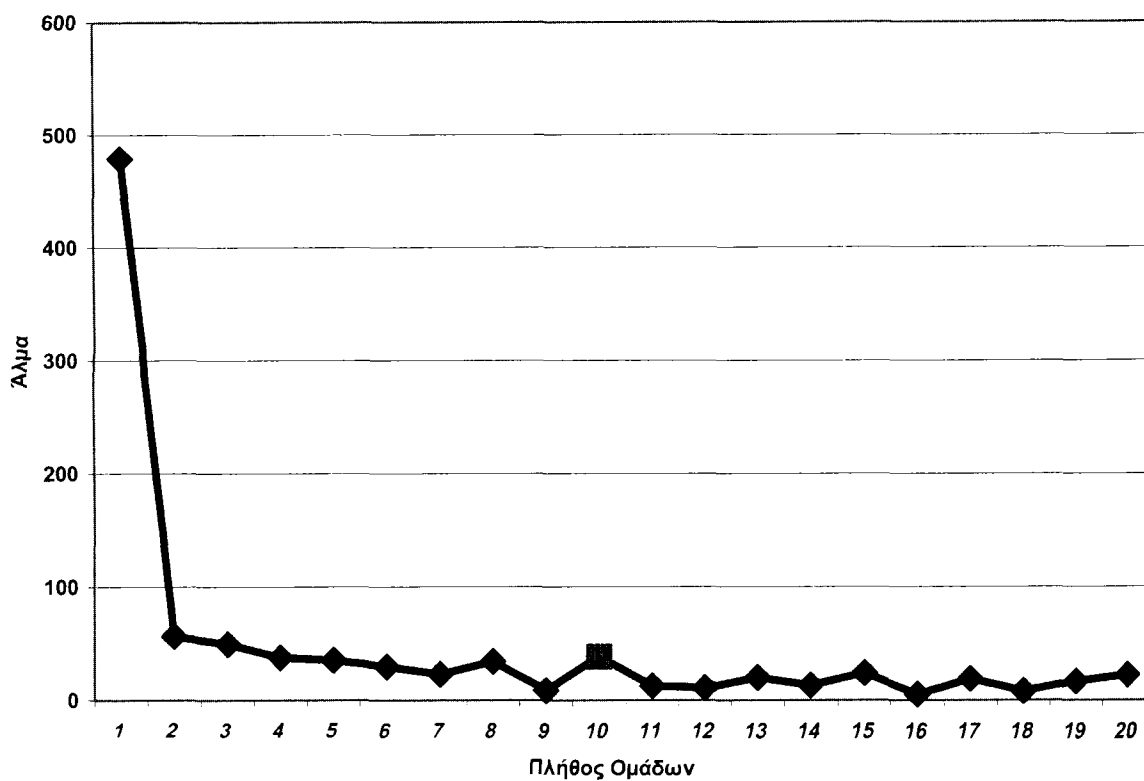
Σχήμα Δ.2 Το γράφημα των αλμάτων σε σχέση με τον αριθμό των ομάδων για τα ΨΕ.



Σχήμα Δ.3 Το γράφημα των αλμάτων σε σχέση με τον αριθμό των ομάδων για τα ΕΑΒ.



Σχήμα Δ.4 Το γράφημα των αλλαγών σε σχέση με τον αριθμό των ομάδων για τα EX.



Σχήμα Δ.5 Το γράφημα των αλλαγών σε σχέση με τον αριθμό των ομάδων για τα EO.

9. Βιβλιογραφία

Διεθνείς

- Alexander, L.V., et al., 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Alexandersson H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.
- Alexandersson, H., et al., 1998: Long-term variations of the storm climate over NW Europe. *Global Atmos. Ocean System*, 6, 97–120.
- Alpert, P., et al. (2002), The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values, *Geophys. Res. Lett.*, 29(11), 1536.
- An S. –I. and Wang A., 2000. Interdecadal Change of the Structure of the ENSO Mode and its Impact on the ENSO Frequency. *Journal of Climate*, 13, 2044-2055.
- Anagnostopoulou Chr., Maheras P., Karacostas T. and Vafiadis M., 2003. Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. *Theor. Appl. Climatol.* 74, 77–91.
- Andrew Y. Ng, Michael I. Jordan, and Yair Weiss, 2001. On spectral clustering: Analysis and an algorithm. *Advances in Neural Information Processing Systems*, Thomas G. Dietterich, Sue Becker, and Zoubin Ghahramani, Eds., Cambridge, MA, , vol. 14, MIT Press, 849-856
- Bartzokas A. and Metaxas D. A., 1993. Covariability and Climatic Changes of the Lower-Troposphere Temperatures over the Northern Hemisphere. *Il Nuovo Cimento*, 16, 359-373.
- Bartzokas A. and Metaxas D. A., 1996. Northern Hemisphere gross circulation types. *Climatic Change and Temperature Distribution. Meteorol. Zeitschrift*, 5, 99-109.
- Bartzokas A., Lolis C. J. and Metaxas D. A., 2003a. A Study of the Intra-Annual Variation and the Spatial Distribution of Precipitation Amount and Duration over Greece on a 10 Day Basis. *Int. J. Climatol.*, 23, 207-222.
- Bartzokas A., Lolis C. J. and Metaxas D. A., 2003b. The 850 hPa Relative Vorticity Centres of Action for Winter Precipitation in the Greek Area. *Int. J. Climatol.*, 23, 813-828.
- Bedronz E., 2008. Synoptic conditions of snow occurrence in Budapest. *Meteorologische Zeitschrift*, 17, 1,39-45(7).
- Bedronz E., 2008. Synoptic reasons for heavy snowfalls in the Polish – German lowlands. *Theor. Appl. Climatol.*, 92, 133–140.
- Benjamin Felzer, Robert J. Oglesby, Hong Shao, Thompson Webb III, Dena E. Hyman, Warren L. Prell, and John E. Kutzbach, 1995. A Systematic Study of GCM Sensitivity to Latitudinal Changes in Solar Radiation. *Journal of Climate* Volume 8, Issue 4 (April 1995) pp. 877–887.

- Bernstein L., Bosch P., Canziani O., Chen Z., Christ R., Davidson O., Hare W., Huq S., Karoly D., Kattsov V., Kundzewicz Z., Liu J., Lohmann U., Manning M., Matsuno T., Menne B., Metz B., Mirza M., Nicholls N., Nurse L., Pachauri R., Palutikof J., Parry M., Qin D., Ravindranath N., Reisinger A., Ren J., Riahi K., Rosenzweig C., Rusticucci M., Schneider S., Sokona Y., Solomon S., Stott P., Stouffer R., Sugiyama T., Swart R., Tirpak D., Vogel C., Yohe G.. IPCC, Climate Change 2007: AR4 Synthesis Report. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 73 pp.
- Boer, G., N. McFarlane, and M. Lazare, 1992: Greenhouse Gas-induced Climate Change Simulated with the CCC Second-Generation General Circulation Model. *J. Climate*, **5**, 1045–1077.
- Bott A., 2002. PAFOG - A New Efficient Forecast Model of Radiation Fog and Low – Level Stratiform Clouds. Atmospheric Research, International Conference on Fog and Fog Collection No2, St John's , CANADA (15/07/2001), vol. 64, 191-203.
- Brazdil, R., Budíková, M., Fasko, P., and Lapin, M., 1995. Fluctuation of Maximum and Minimum Air Temperatures in the Czech and the Slovak Republics. *Atmos. Res.* **37**, 53–65.
- Brikas D. P., Karacostas T. S., Pennas P. J. and Flocas A. A., 2006. The role of the subtropical jet stream during heat wave events over north-central Greece. *Meteorol. Atmos. Phys.* **94**, 219–233.
- Brodzik, M. J., R. L. Armstrong, E. C. Weatherhead, M. H. Savoie, K. W. Knowles, and D. A. Robinson, 2006: Regional trend analysis of satellite-derived snow extent and global temperature anomalies. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, **87** (Fall Meeting Suppl.), Abstract U33A-0011.
- Brown R. D. and Braaten R. O., 1998. Spatial and temporal variability of Canadian Monthly snow depths, 1945-1995. *Atmos.-Ocean*, **36**, 37-45.
- Brown R. D., 2000. Northern Hemisphere Snow Cover Variability and Change 1915- 97. *Journal of Climate*, **13**, 2339-2355.
- Brunetti, M., Maugeri, M. and Nanni, T., 2006. Trends of the daily intensity of precipitation in Italy and teleconnections. *Il Nuovo Cimento C*, vol. 29, Issue 1, p.105-116.
- Bryden, H. L., Longworth, H. R. and Cunningham, S. A., 2005. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25° N. *Nature* **438**, 655-657.
- Bücher, A., and J. Dessens, 1991: Secular Trend of Surface Temperature at an Elevated Observatory in the Pyrenees. *J. Climate*, **4**, 859–868.
- Carril A. F., Gualdi S., Cherchi A., Navarra A., 2008. Heatwaves in Europe: areas of homogeneous variability and links with the regional to large-scale atmospheric and SSTs anomalies. *Clim. Dyn.*, **30**, 77–98.
- Cavazos T., 2000. Using Self-Organizing Maps to Investigate Extreme Climate Events: An Application to Wintertime Precipitation in the Balkans. *Journal of Climate*, **13**, 1718-1732.
- Cazacioc L.V. and Cazacioc A., 2005. Impact of the macro-scale atmospheric circulation on snow cover duration in Romania. Proceedings of The 28th International Conference on Alpine Meteorology (ICAM) and the Annual Scientific Meeting of the Mesoscale Alpine Programme (MAP), Zadar, Croatia, 23rd – 27th May, 2005, 495-498.

- Cereceda P. and Schemenauer S. R., 1991. The Occurrence of Fog in Chile. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 1097-1105.
- Congbin, F., Diaz, H.F., Dongfeng, D. and Fletcher, J.O., 1999. "Changes in Atmospheric Circulation Over Northern Hemisphere Oceans Associated with the Rapid Warming of the 1920s", *Int J. Climatol.*, 19, 581 – 606.
- Corazza M., Buzzi A., Sacchetti D., Trovatore E. and Ratto C. F., 2003. Simulating extreme precipitation with a mesoscale forecast model. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 83, 131-143.
- Croft P. J. and Burton A. N., 2005. Fog during the 2004-2005 winter season in the Northern Mid-Atlantic states: Spatial characteristics and behaviors as a function of synoptic weather types. Preprints, *12th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology*, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, P3.3.
- Dalezios N. R. and Bartzokas A., 1993. Phenomenical Features of Precipitation Series in Agricultural regions. *Proceedings of the International Yokohama Symposium*, 20-23 July, IAHS Publ., 213, 51-57
- Della-Marta P. M., Luterbacher J., von Weissenfluh H., Xoplaki E., Brunet M., Wanner H., 2007. Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large-scale forcings and predictability. *Clim. Dyn.* 29, 251–275.
- Dickson, R.R., et al., 2000: The Arctic Ocean response to the North Atlantic Oscillation. *J. Clim.*, 13, 2671–2696.
- Doswell, C.A., C. Ramis, R. Romero, and S. Alonso, 1998: A Diagnostic Study of Three Heavy Precipitation Episodes in the Western Mediterranean Region. *Weath. Forecasting*, 13, 102–124.
- Douglas C., 1930: Cold fogs over the sea. *Meteor. Mag.*, 65, 133–135.
- Emmons G. and Montgomery R. B., 1947. Notes on the physics of fog formation. *Journal of Meteorology*, 4, 206.
- Esteban P., Jones P. D., Martin-Vide J. and Mases M., 2005. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *Int. J. Climatol.*, 25, 319–329.
- Fazzini M., Giuffrida A. and Frustaci G., 2005. Snowfall analysis over the peninsular Italy in relationship to the different types of synoptic circulation. *Proceedings of the 28th International Conference on Alpine Meteorology (ICAM) and the Annual Scientific Meeting of the Mesoscale Alpine Programme*, Zadar, Croatia, 23rd - 27th May 2005, 650-653.
- Feidas H., Makrogiannis T. and E. Bora-Senta, 2004. Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001. *Theor. Appl. Climatol.* 79, 185–208.
- Feidas H., Nouloupoulou Ch., Makrogiannis T. and Bora-Senta E., 2007. Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001. *Theoretical and applied climatology*, vol. 87, no1-4, pp. 155-177.
- Flocas A. and Gles B. D., 1991. Distribution and Intensity of Frontal Rainfall Over Greece. *Int. J. Climatol.*, 11, 429-442.
- Flocas H. A. and Karacostas Th. S., 1996. Cyclogenesis over the Aegean Sea: Identification and synoptic categories. *Meteorol. Appl.* 3, 53-61.

- Flocas H. A., Maheras P., Karacostas T. S., Patrikas I. And Anagnostopoulou C., 2001. A 40-Year Climatological Study of Relative Vorticity Distribution Over the Mediterranean. *Int. J. Climatol.* 21: 1759–1778.
- Flohn, H. 1986. Singular events and catastrophes now and in climatic history. *Naturwissenschaften*, 73, 136–149.
- Folland C.K., Miller C., Bader D., Crowe M. and 6 others, 1999. Workshop on indices and indicators for climate extremes (Asheville, NC, USA, 3–6 June 1997)—Breakout Group C: temperature indices for climate extremes. *Clim Change*, 42,31–43.
- Fotiadi A.K., Metaxas D.A. and Bartzokas A., 1999. A statistical study of precipitation in northwest Greece. *International Journal of Climatology*, 19, 1221-1232.
- Frankignoul, C., G. de Coëtlogon, T.M. Joyce, and S. Dong, 2001: Gulf Stream Variability and Ocean–Atmosphere Interactions. *J. Phys. Oceanogr.*, **31**, 3516–3529.
- Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Klein Tank AMG, Peterson T (2002) Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim Res* 19: 193–212
- Friedlein M. T., 2004. Dense Fog Climatology Chicago O'hare International Airport July 1996–April 2002. *Bulletin of American Meteorological Society*, 515-517.
- Gajic - Capka M. and Zaninovic K., 1997.Changes in Temperature Extremes and Their Possible Causes at the SE Boundary of the Alps. *Theor. Appl. Climatol.* 57, 89-94.
- George, J. J., 1960: Weather Forecasting for Aeronautics. Academic Press, 673 pp.
- Groisman, P.Y., T.R. Karl, R.W. Knight, and G.L. Stenchikov, 1994: Changes of Snow Cover, Temperature, and Radiative Heat Balance over the Northern Hemisphere. *J. Climate*, 7, 1633–1656.
- Gruza G, Rankova E, Razuvaev V, Bulygina O (1999) Indicators of climate change for the Russian Federation. *Clim Change* 42: 219–242
- Guedalia D. and Bergot T., 1994. Numerical Forecasting of Radiation Fog. Part II: A Comparison of Model Simulation with Several Observed Fog Events. *Monthly Weather Review*, 122, 1231-1246.
- Gutzler, D.S., and R.D. Rosen, 1992: Interannual Variability of Wintertime Snow Cover across the Northern Hemisphere. *J. Climate*, 5, 1441–1447.
- Hatzianastassiou N. and Vardavas I., 2004. A 17-Year Global Distribution of Earth's Shortwave Radiation Budget. *Geophysical Research Abstracts*, 6, 03714.
- Hatzianastassiou N., Matsoukas C., Fotiadi A., Pavlakis K. G., Drakakis E., Hatzidimitriou D. and Vardavas I., 2005. Global distribution of Earth's surface shortwave radiation budget. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 2847–2867.
- Hatzianastassiou, N., Katsoulis B., Pnevmatikos J., and Antakis V., 2008: Spatial and Temporal Variation of Precipitation in Greece and Surrounding Regions Based on Global Precipitation Climatology Project Data. *J. Climate*, 21, 1349–1370.
- Heino R, Bra'zdil R, Førland E, Tuomenvirta H, Alexandersson H, Beniston M, Pfister C, Rebetez M, Rosenhagen G, R€eosner S, Wibig J (1999) Progress in the study of climatic extremes in Northern and Central Europe. *Clim Change* 42: 151–181

- Hillestad R., Solomon K., Chow B., Kaban J., Hoffman B., Brady S., Stoop J., Hodges J., Kloostechuis H., Stiles G., Frinking E. and Carrillo M., 1993. Airport Growth and Safety. RAND, pp. 181.
- Holmes R., Grumm R. and Young G., 2007 A Neural Network to Aid Forecasters in Identifying Significant Weather Events. 5th Conference on Artificial Intelligence Applications to Environmental Science, San Antonio, Texas, 14-18 January 2007. Abstract No 3.4.
- Holton E.B., Folland C.K., Parker D.E., 2001. The changing incidence of extremes in worldwide and central England temperatures to the end of the twentieth century. *Clim Change*, 50,267–295.
- Horel J. D., 1981. A rotated principal component analysis of the interannual variability of the northern hemisphere 500mb height field. *Monthly Weather Review*, 109, 2080-2092.
- Houssos E. E. and Bartzokas A., 2006. Extreme precipitation events in NW Greece. *Advances in Geosciences*, 7, 1-6.
- Houssos E. E., Lolis C. J., Bartzokas A., 2008. Atmospheric circulation patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece. *Advances in Geosciences*, 6, 5-11.
- Houssos E. E., Lolis C. J. and Bartzokas A., 2007. The atmospheric conditions over Europe and the Mediterranean, favoring snow events in Athens, Greece. *Adv. Geosci.*, 12, 127-135.
- Hughes M. G. and Robinson D. A., 1996. Historical snow cover variability in the Great Plains region of the USA: 1910 through to 1993. *Int. J. Climatol.*, 16, 1005-1018.
- Hurrell, J. W., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.
- Hurrell, J.W., and H. van Loon, 1997: Decadal variations associated with the North Atlantic Oscillation. *Clim. Change*, 36, 301–326.
- Huth R., Kysely J. and Pokorna L., 2000. A GCM simulation of heatwaves, dry spells, and their relationships to circulation. *Climatic Change* 46: 29–60.
- Justo, J. E., 1981. Fog structure. *Clouds, Their Formation, Optical Properties and Effect*, P. V. Hobbs and A. Deepak, Eds., Academic Press, 495 pp.
- JOHNNY C. L. CHAN AND KIN SIK LIU, 2004, “Global Warming and Western North Pacific Typhoon Activity from an Observational Perspective“, *Journal of Climate*, 17, 4590 – 4602.
- Johnson, G. A., and J. Grasel, 1992: Sea fog and stratus: A major aviation and marine hazard in the northern Gulf of Mexico. Preprints, Symp. on Weather Forecasting, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., 55–60.
- Jolliffe I. T., 1986. *Principal Component Analysis*, Springer – Verlag, New York, 271pp.
- Jolliffe I. T., 1993. *Principal Component Analysis: A beginner’s guide II. Pitfalls, myths and extensions*. *Weather*, 48, 246-253.
- Jones P.D., Holton E.B., Folland C.K., Hulme M., Parker D.E. and Basnett T.A., 1999. The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Clim Change*, 42,131–149.
- Judith Lean and David Rind, 1998. Climate Forcing by Changing Solar Radiation. *Journal of Climate* Volume 11, Issue 12 (December 1998) pp. 3069–3094.

- Karacostas T. S., Flocas A. A., Flocas H. A., Kakaliagou O. K. and Rizou C., 1992. On the study of the synoptic situations over the area of Eastern Mediterranean. In Proceedings of the First Greek Conference in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Thessaloniki, 469-477, (in Greek).
- Kassomenos P. A., 2003a. Anatomy of the synoptic conditions occurring over southern Greece during the second half of the 20th century. Part I. Winter and summer. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 65–77.
- Kassomenos P. A., 2003b. Anatomy of the synoptic conditions occurring over southern Greece during the second half of the 20th century. Part II. Autumn and Spring. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 79–92.
- Kassomenos, H. A. Flocas, S. Lykoudis, and M. Petrakis, 1998. Analysis of Mesoscale Patterns in Relation to Synoptic Conditions over an Urban Mediterranean Basin. *Theor. Appl. Climatol.* 59, 215-229.
- Katsoulis B. D., Hatzianastassiou N., 2005. Analysis of hot spell characteristics in the Greek region. *Clim Res*, 28, 229–241.
- Kim, H.J., and A.J. Miller, 2007: Did the Thermocline Deepen in the California Current after the 1976/77 Climate Regime Shift? *J. Phys. Oceanogr.*, 37, 1733–1739.
- Klein-Tank A.M.G. and Konnen G.P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *J Clim*, 16, 3665–3680.
- Knippertz P., Ulbrich U., Marques F. and Corte-Real J., 2003. Decadal changes in the link between El Niño and springtime North Atlantic oscillation and European-north African rainfall. *International Journal of Climatology*, 23, 11, 1293-1311.
- Kostopoulou E. and Jones P. D., 2005. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 89, 69–85.
- Kostopoulou E., Jones P. and Davies T., 2002. Relationships Between Winter Circulation Patterns and Temperature and Precipitation over Greece. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα, 25-28 Σεπτεμβρίου 2002, 664-672.
- Krichak S.O. and Alpert P., 2005. Signatures of the NAO in the atmospheric circulation during wet winter months over the Mediterranean region. *Theor. Appl. Climatol.*, 82, 27-39.
- Kripalani R. H. and Kulkarni A., 1999. Climatology and variability of historical Soviet snow depth data: Some new perspectives in snow-Indian monsoon teleconnections. *Climate Dyn.*, 15, 475-489.
- Kvalevåg, M.M., and G. Myhre, 2007: Human Impact on Direct and Diffuse Solar Radiation during the Industrial Era. *J. Climate*, 20, 4874–4883.
- Kveton V. and Zak M., 2008. Extreme precipitation events in the Czech Republic in the context of climate change. *Advances in Geosciences*, 14, 251-255.
- Kysely J. and Huth R., 2006. Changes in atmospheric circulation over Europe detected by objective and subjective methods. *Theor. Appl. Climatol.* 85, 19–36.
- Kysely J. and Huth R., 2008. Relationships of surface air temperature anomalies over Europe to persistence of atmospheric circulation patterns conducive to heat waves. *Adv. Geosci.*, 14, 243–249.

- Kysely, J. and Domonkos, P., 2006. Recent increase in persistence of atmospheric circulation over Europe: comparison with long-term variations since 1881. *Int J. Climatol.*, 26, 461-483.
- Lagouvardos K., Kotroni, V and Kallos G., 1998. An extreme cold surge over the Greek peninsula. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 124, 2299-2327.
- Lamb H., 1943. Haars or North Sea Fogs on the coasts of Great Britain. Meteorology Office Publication M. O. 504, pp. 24.
- Leipper D. F., 1995. Fog Forecasting Objectively in the California Coastal Area Using LIBS. *Weather and Forecasting*, 10, 741-762.
- Lemke, P., J. Ren, R.B. Alley, I. Allison, J. Carrasco, G. Flato, Y. Fujii, G. Kaser, P. Mote, R.H. Thomas and T. Zhang, 2007: Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Liu, Z., and L. Wu, 2004: Atmospheric Response to North Pacific SST: The Role of Ocean–Atmosphere Coupling. *J. Climate*, 17, 1859–1882.
- Livezey, R.E., M. Masutani, A. Leetmaa, H. Rui, M. Ji, and A. Kumar, 1997. Teleconnective Response of the Pacific–North American Region Atmosphere to Large Central Equatorial Pacific SST Anomalies. *J. Climate*, 10, 1787–1820.
- Lolis C. J., 2009. Winter cloudiness variability in the Mediterranean region and its connection to atmospheric circulation features. *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 3-4, 357-373.
- Lolis C. J., Bartzokas A. and Katsoulis B. D., 2004. Relation Between Sensible and Latent Heat Fluxes in the Mediterranean and Precipitation in the Greek Area During Winter. *Int. J. Climatol.*, 24, 1803-1816
- Lolis, C.J., Bartzokas, A., Katsoulis, B.D., 2002. Spatial and temporal 850hPa air temperature and SST covariances in the Mediterranean region and their connection to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 22, 663-676.
- Lopez-Moreno J. I. and Vicente-Serrano S. M., 2007. Atmospheric circulation influence on the interannual variability of snow pack in the Spanish Pyrenees during the second half of the 20th century. *Nordic hydrology*, 38, 1, 33-44.
- Lopez-Moreno J. I. and Vicente-Serrano S. M., 2007. Atmospheric circulation influence on the interannual variability of snow pack in the Spanish Pyrenees during the second half of the 20th century. *Nordic hydrology*, 38, 1, 33-44.
- Lu J, Chen G, Frierson D. M. W. (2008) Response of the zonal mean atmospheric circulation to El Nino versus global warming. *Journal of Climate*: In Press
- Maheras P, Patrikas I, Karacostas T, Anagnostopoulou C (2000a) Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theor Appl Climatol* 67:205–223.
- Maheras P., Flocas H., Tolika K., Anagnostopoulou Chr., Vafiadis M., 2006. Circulation types and extreme temperature changes in Greece. *Clim Res*, 30, 161–174.

- Maheras P., Patrikas I., Karacostas Th. and Anagnostopoulou Chr., 2000. Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theor. Appl. Climatol.* 67, 205-223.
- Maheras P., Patrikas I., Karacostas Th. and Anagnostopoulou Chr., 2000. Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theor. Appl. Climatol.* 67, 205-223.
- Maheras P., Tolika K., Anagnostopoulou Ch., Vafiadis M., Patrikas I. and Flocas H., 2004. On The Relationships between Circulation Types and Changes in Rainfall Variability in Greece. *Int. J. Climatol.*, 24, 1695–1712.
- Makrogiannis T. J., Sahsamanoglou H. S., Flocas A. A. and Bloutsos A. A., 1991. Analysis of the Monthly Zonal Index Values and Atlantic and Europe Long-Term Changes of Circulation Over the North. *International Journal of Climatology*, 11, 493-503.
- Manfred S., 1986. Possible influences of solar radiation variations on the atmospheric circulation in the northern hemisphere of the earth. *Climatic Change*, Volume 8, Number 3, 279-294.
- Manly B. F. J, 1986. *Multivariate Statistical Methods: a Primer*, 2nd Edition. Chapman & Hall, London, 210pp.
- Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dickson R., Hurrell J., McCartney M., Saravanan R. And Visbeck M., 2001. North Atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms. *Int. J. Climatol.*, 21, 1863–1898.
- Martin, M. D., and P. W. Suckling, 1987: Winter fog and air transportation in Sacramento, California. *Climatol. Bull.*, 21, 16–22.
- McLachlan G. J. and Basford K. E., 1988. *Mixture Models: Inference and Applications to Clustering*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Mearns, L.O., R.W. Katz, and S.H. Schneider, 1984: Extreme High-Temperature Events: Changes in their probabilities with Changes in Mean Temperature. *J. Appl. Meteor.*, 23, 1601–1613.
- Meehl G. A., Karl T., Easterling D. R., Changnon S., Pielke R. Jr., Changnon D., Evans J., Groisman P.I Ya., Knutson T. R., Kunkel K. E., Mearns L. O., Parmesan C., Pulwarty R., Root T., Sylves R. T., Whetton P., Zwiers F., 2000. An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts, and Model Projections. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Volume 81, Number 3, 413-416
- Meehl, G.A., F. Zwiers, J. Evans, T. Knutson, L. Mearns, and P. Whetton, 2000: Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 427–436.
- Metaxas D. A. and Bartzokas A., 1994. Pressure Covariability over the Atlantic, Europe and N. Afrika. Application: Centers of Action for Temperature, Winter Precipitation and Summer Winds in Athens, Greece. *Theor. Appl. Climatol.*, 49, 9-18.
- Metaxas D. A., Bartzokas A., Repapis C. C. and Dalezios N. R., 1993. Atmospheric Circulation Anomalies in Dry and Wet Winters in Greece. *Meteorol. Zeitschrift*, 2, 129-131.

- Metaxas, D.A., Bartzokas, A. (1997): Factor Analysis as a tool for coherence and variability studies in climatology. Eastern Europe and Global Change (Ghazi, Mathy, Zerefos, eds), European Commission, EUR 17458, 139-152.
- Meyer M. B. and Lala G. G., 1990. Climatological aspects of Radiation Fog Occurrence at Albany, New York. *Journal of Climate*, 3, 577-586.
- Michaelides S. C., Liassidou F., And Schizas C. N., 2007. Synoptic Classification and Establishment of Analogues with Artificial Neural Networks. *Pure appl. geophys.*, 164, 1–18.
- Michailidou C., Maheras P., Arseni-Papadimitriou A., Kolyva-Machera F., Anagnostopoulou C., 2008. A study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, part I: two-step cluster analysis, *Theor Appl Climatol*, (in press).
- Mihalakakou G., Flocas H. A., Santamouris M. and Helmis C. G., 2002. Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island over Athens, Greece, Using Synoptic Types as a Predictor. *Journal of Applied Meteorology*, 41, 519-527.
- Ming-Dha Chou, 1990. Parameterization of the Absorption of Solar Radiation by O₂ and CO₂ with Application to Climate Studies. *Jurnal of Climate*, Vol. 3, 209-217.
- Monai M., Rossa A. M. and Bonan A. C., 2006. Partitioning of snowy and rainy precipitation in a case of a north Adriatic frontal passage. *Advances in Geosciences*, 7, 279–284.
- Moore J.C., Grinsted A. and Jevrejeva S., 2008. Gulf Stream and ENSO Increase the Temperature Sensitivity of Atlantic Tropical Cyclones. *J. Clim.* 21(7): 1523-1531.
- Musk L. F., 1991. The Fog Hazard. In Perry A. H. and Symons L. J. (Eds), *Highway Meteorology*, 91-130.
- Nakanishi M., 2000. Large-eddy simulation of radiation fog. *Boundary-Layer Meteorology*, 94, 3, 461-493.
- Nastos P. T. and Matzarakis A. P., 2008. Variability of tropical days over Greece within the second half of the twentieth century. *Theor. Appl. Climatol.*, 93, 75–89.
- Nastos P. T. and Zerefos C. S., 2008. Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece. *Adv. Geosci.*, 16, 55–62.
- Nastos P. T., 2008. Effects of clouds on air temperature in Athens, Greece. Trends and Variability. 8th Annual Meeting of the EMS / 7th ECAC, EMS8/ECAC7 Abstracts, Vol. 5, EMS2008-A-00260.
- Nastos P. T., Founda D. and Zerefos C. S., 2007a. On extreme daily air temperature at Athens, Greece. 7th EMS Annual Meeting / 8th ECAM, EMS7/ECAM8 Abstracts, Vol. 4, EMS2007-A-00240.
- Nastos P. T., Karatarakis N. and Sarantopoulos A., 2007b. Trends and variability in indices of daily air temperature extremes in Greece, 1956-2002. 7th EMS Annual Meeting / 8th ECAM EMS7/ECAM8 Abstracts, Vol. 4, EMS2007-A-00244.
- Nastos P.T. and Zerefos C. S., 2007. On extreme daily precipitation totals at Athens, Greece. *Adv. Geosci.*, 10, 59–66.
- Overland J. E. and Preisendorfer R. W., 1982. A Significance Test for Principal Components Applied to a Cyclone Climatology. *Monthly Weather Review*, 110, 1-4.

- Paliatsos AG, Kambezidis HD, Nastos PT, Kariofilli MD, Kastrada EG, 2004. The spatial distribution of precipitation trends in Greece. In 7PGC/HGS: 1-8 Oct. (in Greek)
- Pappas C., Hatzianastassiou N. and Katsoulis B. D., 2004. Analysis of cold spells in the Greek region. *Clim Res*, 27, 211–223.
- Parey S., Malek F., Laurent C., Dacunha-Castelle D., 2007. Trends and climate evolution: Statistical approach for very high temperatures in France. *Climatic Change*, 81, 331–352.
- Perry A. H. and Symons L. J., 1991. *Highway Meteorology*. New York: E & FN Spon.
- Petrou Ch., Ziakopoulos D. and Sarantopoulos, 2003. Severe Weather Phenomena in Hellas During Winter 2001-2002. WGCEF Newsletter No 8, (<http://www.euroforecaster.org/newsletter8/newsletter.html>)
- Philandras C. M., Metaxas D. A. and Nastos P. Th., 1999. Climate Variability and Urbanization in Athens. *Theor. Appl. Climatol.* 63, 65-72.
- Piervitali E., Colacino M., and. Conte M, 1997. Signals of Climatic Change in the Central-Western Mediterranean Basin. *Theor. Appl. Climatol.* 58, 211-219.
- Popova V., 2007. Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes. *International Journal of Climatology*, 27, 13, 1721-1733.
- Prezerakos N. G. and Angouridakis V. E., 1979. Characteristics of the snowfalls in Athens. *Bulletin of the Hellenic Met. Soc.*, 4, 12, (in Greek).
- Prezerakos N. G. and Angouridakis V. E., 1984. Synoptic consideration of snowfall in Athens. *Journal of Climatology*, 4, 269-285.
- Pytharoulis I., Katsafados P., Koutsoulis K., Galanis G., Emmanouil G. and Kallos G., 2005. Air-Sea interaction processes during extreme weather events in the Mediterranean region. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 7, EGU05-A-09505.
- Rasmusson, E.M., and T.H. Carpenter, 1982: Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354–384.
- Rogers J. C., 1990. Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies. *Journal of Climate*, 3, 1364-1379.
- Rogers, J.C., 1984: The Association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Mon. Weath. Rev.*, 112, 1999–2015.
- Rojas R., 1996. *Neural Networks - A Systematic Introduction*. Springer-Verlag, Berlin, New-York, 502 pp.
- Romero R., Guijarro J.A., Ramis C. and Alonso S., 1998. A 30-Year (1964-1993) Daily Rainfall Data Base for the Spanish Mediterranean Regions: First Exploratory Study. *Int. J. Climatol.*, 18, 541-560.
- Sahsamanoglou H., Makrogiannis T., 1992. Temperature trends over the Mediterranean region, 1950–88. *Theor Appl Climatol*, 45, 183–192.
- Salvador S. and Chan P., 2004. Determining the Number of Clusters/Segments in Hierarchical Clustering/Segmentation Algorithms. *Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2004)* 1082-3409/04 \$20.00 © 2004 IEEE

- Sanguinetti G., Laidler J. and Lawrence N. D., 2005 Automatic determination of the number of clusters using spectral algorithms. *Machine Learning for Signal Processing, IEEE Workshop on 28-28 Sept.*, 55 – 60.
- Scaife, A.A., C.K. Folland, L.V. Alexander, A. Moberg, and J.R. Knight, 2008: European Climate Extremes and the North Atlantic Oscillation. *J. Climate*, 21, 72–83.
- Schostakowitch W. B., 1925. Warm and Cold Winters in Siberia and Their Dependence on the Condition of the Gulf Stream. *Monthly Weather Review*, 165-166.
- Sharma S., 1996. *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley, New York, 493pp.
- Spanos S., Maheras P., Karacostas T. and Pennas P., 2003. Objective climatology of 500-hPa cyclones in central and east mediterranean region during warm-dry period of the year. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 167–178.
- Spanos S., Maheras P., Karacostas T., and Pennas P., 2003. Objective climatology of 500-hPa cyclones in central and east mediterranean region during warm-dry period of the year. *Theor. Appl. Climatol.* 75, 167–178.
- Speranza A. And Tartaglione N., 2006. Extreme events in the Mediterranean area: A mixed Deterministic-statistical approach. *Il Nuovo Cimento*, 29C, 81-88.
- Stolaki S., Kazadzis S., Foris D. and Karacostas Th., 2008. Study of fog occurrences' characteristics at Thessalonini Airport, as a forecasting tool. 10th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Cyprus, 22 – 24 September 2008, Plinius Conference Abstracts, Vol. 10, PLINIUS10-A-00084.
- Sugar, A. C. and James, M. G., 2003. Finding the Number of Clusters in a Dataset: An Information Theoretic Approach, *Journal of the American Statistical Association*, 98, 750-763.
- Tardif R. and Rusmussen M. R., 2007. Event-Based Climatology and Typology of Fog in the New York City Region. *Journal of applied Meteorology and Climatology*, 46(8), 1141-1168.
- Tardif R., 2006. A Climatological Study of Low Ceiling and Fog Events Associated With the Occurrence of Precipitation in the Northeastern United States. 12th Conference on Aviation Range and Aerospace Meteorology, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, P3.4.
- Tayanc M., Karaca M. and Dalfes N. H., 1998. March 1987 Cyclone (Blizzard) over the Eastern Mediterranean and Balkan Region Associated with Blocking. *Monthly Weather Review (AMS)*, 126, 3036-3047.
- Taylor G., 1917: The formation of fog and mist. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 43, 241–268.
- Trenberth K. E. and Hurrell J. W., 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dyn.*, 9, 303-319.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Turkes M., Sumer U. M and, Demir I. 2002. Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929–1999. *Int J Climatol*, 22, 947–978
- Unkasevic M., Vujovic D. and Tosic I., 2005. Trends in extreme summer Temperatures at Belgrade. *Theor. Appl. Climatol.* 82, 199–205.
- Wagner D., 1996. Scenarios of Extreme Temperature Events. *Climatic Change*, 33, 385-407.
- Wallace, J. M., and Hobbs P. V., 1997: *Atmospheric Science An Introductory Survey. Academic Press.* New York. 467pp.
- Warner, T.T., M.N. Lakhtakia, J.D. Doyle, and R.A. Pearson, 1990: Marine Atmospheric Boundary Layer Circulations Forced by Gulf Stream Sea Surface Temperature Gradients. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 309–323.
- Watson, R. T., and the Core Writing Team, Eds., 2001: *Climate Change 2001: Synthesis Report.* Cambridge University Press, 398 pp.
- Weber R. O., Talkner P., Auer I., Bohm R., Gajic-Capka M., Zavinovik K., Brazdil R., Fasko P., 1997. 20th-Century Changes of Temperature in the Mountain Regions of Central Europe. *Climatic Change* 36: 327–344.
- Wood, F.B., 1990: Monitoring Global Climate Change: The Case of Greenhouse Warming. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 71, 42–52.
- Xoplaki E., Gonzales-Rouco J. F., Gyalistras D., Luterbacher J., Rickli R. and Wanner H., 2003. Interannual summer air temperature variability over Greece and its connection to the large-scale atmospheric circulation and Mediterranean SSTs 1950-1999. *Climate Dynamics*, 20, 537-554.
- Xoplaki E., Gonzalez-Rouco J. F., Luterbacher J. and Wanner H., 2004. Wet season Mediterranean precipitation variability: Influence of large-scale dynamics and trends. *Climate dynamics*, vol. 23, no 1, 63-78.
- Yan Z., Jones P.D., Davies T.D., Moberg A., Bergström H., Camuffo D., Cocheo C., Maugeri M., Demarée G. R., Verhoeve T., Thoen E., Barriendos M., Rodríguez R., Martín-Vide J. and Yang C., 2002. Trends of Extreme Temperatures in Europe And China Based On Daily Observations. *Climatic Change*, 53, 355–392.

Ελληνική

- Βάρφη Μ., Καρακώστας Θ., Μακρογιάννης Τ. και Φλόκας Α., 2004. Μελέτη Χαρακτηριστικών των Θερμών και Ψυχρών Εισβολών στον Ευρύτερο Ελλαδικό Χώρο. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Κύπρος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2004, 752-759.
- Καραταράκης Ν. και Σκριμιζέας Π., 2002. Ανάλυση Βροχομετρικών Δεδομένων της Πεδιάδας της Μεσάρας. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 100-106.
- Καρλής Δ., 2003. Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση. Εκδόσεις Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα, 308σελ.
- Κονδύλης Φ. Ι., Νάστος Π. Θ. και Νικολάκης Δ. Ι., 2002. Συμβολή στη Μελέτη του Φαινομένου του Παγετού στην Ελλάδα. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα, 25-28 Σεπτεμβρίου 2002, 91-99.

- Λιώκη -- Λειβαδά -- Τσελεπιδάκι Η., 1979. Αι Χιονοπτώσεις εν Ελλάδι. Διατριβή επί Διδακτορία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 209 σελ.
- Αώλης Χ. Ι., Σιντόση Ο. Α. και Μπαρτζώκας Α., 2007. Αντικειμενική Ταξινόμηση Συνοπτικών Καταστάσεων που Ευνοούν τη Χειμερινή Βροχόπτωση στην Περιοχή των Αθηνών. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Περιβάλλοντος, Καλαμπάκα, 16-28 Ιανουαρίου, 39-42.
- Μπαρσάκης Σ., Τουρναβίτη Α. και Μακρογιάννης Γ., 2004. Συνοπτική και Θερμοϋγρομετρική Μελέτη του Φαινομένου της Χιονόπτωσης στη Θεσσαλονίκη στις 7 Απριλίου 2003. Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Κύπρος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2004, 137-142.
- Παπαιωάννου Γ. και Λουκάς Σ., 1990. Εισαγωγή στη Στατιστική. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα, 323 pp.
- Πνευματικός Ι. Δ. και Κατσούλης Β. Δ., 2000. Οι μεταβολές στη διαίτα των βροχών της Ελλάδας και η επίπτωσή τους στις κλιματολογικές «κανονικές» τιμές. Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 65-72.
- Σαχσαμάνογλου Χ. και Μπλούτσος Α., 2002. Οι πρόσφατες μεταβολές της θερμοκρασίας της Ατμόσφαιρας πάνω από τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 379-384.
- Στολάκη Σ. και Πακαλίδου Ν., 2004. Κατάταξη Τύπων Καιρού στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 1989-1999. Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Κύπρος, 28-30 Σεπτεμβρίου 2004, 720-727.
- Τύμβιος Φ. Σ. και Μιχαηλίδης Σ. Χ., 2002. Ανάλυση των χωρικών και χρονικών μεταβολών των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης στην Κύπρο. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 476-483.
- Φείδας Χ., Μακρογιάννης Τ.Ι. και Bora-Senta E., 2002. Ανάλυση των τάσεων των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 492-500.
- Φιλάνδρας Κ. Μ. και Νάστος Π.Θ., 2002. Η επίδραση της αστικοποίησης των Αθηνών επί των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα των σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου και της Νέας Φιλαδέλφειας. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 501-506.
- Χατζηαναστασίου, Ν., Παπαδήμας, Χ.Δ., Φωτιάδη, Α.Κ., Μπαρτζώκας, Α., 2008. Μελέτη των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο και το χρόνο σε πλανητική κλίμακα. Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας-Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, Μάιος 2006, τόμος Β, 355-368.
- Χούσος Η. Ε., Αώλης Χ. Ι., Χαραντώνης Θ., Ζιακόπουλος Δ. και Μπαρτζώκας Α., 2008. Οι Κύριες Συνοπτικές Καταστάσεις που Ευνοούν την Εμφάνιση Ομίχλης στη Θεσσαλονίκη. Πρακτικά 9^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 28-31 Μαΐου 2008, 561-568.

Ιστοσελίδες

WMO Press Release No. 791: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_791_en.html, πρόσβαση 2008.

- CGD's Climate Analysis Section: <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/nao.stat.winter.html>, πρόσβαση 2008.
- What is an El Nino: http://www.cotf.edu/ete/modules/el_nino/crwhatis.html, πρόσβαση 2008.
- Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Μηνιαίο Δελτίο Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Νοέμβριος 2005: http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa112005.pdf, πρόσβαση 2008.
- Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Μηνιαίο Δελτίο Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Ιανουάριος 2005: http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa012005.pdf, πρόσβαση 2008.
- Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Μηνιαίο Δελτίο Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Ιανουάριος 2002: http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa012002.pdf, πρόσβαση 2008.
- Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Μηνιαίο Δελτίο Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Ιούλιος 2006: http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/deltio_noa072006.pdf, πρόσβαση 2008.
- STARDEX Final Report: http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/reports/STARDEX_FINAL_REPORT.pdf, πρόσβαση 2008.
- Pidwirny, M. 2006. Global Scale Circulation of the Atmosphere. *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition*: <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7p.html>, access 2008.