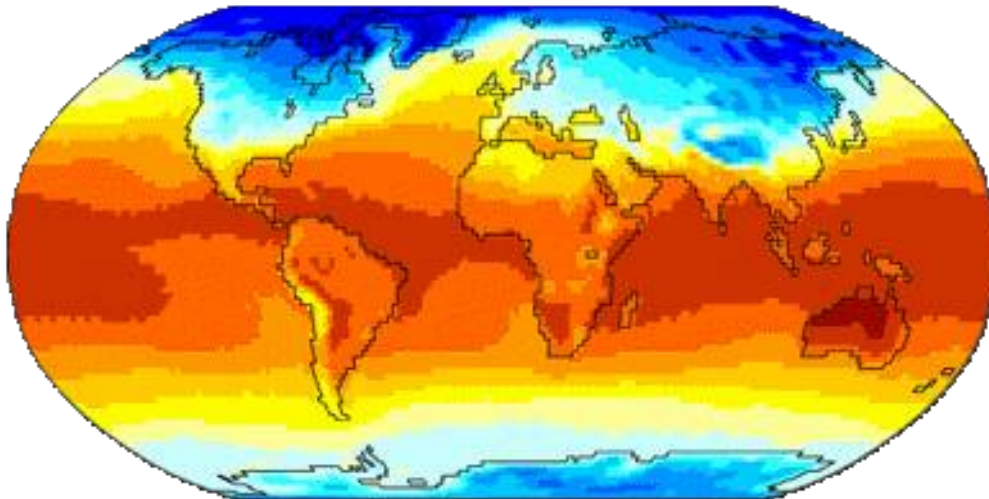


ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**“ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ”**



ΤΣΑΒΔΑΡΗ ΑΘΗΝΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ

Επιβλέπουσα:
ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Υποβλήθηκε στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του
Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του
Αριστοτελείου Πανεπιστημίου

**“ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ
ΜΑΖΩΝ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ”**

ΤΣΑΒΔΑΡΗ ΑΘΗΝΑ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ

Επιβλέπουσα:
ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΙΣΤΙΝΑ
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Αρχικά, ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κ. Αναγνωστοπούλου Χριστίνα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ'αρχής, αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική της καθοδήγηση και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε, αλλά και τη συνεχή υποστήριξή της σε οποιαδήποτε δυσκολία αντιμετώπισα καθ'όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα δυο μέλη της τριμελούς επιτροπής, την κ. Τολίκα Κωνσταντία και τον κ. Μπαμπζέλη Δημήτριο για τις εποικοδομητικές τους υποδείξεις και τις εύστοχες παρατηρήσεις στην παρούσα διατριβή.

Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω σε όλους τους καθηγητές του τομέα για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν πάνω στο αντικείμενο της Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, στον αδερφό μου και σε αυτούς που ήταν δίπλα μου, για όλη την αγάπη, τη στήριξη και τη συμπαράστασή τους καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	6
--	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
--	----------

1.1 ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ.....	7
-----------------------	---

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	8
------------------	---

1.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ - ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	8
-----------------------------------	---

1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ.....	9
---	---

1.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ.....	11
----------------------------------	----

1.6 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ.....	14
---	----

1.7 ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ.....	15
------------------------------------	----

1.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ - ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	17
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	20
--	-----------

2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	20
-------------------	----

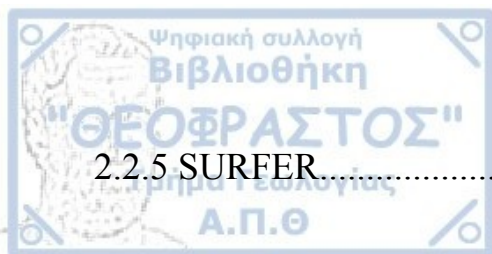
2.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	23
----------------------	----

2.2.1 ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	25
------------------------------	----

2.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΣΥΣΤΑΔΕΣ ΣΕ ΔΥΟ ΒΗΜΑΤΑ.....	28
--	----

2.2.3 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	29
-------------------------	----

2.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ HYSPLIT	31
-----------------------------	----



2.2.5 SURFER.....	33
-------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
--	-----------

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	35
------------------------	----

3.1 ΧΕΙΜΩΝΑΣ.....	36
-------------------	----

3.2 ΑΝΟΙΞΗ.....	46
-----------------	----

3.3 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.....	56
--------------------	----

3.4 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ.....	66
--------------------	----

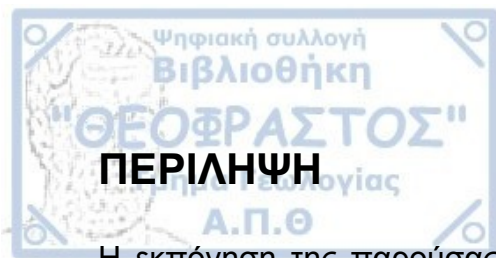
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
--	-----------

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	77
--------------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82
--------------------------	-----------

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	85
----------------------	-----------

ABSTRACT.....	87
----------------------	-----------



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης, έχει ως κύριο στόχο τη μελέτη και την ταξινόμηση των αερίων μαζών στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιώντας μια αντικειμενική στατιστική μέθοδο.

Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια κλιματολογικά δεδομένα ERA-Interim από το ECMWF για τη χρονική περίοδο 1981-2010. Συγκεκριμένα, οι κλιματικές παράμετροι που επιλέχθηκαν είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και ο δυναμικός στροβιλισμός για 15 διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα.

Εφαρμόστηκε η ανάλυση κατά συστάδες σε δυο βήματα (TSCA) σε εποχιακή βάση. Επίσης, υπολογίστηκαν οι οπισθοτροχιές των αερίων μαζών με το μοντέλο HYSPLIT-4 προκειμένου να εντοπιστεί η προέλευση των αερίων μαζών.

Τέλος, δημιουργήθηκαν οι χάρτες των οπισθοτροχιών για κάθε αέρια μάζα, μέσω του προγράμματος SURFER.

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Αρχικά γίνεται μια θεωρητική περιγραφή της κλιματολογίας των αερίων μαζών καθώς και μια ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας για τις μελέτες σχετικά με τις αέριες μάζες. Επίσης παρουσιάζεται και μια αντικειμενική κατάταξη των τύπων κυκλοφορίας στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο (Anagnostopoulou, et al 2009).

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε.

Στο τελευταίο στάδιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από το σύνολο της μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ

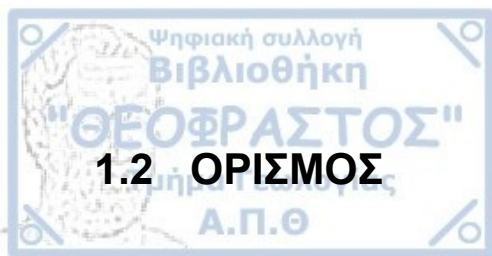
Οι αέριες μάζες αποτελούν βασικό μέρος της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Οι παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα μιας περιοχής μπορούν να μελετηθούν με βάση τη δραστηριότητα που παρουσιάζουν οι αέριες μάζες, καθώς οι καιρικές μεταβολές σε μια περιοχή, εξαρτώνται σημαντικά από τη συχνότητα διέλευσης και τα χαρακτηριστικά των αερίων μαζών που φτάνουν σε αυτή.

Επιπλέον, η μελέτη της μεταβλητότητας των αερίων μαζών έχει, ως εκ τούτου, τη δυνατότητα να συμβάλλει τόσο στην εφαρμοσμένη μετεωρολογία, όσο και στην καλύτερη κατανόηση των αιτιών πίσω από τις σύγχρονες κλιματικές διακυμάνσεις.

Πρώτος ο Tor H. Bergeron (1928) είχε διατυπώσει την έννοια των αερίων μαζών και τη σχέση τους με τα καιρικά συστήματα. Επίσης, ο Bergeron εισήγαγε μια διπλή ταξινόμηση των αερίων μαζών:

- Τη γεωγραφική ταξινόμηση η οποία σχετίζεται με τις περιοχές προέλευσης.
- Τη θερμοδυναμική ταξινόμηση η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία, δηλαδή αν η αέρια μάζα είναι ψυχρότερη ή θερμότερη από την υποκείμενη επιφάνεια.

Η κατανομή και η συχνότητα των αερίων μαζών αποτελεί μια απλή μέθοδο για την ανάλυση των ατμοσφαιρικών επιστημών επειδή επηρεάζουν τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και μεταφέρουν μεγάλα ποσά θερμότητας από τον Ισημερινό προς τους πόλους.



1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ

Μια αέρια μάζα είναι μια μεγάλη έκταση ατμοσφαιρικού αέρα στην οποία παρουσιάζεται μια οριζόντια ομοιογένεια κυρίως ως προς τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πυκνότητα.

Οι αέριες μάζες μπορούν να καλύψουν εκτάσεις πολλών χιλιάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων, ενώ η κατακόρυφη έκτασή της μπορεί να φτάσει μέχρι την τροπόπαυση.

Σε κάθε αέρια μάζα ιδιαίτερη σημασία έχουν α) η ποσότητα των υδρατμών που μεταφέρει μαζί της και β) η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας. Αναπτύσσονται σε περιοχές υψηλών πιέσεων και αποκτούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους από την παρατεταμένη επαφή τους με την υποκείμενη επιφάνεια.

Οι αέριες μάζες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον καθώς συνδέονται στενά με τη μελέτη των διαταραχών στην ατμόσφαιρα. Οι πιο έντονες ατμοσφαιρικές διαταραχές των μέσων γεωγραφικών πλατών δημιουργούνται κατά μήκος των επιφανειών οι οποίες διαχωρίζουν δυο παρακείμενες αέριες μάζες.

1.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ-ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Δυο βασικοί παράγοντες είναι απαραίτητοι για τη δημιουργία μιας αέριας μάζας. Πρώτον, μια επιφάνεια της οποίας τα χαρακτηριστικά κυρίως της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι ομοιόμορφα (μπορεί να είναι επιφάνεια εδάφους, υδάτινη ή χιονοσκεπής επιφάνεια). Δεύτερον, μια μεγάλη αποκλίνουσα ροή που τείνει να μειώσει τις θερμοκρασιακές αντιθέσεις και να σχηματίσει μια ομοιογενή αέρια μάζα.

Η ενέργεια που παρέχεται στην επιφάνεια της Γης από τον Ήλιο κατανέμεται στην αέρια μάζα μέσω της συναγωγής, της ακτινοβολίας και της αγωγιμότητας.

Μια άλλη απαραίτητη προϋπόθεση για το σχηματισμό μιας αέριας μάζας είναι η ισορροπία μεταξύ εδάφους και αέρα. Αυτή επιτυγχάνεται με συνδυασμό των ακόλουθων διεργασιών:

- Τυρβώδη μεταφορά θερμότητας προς τα πάνω στα υψηλότερα επίπεδα του αέρα
- Ψύξη του αέρα με απώλεια θερμότητας μέσω ακτινοβολίας
- Μεταφορά θερμότητας με διαδικασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης

Η ταχύτερη και πιο αποτελεσματική διαδικασία για την επίτευξη της ισορροπίας είναι η τυρβώδης συναγωγή θερμότητας προς τα πάνω. Η πιο αργή και λιγότερο αποτελεσματική διαδικασία είναι η ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ακτινοβολίας και τυρβώδους μεταφοράς, η εξάτμιση και η συμπύκνωση συμβάλλουν στη διατήρηση της θερμότητας του υπερκείμενου αέρα. Επομένως, στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη, λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε υγρασία στον αέρα, σχηματίζονται γρηγορότερα αέριες μάζες μέσω της μεταφοράς θερμότητας προς τα πάνω με τη διαδικασία της τυρβώδους συναγωγής. Οι ξηρές πολικές περιοχές σχηματίζονται αέριες μάζες με πιο αργό ρυθμό κυρίως λόγω της απώλειας θερμότητας μέσω της ακτινοβολίας. Δεδομένου ότι οι υποκείμενες επιφάνειες δεν έχουν ομοιόμορφα θερμικά χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια του έτους και η κατανομή ξηράς και θάλασσας είναι δυσανάλογη, μπορεί να σχηματιστούν ειδικές θερινές ή/και χειμερινές αέριες μάζες. Ο ρυθμός σχηματισμού μιας αέριας μάζας μεταβάλλεται περισσότερο με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

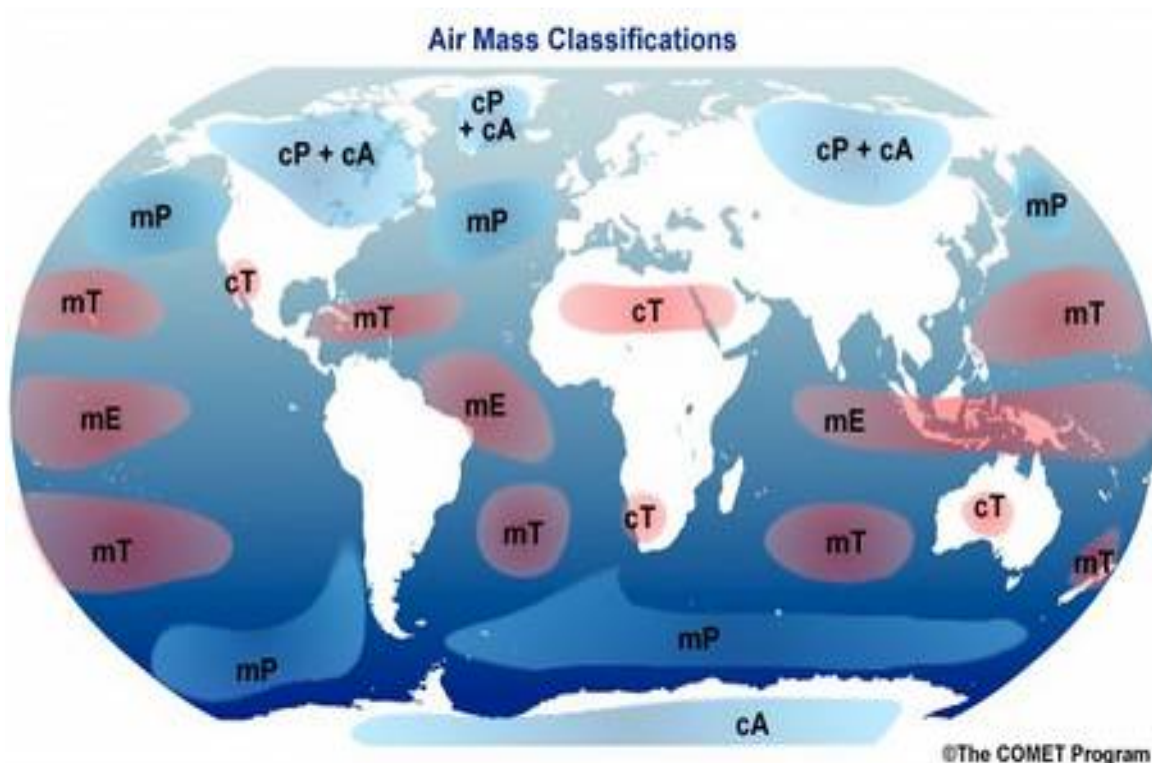
1.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ

Υπάρχουν τρεις τύποι κυκλοφορίας πάνω από τη Γη. Ωστόσο, δεν είναι όλοι ευνοϊκοί για την ανάπτυξη των αερίων μαζών.

1. **Αντικυκλωνικά συστήματα.** Στα αντικυκλωνικά συστήματα ο αέρας είναι στάσιμος ή κινείται με αργό ρυθμό και με αυτόν τον τρόπο ο αέρας μπορεί να ρυθμίσει την περιεκτικότητά του σε θερμότητα και υγρασία με εκείνη της υποκείμενης επιφάνειας. Αυτοί οι αντικυκλώνες έχουν μια αποκλίνουσα ροή αέρα που μεταφέρουν οριζοντίως τα χαρακτηριστικά σε μια μεγάλη περιοχή. Η τυρβώδης κίνηση και η συναγωγή κατανέμουν αυτά τα χαρακτηριστικά κατακόρυφα. Η καθίζηση (κίνηση προς τα κάτω), η οποία είναι μια άλλη ιδιότητα των αντικυκλώνων, είναι ευνοϊκή για πλευρικές μετακινήσεις, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα μια οριζόντια ή ζωνική ομοιογένεια. Τα υψηλά που βρίσκονται σε θερμές περιοχές, όπως οι Βερμούδες και ο Ειρηνικός, εκτείνονται σε μεγάλο υψόμετρο εξαιτίας της βαθμιαίας μείωσης της πυκνότητας και έτσι δημιουργείται μια αέρια μάζα με σχετικά μεγάλη κατακόρυφη έκταση. Στα υψηλά των ψυχρών περιοχών, όπως ο Σιβηρικός αντικυκλώνας, έχουν μέτρια ή μικρή κατακόρυφη έκταση και οι αέριες μάζες που αναπτύσσονται έχουν μέτριο ή μικρό ύψος.
2. **Κυκλωνικά συστήματα.** Τα κυκλωνικά συστήματα δεν ευνοούν τον σχηματισμό αερίων μαζών, επειδή χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου από ότι τα αντικυκλωνικά συστήματα. Οι ταχύτητες του ανέμου εμποδίζουν τη σταθεροποίηση των κυκλωνικών συστημάτων. Μια εξαίρεση είναι τα στάσιμα θερμικά χαμηλά.
3. **Ζώνες σύγκλισης.** Οι ζώνες σύγκλισης γενικά δεν ευνοούν τον σχηματισμό αερίων μαζών, αφού έχουν ουσιαστικά τις ίδιες ιδιότητες με τα κυκλωνικά συστήματα. Ωστόσο, υπάρχουν δύο περιοχές σύγκλισης όπου σχηματίζονται αέριες μάζες. Αυτές είναι οι περιοχές του βόρειου Ειρηνικού, μεταξύ της Σιβηρίας και της Βόρειας Αμερικής και του Ατλαντικού, στα ανοιχτά του Λαμπραντόρ και της Νέας Γης (Καναδάς). Οι δύο αυτές περιοχές λειτουργούν ως πηγές προέλευσης για τις θαλάσσιες πολικές αέριες μάζες.

1.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ

Σύμφωνα με τους Barry και Carleton (2001), μια μετεωρολογική ταξινόμηση αερίων μαζών μπορεί να γίνει με δυο διαφορετικές διαδικασίες. Η πρώτη βασίζεται σε δυναμικές και θερμοδυναμικές μεταβολές και η δεύτερη χρησιμοποιεί την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα.



Σχήμα 1.1 Ταξινόμηση αερίων μαζών

Τα χαρακτηριστικά που συγκεντρώνει μια αέρια μάζα στην περιοχή προέλευσης εξαρτώνται από τρεις παράγοντες. Την εποχή του χρόνου (χειμώνα ή καλοκαίρι), την φύση της υποκείμενης επιφάνειας και το χρονικό διάστημα που παραμένει πάνω από αυτήν την περιοχή. Οι αέριες μάζες, ανάλογα με τη τοποθεσία της πηγής τους, ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες (Φλόκας, 1990):

- **Αρκτικές (Arctic-A)**
- **Πολικές ηπειρωτικές (Polar Continental-Pc)**



- Πολικές θαλάσσιες (Polar maritime-Pm)
- Τροπικές ηπειρωτικές (Tropical continental-Tc)
- Τροπικές θαλάσσιες (Tropical Maritime-Tm)
- Ισημερινές (Equatorial-E)

1. Αρκτικές (A)

Οι πηγές των αερίων αυτών μαζών είναι οι αρκτικές περιοχές, γύρω από τους πόλους. Τα κατώτερα στρώματά του είναι εξαιρετικά ψυχρά σ'όλες τις εποχές, ιδιαίτερα το χειμώνα. Όταν αυτές κινούνται προς μικρότερα πλάτη πάνω από θάλασσες, τότε θερμαίνονται από κάτω, παραλαμβάνουν μεγάλες ποσότητες υδρατμών, γίνονται ασταθείς και δημιουργούν νέφη. Αυτές οι αέριες μάζες είναι συνήθως ξηρές και πολύ ψυχρές και ευσταθείς στα κατώτερα στρώματα.

2. Πολικές ηπειρωτικές (Pc)

Οι πολικές ηπειρωτικές μάζες δημιουργούνται πάνω από ηπειρωτικές περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (Σιβηρία, Καναδάς). Αυτές είναι ψυχρές και ξηρές σ'όλες τις εποχές και ιδιαίτερα το χειμώνα, γιατί οι πηγές δημιουργίας τους καλύπτονται από πάγους και χιόνια τους περισσότερους μήνες του έτους. Οι αέριες αυτές μάζες, όταν κινούνται προς μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, γίνονται ασταθείς. Εξαιτίας της ξηρότητάς τους δημιουργούν μικρή νέφωση από μεμονομένους σωρείτες και σπάνια από σωρειτομελανίες. Αν περάσουν πάνω από θαλάσσιες περιοχές, τότε παραλαμβάνουν μεγαλύτερες ποσότητες υδρατμών και θερμαίνονται περισσότερο. Οι πολικές ηπειρωτικές αέριες μάζες βρίσκονται σε γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 40° και 60° και είναι γενικά πιο θερμές από τις αρκτικές.

3. Πολικές θαλάσσιες (Pm)

Οι πολικές θαλάσσιες αέριες μάζες έχουν πηγές τους τις θαλάσσιες περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Τα κύρια γνωρίσματα αυτών είναι η

μικρή τιμή της θερμοκρασίας και η μεγάλη τιμή της υγρασίας. Το χειμώνα, οι πολικές θαλάσσιες είναι θερμότερες από τις πολικές ηπειρωτικές και μάλιστα στα επιφανειακά στρώματα, με αποτέλεσμα η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα της θερμοκρασίας και υγρασίας να είναι μεγάλη και να δημιουργείται έντονη αστάθεια. Οι πολικές θαλάσσιες χαρακτηρίζονται από ισχυρές βροχές, αναταράξεις, βίαιους ανέμους και νέφωση.

4. Τροπικές ηπειρωτικές (Tc)

Πηγές των ηπειρωτικών τροπικών αποτελούν οι ηπειρωτικές περιοχές των μέσων και κατωτέρων γεωγραφικών πλατών. Χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές της θερμοκρασίας και μικρή τιμή της απόλυτης και σχετικής υγρασίας. Για το λόγο αυτό, αυτές συνοδεύονται από μικρή νέφωση και πολύ λίγα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Αν συμβεί να κινούνται πάνω από θαλάσσιες περιοχές, τότε η υγρομετρική τους κατάσταση μεταβάλλεται και μετασχηματίζονται σε τροπικές θαλάσσιες.

5. Τροπικές θαλάσσιες (Tm)

Οι τροπικές θαλάσσιες αέριες μάζες έχουν πηγή τους τις θαλάσσιες εκτάσεις των μέσων και κατωτέρων γεωγραφικών πλατών. Είναι θερμές και υγρές αέριες μάζες, σ' όλη τους την έκταση. Όταν οι τροπικές θαλάσσιες μετακινούνται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, τότε αυτές γίνονται ασταθείς και προκαλούν βροχές, ιδιαίτερα στα παράκτια τμήματα των περιοχών. Κατά την επικράτηση τους η ορατότητα είναι μικρή, η υγρασία μεγάλη, οι άνεμοι σταθεροί και οι ατμοσφαιρικές διαταράξεις ασθενείς.

6. Ισημερινές (E)

Πηγή των αερίων αυτών μαζών είναι η ισημερινή περιοχή. Αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας, καθώς και μεγάλο βαθμό αστάθειας.

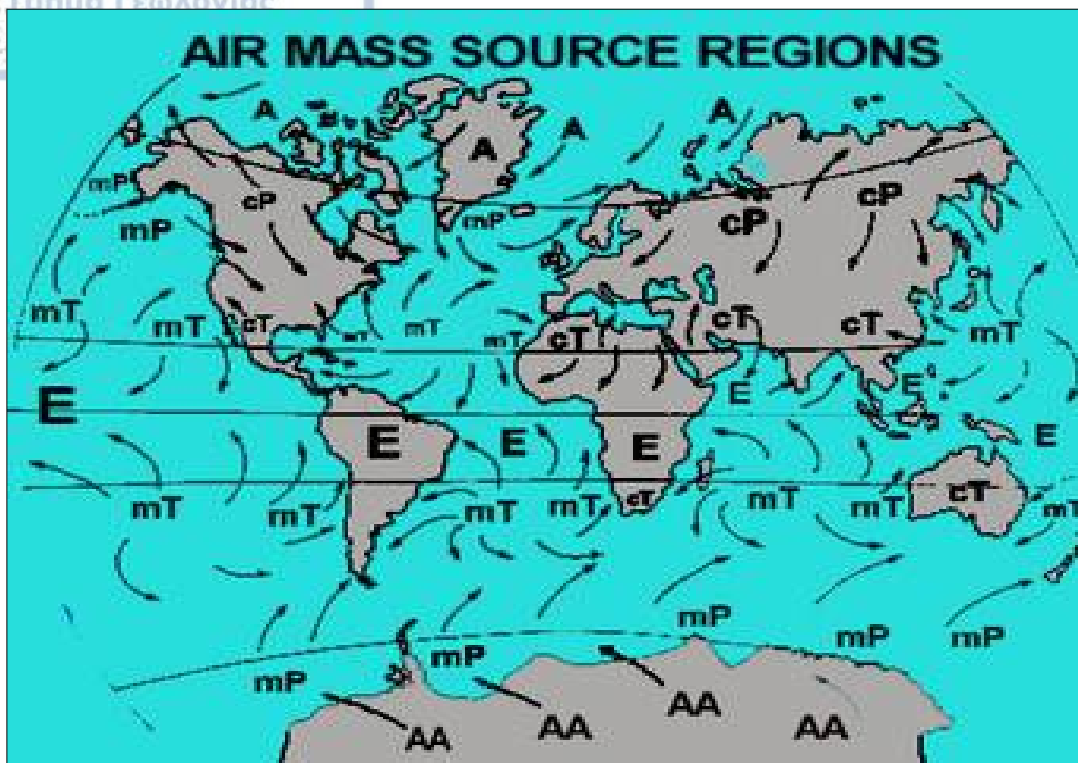


Μια ηπειρωτική αέρια μάζα (c) κινούμενη πάνω από θαλάσσια περιοχή μπορεί να εμπλουτισθεί με υδρατμούς και να μετατραπεί σε θαλάσσια (m). Το αντίστροφο όμως συμβαίνει πολύ δύσκολα.

Τέλος, αν μέσα σε μία αέρια μάζα οι δυναμικές επιδράσεις συντελούν στη διατήρηση της ευστάθειας, τότε η αέρια μάζα χαρακτηρίζεται με το σύμβολο s, ενώ αν γίνεται ασταθής, τότε χαρακτηρίζεται με το γράμμα u.

1.6 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ

Οι ιδανικές συνθήκες για τη δημιουργία μίας αέριας μάζας είναι η στασιμότητα του αέρα πάνω από μια ομοιόμορφη επιφάνεια (νερό, έδαφος ή παγοκάλυμμα) με ομοιογενή χαρακτηριστικά θερμοκρασίας και υγρασίας. Το χρονικό διάστημα που η αέρια μάζα παραμένει στάσιμη πάνω από μια περιοχή εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Από την επιφάνεια μέχρι τα ανώτερα επίπεδα, μια τέτοια αέρια μάζα αποκτά συγκεκριμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά τα οποία είναι ομοιογενή σε κάθε επίπεδο. Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, οι χερσαίες και οι θαλάσσιες περιοχές με τη σχετικά απότομη θερμοβαθμίδα δεν είναι γενικά αρκετά ομοιογενείς για να αποτελέσουν περιοχές προέλευσης. Αυτές οι περιοχές λειτουργούν ως μεταβατικές ζώνες για τις αέριες μάζες αφού έχουν εγκαταλείψει τις πηγές προέλευσης. Οι περιοχές προέλευσης για τις παγκόσμιες αέριες μάζες παρουσιάζονται στο σχήμα 1.2. Η ομοιομορφία των υποκείμενων επιφανειών υποδηλώνουν τις σχετικά ομοιόμορφες κλιματικές συνθήκες στις διάφορες περιοχές προέλευσης, όπως ο Ειρηνικός Ωκεανός και το νότιο τμήμα του βόρειου Ατλαντικού για τις θαλάσσιες τροπικές αέριες μάζες και οι εσωτερικές περιοχές της Βόρειας Αμερικής και της Ασίας για τις ηπειρωτικές πολικές αέριες μάζες.



Σχήμα 1.2 Πηγές προέλευσης αερίων μαζών

1.7 ΑΕΡΙΕΣ ΜΑΖΕΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

Η Μεσόγειος θάλασσα φέρει ιδιάζοντα χαρακτηριστικά, λόγω του κλειστού σχήματος, αλλά και λόγω του ότι είναι σχεδόν αποκομμένη, από την φυσική κυκλοφορία του Ατλαντικού ωκεανού. Οι αέριες μάζες που φθάνουν στη Μεσόγειο έχουν υποστεί διαφοροποιήσεις, που είναι συχνά σημαντικές. Κατά την κίνησή τους προς την χώρα μας, τα χαρακτηριστικά (θερμοκρασία, υγρασία, κ.λπ.) των αερίων μαζών τροποποιούνται ανάλογα με την ακολουθούμενη διαδρομή. Επιπρόσθετα, η ίδια η λεκάνη της μεσογείου μπορεί να θεωρηθεί και σαν περιοχή - πηγή ενός τύπου αέριας μάζας.

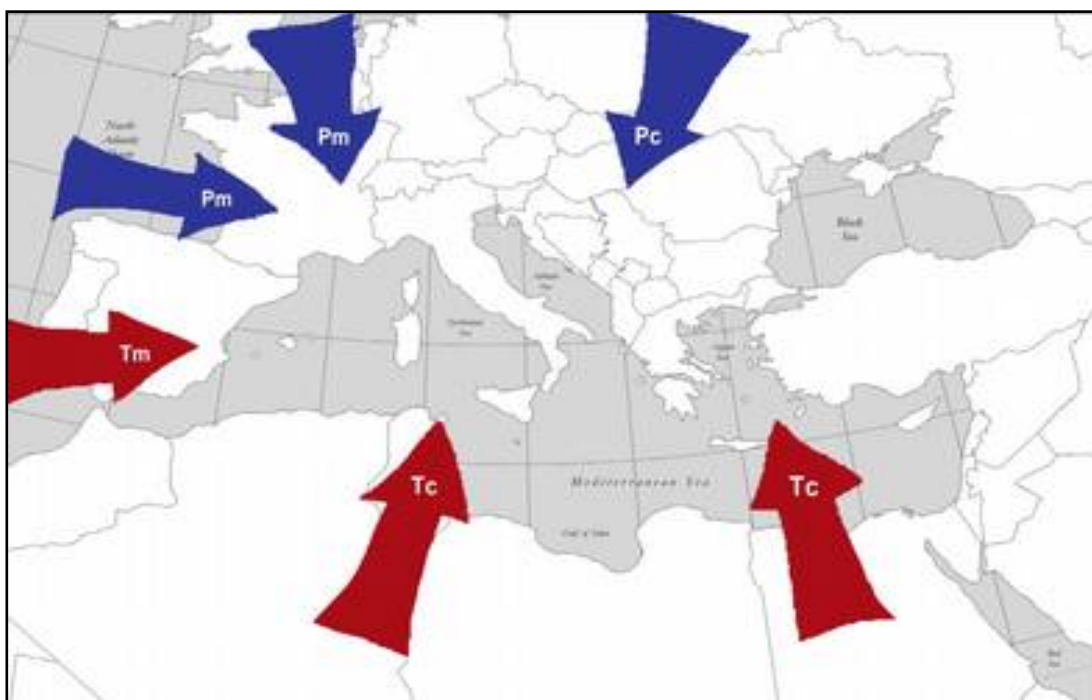
Οι κυριότερες αέριες μάζες που εισέρχονται και επηρεάζουν το χώρο της Μεσογείου είναι (σχήμα 1.3):

- Τροποποιημένη θαλάσσια πολική (Pmt)

Πρόκειται για θαλάσσιο πολικό αέρα, που μετακινήθηκε για αρκετό χρόνο πάνω από θερμή θάλασσα. Ο αέρας που εισέρχεται στη Μεσόγειο έχει ξεκινήσει από τη θαλάσσια περιοχή δυτικά και νότια της Γροιλανδίας και έχει μετακινηθεί στη γειτονιά των Αζόρων ή των Μαδέιρα και των γύρω περιοχών, προς τα νότια μέχρι περίπου τις 44° Β.

- Μεσογειακή αέρια μάζα (M)

Αυτή η αέρια μάζα είναι θερμή, υγρή και ασταθής. Προέρχεται είτε από τροποποίηση πολικής είτε από τροποποίηση τροπικής αέριας μάζας. Οι αέριες μάζες, που φτάνουν στον περιβάλλοντα χώρο της Μεσογείου, τροποποιούνται στα κατώτερα στρώματα και όταν παραμείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στην περιοχή της Μεσογείου αποκτούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της.



Σχήμα 1.3 Πηγές και διαδρομή αερίων μαζών που επηρεάζουν την θερμή περίοδο τη Μεσόγειο.

1.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Μεγάλο ενδιαφέρον υπήρξε στο παρελθόν για τη μελέτη των αερίων μαζών και τον υπολογισμό των τροχιών τους καθώς η ανάλυση τους εφαρμόζεται σε πολλούς κύριους τομείς όπως η γεωργική παραγωγή (Jones και Davis, 2000), η ατμοσφαιρική ρύπανση (Kalkstein και Corrigan, 1986) και η υγεία (McGregor, 1999, Kysly και Hyth, 2004). Οι περισσότερες από τις έρευνες συνήθως επικεντρώνονται στη μεταφορά ρυπογόνων ουσιών μέσω των τροχιών των αερίων μαζών. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από τις μελέτες.

Το 2004 οι Marco Morabito et.al δημοσίευσαν μια μελέτη που βασίζεται στην ταξινόμηση των τύπων των αερίων μαζών και έδειξαν σημαντική συσχέτιση με τις εισαγωγές σε εμφράγματα του μυοκαρδίου. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ του κινδύνου εισαγωγής στο νοσοκομείο για έμφραγμα του μυοκαρδίου και των ημερήσιων καιρικών συνθηκών, σε μια συνοπτική κλιματολογική προσέγγιση. Οι αναλύσεις αναφέρονται στη χρονική περίοδο 1998-2003 για την περιοχή της Φλωρεντίας και σύμφωνα με τα αποτελέσματα προέκυψαν δυο αντικυκλωνικοί τύποι και δυο κυκλωνικοί τύποι αερίων μαζών, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με εισαγωγές σε νοσοκομεία για περιπτώσεις εμφράγματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Το 2005 οι Makra et.al δημοσίευσαν μια εργασία η οποία προσδιόριζε τους τύπους των αερίων μαζών στην περιοχή των Καρπαθίων για το χειμώνα και το καλοκαίρι με βάση τα επίπεδα των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων, για τη χρονική περίοδο 1997-2001. Ο κύριος στόχος της μελέτης ήταν η ανάπτυξη μιας αντικειμενικής και αξιόπιστης ταξινόμησης των αερίων μαζών που επικρατούν στην πόλη Szeged της Ουγγαρίας, μέσω της εφαρμογής πολυμεταβλητών στατιστικών μεθόδων. Σύμφωνα με την ομαδοποίηση των αερίων μαζών καθορίστηκαν οι επικρατέστεροι τύποι πάνω από τη λεκάνη των Καρπαθίων και εντοπίστηκε η σχέση μεταξύ των αερίων μαζών και του επιπέδου των ατμοσφαιρικών ρύπων στο κέντρο του Szeged . Κατά τη διάρκεια του χειμώνα εντοπίστηκαν πέντε τύποι αερίων μαζών με υψηλές συγκεντρώσεις πρωτογενών ρύπων, οι οποίοι παρουσιάζουν υψηλή ακτινοβολία και μικρή ταχύτητα ανέμου.

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι αντικυκλώνες και οι ράχες υψηλών πιέσεων βρίσκονται πάνω στη λεκάνη των Καρπαθίων με αποτέλεσμα οι δευτερογενείς ρύποι να είναι εξαιρετικά εμπλουτισμένοι λόγω της υψηλής ακτινοβολίας και των χαμηλών επιπέδων ΝΟ.

Μια ακόμη παρόμοια έρευνα για την περιοχή των Καρπαθίων, επίσης από τους Makra et.al (2006) συσχέτισε τους τύπους των αερίων μαζών με τα επίπεδα γύρης των φυτών για τη χρονική περίοδο 1997-2001. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ανιχνεύθηκαν 9 τύποι αερίων μαζών για τις περιόδους επικοινωνίας του έτους. Η μελέτη του επιπέδου γύρης των φυτών σε σχέση με τα μετεωρολογικά στοιχεία είναι πολύ σημαντική λόγω της σύνδεσής της με κρούσματα αλλεργιών.

Ακολούθως το 2007 πραγματοποιείται μια μελέτη για τους κυρίαρχους τύπους των αερίων μαζών κατά μήκος των ακτών της Νέας Αγγλίας, κατά το καλοκαίρι του 2004 (Ming Chen et al, 2007). Οι αντιπροσωπευτικοί τύποι των αερίων μαζών καθορίστηκαν με βάση τη μεταβλητότητα της εμφάνισης πτητικών οργανικών ενώσεων και ταξινομήθηκαν περαιτέρω σε διαφορετικές κατηγορίες που σχετίζονται με την περιοχή προέλευσης.

Παράλληλα, το ίδιο έτος, παρουσιάζεται από τον Victor Estelles (2007), μια ακόμη μελέτη αναφορικά με την επίδραση των αερίων μαζών στα χαρακτηριστικά των αερολυμάτων στη Βαλένθια της Ισπανίας. Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη ταξινόμηση με βάση τις θερμοδυναμικές ιδιότητες των αερίων μαζών για την ανάπτυξη ενός απλού μοντέλου για τον χαρακτηρισμό των αερίων μαζών σύμφωνα με τον χρόνο παραμονής τους σε κάθε περιοχή. Τα αποτελέσματα αυτής της ταξινόμησης έδειξαν ότι το οπτικό βάθος εξαρτάται σημαντικά από την προέλευση των αερίων μαζών. Οι υψηλότερες τιμές θολότητας βρέθηκαν όταν η κυρίαρχη αέρια μάζα προέρχεται από τη Βόρεια Αφρική, ενώ οι ελάχιστες τιμές όταν οι αέριες μάζες ήταν πολικού-αρктиκού τύπου.

Το 2008 οι C. Toledano et al. δημοσίευσαν μια μελέτη στην περιοχή του El Arenosillo (Ισπανία). Το επίκεντρο αυτής της μελέτης ήταν αρχικά η ταξινόμηση

των αερίων μαζών μέσω της ανάλυσης των οπισθοτροχιών και δεύτερον ο χαρακτηρισμός του φασματικού οπτικού βάθους των αερολυμάτων σε κάθε αέρια μάζα που φτάνει το El Arenosillo για τη χρονική περίοδο 2000-2004.

Το 2013 παρουσιάζεται μια εργασία από τους στην ευρύτερη περιοχή της Νότιας Πολωνίας όπου διερευνάται η μεταβλητότητα της εμφάνισης των αερίων μαζών, εξετάζοντας τις ετήσιες και εποχιακές συχνότητες, την εμμονή και τη διαδοχική ακολουθία κατά τη χρονική περίοδο 1951-2010. Η μελέτη η οποία βασίστηκε σε ένα ημερολόγιο αερίων μαζών στη Νότια Πολωνία που δημοσιεύτηκε από τον T. Niedznte καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει απλή σχέση μεταξύ της εμμονής και της συχνότητας των συγκεκριμένων αερίων μαζών στην περιοχή.

ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Ο βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός των χαρακτηριστικών αερίων μαζών που επικρατούν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης σε εποχιακή βάση.
- Πιο αναλυτικά, για κάθε αέρια μάζα κατασκευάστηκαν χάρτες που απεικονίζουν τις οπισθοτροχιές τους για κάθε εποχή.
- Η βάση δεδομένων αποτελείται από ημερήσιες τιμές πέντε μετεωρολογικών παραμέτρων για την περίοδο 1981-2010.
- Επιπλέον, ο αντικειμενικός ορισμός των αερίων μαζών έγινε με τη χρήση της μεθόδου Two Step Cluster Analysis (TSCA).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

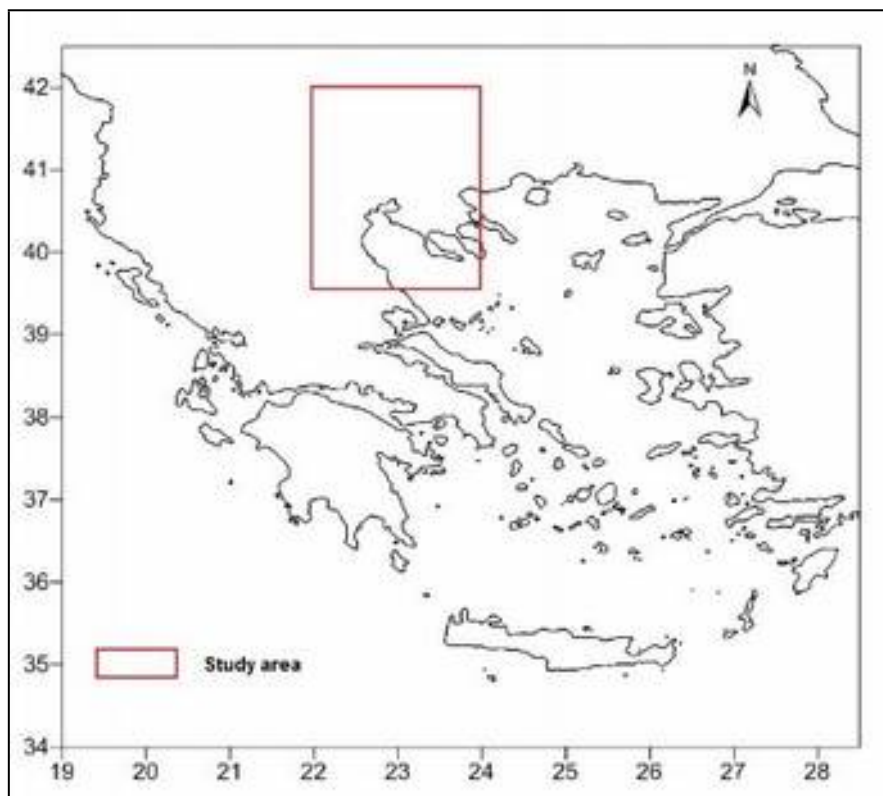
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη μελέτη και την ανάλυση των αερίων μαζών περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό μετεωρολογικών παραμέτρων σε 15 διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα (από τα 1000hPa έως τα 150hPa) και στην επιφάνεια του εδάφους (2 μέτρα). Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι η θερμοκρασία αέρα, η θερμοκρασία σημείου δρόσου, η σχετική υγρασία, ο άνεμος και ο δυναμικός στροβιλισμός (πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1 Μετεωρολογικές παράμετροι

Pressure levels	Temperature	Dew point Temperature	U,V wind component	Relative humidity
Surface	2m	2m	10m	
1000	+		+	+
975	+		+	+
950	+		+	+
925	+		+	+
900	+		+	+
850	+		+	+
800	+		+	+
750	+		+	+
600	+		+	+
500	+		+	+
400	+		+	+
300	+		+	+
200	+		+	+
150	+		+	+
2PVU	Geopotential height			

Τα δεδομένα αναφέρονται σε ημερήσιες τιμές και προέρχονται από το Ευρωπαϊκό κέντρο μεσοπρόθεσμων προγνώσεων καιρού (European centre for medium-range weather forecasts, ECMWF) και αφορούν στη χρονική περίοδο 30 ετών 1981-2010.

Στο παρακάτω σχήμα 2.1 δίνεται η περιοχή μελέτης η οποία καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και εκτείνεται μεταξύ των γεωγραφικών μηκών 22° Α και 24° Α και μεταξύ των γεωγραφικών πλατών $39,5^{\circ}$ Β και 42° Β. Η χωρική ανάλυση είναι $1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$ και η χρονική ανάλυση είναι 6 ώρες (00, 06, 12, 18 UTC).



Σχήμα 2.1 Χάρτης εξεταζόμενης περιοχής



Πιο συγκεκριμένα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα (reanalysis) ERA-Interim. Τα δεδομένα αυτά, αποτελούν μια παγκόσμια βάση δεδομένων και καλύπτουν μια περίοδο από το 1979 μέχρι και σήμερα. Η επανάλυση είναι μια ιστορική σειρά μετεωρολογικών παρατηρήσεων χρησιμοποιώντας ένα αμετάβλητο σύστημα αφομείωσης.

Πρωταρχικός στόχος της βάσης δεδομένων ERA-Interim είναι η αντιμετώπιση ορισμένων προβλημάτων αφομοίωσης δεδομένων που παρουσίαζε η προηγούμενη βάση δεδομένων ERA-40. Αυτά αφορούν κυρίως την αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου, την κυκλοφορία της στρατόσφαιρας και τη χρονική συνοχή των γεωδυναμικών πεδίων.

Ένας δεύτερος στόχος ήταν η βελτίωση διαφόρων τεχνικών προβλημάτων όπως η επιλογή των δεδομένων, ο έλεγχος ποιότητας και η διόρθωση σφαλμάτων όπου μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα των αποτελεσμάτων της επανάλυσης.

Το ατμοσφαιρικό μοντέλο και σύστημα επανάλυσης ERA-Interim χρησιμοποιεί τον κύκλο 31r2 του IFS (Integrated Forecast System) που αναπτύχθηκε από το ECMWF. Συγκεκριμένα το μοντέλο περιλαμβάνει

- 60 κατακόρυφα επίπεδα, με το ανώτερο επίπεδο στα 0,1hPa
- Σφαιρική αρμονική αναπαράσταση (T255) των βασικών δυναμικών πεδίων
- Μειωμένο γκαουσιανό πλέγμα

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το σημείο πλέγματος που βρίσκεται στις συντεταγμένες 25,5° γ.μήκος και 35,25° γ.πλάτος. Η χωρική ανάλυση είναι 1,5° x 1,5° και η χωρική ανάλυση είναι 6 ώρες (00, 06, 12, 18 UTC).

Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί στη συγκεκριμένη διατριβή περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Αποκωδικοποίηση δεδομένων μέσω του προγράμματος Excel
- Έλεγχος αναστροφής στην ανώτερη και κατώτερη ατμόσφαιρα
- Ταξινόμηση των αερίων μαζών σε κλάσεις με την Two Step Cluster Analysis (TSCA) μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS
- Απεικόνιση των μετεωρολογικών μεταβλητών με τη μορφή θηκογραμμάτων
- Ανάλυση οπισθοτροχιών αερίων μαζών χρησιμοποιώντας το μοντέλο HYSPLIT
- Σχεδίαση και απεικόνιση της τροχιάς των αερίων μαζών με το πρόγραμμα SURFER 10

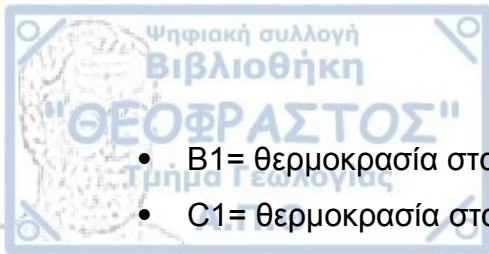
Όλα τα δεδομένα είναι σε μορφή Netcdf. Η αποκωδικοποίηση τους γίνεται με τη βοήθεια του προγράμματος Excel. Αρχικά γίνεται μετατροπή των 9 σημείων grid σε οριζόντιες γραμμές και στη συνέχεια εφαρμόζεται φίλτρο για τη διαγραφή κενών γραμμών. Από τα δεδομένα αυτά υπολογίζονται οι μέσες ημερήσιες τιμές για όλες τις παραμέτρους.

Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος αναστροφής στην κατώτερη και ανώτερη ατμόσφαιρα με τη χρήση μακροεντολής του Excel. Για την αναστροφή κοντά στην επιφάνεια, στα κατώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε η μεταβλητή της θερμοκρασίας σε 7 διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα (1000hPa, 975hPa, 950hPa, 925hPa, 900hPa, 850hPa, 800hPa) μέσω της παρακάτω συνάρτησης :

$$IF(AND(B1<A1;C1<B1;D1<C1;E1<D1;F1<E1;G1<F1);0;1)$$

Όπου

- A1= θερμοκρασία στα 1000hPa



- B1= θερμοκρασία στα 975hPa
- C1= θερμοκρασία στα 950hPa
- D1= θερμοκρασία στα 925hPa
- E1= θερμοκρασία στα 900hPa
- F1= θερμοκρασία στα 850hPa
- G1= θερμοκρασία στα 800hPa
- 0 = χωρίς αναστροφή
- 1 = με αναστροφή

Για την αναστροφή στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκε η θερμοκρασία σε 5 διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα (500hPa, 400hPa, 300hPa, 200hPa, 150hPa) μέσω των παρακάτω συναρτήσεων :

IF(AND(H1< I1; J1< H1);0;1)

IF(K1< J1;0;2)

IF(AND(L1< K1);0;3)

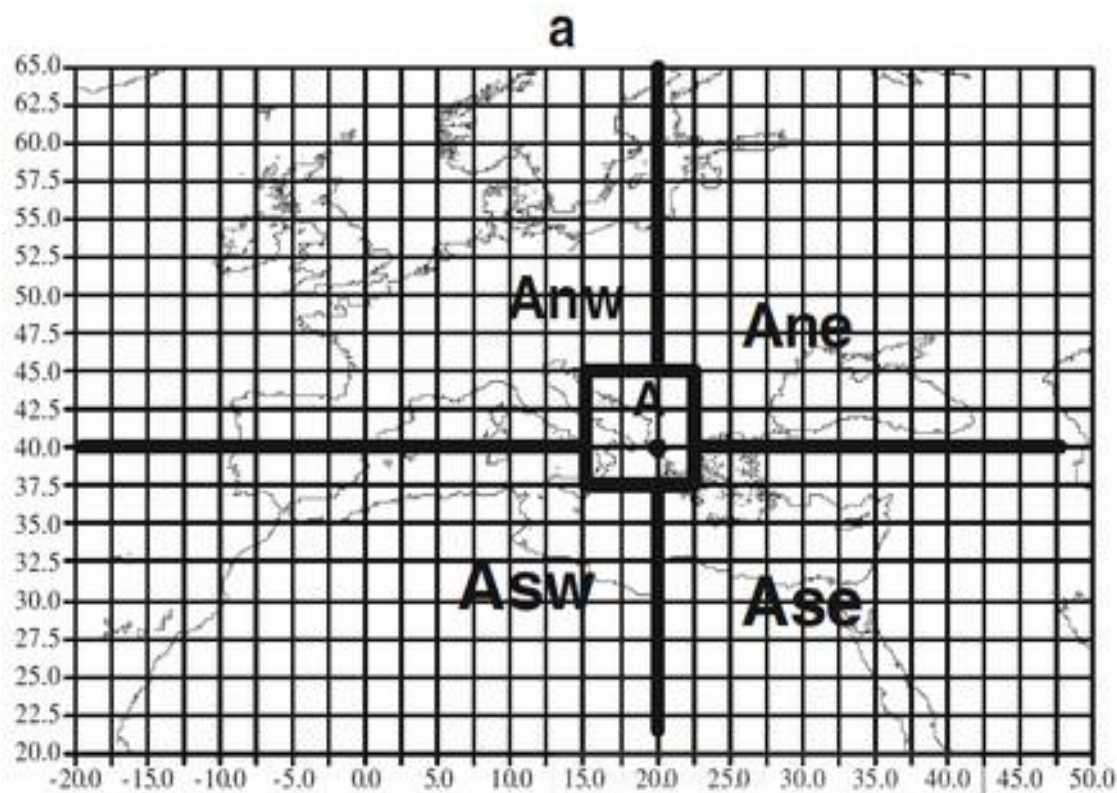
SUM(M1:O1)

Όπου

- H1= θερμοκρασία στα 500hPa
- I1= θερμοκρασία στα 400hPa
- J1= θερμοκρασία στα 300hPa
- K1= θερμοκρασία στα 200hPa
- L1= θερμοκρασία στα 150hPa
- 0 = χωρίς αναστροφή
- 1 = με αναστροφή στα 300hPa με 500hPa
- 2 = με αναστροφή στα 300hPa με 400hPa
- 3 = με αναστροφή στα 200hPa με 300hPa
- 5 = με αναστροφή στα 150hPa με 300hPa

2.2.1 ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Επιπλέον για την καλύτερη και λεπτομερέστερη μελέτη των αερίων μαζών, χρησιμοποιήθηκε σαν ποιοτικό χαρακτηριστικό στην ταξινόμηση και όχι στην ανάλυση, μια αυτόματη μέθοδος ταξινόμησης των τύπων κυκλοφορίας, προκειμένου να εντοπιστούν οι θέσεις των αντικυκλωνικών και κυκλωνικών κέντρων δράσης στον ελληνικό χώρο (Αναγνωστοπούλου et. al 2009). Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη, προκύπτουν 12 τύποι κυκλοφορίας, 5 αντικυκλωνικοί (A, Anw, Ane, Ase, Asw) και 7 κυκλωνικοί (C, Cne, Cse, Csw, Cwnw, Cpnw). Οι συγκεκριμένοι τύποι κυκλοφορίας απεικονίζουν τις συνοπτικές καταστάσεις πάνω από την περιοχή της Ευρώπης (σχήμα 2.2 και 2.3)



Σχήμα 2.2 Θέσεις των αντικυκλωνικών κέντρων δράσης (Anagnostopoulou, 2009)

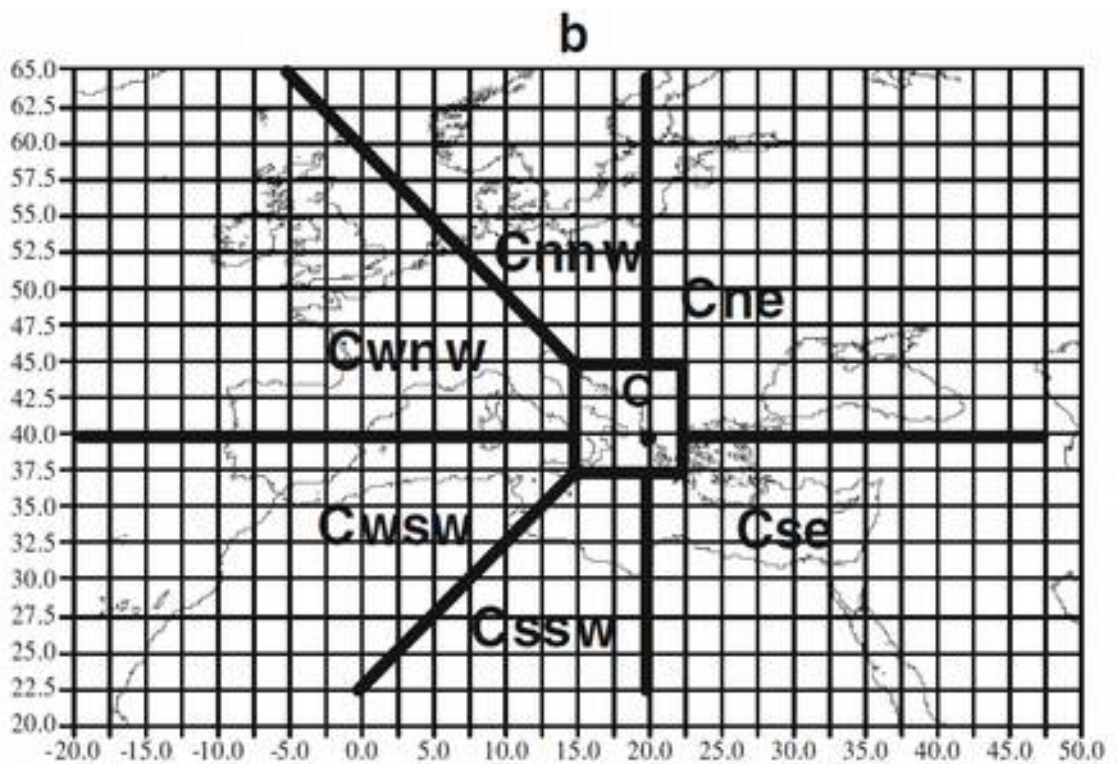
Περιγραφή των αντικυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας

- **Anw** Το αντικυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, πάνω από την κεντρική, δυτική ή βόρεια Ευρώπη. Ο άνεμος πάνω από την περιοχή μελέτης, στην επιφάνεια των 500 hPa προέρχεται από τα βόρεια τμήματα, με μεγαλύτερη ένταση κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου.
- **Ane** Το αντικυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, πάνω από την ανατολική Ευρώπη. Οι άνεμοι έχουν κυρίως βόρειες διευθύνσεις, παρόμοιες με το Anw αλλά με χαμηλότερες ταχύτητες.
- **A** Το αντικυκλωνικό κέντρο βρίσκεται πάνω από την περιοχή μελέτης όπου επικρατούν ασθενείς μεταβλητοί άνεμοι κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και σχετικά ισχυροί άνεμοι στην ψυχρή περίοδο του έτους.
- **Asw** Το αντικυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα δυτικά ή νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης, συνήθως πάνω από τη δυτική, κεντρική ή νοτιοδυτική λεκάνη της Μεσογείου ή τις βόρειες ακτές της Αφρικής. Αυτός ο τύπος χαρακτηρίζεται, στην επιφάνεια των 500 hPa, κυρίως από δυτικές ή βορειοδυτικές διευθύνσεις.
- **Ase** Το αντικυκλωνικό κέντρο βρίσκεται πάνω από το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Ο άνεμος πάνω από την περιοχή έχει κυρίως νότιες διευθύνσεις.

Περιγραφή των κυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας

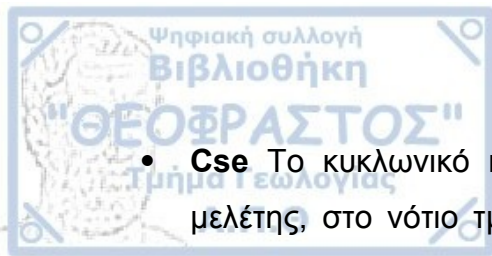
- **C** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται πάνω από την περιοχή μελέτης. Οι άνεμοι στην περιοχή προέρχονται κυρίως από τα βόρεια τμήματα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα το κέντρο των βαρομετρικών χαμηλών παρουσιάζει, κατά μέσο όρο, χαμηλότερες τιμές ατμοσφαιρικής πίεσης από ό, τι το καλοκαίρι και το φθινόπωρο

- **Cnnw** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης συνήθως στη δυτική και κεντρική Ευρώπη. Ο επικρατούμενος άνεμος στην περιοχή μελέτης έχει δυτική-νοτιοδυτική διεύθυνση.
- **Cwnw** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα δυτικά-βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης πάνω από την κεντρική Μεσόγειο ή τη βόρεια Αφρική, παράγοντας έντονη δυτική-νοτιοδυτική ροή στην περιοχή μελέτης.
- **Cssw** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα νότια-νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης, πάνω από τον κόλπο της Σύρτης. Ο άνεμος προέρχεται από τον νοτιοδυτικό τομέα.



Σχήμα 2.3 Θέσεις των κυκλωνικών κέντρων δράσης (Anagnostopoulou, 2009)

- **Csw** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα δυτικά-νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης πάνω από την δυτική Μεσόγειο ή τη βορειοδυτική Αφρική, παράγοντας έντονη νοτιοδυτική ροή στον ελληνικό χώρο



- **Cse** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης, στο νότιο τμήμα της ανατολικής Μεσογείου. Ο άνεμος έχει μια έντονη ροή βόρειων διευθύνσεων.
- **Cne** Το κυκλωνικό κέντρο βρίσκεται στα βορειοανατολικά της Ελλάδας (βόρεια τμήματα της Μαύρης Θάλασσας). Οι άνεμοι που επικρατούν προέρχονται κυρίως από τα βορειοδυτικά τμήματα.

2.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΣΥΣΤΑΔΕΣ ΣΕ ΔΥΟ ΒΗΜΑΤΑ TSCA (Two Step Cluster Analysis)

Για την ταξινόμηση των αερίων μαζών εφαρμόστηκε η ανάλυση κατά συστάδες σε 2 βήματα η οποία είναι διαθέσιμη από το στατιστικό πακέτο SPSS. Ο κύριος στόχος της ανάλυσης κατά συστάδες είναι η ομαδοποίηση των δεδομένων (παρατηρήσεων) σε μικρότερες υποομάδες (συστάδες), έτσι ώστε οι παρατηρήσεις σε κάθε συστάδα να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιογενείς, ενώ οι παρατηρήσεις διαφορετικών συστάδων να διαφέρουν όσο γίνεται περισσότερο (Wilks, 1995; Chan, 2005).

Η μέθοδος TSCA αναπτύχθηκε από τους Chiu et al. (2001) και αποτελείται από 2 στάδια:

1. Πρωταρχικό στάδιο ομαδοποίησης (pre-clustering)
2. Τελικό στάδιο ομαδοποίησης (clustering)

Το πρώτο βήμα της Two Step Cluster Analysis είναι η δημιουργία πρωταρχικών συστάδων που ακολουθεί μια σειριακή διαδικασία ομαδοποίησης έτσι ώστε να μειωθεί το μέγεθος του πίνακα που περιέχει τις αποστάσεις όλων των πιθανών ζευγαριών. Στο δεύτερο στάδιο οι πρωταρχικές συστάδες λαμβάνονται ως δεδομένα εισόδου και συγκεντρώνονται σχηματίζοντας τον τελικό αριθμό των συστάδων. Αφού βρεθεί το πλήθος των συστάδων στόχος είναι να καθοριστούν ποιες από τις ποσοτικές παραμέτρους που αποτελούν τις μεταβλητές εισόδου είναι σημαντικές για τη δημιουργία κάθε συστάδας.

Η TSCA είναι μια μέθοδος ανάλυσης με αρκετά πλεονεκτήματα. Με αυτή τη μέθοδο η επιλογή των συστάδων γίνεται αυτόματα, βασισμένη σε στατιστικά κριτήρια. Επίσης, δεν απαιτείται μεγάλη χωρητικότητα, μπορεί να δουλεύει ταυτόχρονα με ποιοτικές και ποσοτικές μεταβλητές και τέλος έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει και μεταβλητές που δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή.

2.2.3 ΘΗΚΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Στην περιγραφική στατιστική τα θηκογράμματα (ή αλλιώς Boxplots) είναι ένας τρόπος γραφικής απεικόνισης πέντε αριθμητικών δεδομένων μιας σειράς παρατηρήσεων.

- Ελάχιστη τιμή (min)
- 1^ο τεταρτομοριακό εύρος (Q1)
- Διάμεσος (Q2)
- 3^ο τεταρτομοριακό εύρος (Q3)
- Μέγιστη τιμή (max)

Το κυρίως «σώμα» ενός θηκογράμματος αποτελείται από ένα τετράπλευρο όπου στις κάθετες πλευρές τοποθετείται το πρώτο τεταρτημόριο Q1, το τρίτο τεταρτημόριο Q3 καθώς επίσης και η διάμεσος Q2. Σημειώνονται επίσης και δυο οριακές τιμές, η άνω οριακή (μέγιστη) και η κάτω οριακή τιμή (ελάχιστη) που δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις

$$X_{\max} = Q3 + 1,5 (Q3 - Q1) \text{ άνω οριακή}$$

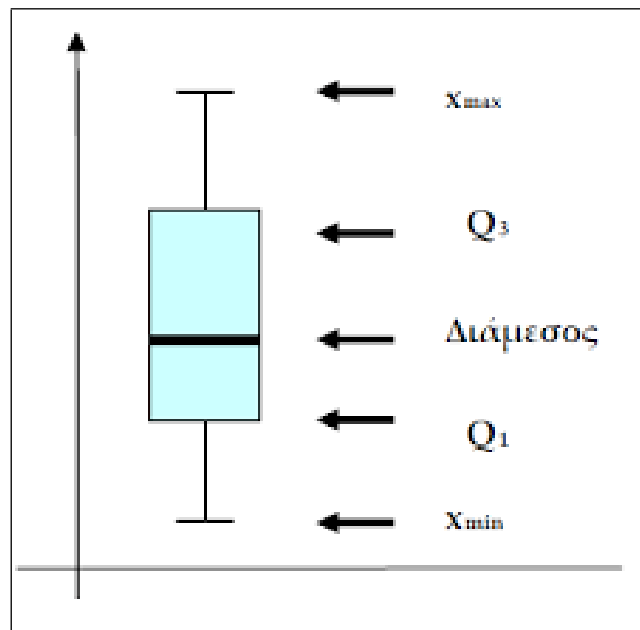
$$X_{\min} = Q1 - 1,5 (Q3 - Q1) \text{ κάτω οριακή}$$

Το θηκόγραμμα στο κυρίως σώμα του, δίνει το κεντρικό διάστημα των παρατηρήσεων μιας μεταβλητής, δηλαδή εκεί που βρίσκεται το 50% των

παρατηρήσεων (Σχήμα 2.4). Αν υπάρχουν παρατηρήσεις για την υπό μελέτη μεταβλητή X_i που βρίσκονται έξω από το εύρος των δυο οριακών τιμών, τότε αυτές καλούνται παράτυπες ή ακραίες τιμές και παριστάνονται με κάποιο ιδιαίτερο σύμβολο (π.χ ° ή *).

Το θηκόγραμμα είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη γραφική παράσταση διότι προσδιορίζει με άμεσο τρόπο

- Τη θέση των δεδομένων με τη διάμεσο
- Το μέγεθος της διασποράς των δεδομένων
- Την ύπαρξη ακραίων τιμών
- Την ασυμμετρία της κατανομής



Σχήμα 2.4

Γενική μορφή

θηκογράμματος (Boxplot)

2.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ HYSPLIT

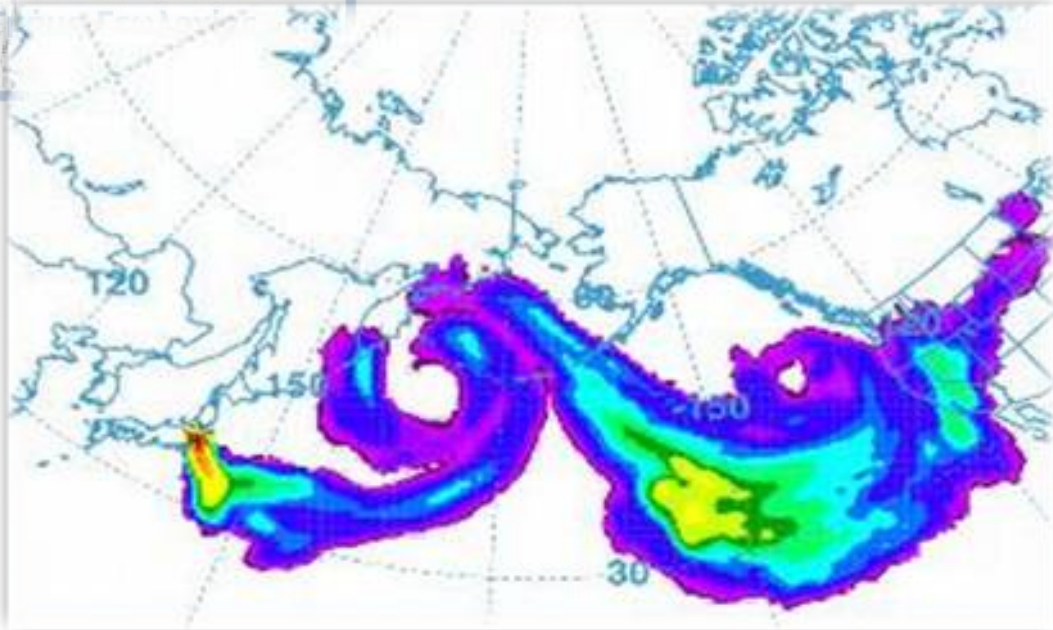
Το HYSplit είναι ένα υπολογιστικό μοντέλο το οποίο μπορεί να υπολογίζει από απλές οπισθοτροχιές αερίων μαζών μέχρι και συνθέτες προσομοιώσεις διασποράς και εναπόθεσης ρύπων. Το μοντέλο χρησιμοποιεί πλεγματικά μετεωρολογικά δεδομένα σε μια από τις τρεις χαρτογραφικές προβολές (πολική, λάμπερτ, μερκατορική). Αναπτύχθηκε μέσω της συνεργασίας του εθνικού οργανισμού NOAA των ΗΠΑ και της μετεωρολογικής υπηρεσίας της Αυστραλίας και έχει εξελιχθεί αρκετά την τελευταία δεκαετία.

Η αρχική έκδοση του μοντέλου χρησιμοποιούσε μόνο παρατηρήσεις ραδιοβολίσεων και θεωρήθηκε ότι υπήρχε ομοιόμορφη ανάμιξη διασποράς ρύπων κατά τη διάρκεια της ημέρας και καθόλου ανάμιξη τη νύχτα. Στην τρίτη έκδοση η χρήση δεδομένων ραδιοβόλισης αντικαταστάθηκε από πλεγματικά μετεωρολογικά δεδομένα από βραχυπρόθεσμες προβλέψεις και από μοντέλα αριθμητικής πρόγνωσης καιρού.

Στην 4η έκδοση οι αλγόριθμοι της οριζόντιας μεταφοράς έχουν αναβαθμιστεί ώστε να περιλαμβάνουν τη χρονική παρεμβολή. Επίσης έχει προστεθεί μια τρισδιάστατη διασπορά σωματιδίων που υπολογίζει συγκεντρώσεις αερίων από τη διασπορά ενός σταθερού αριθμού σωματιδίων (Σχήμα 2.54).

Το μοντέλο Hysplit περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών:

- Ανάλυση οπισθοτροχιών για τον προσδιορισμό της προέλευσης των αερίων μαζών
- Προσομοιώσεις που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική μεταφορά και εναπόθεση ρύπων και επικίνδυνων υλικών
- Παρακολούθηση και πρόβλεψη απελευθέρωσης ραδιενεργών υλικών, καπνού πυρκαγιάς, σκόνης ανεμοστρόβιλου, αλλεργιογόνων και ηφαιστειακής τέφρας.



Σχήμα 2.5 Απεικόνιση οπισθοτροχιάς αερίων μαζών

Για τον προσδιορισμό της οπισθοτροχιάς των αερίων μαζών υπολογίζεται η διασπορά των παραμέτρων ακολουθώντας την αέρια μάζα. Η μεταφορά των σωματιδίων υπολογίζεται από τον μέσο όρο των τρισδιάστατων διανυσμάτων ταχύτητας της αρχικής θέσης $P(t)$ και της υποθετικής αρχικής θέσης $P'(t+\Delta t)$. Τα διανύσματα της ταχύτητας παρεμβάλλονται γραμμικά τόσο σε χώρο όσο και σε χρόνο. Η τελική θέση υπολογίζεται από τη μέση ταχύτητα στην αρχική θέση P και την πρώτη παράγωγο P'

$$P(t+\Delta t) = P(t) + 0.5 [V(P,t) + V(P',t+\Delta t)] \Delta t,$$

$$P'(t+\Delta t) = P(t) + V(P,t) \Delta t$$

όπου V είναι η ταχύτητα της αέριας μάζας και t ο χρόνος

Τα πεδία εξόδου των μετεωρολογικών μοντέλων συνήθως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας στα μοντέλα διασποράς χωρίς κάποια επεξεργασία. Για να διατηρηθεί η ευελιξία στη δομή του μοντέλου διασποράς και να υπάρχει η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών πηγών μετεωρολογικών δεδομένων εισόδου.



Τα δεδομένα παραμένουν σε ένα οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων και παρεμβάλλονται σε εσωτερικό πεδίο ακολουθώντας κατακόρυφο σύστημα συντεταγμένων.

$$\sigma = (Z_{\text{top}} - Z_{\text{msl}}) / (Z_{\text{top}} - Z_{\text{gl}})$$

όπου Z_{top} η κορυφή του συστήματος συντεταγμένων του μοντέλου διασποράς, Z_{msl} το ύψος του εσωτερικού πεδίου συντεταγμένων και Z_{gl} το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας. Τα εσωτερικά ύψη του μοντέλου μπορούν να επιλεγούν σε οποιοδήποτε διάστημα, ωστόσο καθορίστηκε μια σχέση 2^{ου} βαθμού μεταξύ του ύψους και του επιπέδου του μοντέλου, ώστε το ύψος κάθε επιπέδου σε σχέση με έναν εσωτερικό δείκτη k του μοντέλου να ορίζεται σύμφωνα με τη σχέση

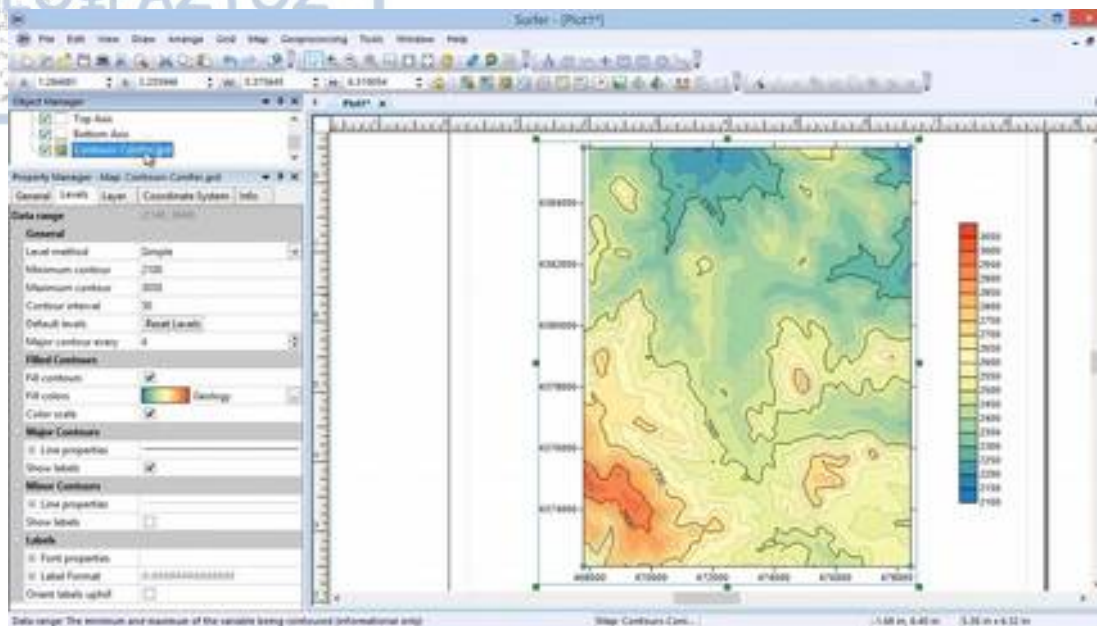
$$z = ak^2 + bk + c$$

όπου $a=30$, $b=-25$ και $c=5$

Ως δεδομένα εισόδου το μοντέλο παρέχει την ατμοσφαιρική πίεση, τις συντεταγμένες, τη θερμοκρασία, τη δυναμική θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, τη σχετική υγρασία και εικόνες τροχιάς σε γεωγραφικό χάρτη και απεικόνιση της μεταβολής του ύψους της αέριας μάζας με το χρόνο.

2.2.5 SURFER

Για την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το Surfer (έκδοση 10). Το Surfer είναι ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε από την Golden Software είναι ένα τρισδιάστατο πρόγραμμα απεικόνισης και σχεδίασης. Χρησιμοποιείται για ανάλυση επιφάνειας, σχεδίαση χαρτών και αναπαράσταση τοπίων (Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6 Χάρτης ισουψών καμπυλών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ανάλυση και η μελέτη όλων των μετεωρολογικών μεταβλητών των αερίων μαζών για την περιοχή μελέτης.

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το SPSS, το STATISTICA και το EXCEL. Η Two Step Cluster Analysis (TSCA) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ομάδων των οποίων η συμπεριφορά των μετεωρολογικών μεταβλητών ήταν παρόμοια.

Οι 15 μετεωρολογικές παράμετροι για τη χρονική περίοδο 1981-2010 χρησιμοποιήθηκαν ως μεταβλητές εισόδου. Για να γίνει η περιγραφή και η ταξινόμηση της κάθε εποχής που χαρακτηρίζει τον κάθε τύπο αέριας μάζας, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των ημερήσιων μετεωρολογικών μεταβλητών.

Επίσης, η ανάλυση των τροχιών των αερίων μαζών μέσω του μοντέλου HYSPLIT παρέχει μια εναλλακτική δυνατότητα μελέτης τους. Για τέτοιες εφαρμογές τα Λαγκραζιανά μοντέλα, που διαιρούν την ατμόσφαιρα σε ένα πεπερασμένο αριθμό τμημάτων του αέρα σύμφωνα με τρισδιάστατους ανέμους, είναι πολύ χρήσιμα.

Για την καλύτερη και λεπτομερέστερη μελέτη των αερίων μαζών η ανάλυση έγινε σε εποχιακή βάση, όπου προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά τους καθώς και οι περιοχές προέλευσής τους για κάθε εποχή ξεχωριστά.

Σημειώνεται ότι για την περίοδο του χειμώνα χρησιμοποιείται ο Δεκέμβριος του προηγούμενου έτους.

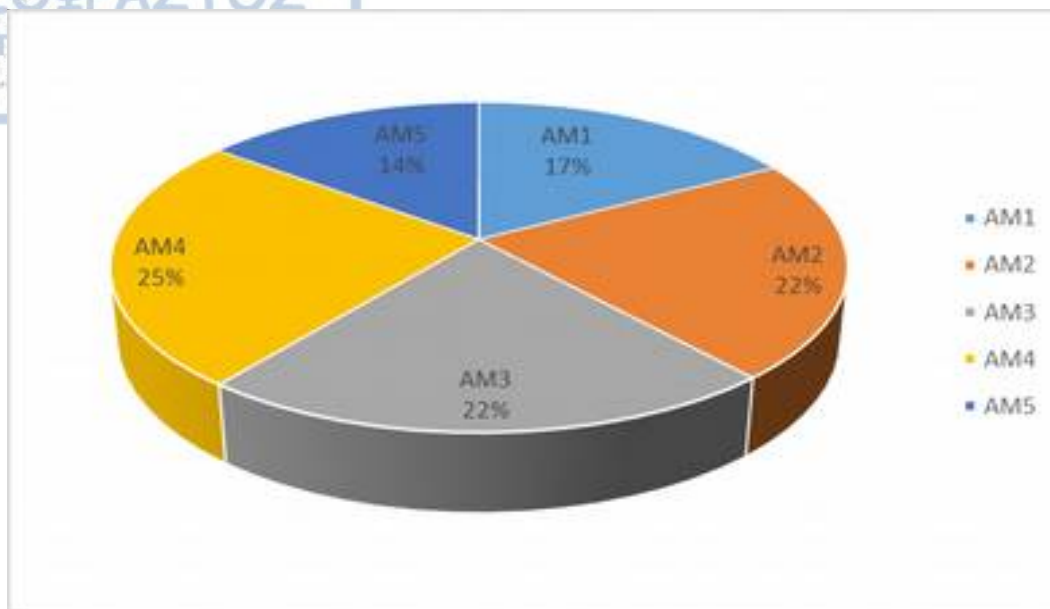
Αρχικά, η εφαρμογή της Two Step Cluster Analysis (TSCA) για την περίοδο του χειμώνα έδωσε 5 ομάδες που αντιπροσωπεύουν τις πιο χαρακτηριστικές αέριες μάζες πάνω από τη Θεσσαλονίκη.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι συχνότητες εμφάνισης των 5 αερίων μαζών για τη χρονική περίοδο μελέτης 1981-2010.

Πίνακας 3.1 Συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (χειμώνας)

Αέρια μάζα	Συχνότητα
AM1	461
AM2	584
AM3	596
AM4	672
AM5	394

Οι σχετικές συχνότητες των αερίων μαζών απεικονίζονται στο σχήμα 3.1. Τα ποσοστά των ημερών εμφάνισης των αερίων μαζών κυμαίνονται από 14% μέχρι 25%. Παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης με ποσοστό 25% παρουσιάζει η AM4, με συνολικά 672 περιπτώσεις κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι αέριες μάζες AM1 και AM5 παρουσιάζουν τα χαμηλότερα ποσοστά 17% και 14% αντίστοιχα. Περίπου την ίδια συχνότητα παρουσιάζουν οι αέριες μάζες AM2 και AM3 με 584 και 596 ημέρες εμφάνισης αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1 Σχετικές συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (χειμώνας)

Τα κύρια χαρακτηριστικά των 5 αερίων μαζών που κυριαρχούν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης φαίνονται στον πίνακα 3.2, ο οποίος αποτυπώνει τις μέσες τιμές των 6 μετεωρολογικών παραμέτρων των αερίων μαζών.

Πίνακας 3.2 Μέσες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών για τις 5 αέριες μάζες (χειμώνας)

	Επιφανειακή Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία 850hPa (°C)	Δυναμικός στροβιλισμός (gpm)	Σχετ.Υγρασία 1000hPa (%)	Σχετ.Υγρασία 850hPa (%)	Επιφανειακός άνεμος (m/s)
AM1	3,6	-5,4	8691	57,5	67,7	4,0
AM2	4,4	-2,5	9147	76,4	84,5	3,7
AM3	7,9	1,6	9439	79,2	83,1	2,9
AM4	8,9	2,5	10698	60,9	48,5	2,1
AM5	11,4	5,3	10911	74,4	66,6	3,4

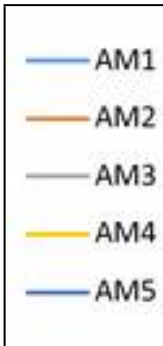
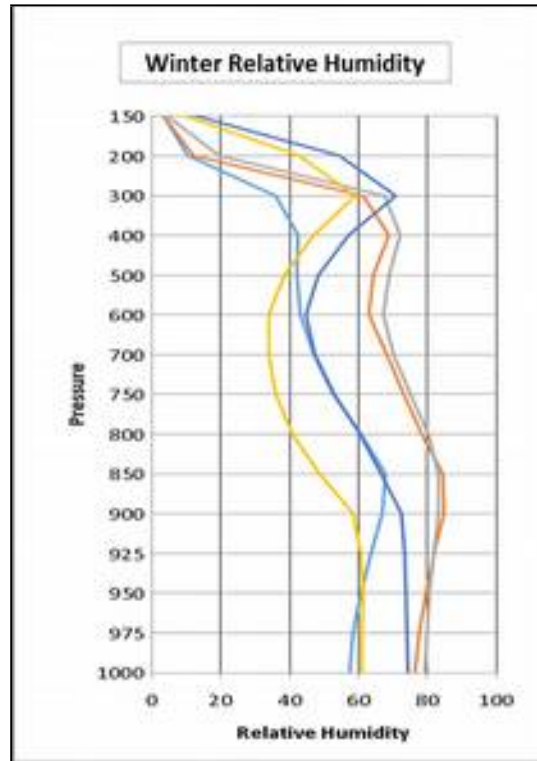
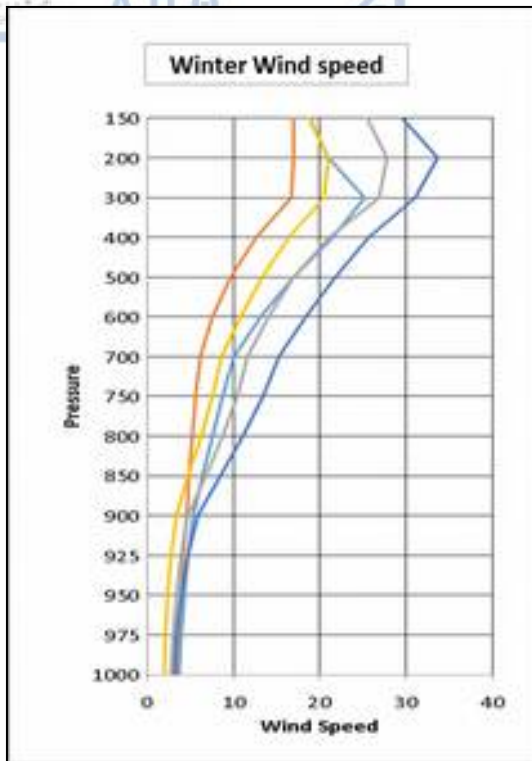
Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των μεταβλητών της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου σε 15

διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα για την περίοδο του χειμώνα. Με βάση τα διαγράμματα μπορεί να δοθεί μια γενικότερη εικόνα των παραμέτρων που εξετάζονται, ανιχνεύοντας τις αναστροφές που μπορεί να εμφανίζονται καθ' ύψος.

Αρχικά στο διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας με το ύψος και στις 5 αέριες μάζες. Στην τροπόσφαιρα οι οριζόντιες ταχύτητες του ανέμου αυξάνουν με το ύψος, λόγω μείωσης της δύναμης τριβής που αναπτύσσεται ανάμεσα στα μόρια του αέρα και την επιφάνεια του εδάφους. Στο επίπεδο των 200-300hPa εμφανίζεται ο αεροχείμαρρος με ταχύτητες που ξεπερνούν τα 30 m/s. Συγκεκριμένα η αέρια μάζα AM5 στο επίπεδο των 200hPa παρουσιάζει ταχύτητες ανέμου πάνω από 33 m/s.

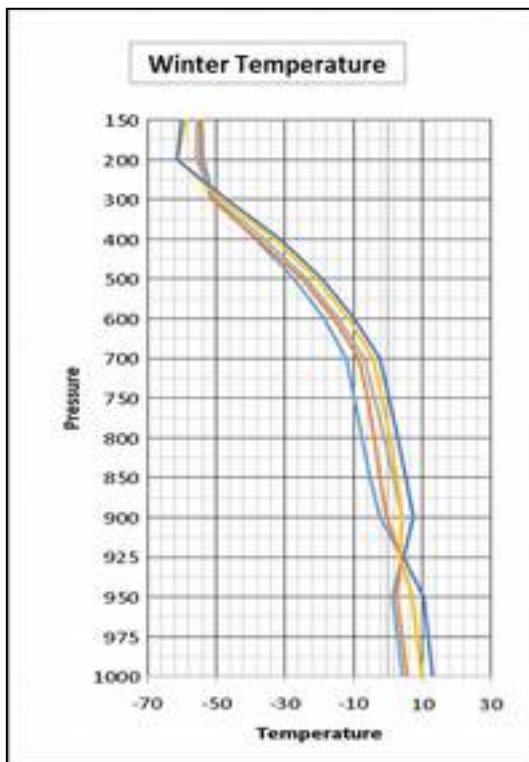
Σύμφωνα με το διάγραμμα της σχετικής υγρασίας παρατηρείται ότι στην επιφάνεια οι πιο ξηρές αέριες μάζες είναι οι AM1 και AM4, ενώ οι πιο υγρές οι AM2, AM3 και AM5. Επίσης στο επίπεδο των 300hPa οι αέριες μάζες AM4 και AM5, οι οποίες προέρχονται από τροπικές περιοχές, εμφανίζουν μια απότομη αύξηση της υγρασίας.

Το διάγραμμα της θερμοκρασίας απεικονίζει την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα από την επιφάνεια μέχρι τα 150hPa. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται ότι η AM2 παρουσιάζει μια έντονη αναστροφή στα ισοβαρικά επίπεδα μεταξύ 925-900hPa, ενώ μια εξίσου σημαντική αναστροφή εμφανίζεται στις αέριες μάζες AM1 και AM2, μεταξύ των επιπέδων 950-925hPa. Επίσης παρατηρείται ότι η θερμοκρασία στα 300-200hPa παύει να μειώνεται και η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα είναι σχεδόν μηδαμινή. Σε εκείνο το επίπεδο βρίσκεται η τροπόπαυση όπου το ύψος της μεταβάλλεται τόσο κατά γεωγραφικό πλάτος, όσο και εποχιακά.



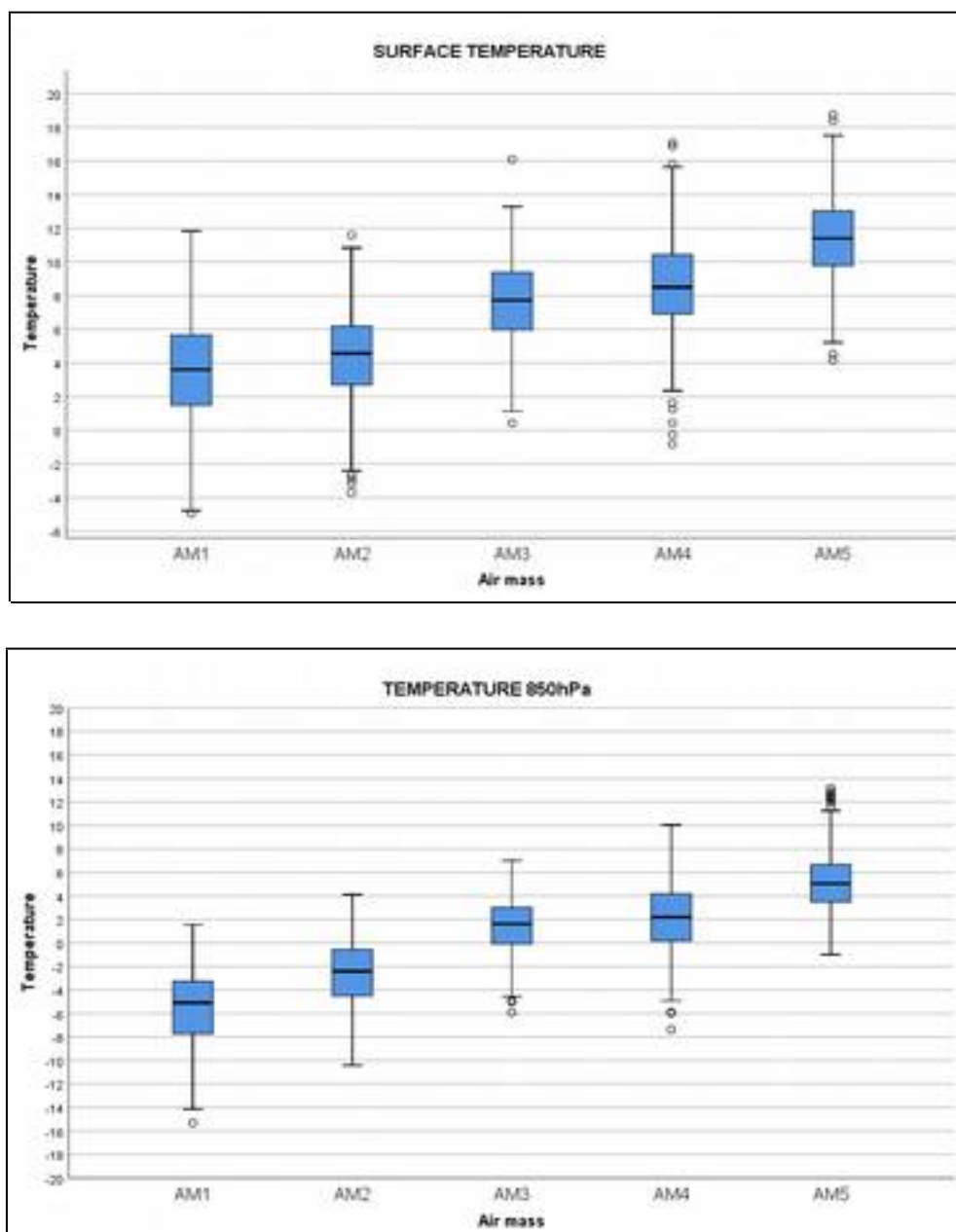
Σχήμα 3.2

σε
αέριες
Γενικά τα
σαφείς
αερίων
διαφορές
το εύρος
μετεωρολογικών χαρακτηριστικών για τις 5 αέριες μάζες ξεχωριστά.



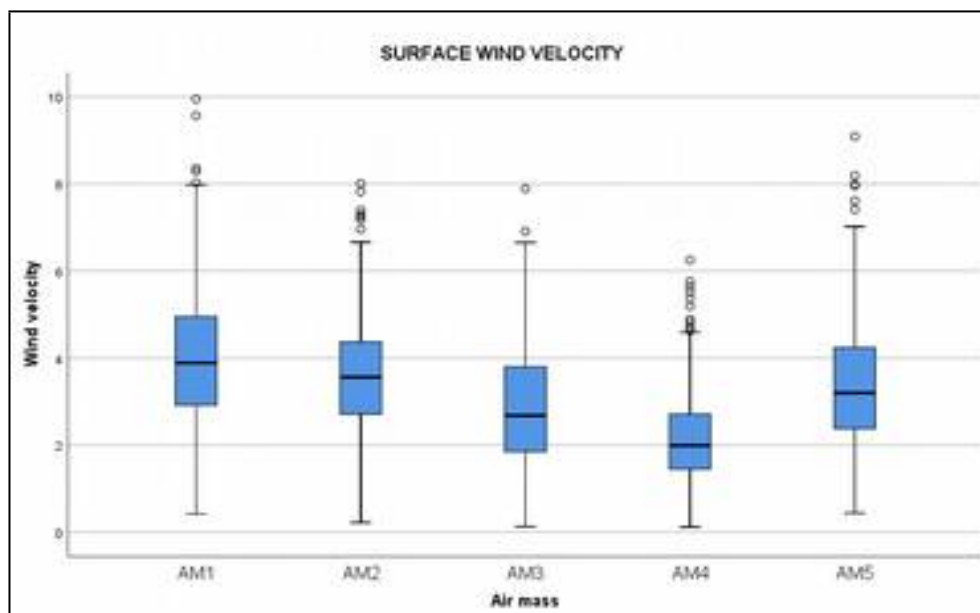
Διαγράμματα 3
μετεωρολογικών
μεταβλητών για το χειμώνα
συνάρτηση με την
ατμοσφαιρική πίεση για τις 5
μάζες

θηκογράμματα δείχνουν
διακρίσεις μεταξύ των
μαζών με σημαντικές
σε όλες τις μετεωρολογικές
παραμέτρους. Τα παρακάτω
θηκογράμματα απεικονίζουν
διακύμανσης 4



Σχήμα 3.3 Θηκογράμματα της επιφανειακής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (χειμώνας)

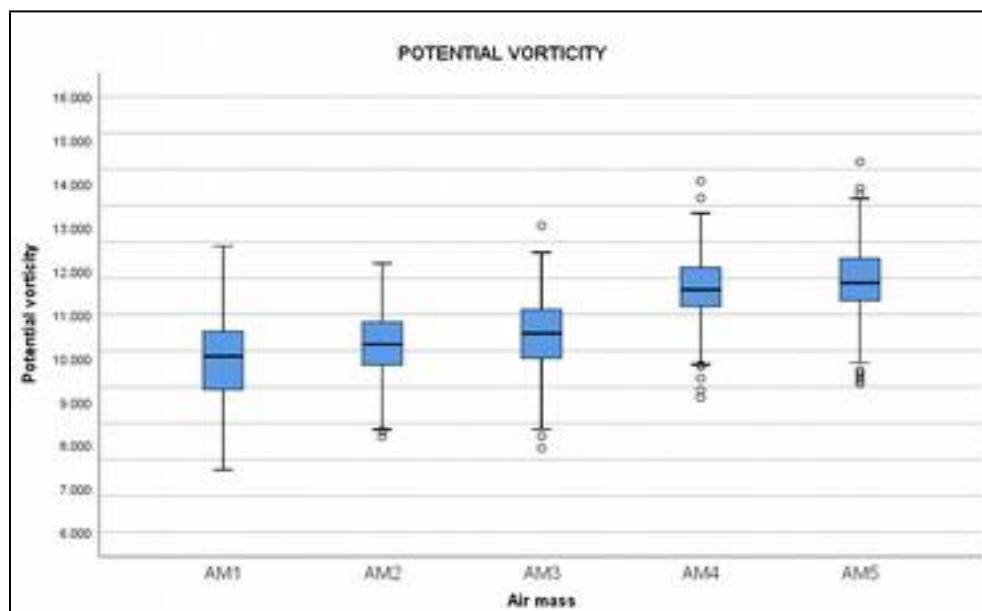
Στο σχήμα 3.3 οι κατανομές της επιφανειακής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στα 850hPa και των 5 αερίων μαζών εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Στο πρώτο σχήμα με τα θερμογράμματα της επιφανειακής θερμοκρασίας παρατηρείται ότι η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 3,5 °C μέχρι 11,5 °C. Η πιο θερμή αέρια μάζα είναι η AM5 και η πιο ψυχρή η AM1. Επίσης η AM4 εμφανίζει μια μικρή θετική ασυμμετρία, διότι η διάμεσος είναι μετατοπισμένη προς τα κάτω, ενώ οι κατανομές των υπόλοιπων αερίων μαζών είναι αρκετά συμμετρικές. Οι αέριες μάζες AM1 και AM2, ενώ στην επιφάνεια παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες τιμές θερμοκρασίας, στο επίπεδο των 850hPa αυξάνεται η απόκλιση της μέσης τιμής τους. Όλες οι αέριες μάζες εμφανίζουν ακραίες τιμές θερμοκρασιών (παράτυπα σημεία εκτός κατανομής) και παρόμοιο εύρος διακύμανσης.



Σχήμα 3.4 Θηκογράμματα της επιφανειακής ταχύτητας ανέμου για τις 5 αέριες μάζες (χειμώνας)

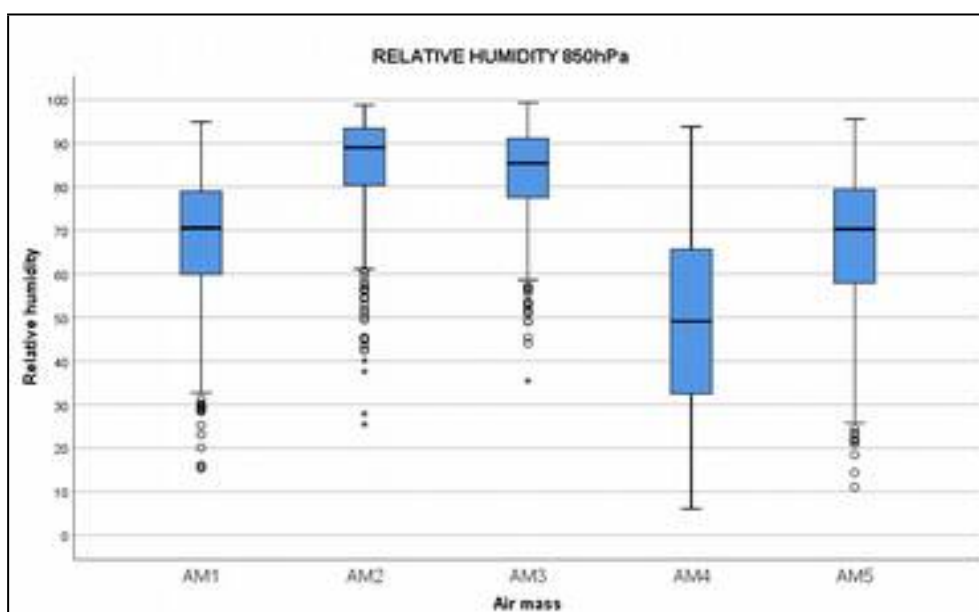
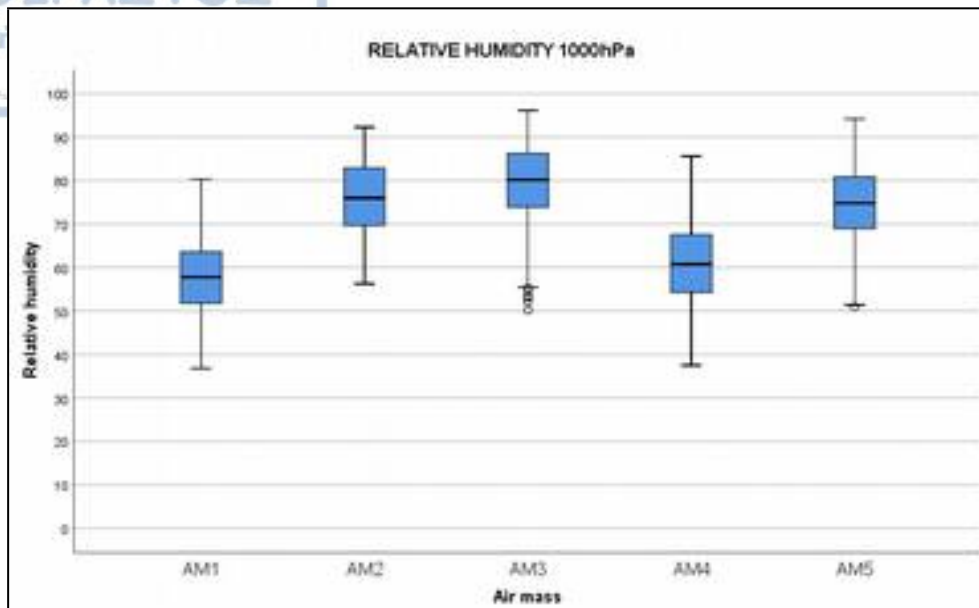
Στα θηκογράμματα της ταχύτητας του ανέμου του σχήματος 3.4 παρατηρείται μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης των τιμών. Οι μέσες ταχύτητες ξεκινάνε από 2 m/s και δεν ξεπερνούν τα 4 m/s. Η αέρια μάζα με τη χαμηλότερη μέση ταχύτητα είναι η AM4, ενώ οι αέριες μάζες AM1 και AM2 παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες

τιμές. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των θηκογραμμάτων της ταχύτητας του ανέμου είναι η μεγάλη συγκέντρωση ακραίων τιμών, ως προς τις μέγιστες τιμές. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη των ριπών του ανέμου, οι οποίες για την περίοδο του χειμώνα σύμφωνα με τα θηκογράμματα, φτάνουν μέχρι και τα 10 m/s.



Σχήμα 3.5 Θηκογράμματα της δυναμικής τροπόπαυσης για τις 5 αέριες μάζες (χειμώνας)

Οι τιμές του δυναμικού στροβιλισμού το χειμώνα (σχήμα 3.5) παρουσιάζουν μικρό εύρος κατανομής και στις 5 αέριες μάζες. Η επιφάνεια του δυναμικού στροβιλισμού 2PVU χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η δυναμική τροπόπαυση. Όπως φαίνεται το σχήμα 3.5 τα γεωδυναμικά ύψη της τροπόπαυσης ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό από τις πολικές στις τροπικές περιοχές. Οι αέριες μάζες AM2, AM3, AM4 και AM5 εμφανίζουν αρκετά ακραία σημεία εκτός κατανομής. Γενικά, το μέσο ύψος της τροπόπαυσης κυμαίνεται από 8.900 μέχρι 10.900 μέτρα. Το ύψος της τροπόπαυσης των θερμών αερίων μαζών AM4 και AM5 είναι μεγαλύτερο από τα 10.000 γεωδυναμικά μέτρα, ενώ στις AM1, AM2 και AM3 είναι αρκετά χαμηλότερο.



Σχήμα 3.6 Θηκογράμματα της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa και στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (χειμώνας)

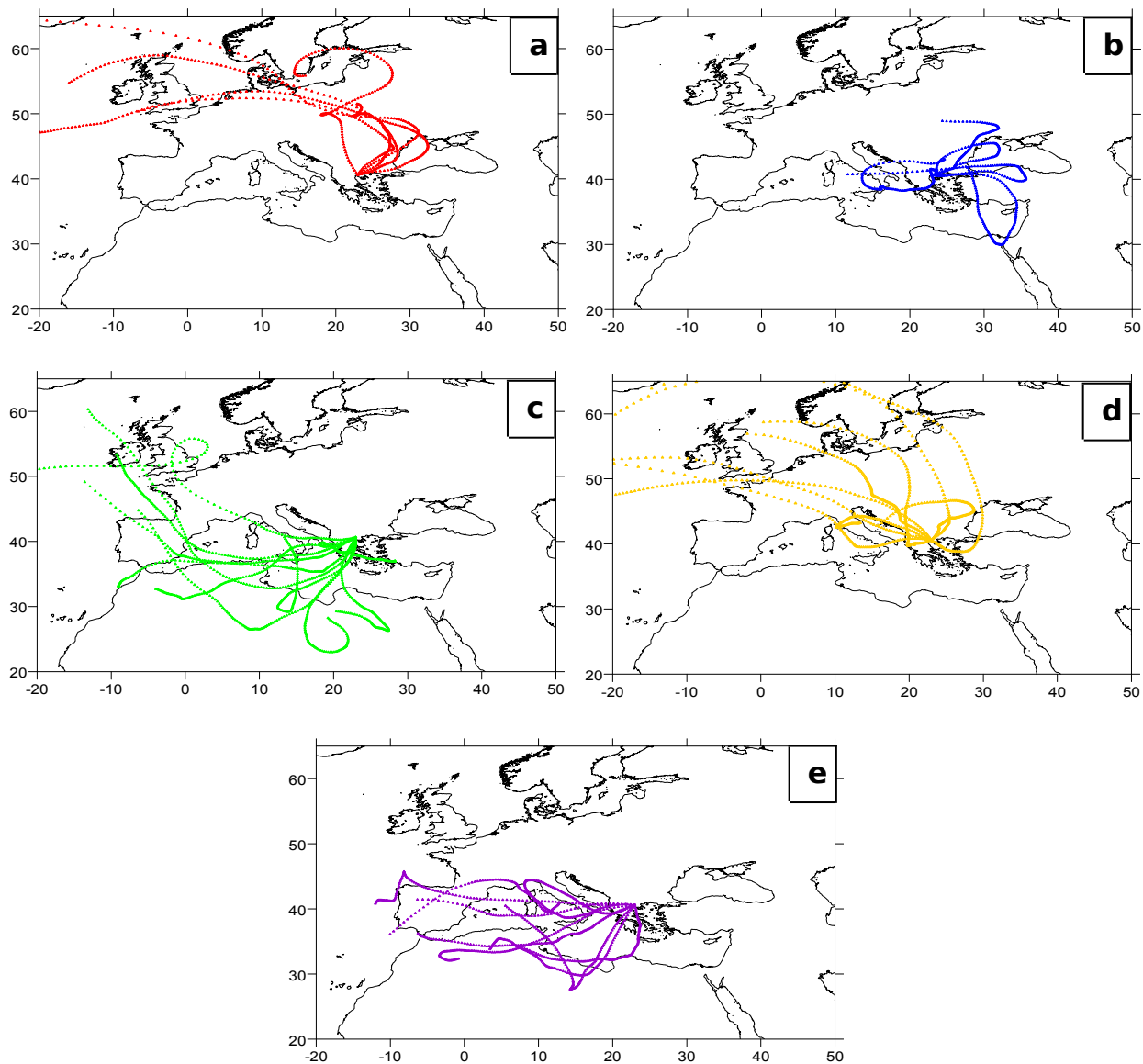
Από τα διαγράμματα της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa προκύπτει ότι όλες οι αέριες μάζες εμφανίζουν μικρό εύρος διακύμανσης, χωρίς ακραία σημεία. Επίσης όλες οι αέριες μάζες παρουσιάζουν συμμετρία ως προς την κατανομή γύρω από τη διάμεσο. Οι μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa κυμαίνεται από 58-80%, ενώ στα 850hPa από 50-90%. Η πιο υγρή αέρια μάζα στην επιφάνεια

είναι η AM3, η οποία δικαιολογεί την αυξημένη υγρασία καθώς προέρχεται από τη Μεσόγειο και μέσω της πορείας της πάνω από τη θάλασσα, εμπλουτίζεται με αρκετή υγρασία. Οι πιο ξηρές αέριες μάζες σύμφωνα με το σχήμα είναι οι AM1 και AM4. Στο επίπεδο των 850hPa οι AM2 και AM3 είναι οι πιο υγρές με τιμές σχετικής υγρασίας 85-90%, ενώ η πιο ξηρή η AM4 με μέση τιμή 50%. Η AM4 παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης σε αντίθεση με τις υπόλοιπες. Επίσης παρατηρείται ότι οι αέριες μάζες AM2 και AM3 στα 850hPa εμφανίζουν παρατηρήσεις με εξαιρετικά ακραία χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας.

Για την ανάλυση των πηγών προέλευσης των αερών μαζών που φτάνουν στη Θεσσαλονίκη προσδιορίστηκαν οι οπισθοτροχιές 5 ημερών μέσω του ατμοσφαιρικού μοντέλου HYSPLIT-4. Οι κλιματικές τιμές των επιλεγμένων ημερών ανά αέρια μάζα είναι πολύ κοντά στις κλιματικές τιμές της κάθε αέριας μάζας. Οι πέντε κατηγορίες των οπισθοτροχιών φαίνονται στο σχήμα 3.7 και αντιπροσωπεύουν τις περιοχές προέλευσης, καθώς και τις τροχιές των αερίων μαζών στη Θεσσαλονίκη. Κάθε κατηγορία σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο συνοπτικό τύπο καιρού.

Όπως φαίνεται στα σχήματα 3.7a και 3.7b οι πηγές των δυο ψυχρών αερίων μαζών βρίσκονται σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους. Η AM1 (σχήμα 3.7a) είναι μια ψυχρή και ξηρή αέρια μάζα, η οποία παρουσιάζει μια τροχιά από Β-ΒΔ προς ΝΑ. Η πηγή της AM1 μπορεί να είναι η Σκανδιναβία και η Β. Ευρώπη. Αυτή η αέρια μάζα παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές της Ευρώπης και χάνει σε μεγάλο βαθμό την υγρασία της. Οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις ηπειρωτικές αυτές περιοχές έχουν ως αποτέλεσμα την ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Από την άλλη, η πηγή της αέριας μάζας AM2 δεν μπορεί να προσδιοριστεί πολύ εύκολα. Αυτή η αέρια μάζα παραμένει πάνω από την ανατολική Ευρώπη και τα Βαλκάνια για περισσότερο από 5 μέρες και η περιεκτικότητα σε υγρασία εξαρτάται από τις παρακείμενες θάλασσες. Τα χαρακτηριστικά της AM3 (3.7c) εξαρτώνται από το μήκος της θαλάσσιας τροχιάς πάνω από τη Μεσόγειο θάλασσα. Αυτή η τροποποιημένη αέρια μάζα συνδέεται κυρίως με τη δυτική-ζωνική ροή φέρνοντας

θερμό και υγρό αέρα στη Θεσσαλονίκη. Η AM4 είναι μια θερμή αέρια μάζα και συνδέεται κυρίως με την εκτεταμένη υποτροπική ράχη πάνω από την Ευρώπη της οποίας η επέκταση μπορεί να φτάσει μέχρι τη Σκανδιναβία. Στο σχήμα 3.7c απεικονίζεται η αέρια μάζα AM5 η οποία έχει τα χαρακτηριστικά μιας τροπικής αέριας μάζας και παρουσιάζει παρόμοια υνοπτική κυκλοφορία με την AM3.



Σχήμα 3.7 Οπισθοτροχιές που υπολογίστηκαν με το μοντέλο HYSPLIT-4 για τη χρονική περίοδο 1981-2010 για τις 5 αέριες μάζες a)AM1 b)AM2 c)AM3 d)AM4 e)AM5 (χειμώνας)

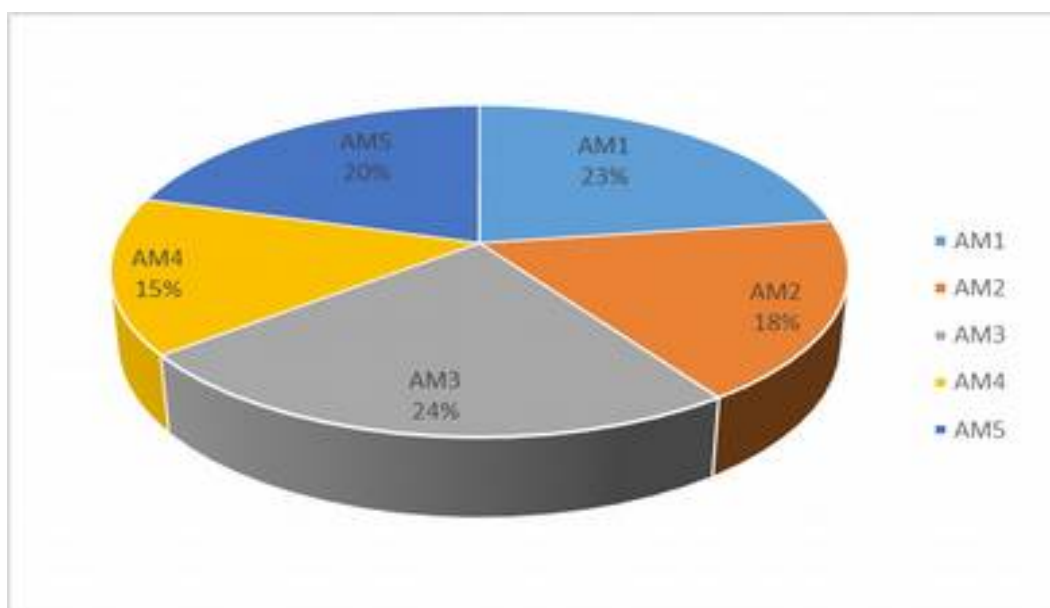
3.3 ΑΝΟΙΞΗ

Στιν πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι συχνότητες εμφάνισης των 5 τύπων των αερίων μαζών για την περίοδο της άνοιξης, ενώ οι σχετικές συχνότητες απεικονίζονται στο σχήμα 3.8.

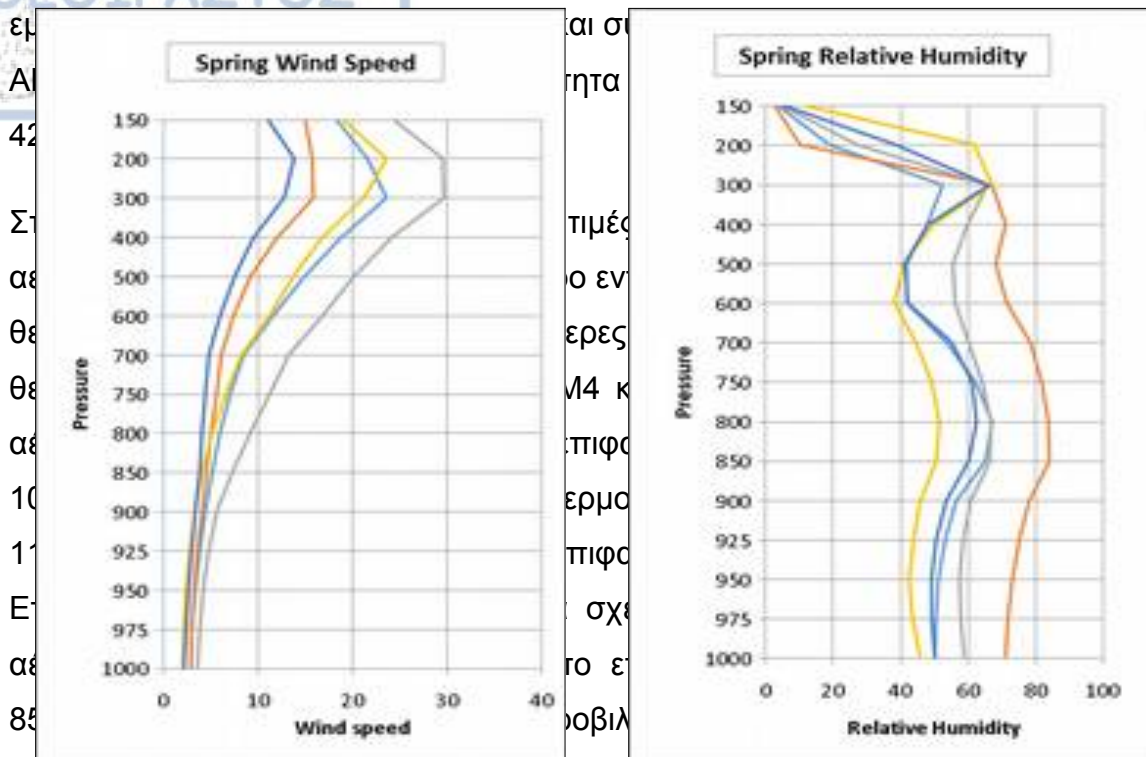
Πίνακας 3.3 Συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (άνοιξη)

Αέρια μάζα	Συχνότητα
AM1	628
AM2	488
AM3	658
AM4	422
AM5	564

Σχήμα 3.8 Σχετικές συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (άνοιξη)



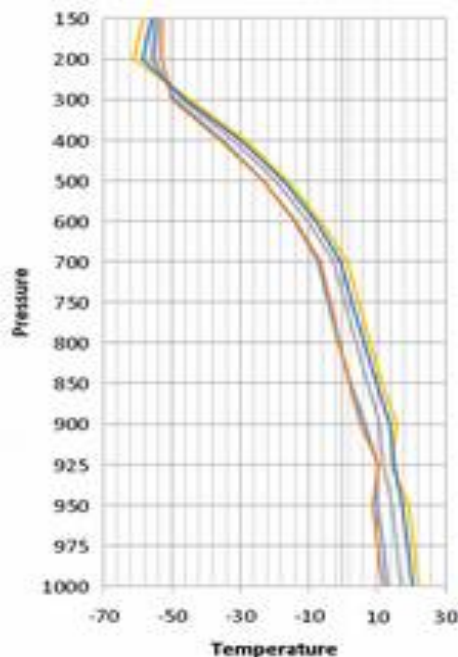
Από τα δεδομένα προκύπτει ότι η περιοχή μελέτης για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, επηρεάζεται κυρίως από τις αέριες μάζες AM1 και AM3 με ποσοστά εμφάνισης 23% και 24% αντίστοιχα (σχήμα 3.8). Μεγάλη σχετική συχνότητα



επίπεδο της δυναμικής τροπόπαυσης είναι μεγαλύτερες στις AM4 και AM5 και μικρότερες στις AM1 και AM2.

Πίνακας 3.4 Μέσες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών για τις 5 αέριες μάζες (άνοιξη)

	Επιφανειακή Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία 850hPa (°C)	Δυναμικός στροβιλισμός (gpm)	Σχετ.Υγρασία 1000hPa (%)	Σχετ.Υγρασία 850hPa (%)	Επιφανειακός άνεμος (m/s)
AM1	12,7	2,3	9422	50,0	65,0	3,1
AM2	10,4	1,9	9126	71,0	84,1	3,1
AM3	15,6	7,1	9938	58,9	66,4	3,8
AM4	21,2	11,6	11170	45,7	50,6	2,2
AM5	19,8	9,7	105547	50,1	60,1	3,4



συνάρτ

θερμοκρασίας για τις πέντε αέριες μάζες την περίοδο της άνοιξης. Στο διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται η αύξηση της ταχύτητας με το ύψος, ενώ

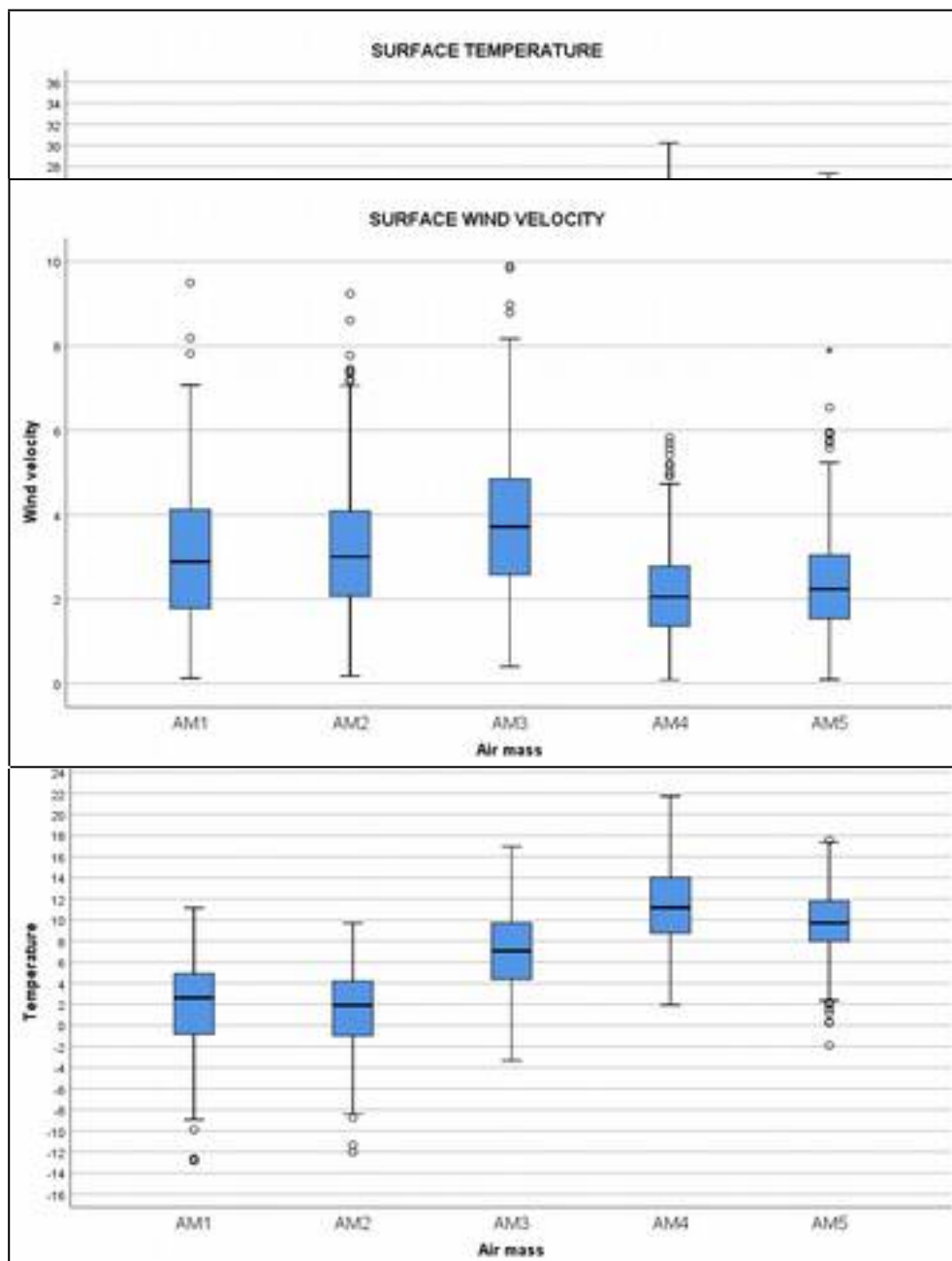
ρυθμού μεταβολής των
τικής υγρασίας και της

περίπου στο επίπεδο των 300-200hPa αρχίζει να μειώνεται. Οι αέριες μάζες AM4 και AM5 παρουσιάζουν μια πιο απότομη μεταβολή της ταχύτητας, σε σχέση με τις υπόλοιπες αέριες μάζες, στα επίπεδα 200hPa και 300hPa αντίστοιχα. Επίσης η αέρια μάζα AM3 εμφανίζει την υψηλότερη ταχύτητα στο επίπεδο της τροπόπαυσης (300hPa) με ταχύτητες του ανέμου που φτάνουν μέχρι και 30m/s.

Σύμφωνα με το διάγραμμα της σχετικής υγρασίας φαίνεται ότι υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στα επίπεδα της σχετικής υγρασίας σε όλες τις αέριες μάζες. Η αέρια μάζα με το μεγαλύτερο ποσοστό είναι η AM2, ενώ με το μικρότερο είναι η AM4. Χαρακτηριστική είναι η ελάττωση της σχετικής υγρασίας και στις πέντε αέριες μάζες από το επίπεδο των 300hPa και πάνω.

Η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα για την περίοδο της άνοιξης εμφανίζει παρόμοια μεταβολή και για τις πέντε αέριες μάζες. Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια και των πέντε αερίων μαζών κυμαίνεται από 10 °C μέχρι 21 °C. Μια μικρή θερμοκρασιακή αναστροφή εμφανίζει η AM2 ανάμεσα στα επίπεδα 950hPa και 925hPa. Επιπρόσθετα, μετά το επίπεδο των 300hPa παρατηρείται ένα σχεδόν ισόθερμο στρώμα σε όλες τις αέριες μάζες που αποτελεί τη ζώνη της τροπόπαυσης.

Στο σχήμα 3.10 απεικονίζονται τα θηκογράμματα της θερμοκρασίας στην επιφάνεια και στο επίπεδο των 850hPa. Οι αέριες μάζες AM4 και AM5 εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές και στα δυο θηκογράμματα, ενώ οι χαμηλότερες τιμές διακρίνονται στις αέριες μάζες AM1 και AM2. Η αέρια μάζα AM4 δεν εμφανίζει ακραία σημεία, ενώ στις υπόλοιπες αέριες μάζες AM1, AM2, AM3 και AM5 παρατηρούνται ακραίες τιμές ως προς τις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας, τόσο στην επιφάνεια, όσο και στα 850hPa. Η AM1 στο θηκογράμμα της θερμοκρασίας στα 850hPa εμφανίζει μια θετική ασυμμετρία, λόγω της μετατόπισης της διαμέσου προς τα πάνω, ενώ η AM4 και στα δυο θηκογράμματα παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία. Οι υπόλοιπες κατανομές των αερίων μαζών είναι αρκετά συμμετρικές.



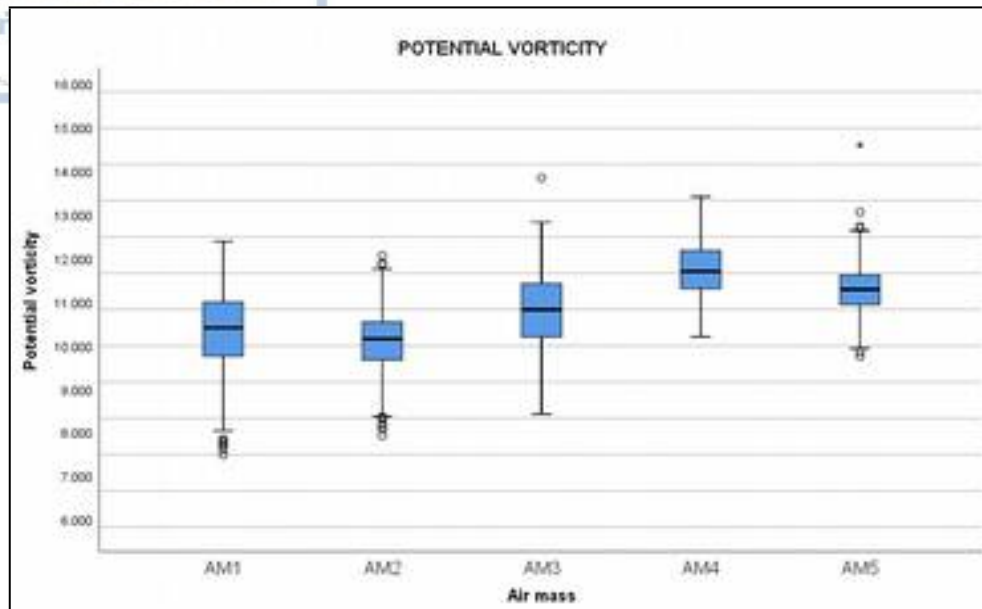
Σχήμα 3.10 Θηκογράμματα της επιφανειακής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (άνοιξη)

Στα θηκογράμματα της ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου (σχήμα 3.11) παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα στην κατανομή. Και οι πέντε αέριες μάζες

εμφανίζουν παράτυπα σημεία (ακραίες τιμές), ενώ συγκεκριμένα η αέρια μάζα AM5 παρουσιάζει και μια εξαιρετικά ακραία τιμή ως προς τις μέγιστες τιμές της ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου.

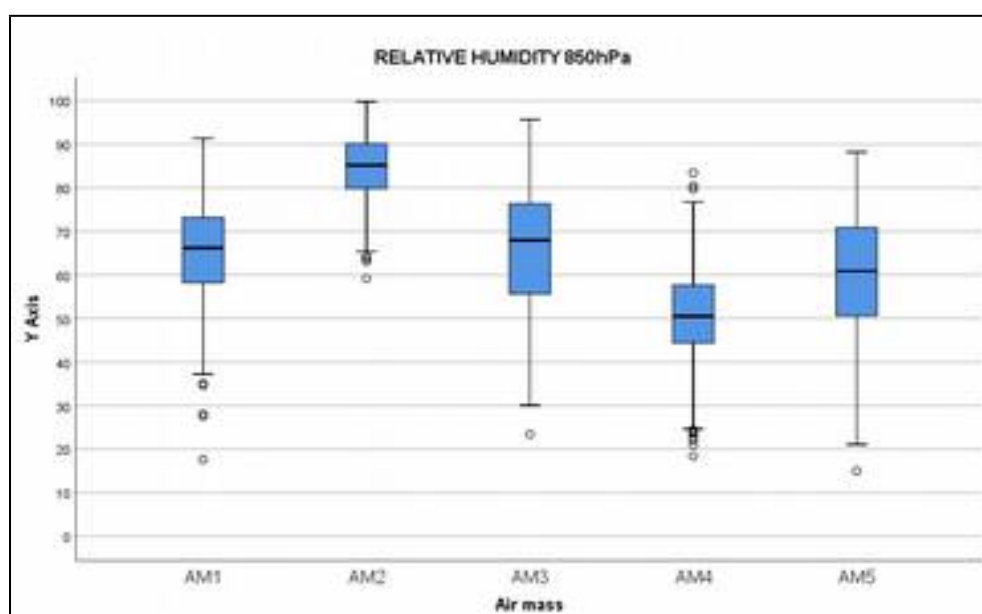
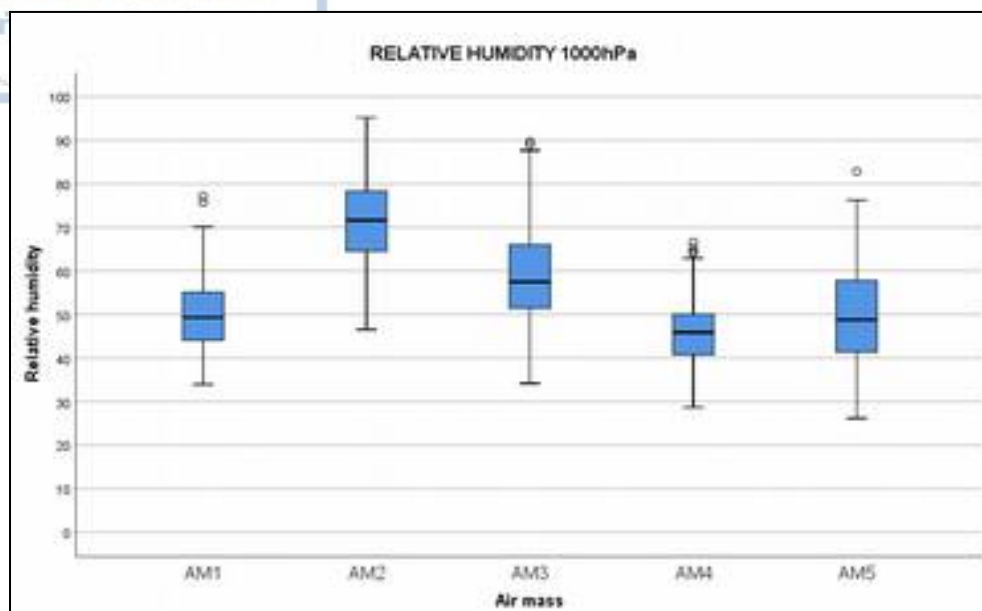
Σχήμα 3.11 Θηκογράμματα της επιφανειακής ταχύτητας ανέμου για τις 5 αέριες μάζες (άνοιξη)

Στο σχήμα 3.12 απεικονίζονται οι κατανομές των αερίων μαζών της δυναμικής τροπόπαυσης. Όλες οι αέριες μάζες εκτός από την AM4 εμφανίζουν ακραίες τιμές με την αέρια μάζα AM5 να εμφανίζει μια εξαιρετικά ακραία τιμή της τάξεως των 14.600 γεωδυναμικών μετρων. Οι αέριες μάζες με τις μεγαλύτερες τιμές δυναμικού στροβιλισμού είναι οι αέριες μάζες AM4 και AM5.



Σχήμα 3.12 Θηκογράμματα της δυναμικής τροπόπαυσης για τις 5 αέριες μάζες (άνοιξη)

Στα θηκογράμματα της σχετικής υγρασίας παρατηρούνται αρκετά παράτυπα σημεία σε όλες τις αέριες μάζες. Η αέρια μάζα AM2 έχει τα υψηλότερα ποσοστά σχετικής υγρασίας, τόσο στην επιφάνεια των 1000hPa, όσο και στα 850hPa. Το μικρότερο εύρος διακύμανσης εμφανίζουν οι αέριες μάζες AM2 και AM4 και το μεγαλύτερο οι AM3 και AM5. Επιπρόσθετα στο θηκόγραμμα της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa παρατηρείται αρνητική ασυμμετρία στην κατανομή της αέριας μάζας AM3.



Σχήμα 3.13 Θηκογράμματα της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa και στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (άνοιξη)

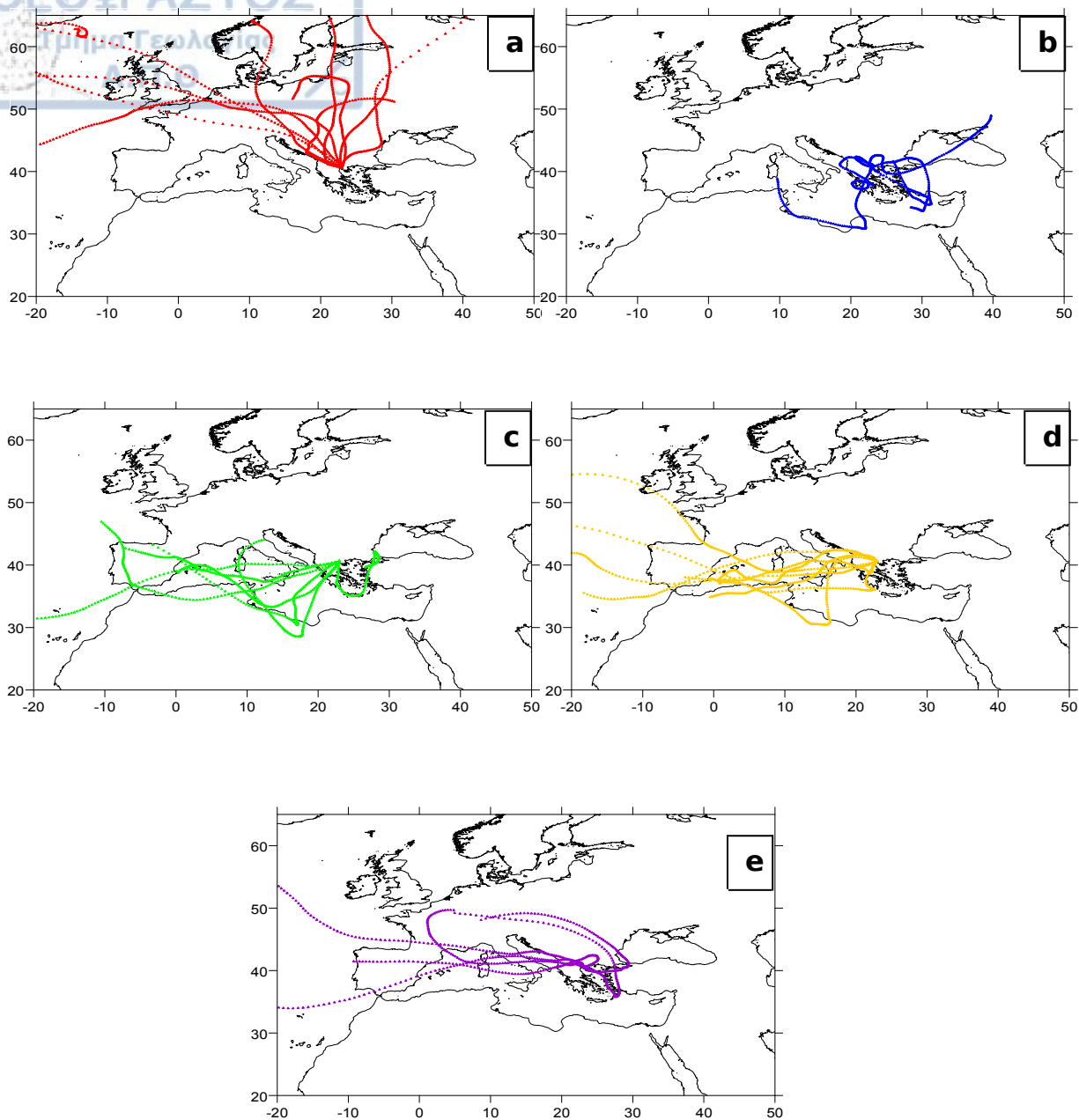
Σύμφωνα με το σχήμα 3.14 την περίοδο της άνοιξης οι οπισθοτροχιές της AM1 διανύουν μεγάλες αποστάσεις τόσο κατά γεωγραφικό μήκος όσο και πλάτος. Οι περισσότερες τροχιές ξεκινούν από το Βόρειο Ατλαντικό και από τη Σκανδιναβική χερσόνησο, διέρχονται μέσα από την Κεντρική Ευρώπη και καταλήγουν στο σημείο άφιξης. Πρόκειται για οπισθοτροχιές που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα κατά τη διαδρομή τους.

Οι οπισθοτροχιές της AM2 (σχήμα 3.14b) παρουσιάζουν μια πιο πολύπλοκη τροχιά. Αυτές οι αέριες μάζες διέρχονται κυρίως από την περιοχή των Βαλκανίων όπου κινούνται με πολύ μικρή ταχύτητα.

Οι αέριες μάζες που διέρχονται από τη Μεσόγειο είναι θερμές, υγρές και αρκετά ασταθείς. Η Μεσόγειος αποτελεί μια θερμή θαλάσσια περιοχή και επηρεάζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά των αερίων μαζών. Στο σχήμα 3.14c οι οπισθοτροχιές φαίνονται να παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα πάνω από την περιοχή της Μεσογείου, οπότε τα θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά των αερίων μαζών τροποποιούνται.

Οι οπισθοτροχιές της AM4 εμφανίζουν παρόμοιες διαδρομές με την AM3. Η AM4 έχει την πηγή της σε περιοχές περιοχές της Β. Αφρικής με χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, σε αντίθεση με τα πολύ υψηλά ποσοστά υγρασίας της AM3.

Η αέρια μάζα AM5 κατά την περίοδο της άνοιξης εμφανίζει τροχιές που προέρχονται από διαφορετικές πηγές και περιλαμβάνουν κυρίως τις περιοχές της Μεσογείου, της Μαύρης Θάλασσας και της Βαλκανικής χερσονήσου. Κατά την πορεία τους διέρχονται και από το Αιγαίο πέλαγος όπου εμπλουτίζονται με υγρασία και καταλήγουν στη Θεσσαλονίκη.



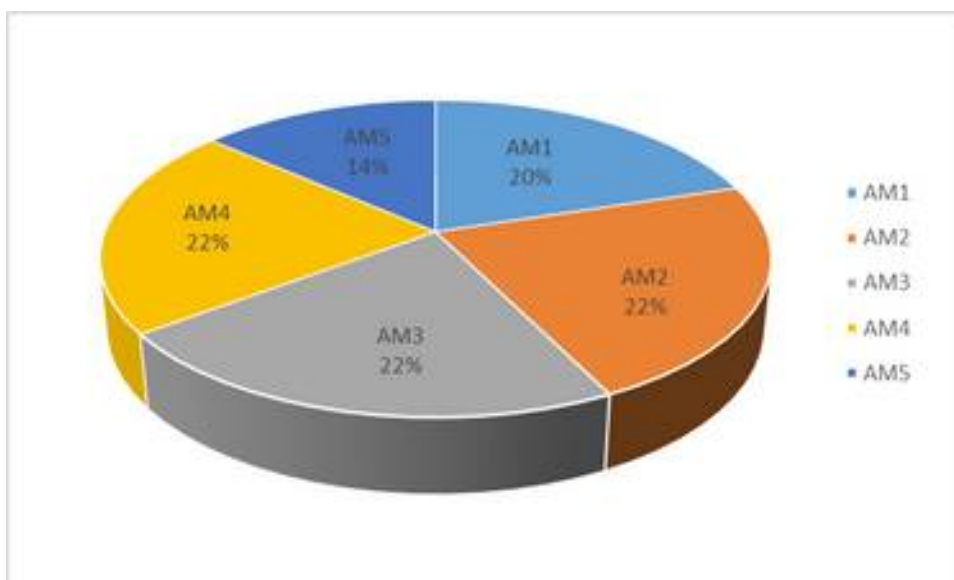
Σχήμα 3.14 Οπισθοτροχιές που υπολογίστηκαν με το μοντέλο HYSPLIT-4 για τη χρονική περίοδο 1981-2010 για τις 5 αέριες μάζες a)AM1 b)AM2 c)AM3 d)AM4 e)AM5 (άνοιξη)

3.4 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Στον πίνακα 3.5 φαίνονται οι συχνότητες εμφάνισης των 5 τύπων των αερίων μαζών για τη θερινή περίοδο, ενώ οι σχετικές συχνότητες απεικονίζονται στο σχήμα 3.15 για τη χρονική περίοδο μελέτης. Τα ποσοστά των ημερών εμφάνισης των αερίων μαζών κυμαίνονται από 14% μέχρι 22%.

Πίνακας 3.5 Συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (καλοκαίρι)

Αέρια μάζα	Συχνότητα
AM1	557
AM2	620
AM3	611
AM4	598
AM5	374



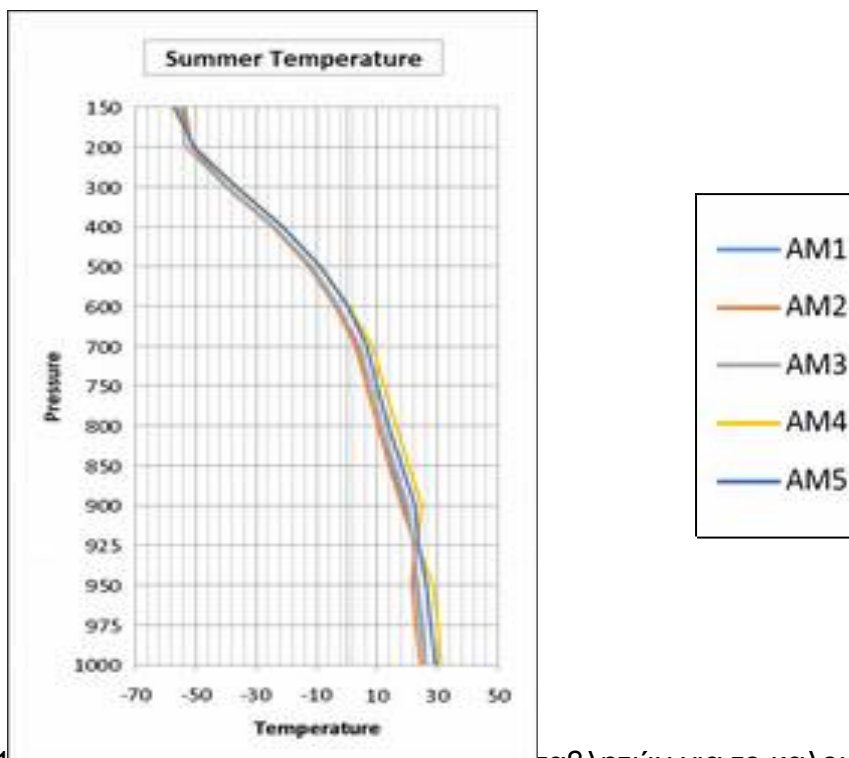
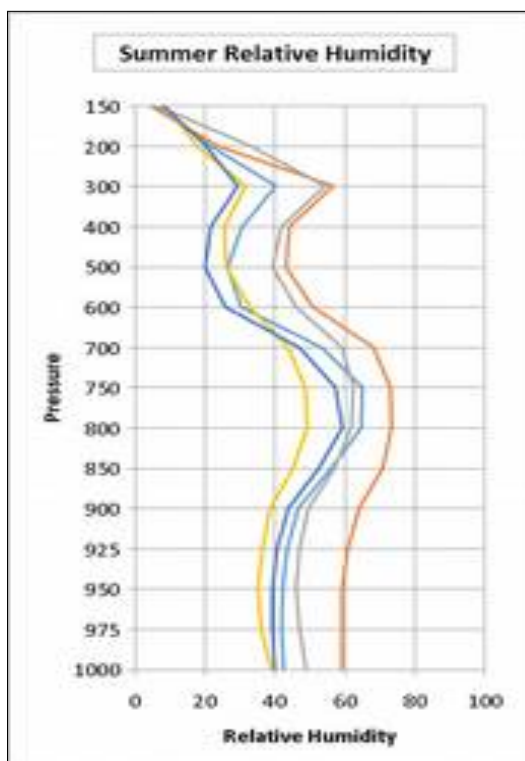
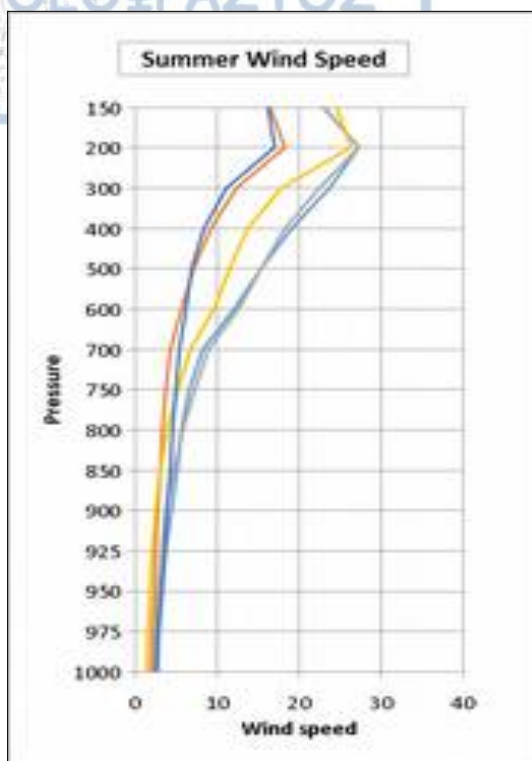
Σχήμα 3.15 Σχετικές συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (καλοκαίρι)

Από το σύνολο των 2730 αερίων μαζών που καταγράφηκαν συνολικά τη χρονική περίοδο 1981-2010, οι 3 αέριες μάζες AM2, AM3 και AM4 παρουσιάζουν περίπου σε ίσα ποσοστά (22%) για την καλοκαιρινή περίοδο (σχήμα 3.15). Συγκεκριμένα οι ημέρες εμφάνισης των αερίων μαζών AM2, AM3 και AM4 είναι 620, 611 και 598 ημέρες αντίστοιχα. Η AM5 είναι η αέρια μάζα με τη μικρότερη συχνότητα εμφάνισης, με συνολικά 374 περιπτώσεις. Η AM1 αποτελεί το 20% του συνόλου των αερίων μαζών με 557 ημέρες εμφάνισης.

Οι μέσες τιμές των 6 μετεωρολογικών μεταβλητών για το καλοκαίρι παρουσιάζονται για κάθε αέρια μάζα ξεχωριστά στον πίνακα 3.6. Σύμφωνα με τον πίνακα 3.6 η αέρια μάζα AM2 εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές σχετικής υγρασίας στα 1000hPa και στα 850hPa, ενώ οι χαμηλότερες διακρίνονται στις αέριες μάζες AM4 και AM5. Οι μέσες τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας για τις πέντες αέριες μάζες κυμαίνεται από 24,16 °C μέχρι 30,4 °C. Οι θερμότερες αέριες μάζες είναι οι AM4 και AM5, ενώ οι AM1, AM2 και AM3 κυμαίνονται περίπου στα ίδια θερμοκρασιακά επίπεδα, τόσο στην επιφάνεια, όσο και στα 850hPa. Οι τιμές του δυναμικού στροβιλισμού στις αέριες μάζες AM4 και AM5 είναι αρκετά υψηλότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες αέριες μάζες.

Πίνακας 3.6 Μέσες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών για τις 5 αέριες μάζες (καλοκαίρι)

	Επιφανειακή Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία 850hPa (°C)	Δυναμικός στροβιλισμός (gpm)	Σχετ.Υγρασία 1000hPa (%)	Σχετ.Υγρασία 850hPa (%)	Επιφανειακός άνεμος (m/s)
AM1	25,5	14,5	10556	42,4	56,0	2,9
AM2	24,2	13,9	10305	59,1	70,7	2,1
AM3	25,5	15,8	10784	49,1	57,1	2,5
AM4	30,4	20,3	12047	38,9	45,0	1,5
AM5	29,0	17,8	11377	40,0	52,3	2,6



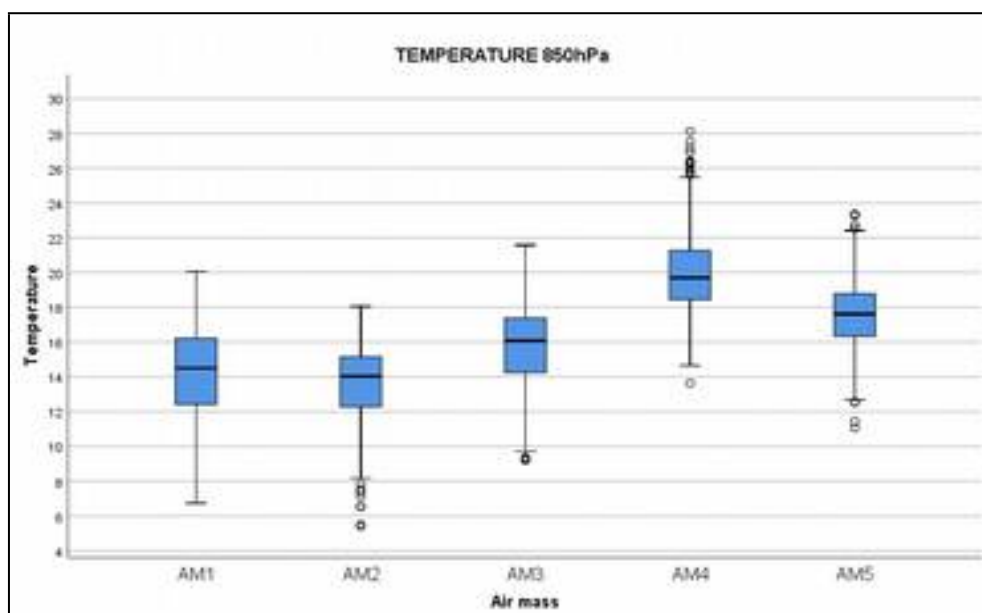
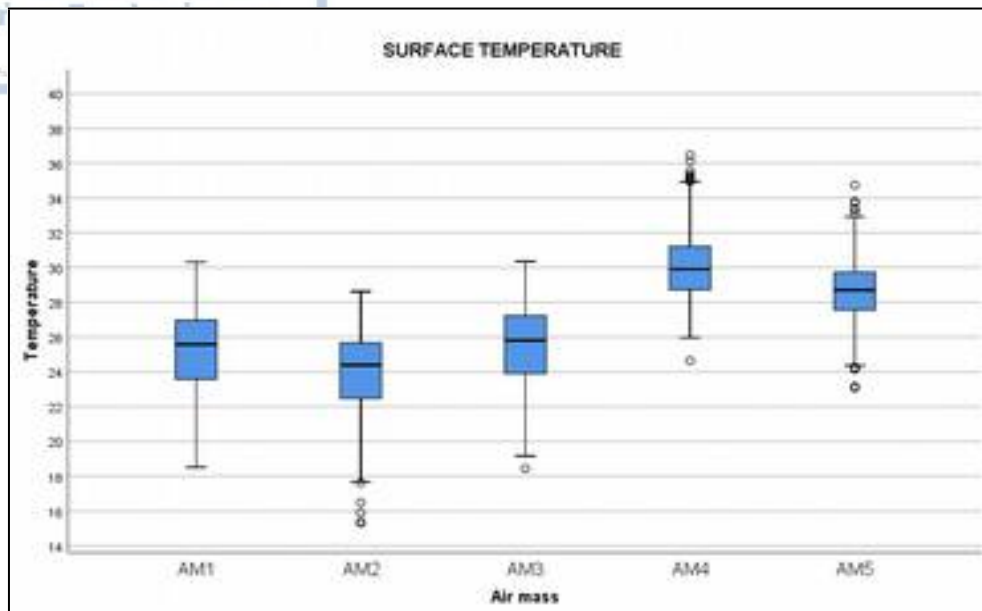
Σχήμα 3.10 Διαγράμματα ο μετεωρολογικών μεταβλητών για το καλοκαίρι σε συνάρτηση με την πίεση για τις 5 αέριες μάζες

Στο σχήμα 3.16 απεικονίζονται 3 μετεωρολογικές μεταβλητές σε συνάρτηση με την ατμοσφαιρική πίεση, για κάθε αέρια μάζα ξεχωριστά. Αρχικά, στο διάγραμμα της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται ότι οι τιμές της ταχύτητας κοντά στην επιφάνεια δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, ενώ όσο μειώνεται η ατμοσφαιρική πίεση, τόσο αυξάνονται και οι αποκλίσεις μεταξύ των αερίων μαζών. Στο επίπεδο των 200hPa εμφανίζεται μια πτώση της ταχύτητας του ανέμου και είναι χαρακτηριστική για όλες τις αέριες μάζες.

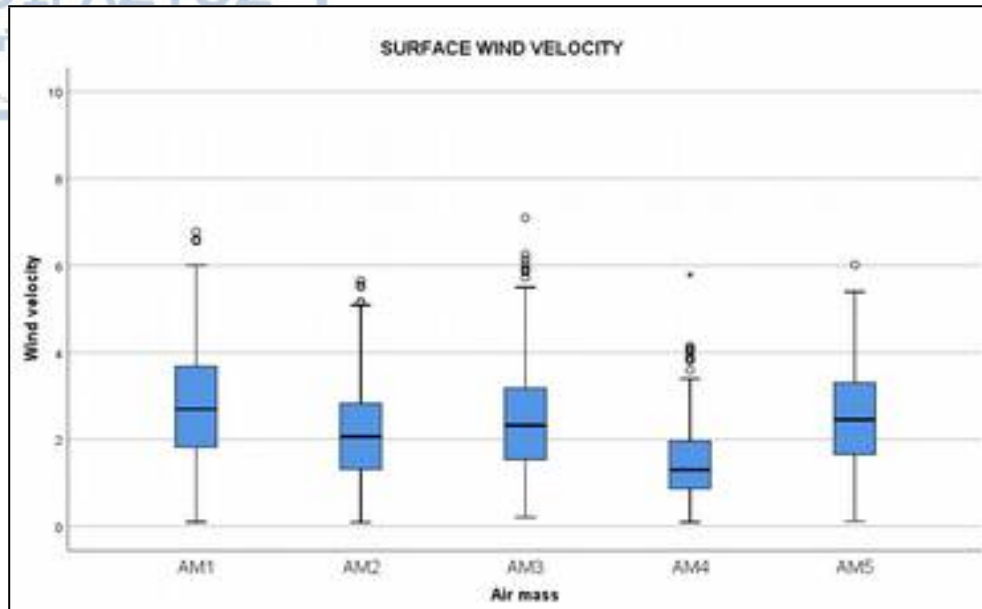
Κατά τους θερινούς μήνες η μέση σχετική υγρασία παρουσιάζει μειωμένες τιμές σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές. Στο αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής υγρασίας με την ατμοσφαιρική πίεση διακρίνονται οι καμπύλες των πέντε αερίων μαζών οι οποίες εμφανίζουν αρκετές διακυμάνσεις από τα 1000hPa μέχρι και τα 150hPa. Επίσης, στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (πάνω από τα 300hPa) όλες οι αέριες μάζες εμφανίζουν μια απότομη πτώση της σχετικής υγρασίας.

Στο διάγραμμα της θερμοκρασίας παρατηρείται μια συνεχής ελάττωση των τιμών της θερμοκρασίας καθ' ύψος. Η πορεία της καμπύλης είναι παρόμοια και για τις πέντε αέριες μάζες, με την αέρια μάζα AM2 να εμφανίζει μια μικρή θερμοκρασιακή αναστροφή μεταξύ των επιπέδων 950hPa και 925hPa.

Στο σχήμα 3.17 απεικονίζονται τα θηκογράμματα της θερμοκρασίας σε δυο διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα. Κατά την περίοδο του καλοκαιριού η επιφανειακή θερμοκρασία και η θερμοκρασία στα 850hPa εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Η αέρια μάζα με τις μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας είναι η AM4. Η AM2 η οποία παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές θερμοκρασίας και στα δυο ισοβαρικά επίπεδα, χαρακτηρίζεται από θετική ασυμμετρία, ενώ εμφανίζει και ακρετά ακραία σημεία ως προς τις χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας. Ακραίες τιμές παρατηρούνται και στις αέριες μάζες AM3, AM4 και AM5, με τις περισσότερες να εμφανίζονται στις AM4 και AM5 οι οποίες είναι και οι πιο θερμές.



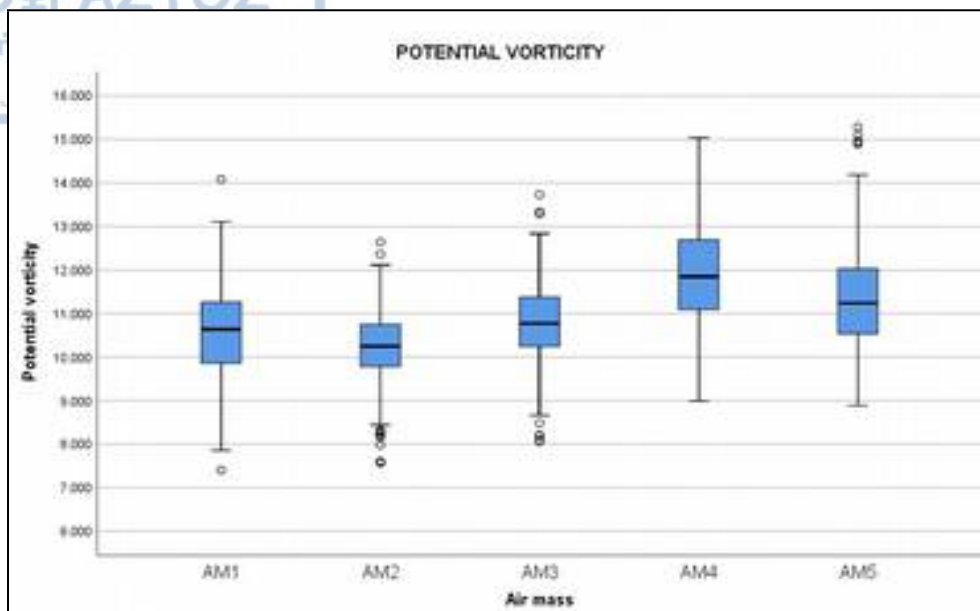
Σχήμα 3.17 Θηκογράμματα της επιφανειακής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (καλοκαίρι)



Σχήμα 3.18 Θηκογράμματα της επιφανειακής ταχύτητας ανέμου για τις 5 αέριες μάζες (καλοκαίρι)

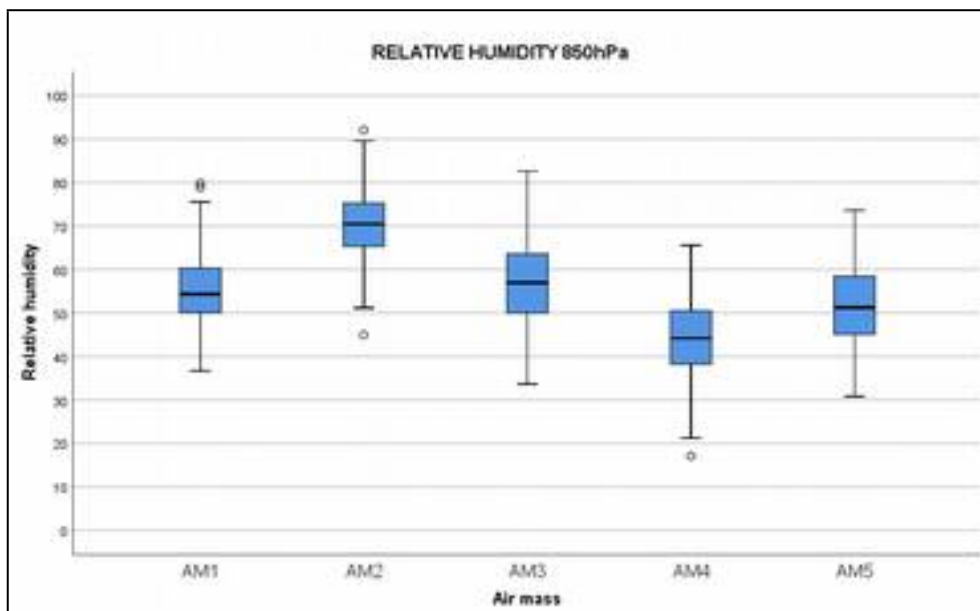
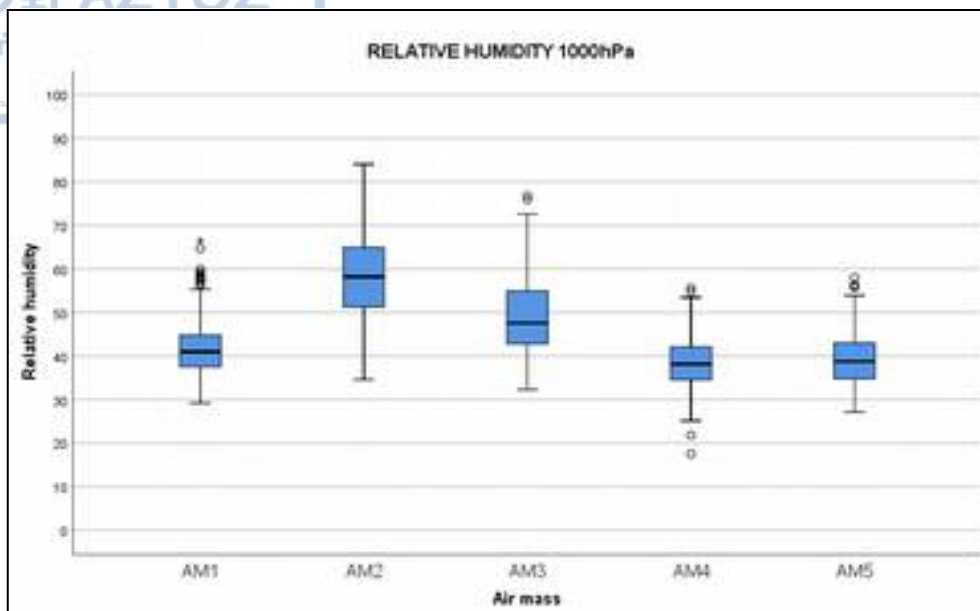
Στα θηκογράμματα του σχήματος 3.18 απεικονίζονται οι κατανομές της επιφανειακής ταχύτητας του ανέμου. Γενικά όλες οι αέριες μάζες παρουσιάζουν ακραίες τιμές ως προς τις μέγιστες ταχύτητες, ενώ η αέρια μάζα AM4, η οποία χαρακτηρίζεται και από αρνητική ασυμμετρία, εμφανίζει και μια εξαιρετικά ακραία τιμή. Από τα θηκογράμματα προκύπτει ότι τις μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου παρουσιάζει η AM1 με μέση ταχύτητα κοντά στα 2,5-3m/s και ακραίες τιμές που φτάνουν και τα 7m/s, ενώ τις χαμηλότερες τιμές έχει η AM4.

Κατά τους θερινούς μήνες το εύρος διακύμανσης του δυναμικού στροβιλισμού είναι μικρότερο στις αέριες μάζες AM1, AM2 και AM3 , ενώ οι AM4 και AM5 παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση (σχήμα 3.19). Επίσης οι αέριες μάζες AM4 και AM5 εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές γεωδυναμικών υψών.



Σχήμα 3.19 Θηκογράμματα της δυναμικής τροπόπαυσης για τις 5 αέριες μάζες (καλοκαίρι)

Τέλος, από τα θηκογράμματα της σχετικής υγρασίας του σχήματος 3.20 προκύπτει ότι τόσο στην επιφάνεια, όσο και στο επίπεδο των 850hPa, δεν παρατηρείται μεγάλο εύρος διακύμανσης. Η αέρια μάζα AM1 στην επιφάνεια παρουσιάζει έντονη θετική ασυμμετρία ως προς τις χαμηλότερες τιμές, λόγω της μετατόπισης της διαμέσου προς τα κάτω. Επίσης η αέρια μάζα με τα υψηλότερα ποσοστά σχετικής υγρασίας και στα δυο ισοβαρικά επίπεδα είναι η AM2, ενώ αντίθετα οι πιο ξηρές είναι οι AM4 και AM5.



Σχήμα 3.20 Θηκογράμματα της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa και στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (καλοκαίρι)

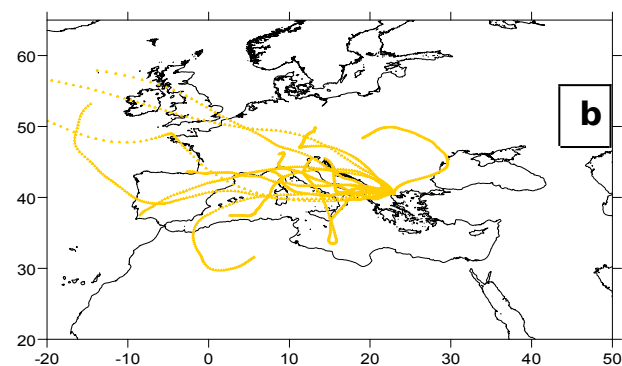
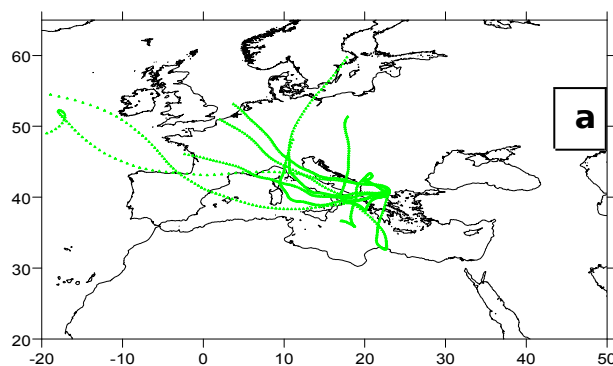
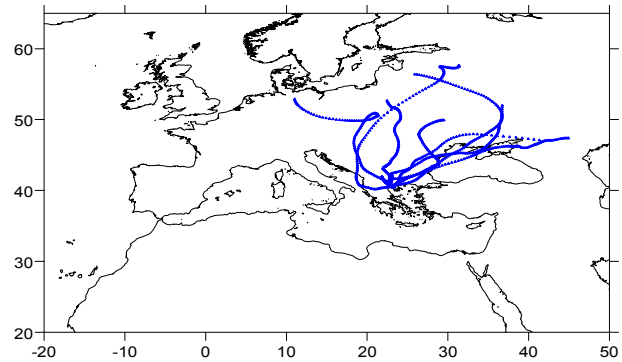
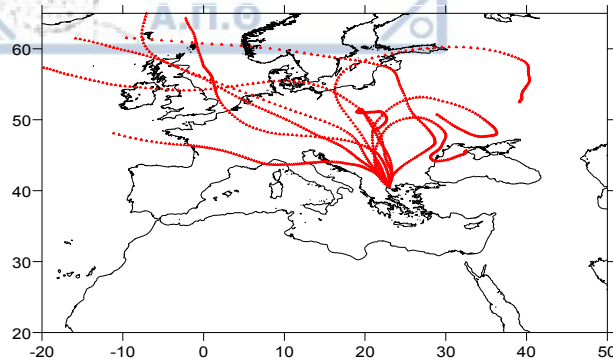


Κατά την θερινή περίοδο οι οπισθοτροχιές της AM1 (σχήμα 3.21a) εμφανίζουν ηπειρωτικά χαρακτηριστικά. Έχοντας ως σημείο εκκίνησης τις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης και της Ρωσίας κινούμενες προς τα νότια με μεγάλες ταχύτητες εμφανίζουν χαμηλές θερμοκρασίες και μικρά ποσοστά υγρασίας.

Σύμφωνα με το σχήμα 3.21b οι περιοχές προέλευσης της AM2 είναι η Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη, όμως κατά την άφιξη τους στη Θεσσαλονίκη αρκετές από τις τροχιές διέρχονται από τη Μαύρη θάλασσα αυξάνοντας τα ποσοστά υγρασίας.

Οι οπισθοτροχιές της AM3 (σχήμα 3.21c) παρουσιάζουν παρόμοια πορεία με τις τροχιές της άνοιξης και του χειμώνα. Αυτές οι αέριες μάζες εξαιτίας της διέλευσης τους πάνω από τη Μεσόγειο, οι οποίες είναι αρκετά θερμές, δέχονται τη θαλάσσια επίδραση της και εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά υγρασίας.

Οι αέριες μάζες που φαίνονται στο σχήμα 3.21d εμφανίζουν μια πιο ζωνική



κυκλοφορία, κινούμενες με αρκετά

μεγάλες

Περιοχές

αυτών

των

είναι τα νότια

Ευρώπης, η

βόρειες ακτές της

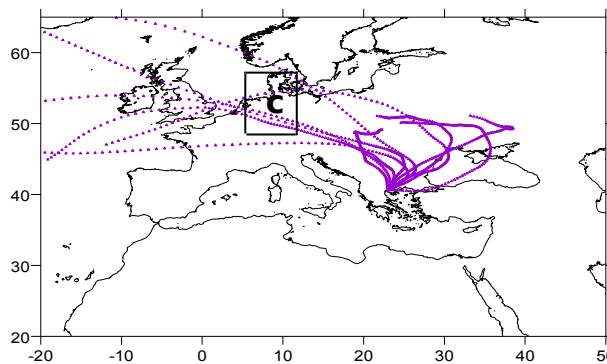
Η AM5 έχει την

σε τροπικές περιοχές της Ατλαντικού. Κατά τη διέλευση της πάνω από την

Κεντρική Ευρώπη κινείται αρκετά γρήγορα με

συγκρατεί την υγρασία του Ατλαντικού, προσδίδοντας

χαρακτήρα.



ταχύτητες.

προέλευσης

αερίων μαζών

τμήματα της

Μεσόγειος και οι

Αφρικής.

πηγή της κυρίως

αποτέλεσμα να

της υγρό

της υγρό

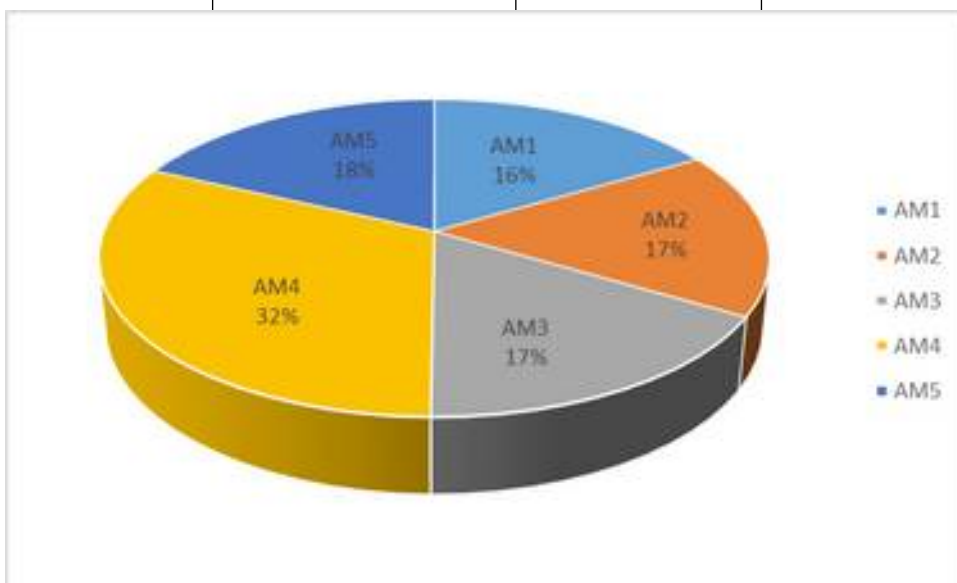
Σχήμα 3.21 Οπισθοτροχιές που υπολογίστηκαν με το μοντέλο HYSPLIT-4 για τη χρονική περίοδο 1981-2010 για τις 5 αέριες μάζες α)AM1 β)AM2 γ)AM3 δ)AM4 ε)AM5 (καλοκαίρι)

3.5 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

Στον πίνακα 3.7 παρουσιάζονται οι συχνότητες εμφάνισης των 5 αερίων μαζών για τη χρονική περίοδο μελέτης 1981-2010 για την εποχή του φθινοπώρου. Οι σχετικές συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών απεικονίζονται στο σχήμα 3.22.

Πίνακας 3.7 Συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (φθινόπωρο)

Αέρια μάζα	Συχνότητα
AM1	452
AM2	462



Σχήμα 3.22 Σχετικές συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών (φθινόπωρο)

Από τον πίνακα προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης παρουσιάζει η αέρια μάζα AM4 με ποσοστό 32% και συνολικά 866 ημέρες εμφάνισης. Οι υπόλοιπες αέριες μάζες AM1, AM2, AM3 και AM5 παρουσιάζουν παρόμοια συχνότητα με ποσοστά 16%, 17%, 18% και 17% αντίστοιχα (σχήμα 3.22).

Στον πίνακα 3.8 φαίνονται οι μέσες τιμές ορισμένων μετεωρολογικών χαρακτηριστικών για τη χρονική περίοδο μελέτης για τις 5 αέριες μάζες που επηρέασαν την περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Η επιφανειακή θερμοκρασία για τους φθινόπωρο κυμαίνεται από 9,94 °C μέχρι 25,11 °C. Η θερμότερη αέρια μάζα είναι η AM4 με θερμοκρασία 15,55 °C στα 850hPa και 25,11 °C στην επιφάνεια, ενώ η πιο ψυχρή είναι AM2 με 9,94 °C στην επιφάνεια και 1,41 °C στο επίπεδο των 850hPa. Η AM3 χαρακτηρίζεται από υψηλά ποσοστά υγρασίας που φτάνουν μέχρι 80% στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa. Οι τιμές του δυναμικού στροβιλισμού είναι μεγαλύτερες στις θερμότερες αέριες μάζες AM4 και AM5, ενώ τη χαμηλότερη τιμή εμφανίζει η AM2 η οποία είναι και η πιο ψυχρή.

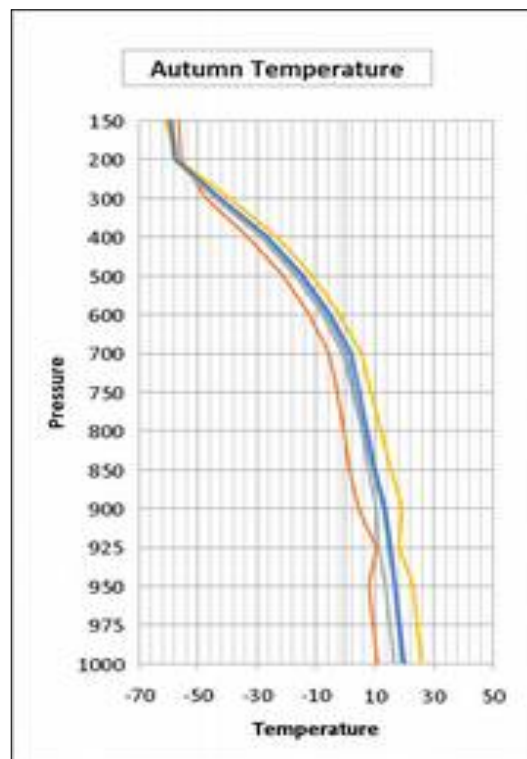
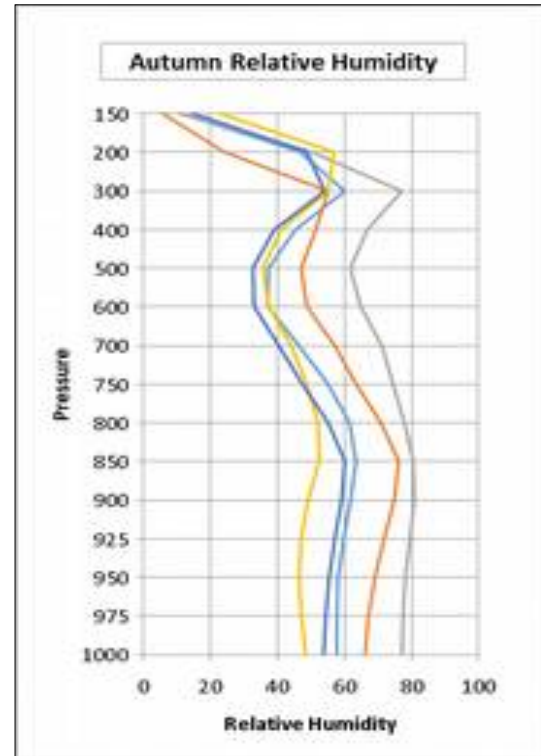
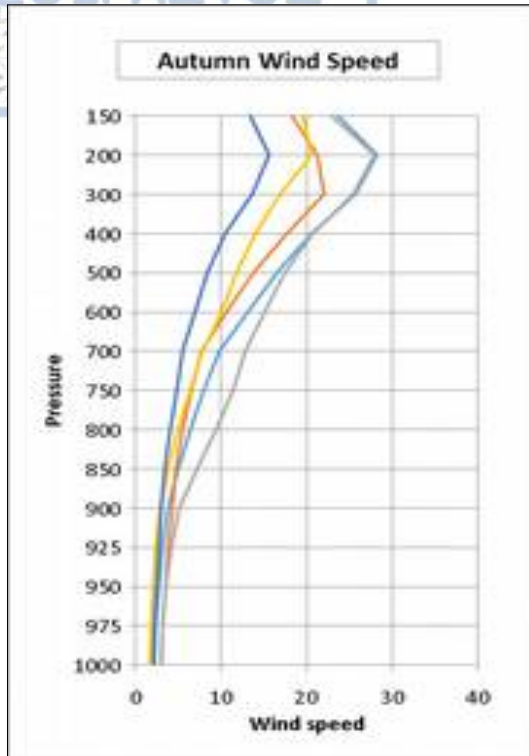
Πίνακας 3.8 Μέσες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών για τις 5 αέριες μάζες
(φθινόπωρο)

	Επιφανειακή Θερμοκρασία (°C)	Θερμοκρασία 850hPa (°C)	Δυναμικός στροβιλισμός (gpm)	Σχετ.Υγρασία 1000hPa (%)	Σχετ.Υγρασία 850hPa (%)	Επιφανειακός άνεμος (m/s)
AM1	18,7	9,4	10731	57,6	63,3	2,4
AM2	9,9	1,4	9511	66,1	76,4	3,3
AM3	14,9	8,0	10737	77,0	80,3	3,2
AM4	25,1	15,6	11843	48,5	52,3	1,9
AM5	19,9	10,1	11059	53,8	60,1	2,2

Στο σχήμα 3.23 παρουσιάζονται τα διαγράμματα 3 παραμέτρων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου) σε συνάρτηση με την ατμοσφαιρική πίεση για την περίοδο του φθινοπώρου. Γενικά, οι καμπύλες των αερίων μαζών της ταχύτητας του ανέμου εμφανίζουν παρόμοια εικόνα και τις τέσσερις εποχές, ενώ υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις πάνω από το επίπεδο των 300hPa όπου εμφανίζεται και ο αεροχείμαρρος. Οι αέριες μάζες AM1 και AM3 στην ισοβαρική επιφάνεια των 200hPa χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές ταχύτητες κοντά στα 30m/s.

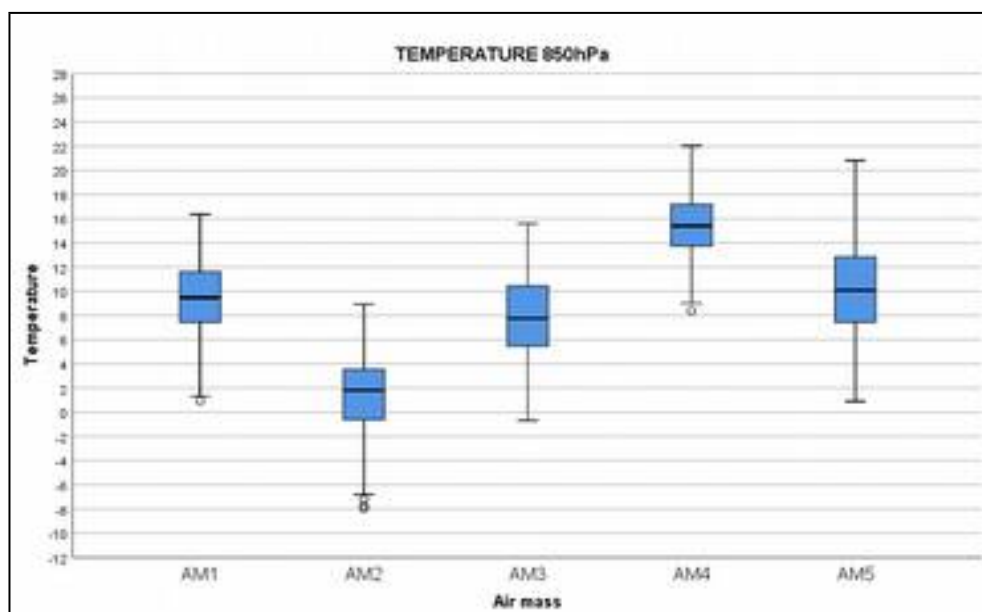
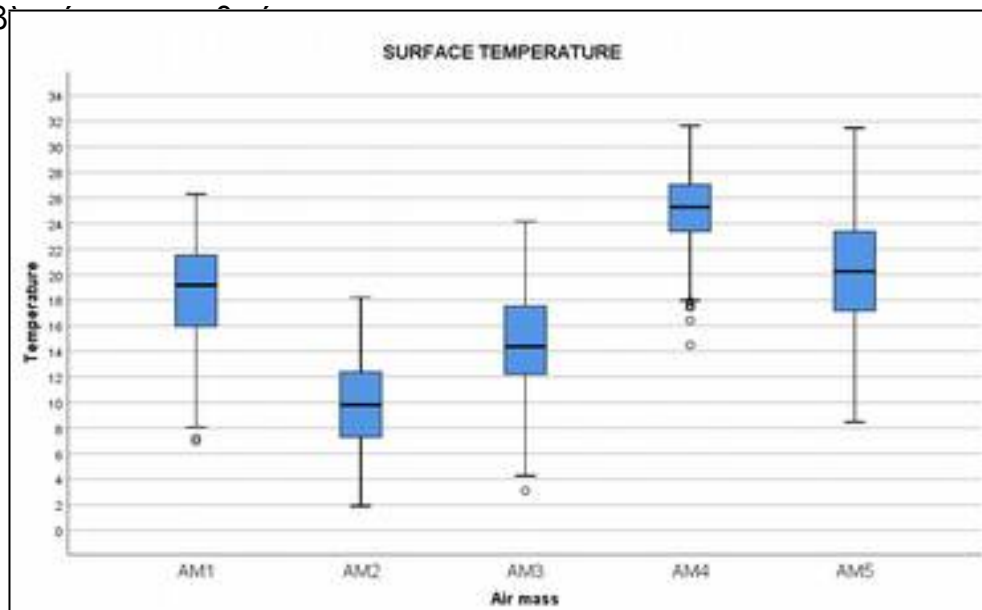
Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας κυμαίνονται από 40% μέχρι 80%. Οι αέριες μάζες AM1, AM3, AM4 και AM5 παρουσιάζουν παρόμοιο ρυθμό μεταβολής και εμφανίζουν μια απότομη αύξηση στα επίπεδα μεταξύ των 500hPa και 300hPa, ενώ από εκεί και πάνω τα ποσοστά της υγρασίας μειώνονται σημαντικά. Η αέρια μάζα AM2 εμφανίζει αρκετά υψηλές τιμές σε όλα τα ισοβαρικά επίπεδα, μέχρι και το επίπεδο των 200hPa.

Στο διάγραμμα της θερμοκρασίας η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα των αερίων μαζών AM1, AM3 και AM5 έχει παρόμοια πορεία. Η AM2 μεταξύ των ισοβαρικών επιπέδων 950hPa και 925hPa παρουσιάζει μια θερμοκρασιακή αναστροφή, όπως και στην καμπύλη της AM4 διακρίνεται μια μικρότερη θερμοκρασιακή αναστροφή στα επίπεδα 925hPa με 950hPa.



Σχήμα 3.23 Διαγράμματα 3 μετεωρολογικών μεταβλητών για το φθινόπωρο σε συνάρτηση με την πίεση για τις 5 αέριες μάζες

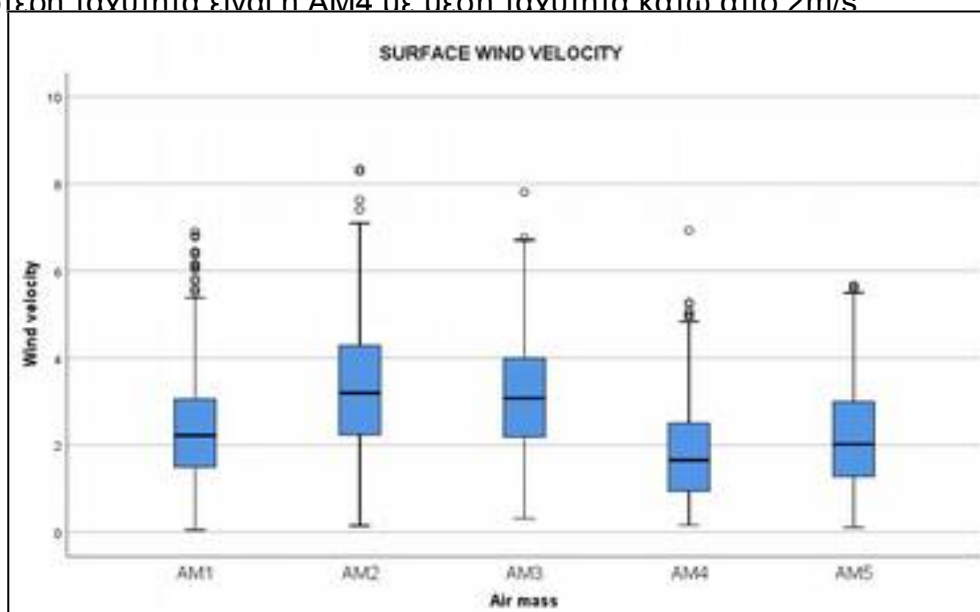
Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται τα θηκογράμματα 4 μετεωρολογικών μεταβ



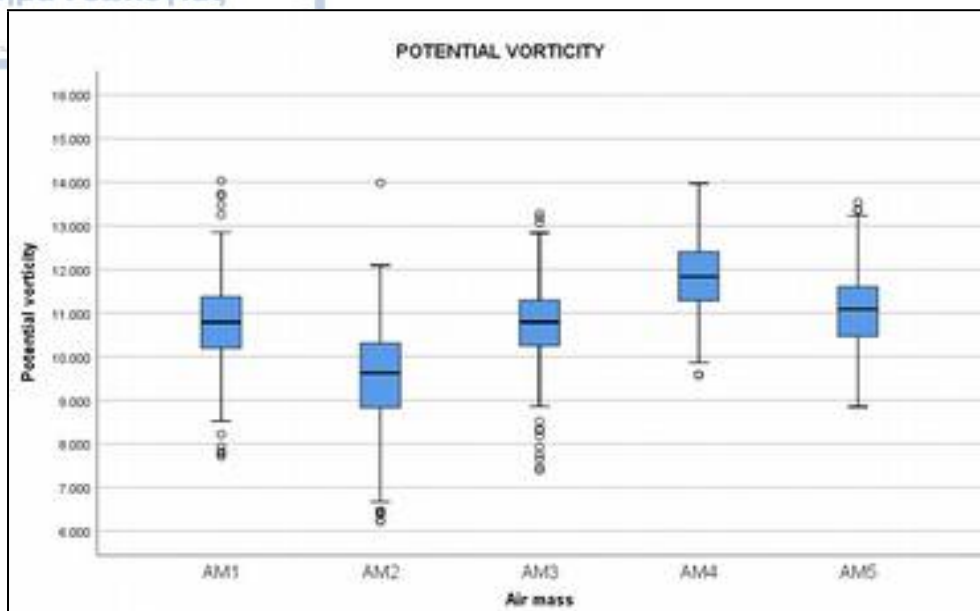
Σχήμα 3.24 Θηκογράμματα της επιφανειακής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (φθινόπωρο)

Στο σχήμα 3.24 τα θηκογράμματα της επιφανειακής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας στα 850hPa απεικονίζουν το εύρος διακύμανσης για κάθε αέρια μάζα ξεχωριστά. Η πιο ψυχρή αέρια μάζα είναι η AM2 και η πιο θερμή η AM4. Η AM3 χαρακτηρίζεται από αρνητική ασυμμετρία και μαζί με την AM5 εμφανίζουν το μεγαλύτερο εύρος μεταβλητότητας. Οι υπόλοιπες αέριες μάζες είναι αρκετά συμμετρικές ως προς την κατανομή τους. Επίσης ακραίες τιμές θερμοκρασίας εμφανίζουν οι αέριες μάζες AM1, AM2, AM3 και AM4 ως προς τις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας.

Στα θηκογράμματα της ταχύτητας του ανέμου (σχήμα 3.25) το μεγαλύτερο εύρος διακρίνεται στις αέριες μάζες AM2 και AM3 οι οποίες εμφανίζουν και τις μεγαλύτερες τιμές. Όλες οι αέριες μάζες εμφανίζουν ακραίες τιμές ως προς τη μέγιστη ταχύτητα. Στις αέριες μάζες AM2 και AM3 οι ακραίες τιμές φτάνουν μέχρι και 8m/s όπου υποδηλώνουν τις ριπές του ανέμου. Επίσης, η αέρια μάζα με τη μικρότερη ταχύτητα είναι η AM4 με μέση ταχύτητα κάτω από 2m/s



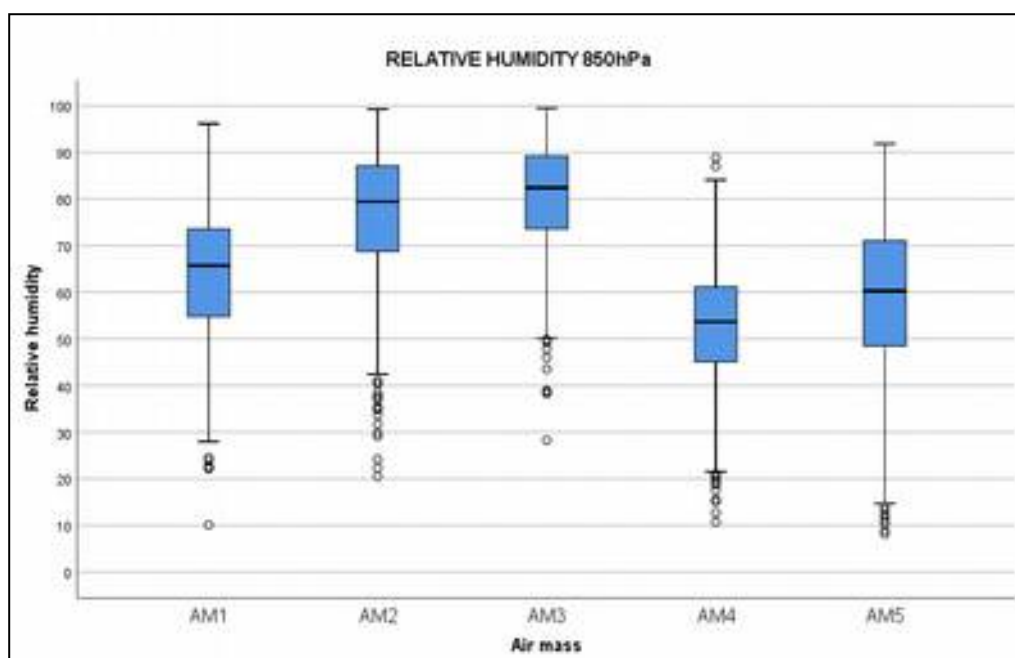
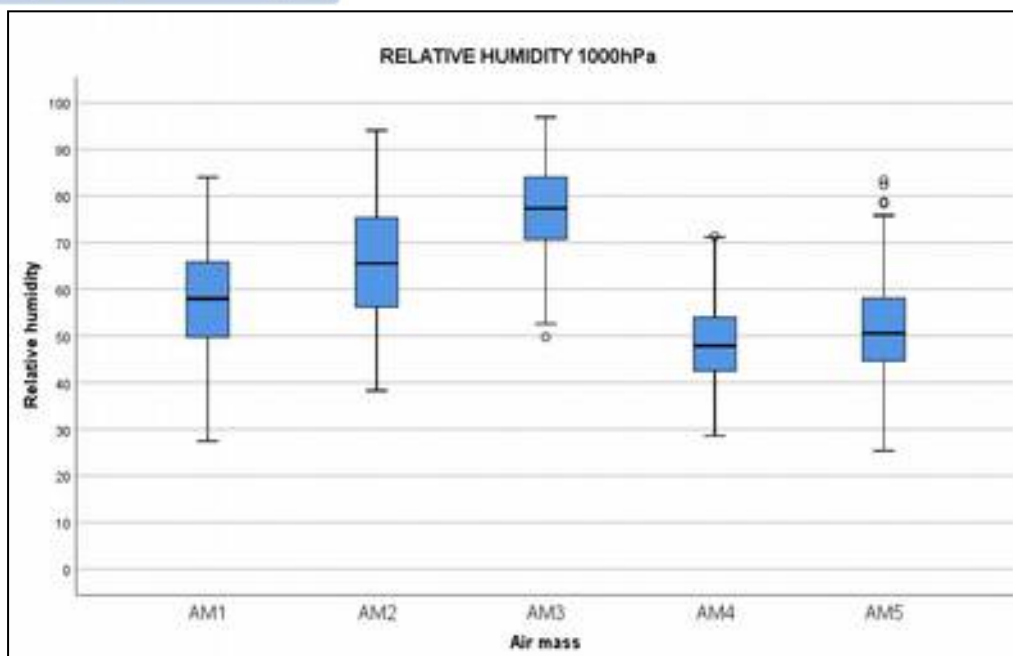
Σχήμα 3.25 Θηκογράμματα της επιφανειακής ταχύτητας ανέμου για τις 5 αέριες μάζες (φθινόπωρο)



Σχήμα 3.26 Θηκογράμματα της δυναμικής τροπόπαυσης για τις 5 αέριες μάζες (φθινόπωρο)

Από το σχήμα 3.26 προκύπτει ότι οι τιμές του δυναμικού στροβιλισμού παρουσιάζουν συμμετρία ως προς το εύρος κατανομής τους. Οι αέριες μάζες AM1, AM2 και AM3 εμφανίζουν αρκετά ακραία σημεία εκτός κατανομής. Το μέσο ύψος τροπόπαυσης της AM4 φτάνει περίπου τα 12.000 μέτρα, ενώ η AM3 εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές δυναμικού στροβιλισμού με μέσο ύψος κάτω από το επίπεδο των 10.000 μέτρων.

Από τα διαγράμματα της σχετικής υγρασίας (σχήμα 3.27) φαίνεται ότι οι αέριες μάζες AM2 και AM3 παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά. Ενώ στα 1000hPa έχουν σημαντικές διαφορές στα ποσοστά υγρασίας (περίπου 10%) στο επίπεδο των 850hPa η μέση τιμή και για τις δυο αέριες μάζες είναι 80%. Οι πιο ξηρές αέριες μάζες σύμφωνα με το σχήμα είναι οι AM4 και AM5 με μέση τιμή σχετικής υγρασίας περίπου 50% στην επιφάνεια και 55 με 60% στα 850hPa. Όλες οι αέριες μάζες παρουσιάζουν ακραίες τιμές κυρίως στο επίπεδο των 850hPa.



Σχήμα 3.27 Θηκογράμματα της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa και στα 850hPa για τις 5 αέριες μάζες (φθινόπωρο)



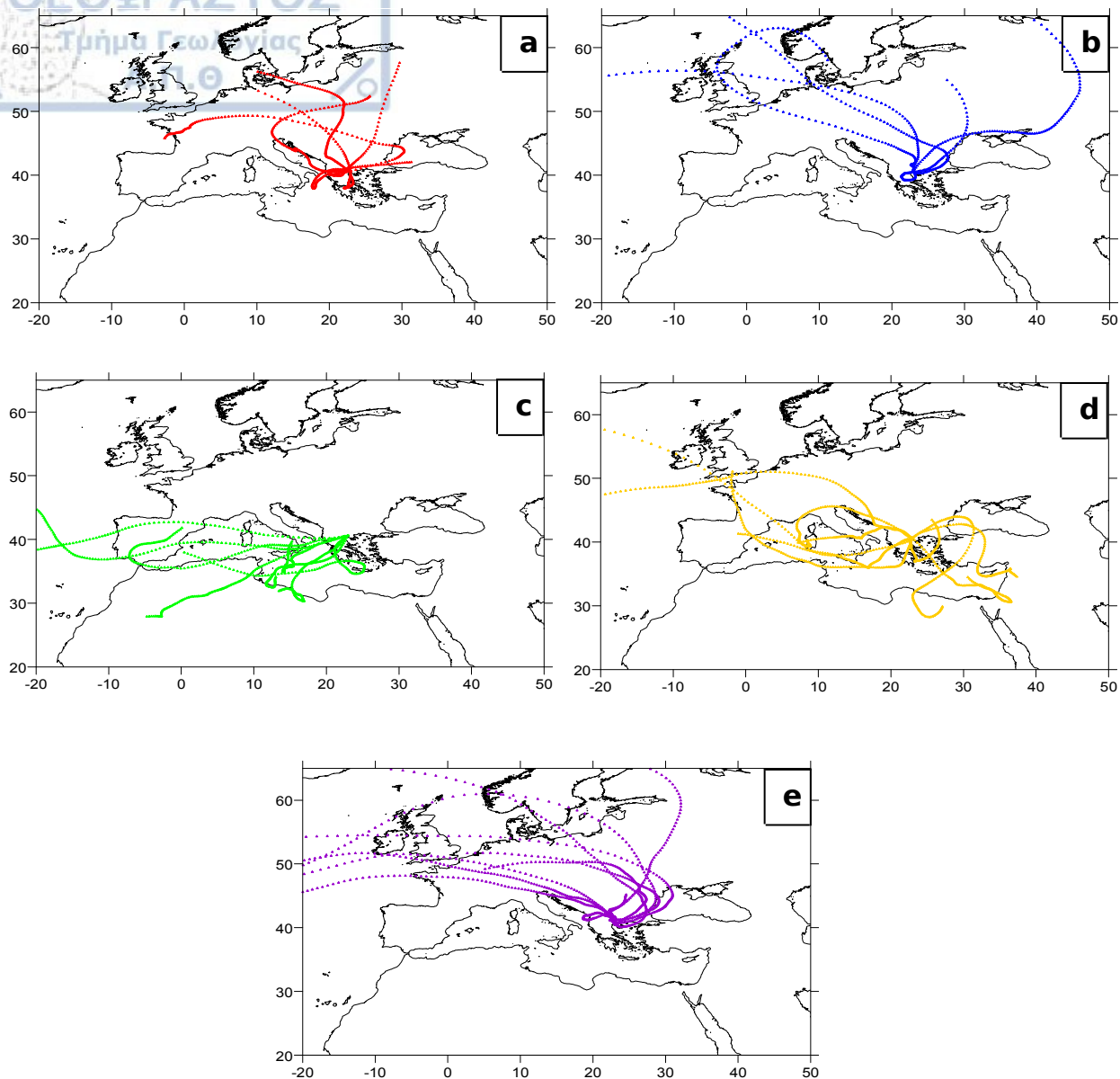
Σύμφωνα με τα σχήματα 3.28a και 3.28b οι πηγές των δυο ψυχρών αερίων μαζών AM1 και AM2 βρίσκονται σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους. Η AM1 (σχήμα 3.28a) είναι μια ψυχρή και ξηρή αέρια μάζα, η οποία παρουσιάζει πιο ηπειρωτικά χαρακτηριστικά. Η πηγή της AM1 είναι κυρίως η Βόρεια Ευρώπη.

Η αέρια μάζα AM2 είναι πολικής προέλευσης και παραμένει πάνω από την ανατολική Ευρώπη και τα Βαλκάνια για αρκετές μέρες με μια ΒΑ τροχιά. Τα χαρακτηριστικά της AM2 (3.28b) εξαρτώνται από την διαδρομή της αέριας μάζας πάνω από τις δυτικές ακτές της Μαύρης θάλασσας, όπου εμπλουτίζονται με αυξημένη υγρασία.

Η AM3 είναι μια τροποποιημένη αέρια μάζα και συνδέεται με αυξημένα ποσοστά υγρασίας και μεγαλύτερες θερμοκρασίες, λόγω της πορείας της κατά μήκος της Μεσογείου (σχήμα 3.28c).

Οι οπισθοτροχιές της αέριας μάζας AM4 εμφανίζουν παρόμοια συνοπτική κυκλοφορία με την AM3 (σχήμα 3.28d). Η AM4 διέρχεται από την κεντρική Μεσόγειο και περνάει πάνω από την Ιταλική χερσόνησο καταλήγοντας στη Θεσσαλονίκη με μια δυτική τροχιά. Επίσης οι αέριες AM4 προέρχονται και από τις περιοχές της ΒΑ Αφρικής και τις ακτές του Ισραήλ.

Τέλος, οι οπισθοτροχιές της αέριας μάζας AM5 (σχήμα 3.28e) κατά τη περίοδο του φθινοπώρου έχοντας ως αφετηρία την περιοχή του Ατλαντικού, κινούνται με μεγάλη ταχύτητα πάνω από την κεντρική Ευρώπη και στη συνέχεια πριν την αφιξή τους στην Ελλάδα, παραμένουν για αρκετές μέρες στην Βαλκανική χερσόνησο. Κατά τη διέλευση τους εμπλουτίζονται με υγρασία από τις δυτικές περιοχές της Μαύρης θάλασσας γι' αυτό και έχουν αυξημένα ποσοστά υγρασίας.



Σχήμα 3.28 Οπισθοτροχιές που υπολογίστηκαν με το μοντέλο HYSPLIT-4 για τη χρονική περίοδο 1981-2010 για τις 5 αέριες μάζες a)AM1 b)AM2 c)AM3 d)AM4 e)AM5 (φθινόπωρο)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται μια προσπάθεια ταξινόμησης των αερίων μαζών σε ομάδες, προκειμένου να εντοπιστούν οι σημαντικότεροι τύποι των αερίων μαζών που επηρεάζουν την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και συγκεκριμένα τη Θεσσαλονίκη. Η μελέτη αφορά στη χρονική περίοδο 1981-2010 ενώ η ανάλυση γίνεται σε εποχιακή βάση.

Αρχικά, στα προς μελέτη δεδομένα πραγματοποιήθηκε κατάλληλη κατηγοριοποίηση και στατιστική επεξεργασία μέσω του προγράμματος EXCEL, ώστε να εξεταστούν οι τύποι των αερίων μαζών καθώς και επίσης και τα χαρακτηριστικά τους.

Χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση κατά συστάδες σε δυο βήματα (TSCA), η οποία εφαρμόζεται σε χρονοσειρές προκειμένου να ομαδοποιηθούν αντικειμενικές ημέρες με παρόμοια κλιματολογικά χαρακτηριστικά. Στόχος αυτής της μεθόδου είναι να μεγιστοποιηθεί τόσο η ομοιογένεια εντός των συστάδων, όσο και η ετερογένεια μεταξύ τους. Κάνοντας χρήση της μεθόδου TSCA στο στατιστικό πακέτο SPSS και έχοντας επιλέξει εκ των προτέρων το πλήθος των συστάδων, έτσι ώστε να είναι ίσο με πέντε, στον πίνακα 3.9 παρουσιάζονται συνοπτικά οι σχετικές συχνότητες των συστάδων που προέκυψαν ανά εποχιακή βάση.

Πίνακας 3.9 Σχετικές συχνότητες εμφάνισης των αερίων μαζών ανά εποχή

ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
AM1	17%	23%	20%	16%
AM2	22%	18%	22%	17%
AM3	22%	24%	22%	17%
AM4	25%	15%	22%	32%
AM5	14%	20%	14%	18%

Επίσης το μοντέλο HYsplit χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστούν οι πηγές προέλευσης των αερίων μαζών. Συγκεκριμένες τεχνικές οπισθοτροχιών πραγματοποιήθηκαν για επιλεγμένες μέρες. Πιο συγκεκριμένα, καθορίστηκαν 5 αέριες μάζες με διαφορετικές θερμοκρασίες και περιεκτικότητες σε υγρασία. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρακάτω συνοψίζονται τα εξής συμπεράσματα.

- Κατά το χειμώνα η αέρια μάζα με το μεγαλύτερο ποσοστό είναι η θερμότερη αέρια μάζα AM4 (25%), ενώ πολύ κοντά με ποσοστό 22% ακολουθούν οι αέριες μάζες AM2 και AM3.
- Την περίοδο της άνοιξης η τροποποιημένη μεσογειακή αέρια μάζα AM3 καταγράφει το μεγαλύτερο ποσοστό (24%), ενώ αμέσως μετά ακολουθεί η πολική προέλευσης AM1 με ποσοστό 23%.
- Τη θερινή περίοδο οι αέριες μάζες με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι οι AM2, AM3 και AM4 και παρουσιάζουν το ίδιο ποσοστό εμφάνισης (22%), ενώ αντίθετα η AM5 σημειώνει το μικρότερο ποσοστό.
- Το φθινόπωρο οι πιο θερμές αέριες μάζες AM4 και AM5 αποτελούν το 50% του συνόλου των ημερών εμφάνισης. Η AM4, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή υγρασία, εμφανίζει και το μεγαλύτερο ποσοστό (32%).

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Το 1985 ο Uri Dayan παρουσίασε μια εργασία που επικεντρώθηκε στην κλιματολογία των οπισθοτροχιών των αερίων μαζών στην περιοχή του Ισραήλ. Κατά τη χρονική περίοδο μελέτης (1978-1982) τις μεγαλύτερες συχνότητες εμφάνισης παρουσιάζουν η μεσογειακή (36%) και η πολική ηπειρωτική αέρια μάζα (30%), ενώ οι τροπικές αέριες μάζες εμφανίζουν μικρότερες σχετικές συχνότητες.

Σύμφωνα με τους Μαχαίρα Π. και Μπαλαφούτη Χ. (1987) οι πιο συχνές αέριες μάζες για την περιοχή της Ελλάδας, σε ετήσια βάση, είναι οι πολικές θαλάσσιες και οι πολικές ηπειρωτικές με ποσοστά 42% και 30% αντίστοιχα. Η μεσογειακή αέρια μάζα παρουσιάζει μικρότερη συχνότητα (18%), ενώ οι τροπικές αέριες μάζες είναι αρκετά σπάνιες για την ελληνική περιοχή.

Μια ακόμη εργασία που μελέτησε τη συχνότητα εμφάνισης των αερίων μαζών είναι αυτή του Νικολαΐδη Κ. (2004), όπου επικεντρώνεται στη μελέτη των υφειακών καταστάσεων τη ψυχρή περίοδο στην περιοχή της Κύπρου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο χώρος εντοπισμού επηρεάζεται από δυο κυρίως αέριες μάζες, τις τροπικές με σχετική συχνότητα 36% και τις πολικές με σχετική συχνότητα 33%. Μεγάλη συχνότητα έχουν και οι μεσογειακές αέριες μάζες με ποσοστό 20%. Η συνεισφορά των άλλων αερίων μαζών είναι μικρή και φτάνει μόλις το 11%.

Μια πιο πρόσφατη μελέτη των Pavel Kotas και Robert Twardorz (2013) εξετάζει τη μεταβλητότητα της εμφάνισης των αερίων μαζών στη Νότια Πολωνία. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πιο συχνή αέρια μάζα είναι η πολική θαλάσσια με ποσοστό 58%, στη συνέχεια ακολουθεί η πολική ηπειρωτική με 21,4%, ενώ οι τροπικές παρουσιάζουν ένα πολύ μικρό ποσοστό (3,1%). Επίσης, αρκετά μεγάλο ποσοστό εμφανίζουν και οι αρκτικές αέριες μάζες (8%) με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης την περίοδο της άνοιξης.

Οι πορείες των αερίων μαζών για κάθε μια από τις 5 κατηγορίες ακολουθούν κάποιες καθορισμένες τροχιές ανάλογα με την εποχή του έτους.

ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ 1

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι αέριες μάζες αυτής της κατηγορίας προέρχονται από τη ΒΔ Ευρώπη και χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες και ποσοστά υγρασίας. Ο πολικός αεροχείμαρρος βρίσκεται πάνω από τη Νότια

Μεσόγειο και το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης είναι περίπου στα 8.700 γεωδυναμικά μέτρα. Την άνοιξη η AM1 ακολουθεί αρκετά μεγάλη διαδρομή πάνω από τη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη και φτάνει στη Θεσσαλονίκη από βόρειες διευθύνσεις. Τους θερινούς μήνες η AM1 παρουσιάζει παρόμοια τροχιά προερχόμενη από τη Βόρεια, Κεντρική και σε μερικές περιπτώσεις από την Ανατολική Ευρώπη και χαρακτηρίζεται από μια μέση επιφανειακή θερμοκρασία της τάξης των 25,5 °C και χαμηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας. Ο υποτροπικός αεροχείμαρρος κατά τη διάρκεια του θέρους βρίσκεται πάνω από την περιοχή της Μεσογείου. Το φθινόπωρο οι αέριες μάζες αυτού του τύπου παρουσιάζουν μικρή συχνότητα (17%). Η περιοχή πρόελευσης τους είναι οι περιοχές της Κεντρικής Ευρώπης και φτάνουν στη Θεσσαλονίκη ψυχρές και σχετικά ξηρές. Επομένως τα χαρακτηριστικά της AM1 είναι οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες και η μικρή περιεκτικότητα σε σχετική υγρασία στα κατώτερα τροποσφαιρικά στρώματα, σύμφωνα με τα οποία η συγκεκριμένη αέρια μάζα μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολική ηπειρωτική αέρια μάζα.

ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ 2

Την ψυχρή περίοδο του έτους, με συχνότητα εμφάνισης 22%, η αέρια μάζα AM2 παραμένει για αρκετό καιρό πάνω από την Ανατολική Ευρώπη και τα Βαλκάνια και εμπλουτίζεται με υγρασία από τις παρακείμενες θάλασσες αυξάνοντας την αστάθεια της. Το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης είναι περίπου στα 9.100 γεωδυναμικά μέτρα. Την άνοιξη οι τροχιές της AM2 παραμένουν σχεδόν στάσιμες, έχοντας ως αφετηρία περιοχές των Βαλκανίων και τα δυτικά τμήματα της Τουρκίας. Κατά την περίοδο του καλοκαιριού η AM2 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (22%) και λόγω της διέλευσης της από τη Μαύρη θάλασσα αυξάνεται το ποσοστό υγρασίας. Το φθινόπωρο το σημείο εκκίνησης της AM2 αποτελούν οι περιοχές του Βόρειου Ατλαντικού και της Μαύρης θάλασσας. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τις πηγές προέλευσης

των τροχιών της AM2 προκύπτει ότι πρόκειται για πολική θαλάσσια αέρια μάζα, η οποία φτάνει στην Ελλάδα ψυχρή και εμπλουτισμένη με υγρασία.

ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ 3

Από το σύνολο των τροχιών που μελετήθηκαν οι αέριες μάζες του τύπου AM3 εμφανίζουν παρόμοια πορεία και τις τέσσερις εποχές. Το χειμώνα η συγκεκριμένη αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από μέση επιφανειακή θερμοκρασία 8 °C και σχετική υγρασία επιφανείας 80%, ενώ το καλοκαίρι η θερμοκρασία στην επιφάνεια είναι 25,5 °C και η υγρασία φτάνει το 50%. Ο πολικός αεροχείμαρρος το χειμώνα βρίσκεται στην Κεντρική Ευρώπη, ενώ ο υποτροπικός αρκετά νοτιότερα στη Βόρεια Αφρική, με το όριο της δυναμικής τροπόπαυσης να είναι στα 9.500 γεωδυναμικά μέτρα. Αντίστοιχα το καλοκαίρι ο πολικός αεροχείμαρρος μετατοπίζεται πολύ βορειότερα και ο υποτροπικός βρίσκεται πάνω από τον Ελλαδικό χώρο εμποδίζοντας τις ψυχρές βόρειες αέριες μάζες. Η AM3 αντιπροσωπεύει μεταβατικής φύσης αέρια μάζα από ηπειρωτικό σε θαλάσσιο χαρακτήρα. Έχει ως αφετηρία τη Δυτική Μεσόγειο και ακολουθεί μια ζωνική τροχιά κατά μήκος της Μεσογείου φτάνοντας στη Θεσσαλονίκη θερμή, υγρή και σχετικά ασταθής. Πρόκειται για μεσογειακού τύπου αέρια μάζα η οποία παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα στην περιοχή της Μεσογείου προσδίδοντας τα ιδιαίτερα θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά της.

ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ 4

Η AM4 κατά τους χειμερινούς μήνες χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και συνδέεται με την υποτροπική ράχη πάνω από την Ευρώπη. Ακολουθούν μεγάλη διαδρομή κατά την αφιξή τους στην Ελλάδα, ενώ τα ποσοστά της επιφανειακής σχετικής υγρασίας φτάνουν μέχρι και το 60%. Την άνοιξη η τροχιά της AM4 εμφανίζει διαφορετική τροχιά, έχοντας ως αφετηρία τη Βόρεια Αφρική και την Ιβηρική χερσόνησο. Η δυναμική τροπόπαυση βρίσκεται στο ύψος των 11.000 γ. μέτρων, ενώ τα ποσοστά υγρασίας στην επιφάνεια είναι σχετική χαμηλά

(45%). Τη θερμή περίοδο οι αέριες μάζες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες και πολύ χαμηλά ποσοστά υγρασίας (39%). Την περίοδο του φθινοπώρου η AM4 διέρχεται από περιοχές της Μεσογείου αλλά και της ΒΑ Αφρικής. Οι αέριες μάζες αυτής της κατηγορίας είναι τροπικές αέριες μάζες οι οποίες παρουσιάζουν ηπειρωτικό χαρακτήρα έχοντας απορροφήσει μικρότερα ποσοστά υγρασίας κατά τη διαδρομή τους.

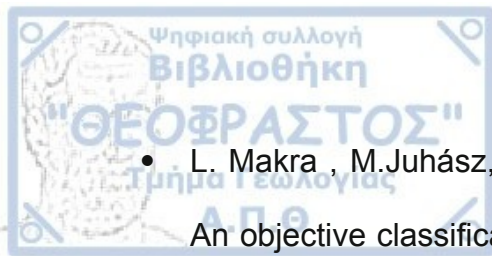
ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ 5

Κατά τους χειμερινούς μήνες η AM5 έχοντας ως πηγή την Ιβηρική χερσόνησο και τη Βόρεια Αφρική κινείται προς τα ανατολικά δέχοντας της θαλάσσια επίδραση της Μεσογείου και παρουσιάζει αυξημένα ποσοστά επιφανειακής υγρασίας που φτάνουν μέχρι και 75%. Την άνοιξη η τροχιά της AM5 εμφανίζει ζωνική ροή και οι περιοχές προέλευσης της είναι τα δυτικά και βόρεια τμήματα της Μεσογείου με μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια κοντά στους 20 °C. Τους θερινούς μήνες οι αέριες μάζες προέρχονται από την περιοχή των Αζόρων οι οποίες φτάνουν στην Ελλάδα έχοντας ακολουθήσει μια πορεία πάνω από τη Δυτική Ευρώπη και τη Βαλκανική Χερσόνησο. Η δυναμική τροπόπαυση το καλοκαίρι φτάνει μέχρι και τα 12.000 γ.μέτρα. Το φθινόπωρο η συγκεκριμένη αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από αυξημένη υγρασία στην επιφάνεια και στα 850hPa. Η τροχιά της, όπως και τη θερμή περίοδο, ακολουθεί το επεκτεινόμενο αντικυκλώνα των Αζορών. Λόγω της μεγάλης διαδρομής τους πάνω από τις θερμές περιοχές της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας τους δεν προλαβαίνουν να αποβάλλουν την υγρασία και φτάνουν στην Ελλάδα με αυξημένα ποσοστά υγρασίας. Η AM5 όπως προκύπτει από την εποχιακή μελέτη είναι μια τροπική θαλάσσια αέρια μάζα με υψηλές τιμές θερμοκρασίας και αυξημένη υγρασία.

- Ahrens D. (2008), Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere, 5th edition
- Victor Estelles, Jose A. Martinez-Lozano, and Maria P. Utrillas (2007), Influence of air mass history on the columnar aerosol properties at Valencia, Spain
- Anagnostopoulou C, Tolika K, Maheras P (2009), Classification of circulation types: A new flexible automated approach applicable to NCEP and GCM datasets. Theoretical and applied climatology, DOI 10.1007/s00704-008-0032-6, 96, 3-15
- Barry R. and Carleton A. (2001), Synoptic and Dynamic Climatology, London and New York Eds. 620p
- John E. Oliver (2005), Encyclopedia of world climatology
- Hamed A., Facchini M, Kulmala M. and Laaksonen A. (2007), Relation of air mass history to nucleation events in Po Valley, Italy, using back trajectories analysis
- Helvey R. and Battalino T. (1998), Air trajectories and air mass characteristics in the Southern California Coastal Region
- HYSPLIT info (2012), http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT_info.pdf
- HYSPLIT atmospheric transport and dispersion model (2012), http://www.arl.noaa.gov/documents/Summaries/hysplit_trifold.pdf



- Kalkstein LS (1991), A new approach to evaluate the impact of climate on human mortality
- Kalkstein LS, Nichols MC Barthel CD, Greene (1996), A new spatial synoptic classification: Application to air mass analysis, International journal of climatology
- Kotas P., Twardosz R, Nieckarz Z. (2012), Variability of air mass occurrence in southern Poland (1951-2010)
- Low TB and Hudak DR (1997), Development of Air Mass Climatology Analysis for the Determination of Characteristic Marine Atmospheres. Part I: North Atlantic. Theor. Appl. Climatol. 57, 135-153.
- Maheras P. (1983), Variation saisoniere des masses d'air en Grece. Revue Geographique Mediterranee, 48, 73-79
- C. Toledano (2008), Airmass Classification and Analysis of Aerosol Types at El Arenosillo (Spain)
- Ming Chen, Robert Talbot, Huiting Mao, Barkley Sive, Jianjun Chen, and Robert J. Griffin (2007), Air mass classification in coastal New England and its relationship to meteorological conditions
- Paweł Kotas , Robert Twardosz, Zenon Nieckarz (2013), Variability of air mass occurrence in southern Poland (1951–2010)
- L. Makra, J. Mika, A. Bartzokas, R. Bećzi, E. Borsos, and Z. Sućmeghy (2005), An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special interest in air pollution levels



- L. Makra , M.Juhász, J. Mika, A.Bartzokas, R. Béczi, Z.Sümeghy (2006),
An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary,
with special attention to plant pollen levels
- Βάρφη Μ. (2009), Συνοπτική και δυναμική μελέτη των θερμών και ψυχρών
εισβολών στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, Θεσσαλονίκη
- Ζαμπάκας Ι. (1992), Γενική κλιματολογία, Αθήνα
- Κασταφάδος Πέτρος & Μαυροματίδης Ηλίας (2010), Αρχές
Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Αθήνα
- Μαχαίρας Π. & Μπαλαφούτης Χ. (1985), Μαθήματα Γενικής
Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη
- Μιχαηλίδου Χ. (2010), Οι τύποι καιρού σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη και οι
σχέσεις τους με τους τύπους κυκλοφορίας, Θεσσαλονίκη
- Νικολαΐδης Κ. (2004), Συνοπτική και δυναμική μελέτη των υφεσιακών
καταστάσεων κατά τη ψυχρή περίοδο στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου,
Θεσσαλονίκη
- Σαχσαμάνογλου Χ. & Μακρογιάννης Τ. (2004), Μαθήματα Γενικής
Μετεωρολογίας, Θεσσαλονίκη
- Φλόκας Α. (1984), Συμβολή στη μελέτη των μετωπικών συστημάτων στον
μεσογειακό χώρο
- Φλόκας Α. (1990), Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,
Θεσσαλονίκη

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης, έχει ως κύριο στόχο τη μελέτη και την ταξινόμηση των αερίων μαζών στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και ιδιαίτερα πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιώντας μια αντικειμενική στατιστική μέθοδο. Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια κλιματολογικά δεδομένα ERA-Interim από το ECMWF για τη χρονική περίοδο 1981-2010. Συγκεκριμένα, οι κλιματικές παράμετροι που επιλέχθηκαν είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και ο δυναμικός στροβιλισμός για 15 διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα. Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (22°A - 24°A και $39,5^{\circ}\text{B}$ - 42°B) με χωρική διακριτοποίηση $0,5^{\circ}\times 0,5^{\circ}$ και χρονική ανάλυση 6 ώρες. Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει την αποκωδικοποίηση των δεδομένων μέσω του προγράμματος Excel, όπου γίνεται έλεγχος αναστροφής στην ανώτερη και κατώτερη ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η ανάλυση κατά συστάδες σε δυο βήματα (TSCA) μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS και ταξινομήθηκαν οι αέριες μάζες σε κλάσεις ανά εποχιακή βάση. Επίσης, υπολογίστηκαν οι οπισθοτροχιές των αερίων μαζών για 5 ημέρες με το μοντέλο HYSPLIT-4 προκειμένου να εντοπιστεί η προέλευση των αερίων μαζών. Τέλος, δημιουργήθηκαν οι χάρτες των οπισθοτροχιών για κάθε αέρια μάζα, μέσω του προγράμματος SURFER.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης προέκυψαν 5 τύποι αερίων μαζών για κάθε εποχή, όπου ταξινομήθηκαν με βάση τα κύρια χαρακτηριστικά τους. Η πρώτη αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες και μικρά ποσοστά υγρασίας και προέρχεται από τα ΒΔ της Ευρώπης (χαρακτηριστικά πολικής ηπειρωτικής αέριας μάζας). Η δεύτερη αέρια μάζα έχει και αυτή χαμηλές θερμοκρασίες αλλά μεγαλύτερα ποσά υγρασίας και η πηγή της βρίσκεται στη κυρίως ανατολική, ΒΑ Ευρώπη αλλά παραμένει αρκετό χρόνο πάνω από τη Μαύρη Θάλασσα και έτσι εμπλουτίζεται σε υγρασία (χαρακτηριστικά πολικής θαλάσσιας αέριας μάζας). Η τρίτη αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από μέσες



θερμοκρασίες για την εποχή εμφάνισης, αρκετή υγρασία και ζωνική κυκλοφορία πάνω από τη Μεσόγειο (χαρακτηριστικά μεσογειακής αέριας μάζας). Η τέταρτη αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και συνδέεται με την υποτροπική ράχη πάνω από την Ευρώπη (χαρακτηριστικά τροπικής ηπειρωτικής αέριας μάζας). Τέλος, η πέμπτη αέρια μάζα χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία (χαρακτηριστικά τροπικής θαλάσσιας αέριας μάζας)

The main purpose of this master thesis is the classification of air masses in the eastern Mediterranean area and especially over Thessaloniki, using an objective statistical method. Daily ERA-Interim climatic data from ECMWF for the period 1981-2010 was used. Specifically, the climatic parameters selected are temperature, relative humidity, wind speed and dynamic vorticity for 15 different pressure levels. The area of the study was defined as the surrounding area of Thessaloniki (22°-24°A and 39,5°B-42°B) with a spatial resolution of 1,5°x1,5° and a time interval of 6 hours. The methodology followed involves data decoding using Excel program, where inversion control is performed in the upper and lower atmosphere. Two-step cluster analysis (TSCA) have been applied using SPSS statistical program and air masses were classified in groups on a seasonal basis. Also, 5-day back trajectories of air masses have been calculated with the HYSPLIT-4 model in order to identify the origin of air masses. Finally, back trajectory maps for each air mass were created with the SURFER program.

According to the results of the study, 5 types of air mass were produced for each season, where they were classified according to their main characteristics. The first air mass is characterized by low temperatures and low humidity levels and is derived from the NW of Europe (Polar continental air mass). The second air mass has also low temperatures, but larger amounts of humidity and the source is in particular North-East Europe, but remains several days over the Black Sea and it is enriched with moisture (Polar maritime air mass). The third air mass is characterized by average temperatures for the display period, sufficient moisture and zonal circulation over the Mediterranean (Mediterranean air mass). The fourth air mass is characterized by high temperatures and it is connected to the subtropical ridge over Europe (Tropical continental air mass). Finally, the fifth air mass is characterized by high temperatures and high relative humidity (Tropical maritime air mass).