

Ακαδημαϊκό Έτος 2009-2010
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Μελέτη των Ετησίων Ανέμων και η επίδραση τους στο τροποσφαιρικό όζον

**Διπλωματική εργασία
του Τσικερδέκη Αθανάσιου**

**Επιβλέπων καθηγητής
Ζάνης Πρόδρομος**

Θεσσαλονίκη 2010



Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Μελέτη των Ετησίων Ανέμων και η επίδραση τους στο τροποσφαιρικό όζον» εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010 στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών. Ο επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής είναι ο Επίκουρος Καθηγητής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης της Σχολής Θετικών Επιστημών του Τμήματος Γεωλογίας του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Πρόδρομος Ζάνης.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή του ΑΠΘ και επιβλέπων καθηγητή της παρούσας εργασίας Πρόδρομο Ζάνη για την βοήθεια, στήριξη και επίλυση κάθε απορίας που παρουσιαζόταν καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης αυτής.

Επίσης τον Υποψήφιο Διδάκτορα του ΑΠΘ του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας Γιάννη Τεγούλια για την παραχώρηση των δεδομένων και την βοήθεια του στο πρόγραμμα της Grads.

Όπως και τον Μεταπτυχιακό Φοιτητή του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ Χρήστο Ντόγρα για την αμέριστη βοήθεια του στο να παρθούν τα δεδομένα όπως και στην στήριξη και τις συμβουλές του κατά τα πρώτα μου βήματα στο πρόγραμμα της Grads.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό να προσδιορίσει τους μετεωρολογικούς μηχανισμούς δημιουργίας των Ετησίων και να ελέγξει αν και σε ποιο βαθμό επηρεάζεται η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος πάνω από τον Αιγαίο χώρο από τις Ετησίες. Η μελέτη έγινε με την χρήση δύο κλιματικών μοντέλων του RegCM3 και των δεδομένων επ-ανάλυσης (re-analysis) Era40 για την 12ετή περίοδο 1990 έως 2001 για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στους οποίους το φαινόμενο είναι στην ώριμη φάση του.

Στο κεφάλαιο της Εισαγωγής δίνεται ο ορισμός των Ετησίων, τα βασικά χαρακτηριστικά τους, μερικά ιστορικά στοιχεία, ο μηχανισμός δημιουργίας τους, η μεταβολή της έντασης τους μέσα στον χρόνο, ο καιρός που τις συνοδεύει και η αυξημένη συγκέντρωση ορισμένων ατμοσφαιρικών ρύπων κατά την περίοδο που το φαινόμενο είναι έντονο. Ακόμα αναλύονται η μηχανισμοί δημιουργίας του τροποσφαιρικού όζοντος και ο ρυθμός αύξησης του τα τελευταία χρόνια. Αναφέρονται ιστορικά στοιχεία για την ανακάλυψη και την ονομασία του, ο ρόλος που παίζει στα ατμοσφαιρικά επεισόδια ρύπανσης και οι επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία και στα φυτά.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο κλιματικό μοντέλο RegCM3 και στα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40 που χρησιμοποιήθηκαν. Πότε δημιουργήθηκαν από ποιους και με ποιες μεθόδους. Ακόμα δίνεται η χωρική ανάλυση των αρχείων που χρησιμοποιήθηκαν και η έκταση που απεικονίζουν. Ακόμα αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων. Δίνονται αναλυτικές αναφορές για τις τρεις κλιματικές ομάδες ημερών που χρησιμοποιήθηκαν και βασικά αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία των δεδομένων.

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί τον πυρήνα αυτής της εργασίας. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία του κλιματικού μοντέλου RegCM3 και των δεδομένων επ-ανάλυσης (re-analysis) Era40. Προβάλλονται κλιματικοί χάρτες επιφανείας αλλά και ανώτερης ατμόσφαιρας για διάφορες μεταβλητές όπως Άνεμος, Θερμοκρασία, συγκέντρωση Όζοντος, συνοδευόμενοι από σχολιασμό για τα αποτελέσματα που προέκυψαν.



Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Ετησίες.....	4
1.2 Τροποσφαρικό όζον.....	7

Κεφάλαιο 2. Μέθοδοι και δεδομένα

2.1 Κλιματικό μοντέλο RegCM.....	13
2.2 Δεδομένα επ-ανάλυσης ERA40.....	14
2.3 Grid Analysis and Display System (GrADS).....	14
2.4 Μεθοδολογία.....	15

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα

3.1 Γενικές Πληροφορίες.....	20
3.2 Ροή του Ανέμου.....	21
3.3 Γεωδυναμικό Ύψος.....	27
3.4 Θερμοκρασιακή Μεταβολή.....	29
3.5 Ύψος του Οριακού Στρώματος.....	33
3.6 Συγκέντρωση Τροποσφαιρικού Όζοντος.....	35

Συμπεράσματα.....	40
--------------------------	-----------

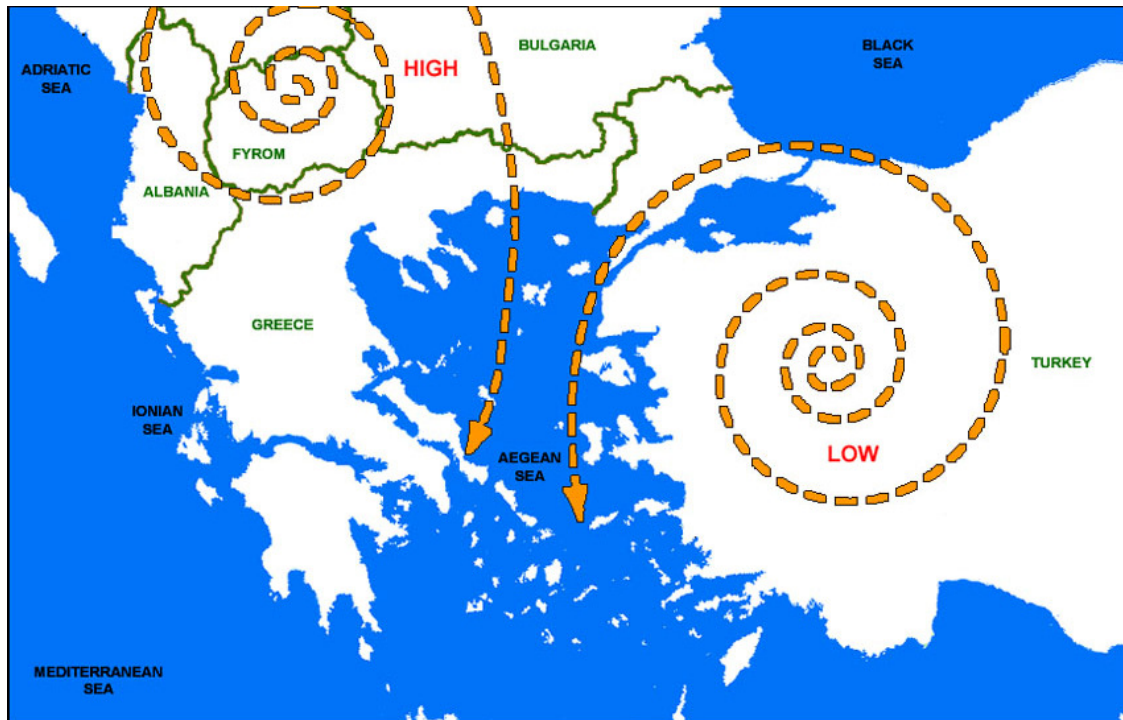
Βιβλιογραφία.....	41
--------------------------	-----------

Διαδικτυακές Συνδέσεις.....	42
------------------------------------	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1 Ετησίες

Οι Ετησίες ή αλλιώς μελέμια είναι ο ημερήσιος τοπικός άνεμος που εκδηλώνεται κάθε χρόνο την καλοκαιρινή περίοδο στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Ευρώπης και πιο συγκεκριμένα στο Αιγαίο. Η κύρια διεύθυνση των ανέμων αυτών είναι Βόρεια, όμως μεταβάλλεται από Βόρειο Ανατολική προς Βόρειο Δυτική καθώς κατευθυνόμαστε από τον Βορρά προς τον Νότο.

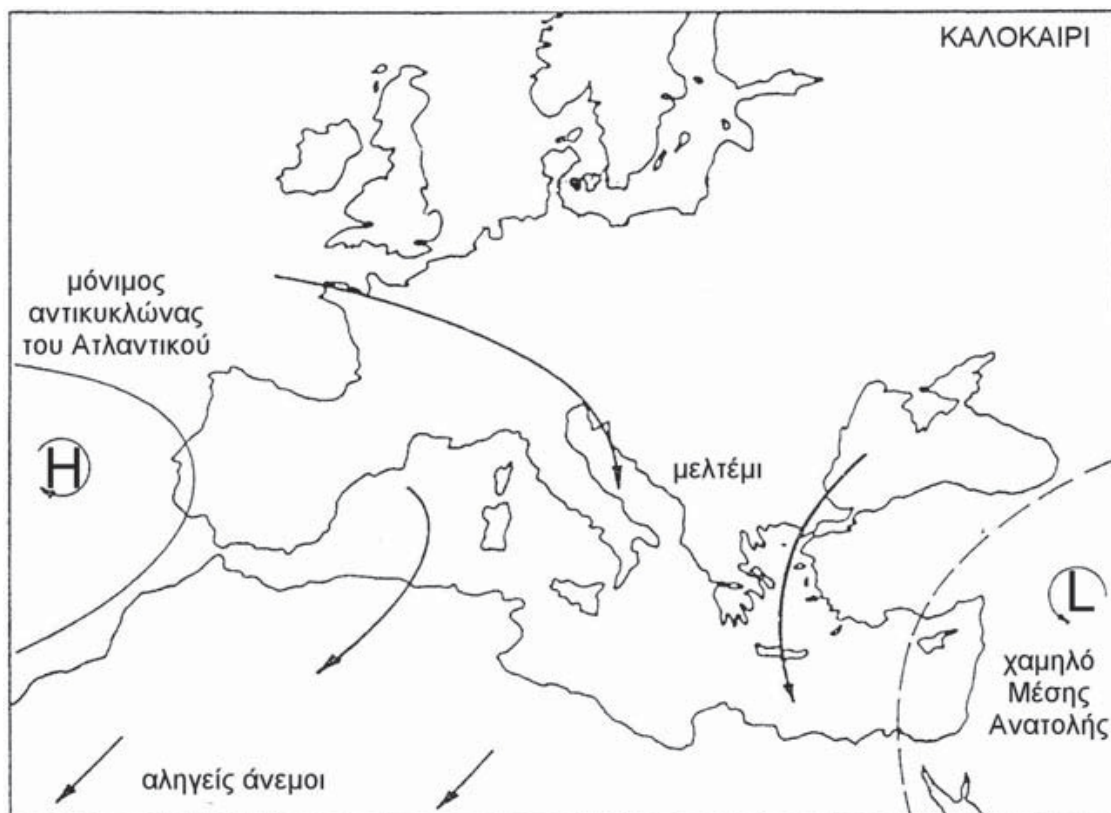


Εικόνα 1. Στον χάρτη φαίνεται ο μηχανισμός δημιουργίας των Ετησίων ανέμων. Φαίνεται πως το υψηλό βαρομετρικό των Βαλκανίων και το χαμηλό βαρομετρικό πάνω από την Μικρά Ασία συμβάλουν στην Βόρειο – Βορειοδυτική διεύθυνση των ανέμων. Πηγή από τον διαδικτυακό τόπο

<http://el.wikipedia.org/wiki/Μελέμι>.

Ιστορικά οι Ετησίες είναι γνωστές από αρχαιωτάτων χρόνων. Πρώτοι οι αρχαίοι έλληνες έδωσαν το όνομα Έτησiai στο εποχιακό αυτό φαινόμενο σε γραπτά κείμενα του 700π.Χ. Σε διάφορα έργα τους ο Θέων, ο Αριστοτέλης και ο Θεόφραστος μας δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την διεύθυνση, την ένταση και την εποχή έναρξης και λήξης των ανέμων (Αρσένη 1986)

Ο κύριος μηχανισμός που δημιουργεί το φαινόμενο έγκειται στα δύο βαρομετρικά συστήματα που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου. Το ένα είναι ένα σύστημα υψηλών πιέσεων που τοποθετείται στα Βαλκάνια και θεωρείται προέκταση του Αντικυκλώνα των Αζορών που υπάρχει στον Ατλαντικό, όμως ο ρόλος που έχει στην δημιουργία του φαινομένου έχει αμφισβητηθεί από διάφορες μελέτες (Αρσένη 1986). Ενώ το δεύτερο είναι ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων, το Χαμηλό της Μέσης Ανατολής ή του Πακιστάν όπως είναι γνωστό, το οποίο προεκτείνεται έως την Μικρά Ασία και επηρεάζει το κλίμα την Ανατολικής Μεσογείου.



Εικόνα 2. Η τυπική βαρομετρική κατάσταση που δημιουργεί τις Ετησίες. Ο αντικυκλώνας των Αζορών σε συνδυασμό με το κέντρο χαμηλών πιέσεων της Μέσης Ανατολής ή Πακιστάν, προκαλούν στην Ελλάδα ισχυρούς βόρειους ανέμους κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Πηγή από το βιβλίο «Εισαγωγή στη Μετεωρολογία – Μια εκπαιδευτική προσέγγιση. Μέρος Α : Βασικές έννοιες» του Βίγκλα Παναγιώτη.

Πιο αναλυτικά σύμφωνα με την Αγγελική Αρσένη – Παπαδημητρίου στην «Συμβολή στη μελέτη του προβλήματος των Ετησίων» ο μηχανισμός έναρξης και ο κύκλος των ανέμων συνήθως είναι ο ακόλουθος: Αρχικά πάνω από την επιφάνεια της Βαλκανικής διέρχεται ένα ψυχρό μέτωπο με ύφεση ή χωρίς, ενώ πίσω του αναπτύσσεται αντικυκλωνική ροή. Σχεδόν ταυτόχρονα καθ' ύψος έχουμε έναν Αυλώνα ο οποίος προκαλεί ψυχρή εισβολή πάνω από την ανατολική Μεσόγειο, που ενισχύει τις χαμηλές πιέσεις του Πακιστάν. Έπειτα με την μορφή μιας σκάφης οι χαμηλές πιέσεις αρχίζουν να προεκτείνονται προς τα δυτικά. Όταν ο αντικυκλώνας κινούμενος αργά Ανατολικά – Νοτιοανατολικά συνδυαστεί με τις χαμηλές πιέσεις που υπάρχουν στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο έχουμε σαν αποτέλεσμα την έναρξη πνοής των ετησίων.

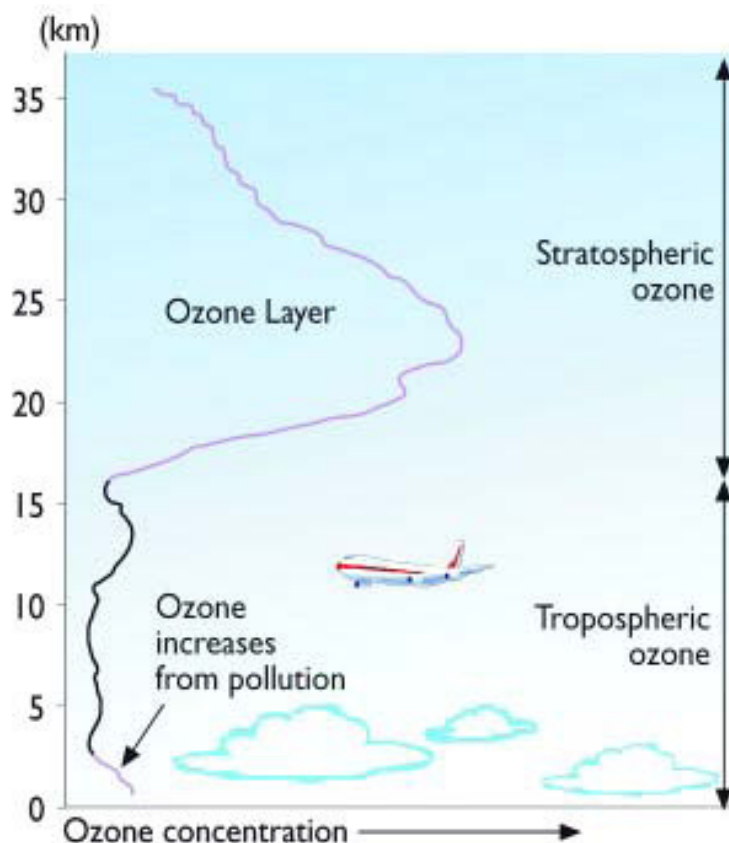
Η ένταση των Ετησίων μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου. Εμφανίζονται με τους «Πρόδρομους» προς τα τέλη Μαΐου αρχές Ιουνίου και έχουν σύντομη διάρκεια από δύο έως τρεις εβδομάδες. Στην συνέχεια ακολουθούν οι «Κύριες Ετησίες» από τα τέλη Ιουνίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου και τέλος έχουμε τους «Οψιμους» ανέμους που πνέουν έως και τις αρχές Οκτωβρίου. Σύμφωνα με μελέτες ο Ιούλιος φαίνεται να είναι ο μήνας με το υψηλότερο ποσοστό ημερών με Ετησία ακολουθούμενος από τον Αύγουστο, με ποσοστά 81% και 77% αντίστοιχα (Αρσένη 1986). Γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεκριμένοι μήνες για την μελέτη της εργασίας. Μεταβολή στην ένταση υπάρχει και κατά την διάρκεια της μέρας. Μέγιστη τιμή αποκτούν τις πρώτες μεσημβρινές ώρες κυρίως όμως από 12:00 έως 18:00, ενώ τις βραδινές ώρες ο ήλιος δεν υπερθερμαίνει της ερήμους της Μέσης Ανατολής με αποτέλεσμα το χαμηλό να γίνεται ηπιότερο και οι Ετησίες να εξαφανίζονται εκτός μερικών ειδικών περιπτώσεων.

Ο καιρός κατά την διάρκεια του φαινομένου είναι σταθερός, με καθαρό ουρανό και ηλιοφάνεια, χαμηλή σχετική υγρασία, ξηρασία, απουσία βροχής στις περισσότερες περιπτώσεις και κυματώδης θάλασσα η οποία μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην πλεύση μικρών σκαφών. Συχνά παρατηρείται η παρουσία κατά τόπους ομίχλης και χαμηλών νεφών τύπου Stratocumulus ή Στρωματοσωρείτης από την δύση έως και την ανατολή του Ήλιου.

Κατά την διάρκεια του φαινομένου και κυρίως τις ημέρες και ώρες που οι Ετησίες αποκτούν μέγιστη τιμή ευνοούνται οι συνθήκες για την συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων όπως οξείδια του Αζώτου NO_x και το τροποσφαιρικό Όζον O_3 . Δύο σημαντικοί λόγοι που ευνοούν την αυξημένη συγκέντρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι η φωτοχημικότητα στην ατμόσφαιρα, που είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος παραγωγής του O_3 , και η κάθετη ανάμειξη του αέρα (Kalabokas, Repapis 2004). Τις ώρες λοιπόν 12:00 με 18:00 που οι Ετησίες αποκτούν μέγιστη ένταση η δράση των δύο παραπάνω παραγόντων αποκτά μέγιστη τιμή. Το φως είναι ένα από τα βασικές προϋποθέσεις της φωτοχημικής παραγωγής του όζοντος, για αυτό και η παραγωγή του ευνοείται κατά την διάρκεια της ημέρας και των θερμών μηνών του έτους (Ζάνης 2008), όπως θα δούμε παρακάτω. Ο καιρός των Ετησίων (ηλιοφάνεια) παίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην αυξημένη παραγωγή του.

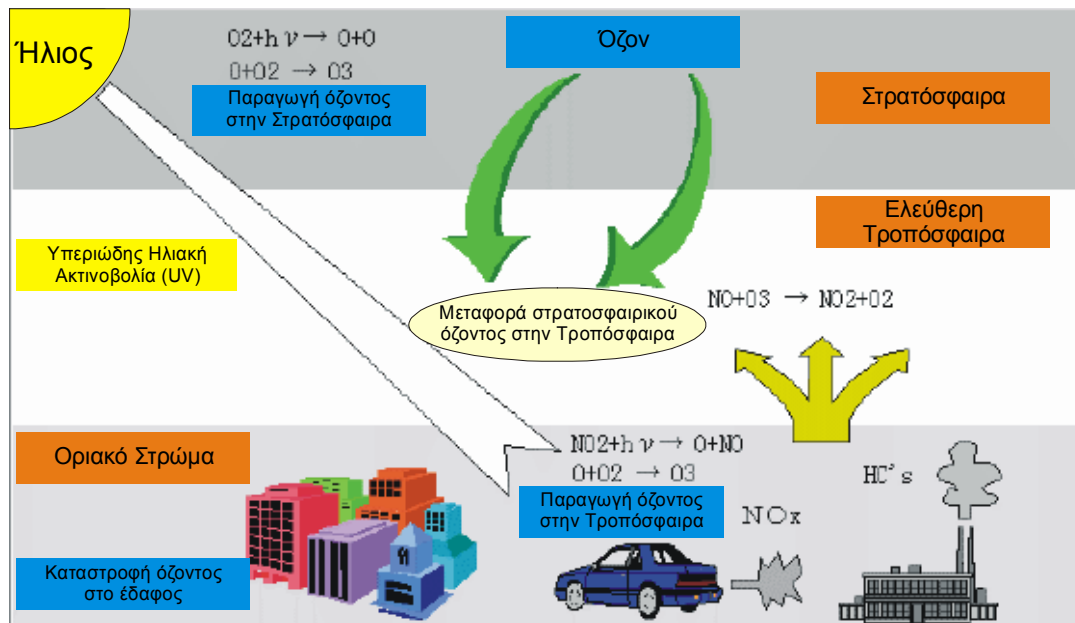
Το όζον (O_3) είναι ένα τριατομικό μόριο, που αποτελείται από τρία άτομα Οξυγόνου. Αποτελεί μια αλλοτροπική μορφή του Οξυγόνου και σε αντίθεση με την διατομική του έκφανση δεν είναι σταθερό. Υπό κανονικές συνθήκες βρίσκεται σε αέρια φάση, είναι ισχυρά οξειδωτικό και τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα.

Πήρε το όνομα του από τον Christian Friedrich Schönbein ο οποίος το ανακάλυψε το 1840, η ονομασία του έχει ελληνική ρίζα από την λέξη μυρωδιά (ὄζειν), λόγω της μυρωδιάς που γίνεται αντιληπτή τις νύχτες που έχουμε καταιγίδες αστραπών. Η μυρωδιά αυτή δεν προέρχεται από το ίδιο το Όζον αλλά από τα ιόντα που παράγονται κατά τη διάρκεια των ραγδαίων χημικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα σε τέτοια καιρικά φαινόμενα. Στην ατμόσφαιρα το 90% του όζοντος βρίσκεται στην Στρατόσφαιρα και παρά το μεγάλο πάχος που καταλαμβάνει, η ποσότητα του είναι πολύ μικρή. Μάλιστα είναι τόσο μικρή που θα κάλυπτε μόλις 3 χιλιοστά πάχους αν βρισκόταν στην επιφάνεια (Μαχαίρας, 2008). Το υπόλοιπο 10% αποτελεί δευτερογενή ρύπο και το συναντούμε στην τροπόσφαιρα.



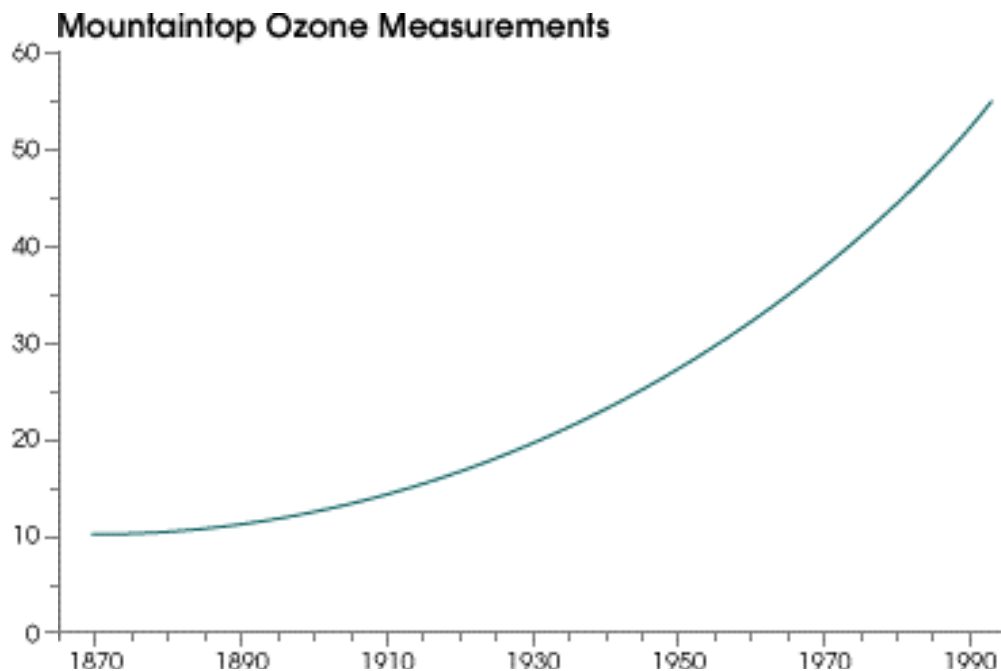
Εικόνα 3. Κατακόρυφη κατανομή του όζοντος στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Πηγή από τον διαδικτυακό τόπο <http://www.amap.no/acia/>

Η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος γίνεται με δύο μηχανισμούς. Ο πρώτος και κύριος μηχανισμός είναι η φωτοχημική παραγωγή του, που συμβαίνει με διάφορες χημικές αντιδράσεις μεταξύ του οξυγόνου (O_2), διάφορων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου (NO_x). Η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος ευνοείται ιδιαίτερα από την παρουσία του φωτός, καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία αποτελεί ένα απαραίτητο στοιχείο για την παραγωγή του ατομικού οξυγόνου, το οποίο στην αντίδραση του με το μοριακό οξυγόνο θα μας δώσει Όζον. Ο δεύτερος μηχανισμός είναι η απευθείας μεταφορά του στρατοσφαιρικού όζοντος στην τροπόσφαιρα.



Εικόνα 4. Σχηματική παράσταση παραγωγής όζοντος στην στρατόσφαιρα, σε ύψη άνω των 15 Km, από την επίδραση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας στο οξυγόνο και της παραγωγής όζοντος στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας, από το έδαφος μέχρι περίπου το ύψος των 2 Km, από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στα παράγωγα των καύσεων. (Πηγή: Κέντρο Έρευνας Φυσικής Της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών, 2006).

Έρευνες σε Ευρώπη και Βόρεια Αμερική έδειξαν πως τα τελευταία χρόνια υπάρχει αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος της τάξης του 1% ανά έτος (Ζάνης, 2008). Στην εικόνα 3 μπορούμε να δούμε την σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος τα τελευταία 100 χρόνια.



Εικόνα 5. Η μεταβολή της συγκέντρωσης (σε ppbv) του τροποσφαιρικού όζοντος του ατμοσφαιρικού υποβάθρου από το 1870 έως το έτος 1990. Πηγή από το βιβλίο «Laser & Εφαρμογές τους στην Βιοφυσική και το Περιβάλλον» του Α.Παπαγιάννη.

Μέχρι και τα τέλη του 1970 η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι το όζον στην τροπόσφαιρα είναι ένα αδρανές αέριο και ότι προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από την κατώτερη στρατόσφαιρα με διεισδύσεις στρατοσφαιρικού όζοντος στην τροπόσφαιρα, και πως στην συνέχεια καταστρέφεται στο έδαφος. Ήταν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και 1980 που τέθηκαν οι βάσεις της θεωρίας της φωτοχημικής παραγωγής του τροποσφαιρικού όζοντος. Η αφορμή δόθηκε το 1960 στην προσπάθεια να εξηγηθεί το φωτοχημικό νέφος του Λος Άντζελες (Ζάνης, 2008).

Άλλες μελέτες σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν δείξει ότι περιοχές που πλήττονται από πυρκαγιές δασών ή αγροτικών περιοχών (πχ Βραζιλία, Κονγκό) έχουν αυξημένα επίπεδα τροποσφαιρικού όζοντος τις τάξεις των 70-80ppb που αντιστοιχούν σε τιμές αστικών περιοχών με αυξημένη ρύπανση. Αυτό συμβάλει στην διαπλανητική αύξηση του όζοντος δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής του στην τροπόσφαιρα κυμαίνεται από μερικές ημέρες σε μερικές εβδομάδες, έτσι το όζον έχει την δυνατότητα να μεταφερθεί εύκολα από ήπειρο σε ήπειρο. Όπως καταλαβαίνουμε από τα παραπάνω τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την μείωση του τροποσφαιρικού όζοντος πρέπει να είναι μεγάλης κλίμακας και όχι κρατικής, μιας και το όζον διαθέτει τον χρόνο και την δυνατότητα να μεταφέρεται εύκολα μέσα στην ατμόσφαιρα.

Στην περιοχή της χώρας μας τώρα, οι γενικές κλιματικές συνθήκες και τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός πεδίου ροής, το οποίο έχει διεύθυνση από το Βορρά προς το Νότο κατά τη διάρκεια όλων των εποχών και κυρίως του καλοκαιριού με τις Ετησίες (Kallos et al., 1998). Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη μεγάλης κλίμακας μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων όζοντος και των προδρόμων ρύπων του από την ηπειρωτική Ευρώπη στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου (Kourtidis et al., 2002; Kouvarakis et al., 2002).

Αν λάβουμε υπόψη μας τις ειδικές μετεωρολογικές συνθήκες, που επικρατούν στον Ελλαδικό χώρο, σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους, με έντονη ηλιακή ακτινοβολία και υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρούμε πως επιτείνεται ο χημικός μετασχηματισμός, των ανθρωπογενών και βιογενών, εκπεμπόμενων προδρόμων ενώσεων του όζοντος σε όζον και άλλους φωτοχημικούς ρύπους. Σύμφωνα με πληροφορίες σχετικά με τις συγκεντρώσεις υπόβαθρου όζοντος από όλη την Ελλάδα παρατηρούνται υψηλά επίπεδα όζοντος (>50 ppb) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και για σχετικά μεγάλες χρονικές περιόδους της ημέρας (Πούπκου, 2005). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συμφωνούν με αυτές τις υψηλές συγκεντρώσεις.

Ακόμα πρέπει να αναφέρουμε πως διάφορα ερευνητικά προγράμματα όπως το PAUR I και το PAUR II επιβεβαιώνουν πως οι αυξημένες συγκεντρώσεις υποβάθρου του όζοντος στην Ελλάδα οφείλονται σε μεταφορά μεγάλης κλίμακας, η οποία επηρεάζει το επίπεδο του εδάφους αλλά και την ελεύθερη τροπόσφαιρα (Kourtidis et al., 2002; Kouvarakis et al., 2002; Zerefos et al., 2001).

Η αύξηση του όζοντος στην τροπόσφαιρα παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο σε πολλά επεισόδια ρύπανσης. Αποτελεί ένα φωτοχημικό ρύπο καθώς είναι ένα από τα στοιχεία που προκαλεί την φωτοχημική καπνομίχλη, η οποία αποτελεί πρόβλημα μεγάλων αστικών κέντρων. Δημιουργείται από μια πολύπλοκη σειρά αντιδράσεων που περιλαμβάνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου, από βιομηχανικές πηγές και αυτοκίνητα, υπό την δράση του ηλιακού φωτός (Ζάνης 2008). Γι' αυτό τον λόγο έχει μέγιστη ένταση κατά τους θερινούς μήνες στην διάρκεια της ημέρας όπου η θερμοκρασία είναι μέγιστη. Αντίθετα όταν η θερμοκρασία μειώνεται το φωτοχημικό νέφος δεν δημιουργείται.

Ακόμα συμβάλει στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου απορροφώντας την φασματική περιοχή 9.1-9.6μm της Γήινης ακτινοβολίας. Έτσι αποτελεί ένα από τα βασικά θερμοκηπικά αέρια και αυτό φαίνεται καθώς συνεισφέρει το 1/3 της δράσης του CO₂ στην ενίσχυση του φαινομένου από τα προβιομηχανικά χρόνια έως σήμερα (Ζάνης 2008). Επίσης λόγω της οξειδωτικής του δράσης συνεισφέρει στην δημιουργία όξινης βροχής.

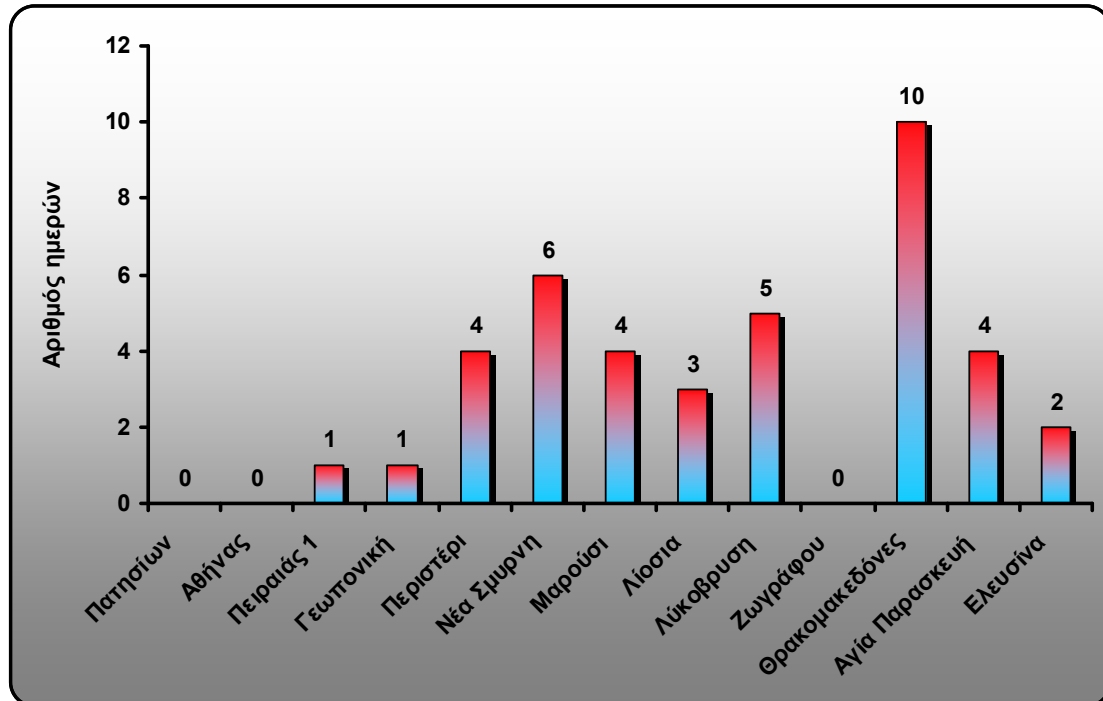
Η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος και τα επεισόδια ρύπανσης που προκαλεί, θα μπορούσαν να περιοριστούν απλά με μείωση των πρωτογενών ρύπων που το δημιουργούν. Ίσως ένας αποτελεσματικός τρόπος θα ήταν η θέσπιση φόρων εκπομπής ρύπων. Για κάτι τέτοιο είχαν γίνει προσπάθειες παλαιότερα, αλλά ήρθαν σε αντιπαράθεση με ηθικής φύσεων ενστάσεις που υποστήριζαν πως δεν πρέπει να είναι δυνατόν να αγοράζεις το δικαίωμα να ρυπαίνεις (Jes Fenger 2008).

Ένας άλλος αποτελεσματικός τρόπος που θα μπορούσε να περιορίσει τις υψηλές συγκεντρώσεις του τροποσφαιρικού όζοντος θα ήταν η εκλεκτική μείωση των τομέων που προκαλούν μέγιστες εκπομπές πρόδρομων ενώσεων του όζοντος. Σύμφωνα με την διδακτορική διατριβή της Αναστασίας Π. Πούγκου το 2005 ο μηδενισμός των εκπομπών από ολόκληρο τον τομέα των μεταφορών προκαλεί τις μεγαλύτερες μειώσεις στις μέσες τιμές των συγκεντρώσεων του όζοντος, ακολουθούν οι Βιογενείς παράγοντες και ο τομέας της Βιομηχανίας.

Βέβαια εκτός από τις παραπάνω αρνητικές επιπτώσεις στα επεισόδια ρύπανσης πρέπει να αναφέρουμε πως το όζον αποτελεί την πηγή του πιο σημαντικού οξειδωτικού μέσου στην τροπόσφαιρα, της ελεύθερης ρίζας υδροξυλίου (OH). Με την ρίζα του OH ξεκινά μια αλυσιδωτή διαδικασία αντιδράσεων στην τροπόσφαιρα η οποία προκαλεί οξείδωση διάφορων ιχνοστοιχείων που διαφορετικά θα δρούσαν ως θερμοκηπικά αέρια. Άρα παρατηρούμε πως έχει διπλό ρόλο καθώς είναι θερμοκηπικό αέριο αλλά καταστρέφει άλλα στοιχεία που θα δρούσαν κατά τον ίδιο τρόπο.

Υψηλές συγκεντρώσεις του όζοντος έχουν άμεσο αντίκτυπο στην υγεία του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα για υγιείς ενήλικες και παιδιά είναι υπεύθυνο για την ελάττωση της πνευμονικής λειτουργίας, την αύξηση της αντιδραστικότητας, την πνευμονική φλεγμονή και αύξηση των αναπνευστικών συμπτωμάτων. Τα παραπάνω συμπτώματα γίνονται φανερά ακόμη και κάτω από τα ανεκτά όρια της έκθεσης. Στους αθλητές και τους εργαζόμενους εξωτερικών χώρων προκαλεί μείωση της ικανότητας άσκησης όταν συνυπάρχει ρύπανση όξινων αερολυμάτων και σωματιδίων. Ενώ σε ευαίσθητες ομάδες όπως Ασθματικούς και άτομα με χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις προκαλεί αυξημένη συχνότητα νοσηλείας (Λαζάρου θ. Συχλετίδη 2009).

Στην εικόνα 6 μπορούμε να δούμε τον αριθμό ημερών για το 2006 με ωριαία τιμή όζοντος μεγαλύτερη από $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για διάφορες περιοχές της Αθήνας.



Εικόνα 6. Αριθμός ημερών για το 2006 με ωριαία τιμή όζοντος μεγαλύτερη από $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (που έχει οριστεί ως όριο ενημέρωσης πληθυσμού από την ευρωπαϊκή ένωση, 2002) για διάφορες περιοχές της Αθήνας. Πηγή από Έκθεση ΔΕΑΡΘ/ΥΠΕΧΩΔΕ (Έπειτα από επεξεργασία)

Τέλος είναι φυτο-τοξικό στοιχείο, άρα σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι επικίνδυνο για τα φυτά, τα δάση αλλά και τις αγροτικές καλλιέργειες γιατί μειώνουν την παραγωγικότητα τους. Οι Ευρωπαϊκή ένωση έχει θέσει ως όριο φυτο-τοξικότητας για το όζον τα $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και Όριο Ενημέρωσης πληθυσμού τα $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ζάνης, 2008), ενώ θεωρείται ως ρυπογόνο στοιχείο από τον Παγκόσμιο Οργανισμό υγείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Μέθοδοι και Δεδομένα

2.1 Κλιματικό μοντέλο RegCM

Το **RegCM3** είναι ένα τρισδιάστατο περιοχικό κλιματικό μοντέλο το οποίο προέκυψε με την χρήση βασικών εξισώσεων. Ο βασικός του πυρήνας βασίζεται στην υδροστατική έκδοση του NCAR-PSU Mesoscale Model version 5. Το σχήμα της ακτινοβολίας βασίζεται σε εκείνο του Community Climate Model version 3. Η νέφωση και βροχόπτωση μεγάλης κλίμακας προσομοιώνονται από το Subgrid Explicit Moisture Scheme. Για την προσομοίωση των κατακόρυφων ροών λόγω αστάθειας και της αντίστοιχης βροχόπτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρία σχήματα. Από αυτά το σχήμα του Grell μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο υποθέσεις κλεισίματος : των Arakawa-Schubert και των Fritsch-Chappell. Η έκδοση 3 είναι η νεότερη και είναι ελεύθερα διαθέσιμη. Αναπτύχθηκε και υποστηρίχθηκε από επιστήμονες εντός αλλά και εκτός του PWC και ICTP. Η πρώτη έκδοση της σειράς RegCM ολοκληρώθηκε από τους Dickinson et al. (1989), Giorgi and Bates (1989) and Giorgi (1990) στο Εθνικό Κέντρο για Ατμοσφαιρική Έρευνα (NCAR), από τότε επεξεργάζεται και βελτιώνεται έως και σήμερα από πολλούς επιστήμονες.

Τα αρχεία RegCM3 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία έχουν διαστάσεις από -41,18 έως 68,042 γεωγραφικό μήκος και από 23,31 έως 73,3044 γεωγραφικό πλάτος, απεικονίζουν τον ευρύτερο χώρο της Ευρώπης και έχουν ανάλυση 50km*50km. Προήλθαν από προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

2.2 Δεδομένα Επ-ανάλυσης Era40

Τα δεδομένα επ-ανάλυσης (re-analysis) **Era40** βασίζονται σε τεχνικές αφομοίωσης (assimilation) δεδομένων ενός παγκόσμιου μοντέλου γενικής κυκλοφορίας και παρατηρήσεων που έκανε το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού ή ECMWF. Η επεξεργασία αφορούσε την παγκόσμια ατμοσφαιρική και επιφανειακή κατάσταση της περιόδου Σεπτέμβριος 1957 με Αύγουστο του 2002. Αποτελεί ένα παγκόσμιο ατμοσφαιρικό, υδροστατικό, φασματικό μοντέλο τριγωνικής αποκοπής. Για την δημιουργία του χρησιμοποιήθηκαν πολλές πηγές μετεωρολογικών παρατηρήσεων που συμπεριλάμβαναν ραδιοβολίδες, αερόστατα, αεροσκάφη, θαλάσσιες σηματοδούρες, δορυφόρους και ραντάρ. Κατόπιν τα δεδομένα αυτά έτρεξαν από το ECMWF και οι πληροφορίες αποθηκεύτηκαν σε μορφή GRIB με ανάλυση 40km. Η δημιουργία του μοντέλου αποσκοπούσε στην βελτίωση της ακρίβειας των ιστορικών καιρικών χαρτών αλλά και σε μια λεπτομερή ανάλυση διάφορων καιρικών συστημάτων για μια περίοδο η οποία της έλειπε η επεξεργασία μέσω υπολογιστή.

Τα αρχεία ERA40 που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ανήκουν στην βασική κλάση είναι Παγκόσμιας Κλίμακας και έχουν ανάλυση $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. Είναι διαθέσιμα στον καθένα από τον Server του ECMWF.



ECMWF ERA-40 data used in this study have been obtained from the ECMWF data server.

2.3 Grid Analysis and Display System (GrADS)

Το πρόγραμμα GrADS είναι ένα λογισμικό εργαλείο για την γρήγορη επεξεργασία και απεικόνιση μετεωρολογικών δεδομένων και όχι μόνο. Ο τύπος των αρχείων μπορεί να διαβάσει είναι πολλών ειδών. Στην παρούσα εργασία έγινε επεξεργασία NetCDF αρχείων. Χρησιμοποιείται παγκόσμια και είναι ελεύθερα διαθέσιμο μέσω Internet σε όλους.

Απεικονίζει το περιβάλλον σε 4 διαστάσεις, με το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος, το ύψος και τον χρόνο. Τα δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν σε διάφορες μορφές εικόνες ή σε μορφή Ascii. Διαθέτει επίσης την δυνατότητα να διαβάσει γλώσσα προγραμματισμού και να εκτελέσει σύνθετες μαθηματικές πράξεις.

2.4 Μεθοδολογία

Για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των κλιματικών χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τα πρόγραμμα Grads και Microsoft Excel. Τα δεδομένα για το κλιματικό μοντέλο RegCM3 και για τα δεδομένα επ-ανάλυσης ERA40 καλύπτουν την 12ετή περίοδο 1990 έως 2001 για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Από την παραπάνω περίοδο επιλέχθηκαν μόνο οι τιμές για τις 12:00 το μεσημέρι. Τα φύλλα Excel στα οποία έγινε η επεξεργασία και τα Scripts που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή χαρτών συμπεριλαμβάνονται στην παρούσα εργασία.

Η πρώτη επεξεργασία έγινε με τα δεδομένα του μοντέλου RegCM3. Με την βοήθεια του προγράμματος Grads φορτώθηκαν τα αρχεία επιφανείας SRF και από εκεί έγινε εξαγωγή των μεταβλητών U και V σε Ascii μορφή για 4 γεωγραφικές συντεταγμένες.

Πίνακας 1. Τα επιλεγμένα σημεία από τα οποία έγινε συλλογή των δεδομένων U και V, και οι γεωγραφικές συντεταγμένες τους.

Σημεία	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος
1	37	25
2	37	26
3	38	25
4	38	26

Οι τέσσερις αυτές γεωγραφικές συντεταγμένες επιλέχθηκαν έτσι ώστε να βρίσκονται μέσα στην θάλασσα για να είναι ελάχιστη η επιρροή της τοπογραφίας στις τιμές των ανέμων. Η μεταβλητή U συμβολίζει τους Ανατολικούς ανέμους με αρνητικό πρόσημο και τους Δυτικούς με θετικό, ενώ η μεταβλητή V συμβολίζει τους Βόρειους ανέμους με αρνητικό πρόσημο και τους Νότιους με θετικό. Οι μονάδα των τιμών είναι μέτρα ανά δευτερόλεπτο m/s και για τις δύο μεταβλητές.

Οι τιμές U και V αντίστοιχα μεταφέρθηκαν στο πρόγραμμα Excel. Εκεί υπολογίστηκε το διάνυσμα του ανέμου με το μέτρο και την διεύθυνση του για κάθε ζευγάρι U και V. Έπειτα υπολογίστηκε η μέση τιμή διεύθυνσης και μέτρου των τεσσάρων γεωγραφικών σημείων για κάθε μέρα. Ακολούθως κατόπιν επεξεργασίας όλων των μέσων τιμών καταλήξαμε σε 3 ομάδες ημερών που αναλύονται στην συνέχεια.

1. Ισχυρές Ετησίες ή Ετησίες μεγαλύτερες του Τρίτου Τεταρτημορίου – Greater than Third Quartile Etesian : Αφορά όλες τις μέρες όπου ο άνεμος έχει διεύθυνση Βόρειο Δυτική έως Βόρειο Ανατολική, δηλαδή από 120° έως 240° αντίστοιχα, και η ένταση του είναι μεγαλύτερη από την τιμή 10.131m/s . Η τιμή αυτή ορίστηκε σύμφωνα με την συνάρτηση Quartile του Excel η οποία αποδίδει στην συγκεκριμένη περίπτωση την τιμή του Τρίτου τεταρτημορίου από το σύνολο όλων των τιμών έντασης (μέτρου) του ανέμου. Άρα στην ομάδα αυτή ανήκουν οι «ισχυρές» Ετησίες αυτές με την μεγαλύτερη ένταση ανέμου με ποσοστό συμμετοχής 25% από το σύνολο των τιμών.
2. Ασθενείς Ετησίες ή Ετησίες μικρότερες του Πρώτου Τεταρτημορίου – Lower than First Quartile Etesian : Αφορά όλες τις μέρες όπου ο άνεμος έχει διεύθυνση Βόρειο Δυτική έως Βόρειο Ανατολική, δηλαδή από 120° έως 240° αντίστοιχα, και η ένταση του είναι μικρότερη από την τιμή 5.451m/s . Η τιμή αυτή ορίστηκε σύμφωνα με την συνάρτηση Quartile του Excel η οποία αποδίδει στην συγκεκριμένη περίπτωση την τιμή του Πρώτου τεταρτημορίου από το σύνολο όλων των τιμών έντασης (μέτρου) του ανέμου. Άρα στην ομάδα αυτή ανήκουν οι «ασθενείς» Ετησίες αυτές με την μικρότερη ένταση ανέμου με ποσοστό συμμετοχής 16% από το σύνολο των τιμών.
3. Νότιοι Άνεμοι – South Winds : Αφορά όλες τις μέρες όπου ο άνεμος έχει διεύθυνση Νότιο Δυτική έως Νότιο Ανατολική, δηλαδή από 30° έως 330° αντίστοιχα. Άρα στην ομάδα αυτή ανήκουν οι Νότιοι άνεμοι με πολύ μικρό ποσοστό συμμετοχής μόλις 1,3% από το σύνολο των τιμών.

Αφού ορίστηκαν οι 3 ομάδες ημερών έγινε επιλογή των ημερών της κάθε ομάδας στο πρόγραμμα Grads και έπειτα πραγματοποιήθηκε προβολή χαρτών για επιφανειακά αλλά και ανώτερης ατμόσφαιρας στοιχεία, οι οποίοι θα αναλυθούν στα αποτελέσματα.

Για να γίνει επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων, αλλά κυρίως για να ελέγξουμε την συμπεριφορά του όζοντος σε σχέση με το φαινόμενο των Ετησίων, έγινε επεξεργασία των δεδομένων επ-ανάλυσης ERA40 ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία με το RegCM.

Αρχικά έγινε φόρτωση των δεδομένων στο πρόγραμμα Grads και εξαγωγή των μεταβλητών U και V σε Ascii μορφή μόνο για ένα σημείο. Σε αυτή την περίπτωση έγινε επιλογή ενός σημείου, γιατί τα αρχεία του μοντέλου που χρησιμοποιούνται έχουν ανάλυση $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, για αυτό και η τιμή των τεσσάρων σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στο RegCM, έδιναν ίδιες τιμές των μεταβλητών U και V λόγω μικρότερης κλίμακας.

Έπειτα τα U και V μεταφέρθηκαν σε ένα φύλλο Excel, όπου μετά από επεξεργασία υπολογίστηκε το μέτρο και η διεύθυνση του ανέμου για κάθε μέρα. Στην συνέχεια σύμφωνα με τις ίδιες προϋποθέσεις που ορίστηκαν στο προηγούμενο μοντέλο ορίστηκαν 3 ομάδες ημερών (1) Ισχυρές Ετησίες ή Ετησίες μεγαλύτερες του Τρίτου Τεταρτημορίου (2) Ασθενείς Ετησίες ή Ετησίες μεγαλύτερες του Πρώτου Τεταρτημορίου και (3) Νότιοι Άνεμοι.

Τέλος μετά από επιλογή των ημερών ξεχωριστά για κάθε ομάδα έγινε προβολή χαρτών στην Grads και απεικονίστηκαν επιφανειακά καθώς και ανώτερης ατμόσφαιρας στοιχεία που θα αναλυθούν στα αποτελέσματα. Άξιο λόγου είναι πως κατά την επιλογή των ημερών για κάθε ομάδα προέκυψαν σαν σύνολο σχεδόν ίδιες μέρες και στα δύο μοντέλα όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα. Τα ποσοστά απεικονίζουν το μέρος που καταλαμβάνει κάθε ομάδα στο σύνολο όλων των τιμών που είναι 744.

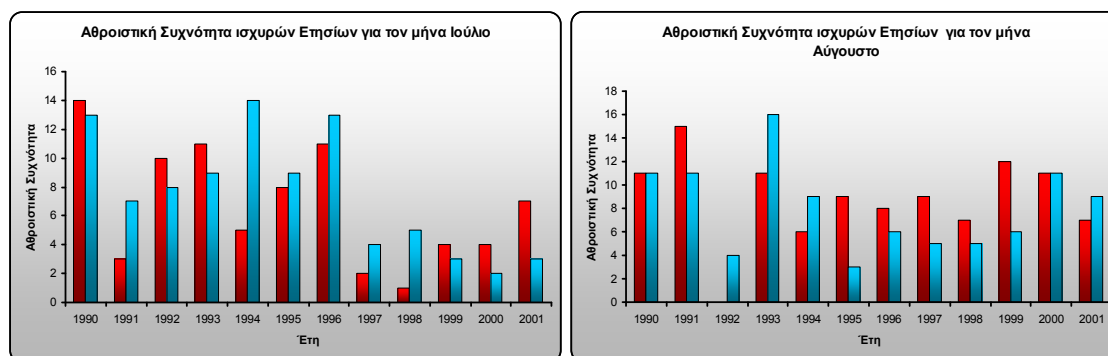
Πίνακας 2. Ο αριθμός των ημερών που επιλέχτηκε για κάθε ομάδα και τα ποσοστά τους σε σχέση με τις συνολικές τιμές, για το μοντέλο RegCM3 και τα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40.

Μοντέλο	Ισχυρές Ετησίες	Ασθενείς Ετησίες	Νότιοι Άνεμοι
RegCM	186	119	10
%	25%	16%	1.3%
Era40	186	121	12
%	25%	16.3%	1.6%

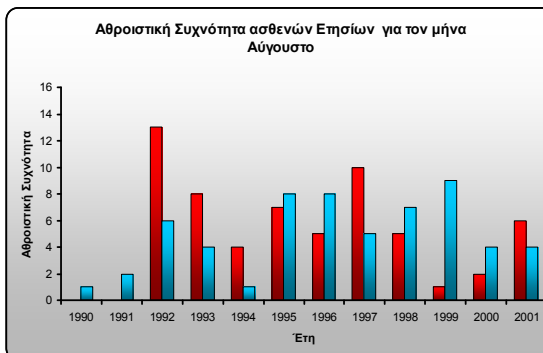
Αν και ο αριθμός των ημερών ήταν σχεδόν ίδιος, οι ημερομηνίες που επιλέχτηκαν από κάθε μοντέλο δεν ήταν. Μάλιστα τα ποσοστά, και για τις τρεις ομάδες, όπου υπήρχε συμφωνία των δύο μοντέλων είναι κάτω από 45%. Στον πίνακα 3 μπορούμε να δούμε τον αριθμό των ημερών που επιλέχτηκε και από τα δύο μοντέλα και τα ποσοστά τους.

Πίνακας 3. Ο αριθμός των ημερών που επιλέχτηκε για το μοντέλο RegCM3 και τα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40 και τα ποσοστά τους. Είναι φανερό πως δεν υπάρχει συμφωνία μεταξύ των ημερών που επιλέχτηκε ανάμεσα στο δύο μοντέλα.

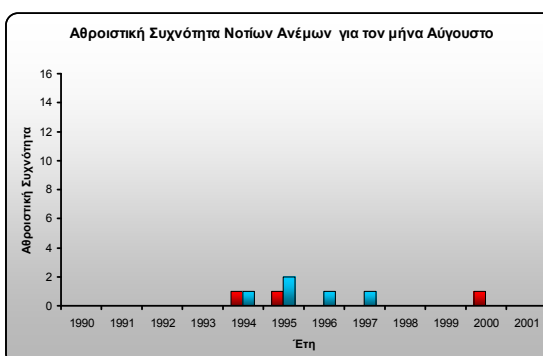
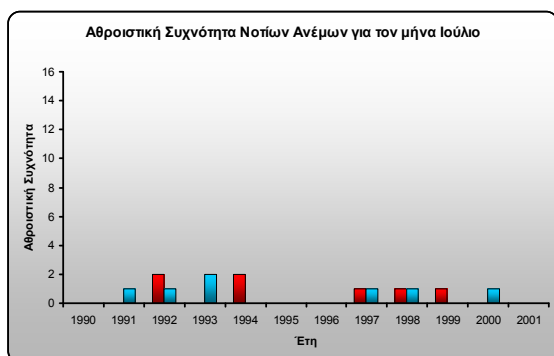
Μοντέλο	Ισχυρές Ετησίες	Ασθενείς Ετησίες	Νότιοι Άνεμοι
RegCM – Era 40	82 στις 186	27 στις 119	1 στις 10
%	44,1%	22,7%	10%



Διάγραμμα 1. Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε τον αριθμό των ημερών, της ομάδας των Ισχυρών Ετησίων, που επιλέχτηκαν κάθε χρονιά για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν από το μοντέλο **RegCM3** και με κυανό χρώμα οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν από δεδομένα επ-ανάλυσης **Era40**.



Διάγραμμα 2. Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε τον αριθμό των ημερών, της ομάδα των Ασθενών Ετησίων, που επιλέχτηκαν κάθε χρονιά για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν από το μοντέλο **RegCM3** και με κυανό χρώμα οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν από τα δεδομένα επ-ανάλυσης **Era40**.

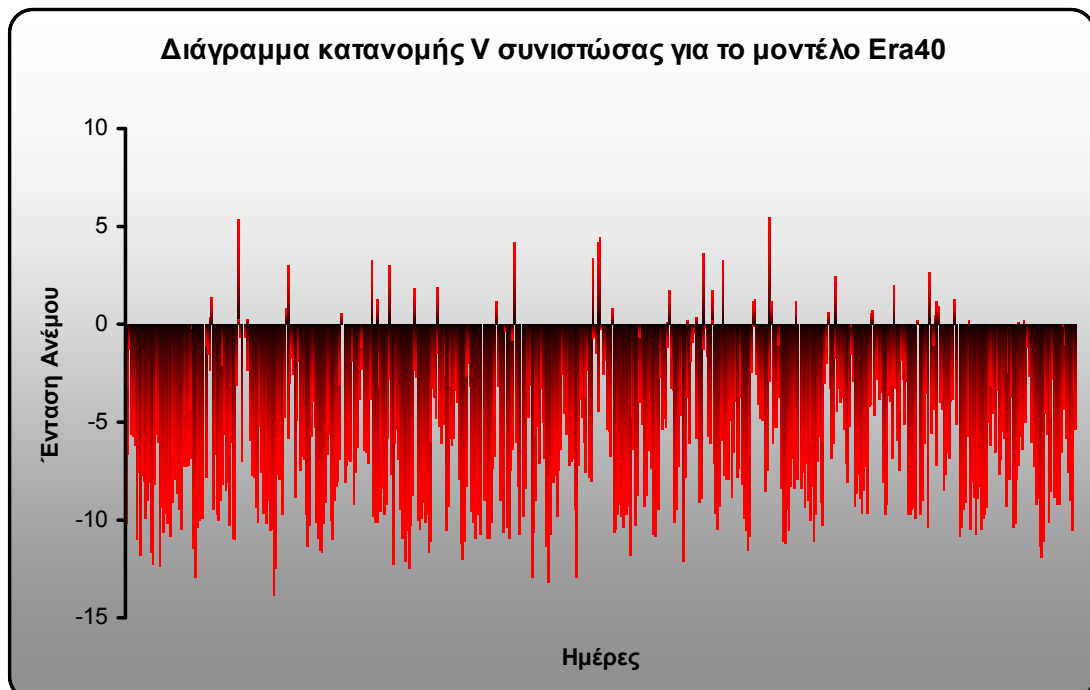


Διάγραμμα 3. Στα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε τον αριθμό των ημερών, της ομάδα των Νοτίων Ανέμων, που επιλέχτηκαν κάθε χρονιά για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν από το μοντέλο **RegCM3** και με κυανό χρώμα οι περιπτώσεις που επιλέχτηκαν από τα δεδομένα επ-ανάλυσης **Era40**.

Μια ακόμα διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου RegCM3 και των δεδομένων επ-ανάλυσης Era40 είναι πως η ένταση των ανέμων στο μοντέλο RegCM3 είναι ισχυρότερες από αυτές των δεδομένων Era40. Ειδικότερα οι τιμές για το τρίτο και πρώτο τεταρτημόριο του μοντέλου RegCM3 είναι 10,132m/s και 5,452m/s , ενώ αντίστοιχες ταχύτητες για τα δεδομένα Era40 είναι 9,338m/s και 4.298m/s.

Είναι προφανές πως για την προβολή των χαρτών χρησιμοποιήθηκαν οι επιλεγμένες ομάδες ημερών του εκάστοτε μοντέλου και όχι η ίδιες μέρες ενός εκ των δύο μοντέλων για να υπάρξουν σωστά αποτελέσματα.

Παρακάτω δίνονται διαγράμματα κατανομής της V συνιστώσας για το μοντέλο RegCM3 και για τα δεδομένα Era40. Οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε ανέμους Βόρειας συνιστώσας ενώ οι θετικές τιμές σε ανέμους Νότιας συνιστώσας. Είναι ευδιάκριτο πως οι περισσότερες τιμές είναι αρνητικές, άρα πνέουν κατά κύριο λόγο Βόρειοι άνεμοι.



Διάγραμμα 4. Διάγραμμα κατανομής V συνιστώσας, για το μοντέλο RegCM3 και για τα δεδομένα επ-
ανάλυσης Era40 αντίστοιχα, τις περιόδου 1990-2001 για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Βλέπουμε πως
πνέουν κατά κύριο λόγο άνεμοι με Βόρεια συνιστώσα κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Αποτελέσματα

3.1 Γενικές πληροφορίες

Η εξαγωγή των παρακάτω χαρτών έγινε μέσα από το πρόγραμμα Grads.

Συγκεκριμένα για το μοντέλο **RegCM** έγινε προβολή χαρτών:

1. Του ανέμου U;V σε stream lines για 4 επίπεδα, στην επιφάνεια, στα 850hPa, στα 500hPa και 300hPa.
2. Της ταχύτητας V για 4 επίπεδα, στην επιφάνεια, στα 850hPa, στα 500hPa και 300hPa.
3. Της θερμοκρασίας για 2 επίπεδα, στην επιφάνεια και τα 850hPa.
4. Του ύψους του οριακού στρώματος από την επιφάνεια.
5. Διαφορές της επιφανειακής πίεσης ανάμεσα στις 3 ομάδες ημερών.

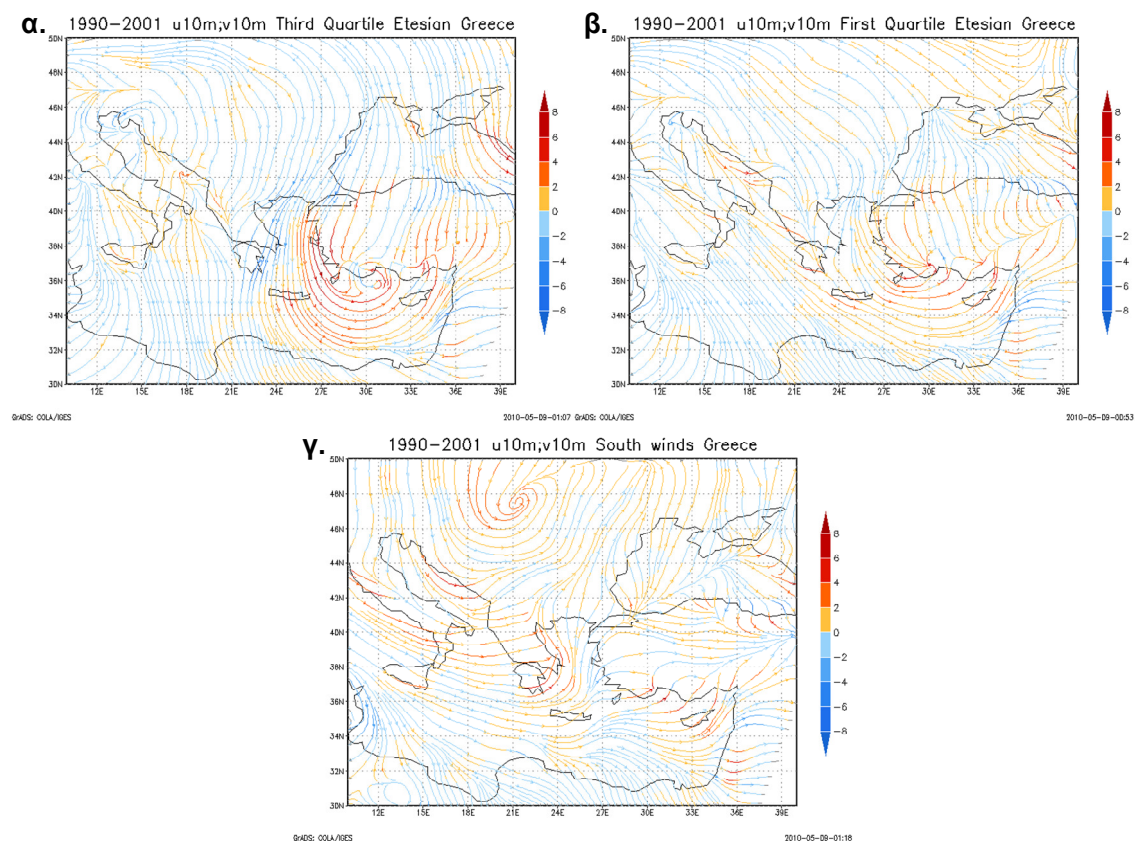
Ενώ για τα δεδομένα επ-ανάλυσης **Era40** έγινε προβολή χαρτών:

6. Ανέμου U;V σε stream lines για την επιφάνεια.
7. Ταχύτητας V για την επιφάνεια.
8. Συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού Όζοντος σε 5 επίπεδα, 1000hPa ή επιφανείας, 850hPa, 750hPa, 500hPa και 250hPa.
9. Γεωδυναμικού ύψους για 3 επίπεδα, 850hPa, 500hPa και 300hPa.
10. Διαφορές της επιφανειακής πίεσης ανάμεσα στις 3 ομάδες ημερών.
11. Ύψους του οριακού στρώματος από την επιφάνεια.

Κατά την επεξεργασία του μοντέλου RegCM και των δεδομένων επ-ανάλυσης Era40, όπως αναφέρθηκε στην Μεθοδολογία, δεν επιλέχθηκαν οι ίδιες ημερομηνίες κατά τον διαχωρισμό των τριών ομάδων ημερών. Για να επιβεβαιωθεί λοιπόν η μετεωρολογική κατάσταση τις εκάστοτε ομάδας έγινε προβολή χαρτών U;V σε stream lines και V και για τα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40. Αν και οι επιλεγμένες μέρες δεν ταυτίζονται για τις ομάδες των Ισχυρών Ετησίων, Ασθενών Ετησίων και των Νοτίων Ανέμων, παρατηρήθηκε πως τα δύο μοντέλα είχαν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την ροή του ανέμου και τα βαρομετρικά συστήματα που την επηρεάζουν.

Παρακάτω βλέπουμε τους χάρτες ανέμων επιφανείας σε *stream lines*. Η χρωματική κλίμακα ορίστηκε σύμφωνα με την εντολή *hcurl*, η οποία απεικονίζει την στροβιλώδη ροή μιας κίνησης. Με τα ερυθρά χρώματα εμφανίζονται οι άνεμοι που ακολουθούν αριστερόστροφη φορά και έχουν θετικό στροβιλισμό ενώ με κυανά χρώματα αυτοί που ακολουθούν δεξιόστροφη φορά με αρνητικό στροβιλισμό.

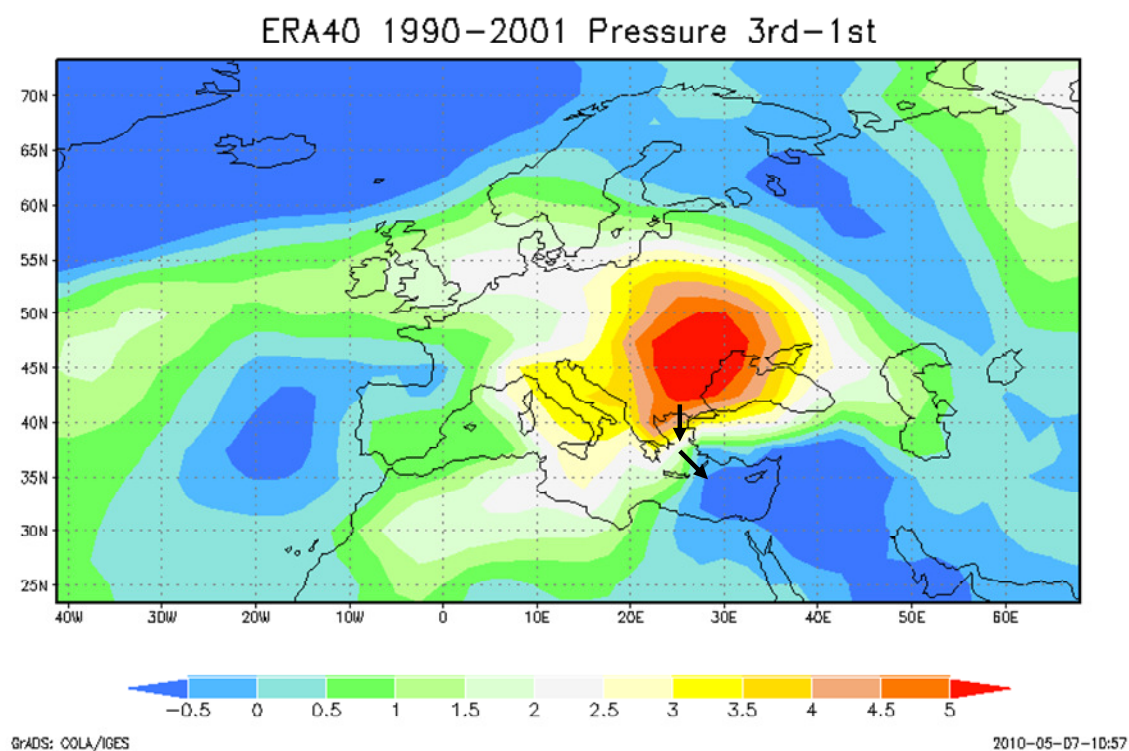
Στους χάρτες των ισχυρών και ασθενών Ετησίων 1α και 1β αντίστοιχα βλέπουμε την έντονη Βόρειο-Βορειοανατολική διεύθυνση των ανέμων στην περιοχή του Αιγαίου. Φαίνεται η κυκλωνική κίνηση πάνω από την Μικρά Ασία και η αντικυκλωνική ροή στην θάλασσα της Αδριατικής. Τα δύο αυτά συστήματα φαίνεται να ενισχύουν την Βόρεια κατεύθυνση των ανέμων.



Χάρτης 1. Επιφανειακοί U,V χάρτες σε stream lines στην περιοχή της Ελλάδος για τις 3 ομάδες ημερών.

Στον χάρτη 1α των ισχυρών Ετησίων η στροβιλώδης ροή είναι πιο έντονη μιας και σε αυτό έχουν επιλεγεί οι ισχυρές Ετησίες. Αντίθετα στον χάρτη 1γ της ομάδας των νοτίων ανέμων παρατηρούμε Νότιους ανέμους στην περιοχή του Αιγαίου. Η διακοπή των ετησίων σε αυτό το μικρό ποσοστό ημερών (1,5%) πιθανόν να οφείλεται στην ανάπτυξη ενός κυκλωνικού συστήματος στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης όπως φαίνεται και στο χάρτη.

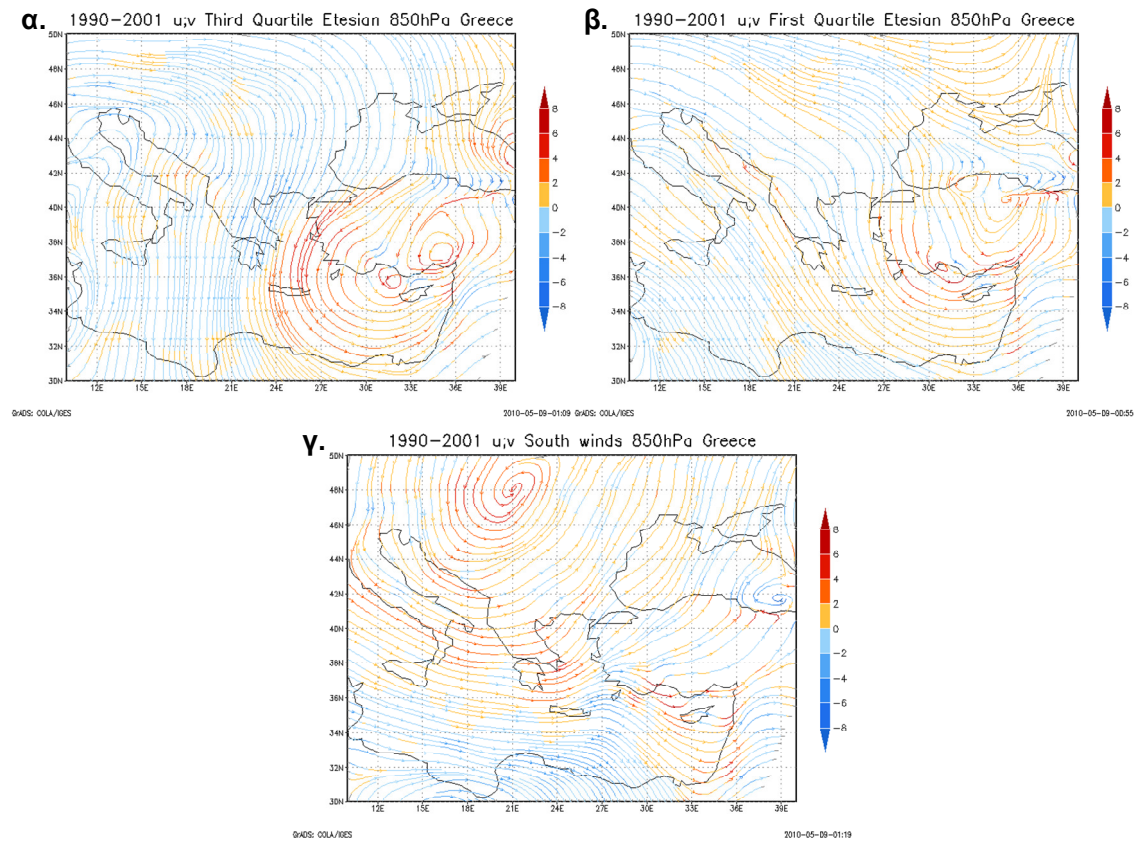
Ο άνεμος οφείλει την γέννηση του στις διαφορές της πυκνότητας του αέρα δύο γειτονικών σημείων, και τείνει να αποκαταστήσει μια ισορροπία μεταξύ των σημείων αυτών. Άρα κύριο ρόλο στην ροή των Ετησίων ανέμων παίζει η Βαροβαθμίδα που αναπτύσσεται στην περιοχή της Ελλάδος. Έτσι μπορούμε να δούμε στον χάρτη 2 την διαφορά πίεσης που αναπτύσσεται ανάμεσα σε Ισχυρές και Ασθενείς Ετησίες. Οι ισχυρές Ετησίες έχοντας μεγαλύτερη βαροβαθμίδα αποκτούν μεγαλύτερη ταχύτητα. Η διαφορά αγγίζει τα 7hPa.



Χάρτης 2. Διαφορά πίεσης ανάμεσα σε ισχυρές και ασθενείς Ετησίες. Η ροή του αέρα ακολουθεί την βαροβαθμίδα όπως δείχνουν τα βέλη.

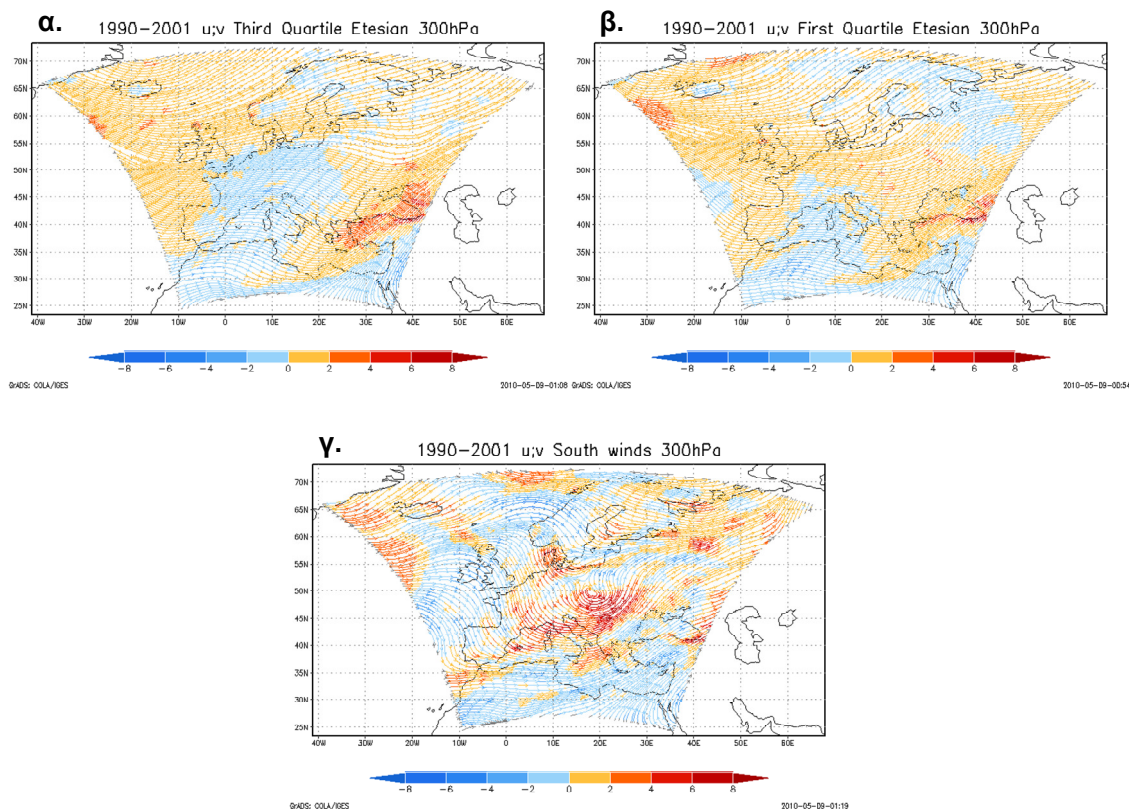
Παρακάτω υπάρχουν οι χάρτες για το επίπεδο των 850hPa. Παρατηρούμε πως η ροή του ανέμου είναι πιο συνεκτική με μια καθαρότερη εικόνα της κίνησης από αυτήν στην επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει γιατί βρισκόμαστε σε υψηλότερο υψόμετρο με αποτέλεσμα να μηδενίζεται η επιρροή της τοπογραφίας στην ροή του ανέμου.

Φαίνεται πως οι Βόρειοι άνεμοι συνεχίζουν να πνέουν στους χάρτες 2α και 2β και σε αυτό το ύψος, που κυμαίνεται γύρω στα 1400m με 1500m. Το χαμηλό της Μικράς Ασίας επιμένει και στις δύο περιπτώσεις ωθώντας τις αέριες μάζες της περιοχής να ακολουθούν αριστερόστροφη κίνηση και να δημιουργούν Βόρειο-Βορειοδυτικούς ανέμους στην περιοχή του Αιγαίου. Αντίθετα στον χάρτη 2γ η διεύθυνση του ανέμου αποκλίνει από την Νότια κατεύθυνση που είχε στην επιφάνεια προς πιο Νότιο-Νοτιοδυτικές Διευθύνσεις.



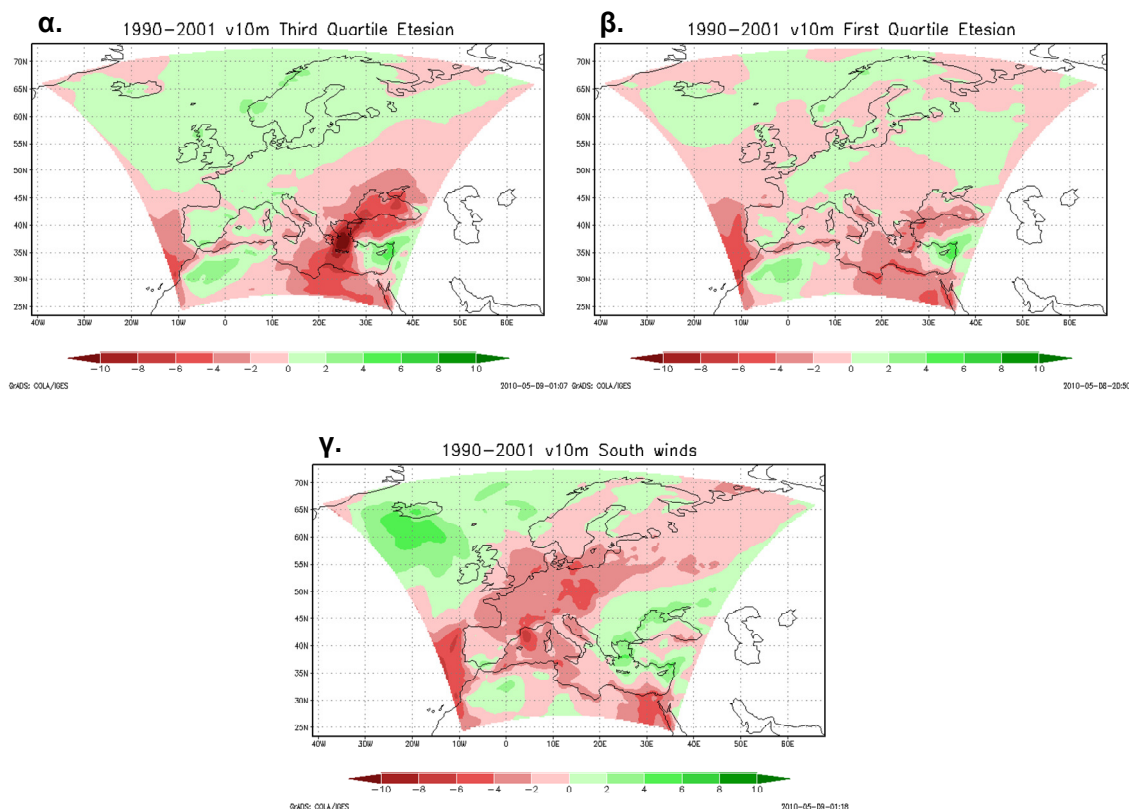
Χάρτης 2. 850hPa U;V χάρτες σε stream lines στην περιοχή της Ελλάδος για τις 3 ομάδες ημερών.

Στον χάρτη 3 των 300hPa η δράση των βαρομετρικών συστημάτων φαίνεται να εξασθενεί και η ροή του ανέμου ακολουθεί την γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Βέβαια και στις δύο περιπτώσεις 3α και 3β που πνέουν οι Ετησίες φαίνεται ένας Αυλώνας πάνω από την Βαλκανική χερσόνησο που σίγουρα παίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην δημιουργία των επιφανειακών ανέμων όπως και στην συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος. Στην 3γ της ομάδας των νοτίων ανέμων βλέπουμε πως το πολύ βαθύ χαμηλό φτάνει μέχρι το επίπεδο των 300hPa ωθώντας την ροή του αέρα σε κυκλωνική τροχιά.



Χάρτης 3. 300hPa U;V χάρτες σε stream lines στην περιοχή της Ελλάδος για τις 3 ομάδες ημερών.

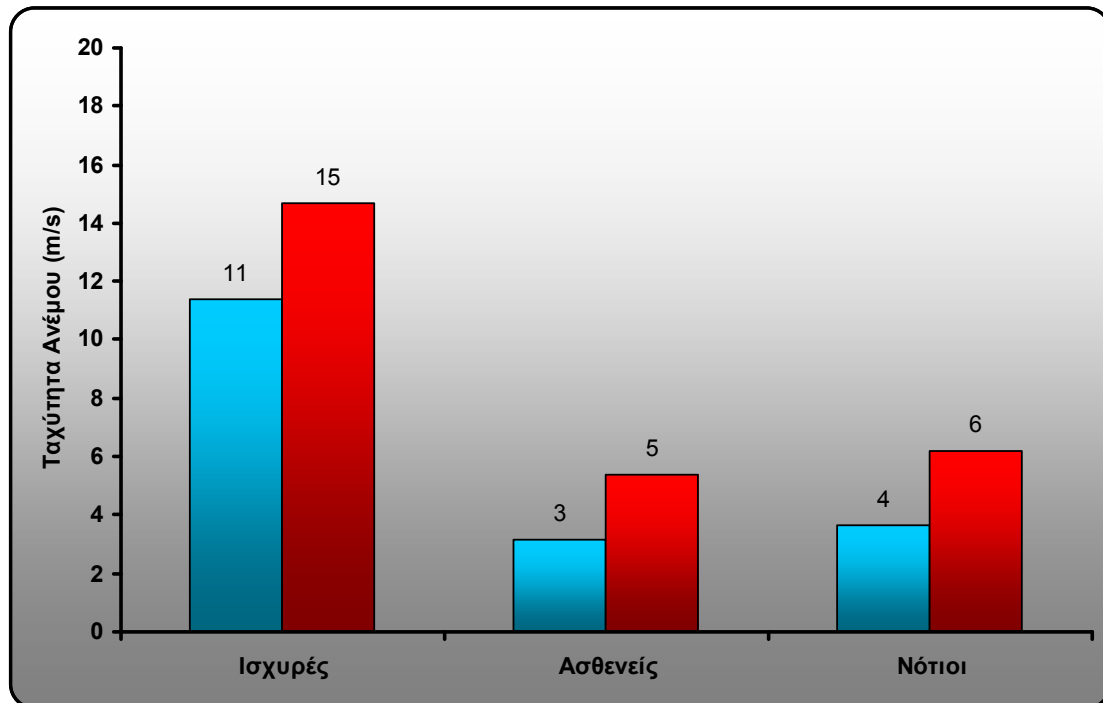
Για να κατανοήσουμε και σχηματικά τις διαφορές στην διεύθυνση και ταχύτητα των ανέμων για κάθε ομάδα ημερών προβάλλονται στον χάρτη 4 η μεταβλητή V για την επιφάνεια, που ισούται με την μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου. Στην χρωματική κλίμακα απεικονίζονται με ερυθρά χρώματα και αρνητικές τιμές οι Βόρειοι άνεμοι ενώ με πράσινα χρώματα και θετικές τιμές οι Νότιοι άνεμοι σε κλίμακα m/s.



Χάρτης 4. Χάρτες της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου V στην επιφάνεια για τις 3 ομάδες ημερών.

Φαίνεται το έντονο κόκκινο χρώμα στον χάρτη 4α πάνω από το Αιγαίο πέλαγος που υποδεικνύει την Βόρεια διεύθυνση και ισχυρή ένταση των Ετησίων. Οι ταχύτητες σε αυτήν την περίπτωση πολλές φορές ξεπερνούν τα 10m/s. Η ομάδα των ασθενών ετησίων στο σχήμα 4β φαίνεται να έχει αρκετά χαμηλότερες ταχύτητες μόνο τοπικά σε μερικές περιπτώσεις φτάνουν τα 6m/s. Στον χάρτη 4γ το πράσινο χρώμα επικρατεί υποδεικνύοντας τους Νότιους ανέμους που πνέουν σε όλη την περιοχή του Αιγαίου με ταχύτητες που φτάνουν έως 4m/s.

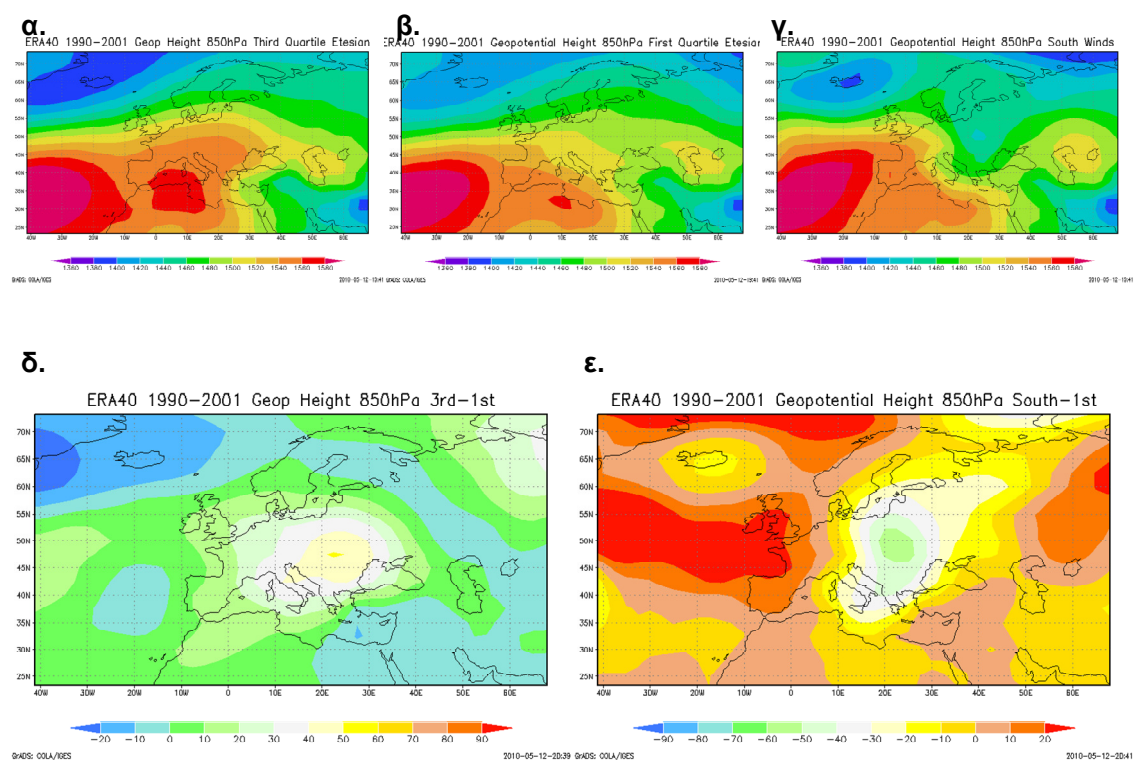
Πιο αναλυτικά μπορούμε να δούμε τις μέγιστες και μέσες τιμές της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου V στο διάγραμμα 5.



Διάγραμμα 5. Η μέγιστη και η μέση τιμή της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου V για τις 3 ομάδες ημερών. Με κυανό χρώμα απεικονίζονται οι μέσες τιμές ενώ με κόκκινο οι μέγιστες.

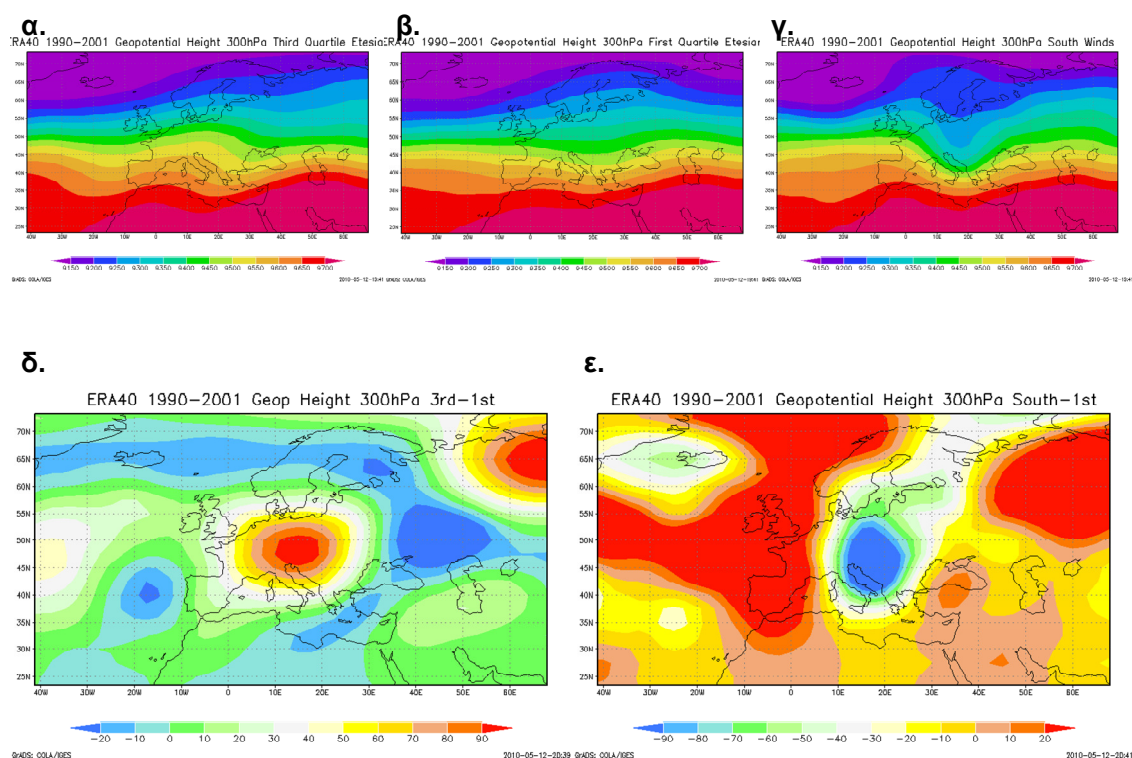
Το γεωδυναμικό ύψος απεικονίζεται παρακάτω σε 3 επίπεδα των 850hPa, 500hPa και 300hPa. Η μονάδα της κλίμακας είναι σε m.

Στο επίπεδο των 850hPa μπορούμε να δούμε και στις 3 ομάδες τις υψηλές τιμές των γεωδυναμικών υψών πάνω από τον Ατλαντικό. Οι τιμές αυτές μας υποδεικνύουν το υψηλό βαρομετρικό σύστημα του μόνιμου αντικυκλώνα των Αζορών. Βλέπουμε πως ο αντικυκλώνας προεκτείνεται πάνω από την Βορειοδυτική Αφρική και το κατά πόσο ισχυρότερη είναι η προέκταση του προς βορειότερα στην ομάδα των ισχυρών Ετησίων. Αυτό επιβεβαιώνει την επιρροή που έχει ο Αντικυκλώνας των Αζορών στην δημιουργία και κυρίως στην ένταση των Ετησίων. Βέβαια όπως αναφέρθηκε στην Εισαγωγή η βαρύτητα του ρόλου αυτού αμφισβητείται από διάφορες μελέτες (Αρσένη 1986).



Χάρτης 13. Γεωδυναμικό ύψος στο επίπεδο των 850hPa στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών-Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων-Ασθενών Ετησίων (ε).

Στο επίπεδο των 300hPa φαίνεται να εξασθενεί η δράση των βαρομετρικών συστημάτων που επηρεάζουν την επιφάνεια. Ο Αυλώνας των χαμηλών υψών εισχωρεί νοτιότερα πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2 για τον κύκλο γένεσης των Ετησίων, η θέση του Αυλώνα πρέπει να παίζει καθοριστικό ρόλο στην δημιουργία και ένταση των ανέμων στην επιφάνεια, καθώς τροφοδοτεί το χαμηλό του Πακιστάν αυξάνοντας έτσι την Βαροβαθμίδα στην περιοχή του Αιγαίου. Ο ίδιος Αυλώνας φαίνεται πως όταν φυσούν Νότιοι άνεμοι βρίσκεται μετατοπισμένος δυτικά της Ελλάδος. Στις διαφορές 14δ και 14ε μπορούμε να δούμε πως η υψομετρική διαφορά διατηρείται και ενισχύεται καθ' ύψος ξεπερνώντας τα 100m.

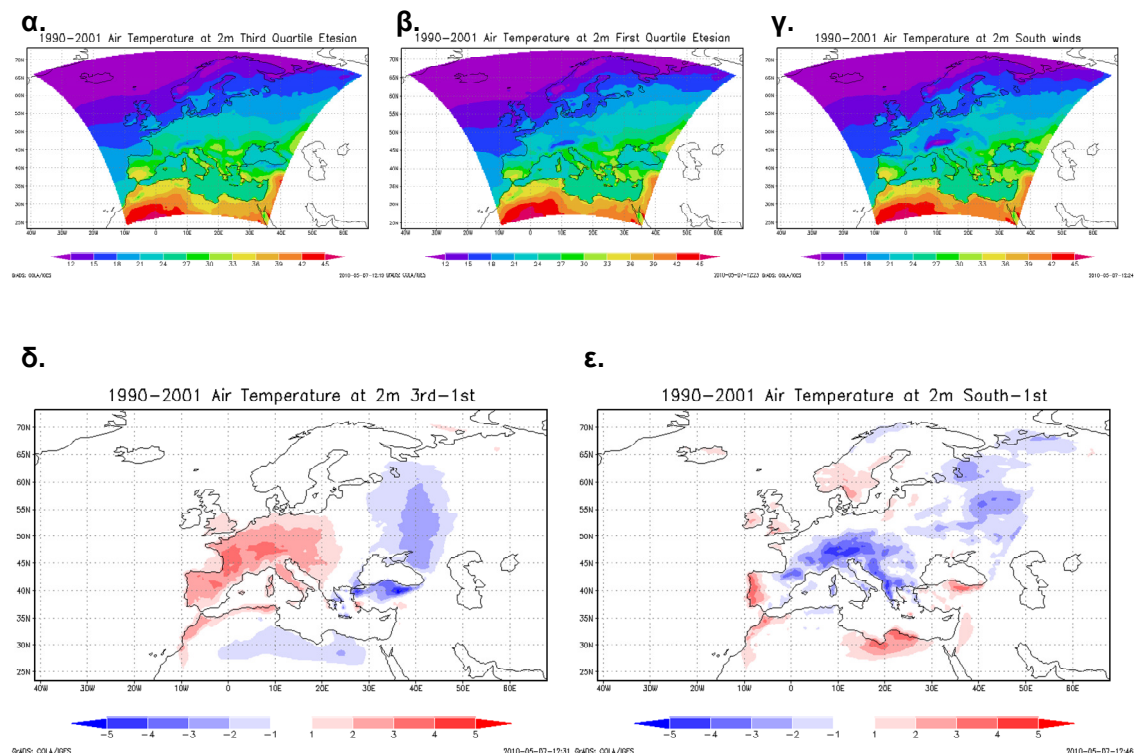


Χάρτης 14. Γεωδυναμικό ύψος στο επίπεδο των 300hPa στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών-Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων-Ασθενών Ετησίων (ε).

3.4 Θερμοκρασιακή μεταβολή

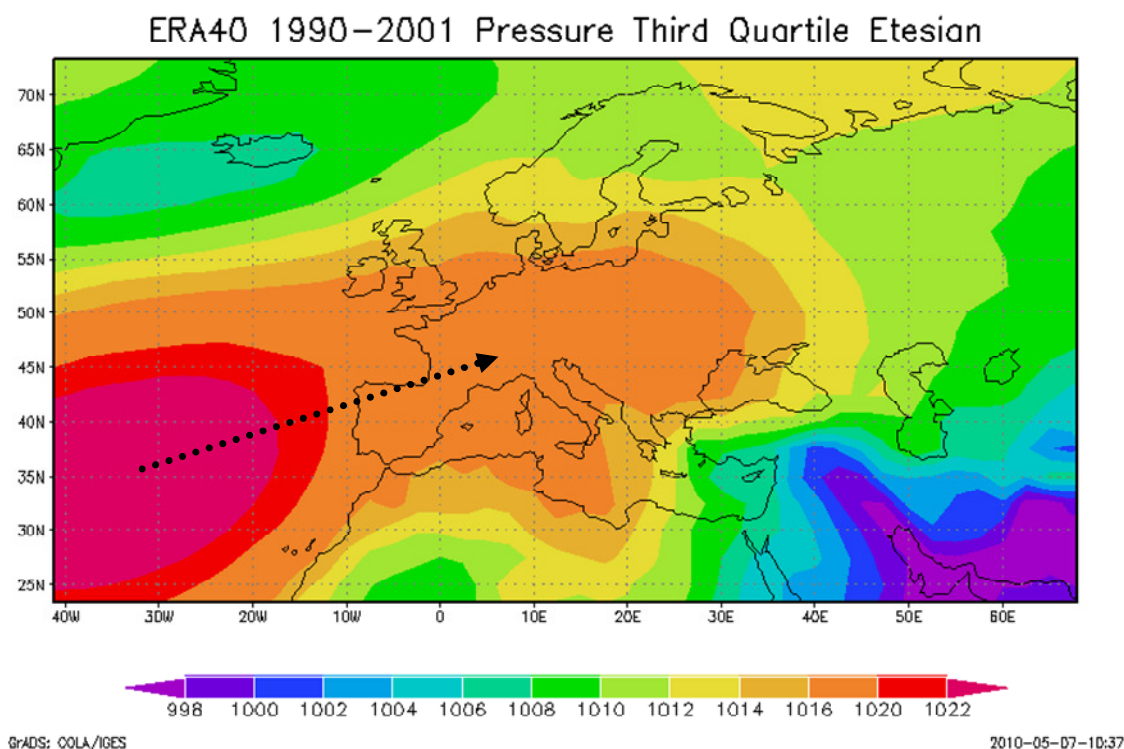
Οι χάρτες Θερμοκρασιών της επιφανείας και της στάθμης των 850hPa φαίνονται παρακάτω. Η κλίμακα είναι σε μονάδες °C. Η επιρροή των Ετησίων στην θερμοκρασία φαίνεται να είναι μικρή τουλάχιστον για την περιοχή στην οποία πνέουν. Σύμφωνα μάλιστα με μελέτες η θερμοκρασία φαίνεται να παραμένει αμετάβλητη από ημέρα σε ημέρα για την περιοχή του Αιγαίου, ενώ υπάρχουν περιπτώσεις ανόδου ή πτώσης της θερμοκρασίας (Αρσένη 1986).

Για να μπορεί να υπάρξει σύγκριση ανάμεσα στις 3 ομάδες ημερών υπολογίστηκαν οι διαφορές (5δ) Ισχυρών – Ασθενών Ετησίων και (5ε) Νότιων Ανέμων – Ασθενών Ετησίων. Στον ευρωπαϊκό χώρο φαίνεται στην 5δ πως η δυτική και κεντρική Ευρώπη δέχονται μια αύξηση της τάξης 3-4°C, η ανατολική Ευρώπη μια μείωση της τάξης των 2-4°C, ενώ η Ελλάδα και η Βαλκανική βρίσκονται στο μεταίχμιο χωρίς σημαντικές μεταβολές για τις μέρες που πνέουν ισχυρές Ετησίες σε σχέση με τις ημέρες των ασθενών Ετησίων.



Χάρτης 5. Η επιφανειακή θερμοκρασία πάνω από την Ευρώπη για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών - Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων - Ασθενών Ετησίων (ε).

Η αύξηση της θερμοκρασίας στην ευρύτερη περιοχή της Γαλλίας και της Ιβηρικής χερσονήσου κατά την διάρκεια των ισχυρών Ετησίων δεν οφείλεται στην επίδραση των εποχιακών ανέμων της χώρα μας αλλά στην συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα όταν η ένταση τους είναι ισχυρή. Ειδικότερα κατά την θερινή περίοδο ο αντικυκλώνας των Αζορών προεκτείνεται προς Ανατολάς όπως βλέπουμε και στον χάρτη 6, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλες πιέσεις να καλύπτουν τον χώρο της κεντρικής Ευρώπης, καθοδικές κινήσεις με καλοκαιρία και ηλιοφάνεια να επικρατούν, και αυτό συνεπάγεται αυξημένες θερμοκρασίες και περιπτώσεις καύσωνα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.



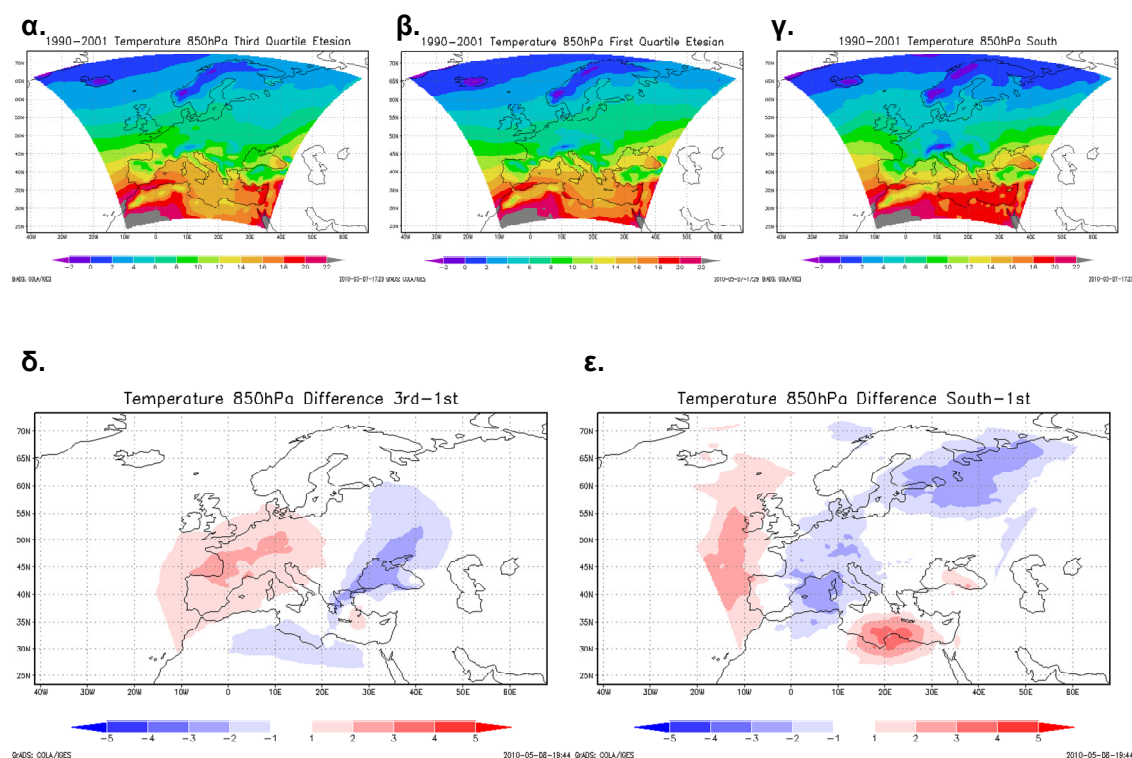
Χάρτης 6. Επιφανειακές πιέσεις στην περίπτωση ισχυρών Ετησίων από τα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40. Φαίνεται με βέλος η προέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών.

Η χώρα μας λόγω της ευεργετικής δράσης των Ετησίων δεν αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα καθώς αυτοί οι Βόρειοι ψυχροί άνεμοι βοηθούν στην σχετική μείωση της θερμοκρασίας πάνω από το Αιγαίο. Επιβεβαιώνεται έτσι η αναζωογονητική δράση των Ετησίων κατά τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες.

Σύμφωνα με μελέτη, όταν πνέουν ασθενείς έως μέτριες Ετησίες προκαλούν στον άνθρωπο ευχάριστο αίσθημα. Η ευεργετική αυτή δράση των ανέμων γίνεται περισσότερο αντιληπτή στα νησιά (Αρσένη 1986).

Στον χάρτη 5ε παρατηρούμε στην κεντρική Ευρώπη και την Δυτική πλευρά της Βαλκανικής χερσονήσου μια μείωση της θερμοκρασία τις τάξεις των 3-4°C ενώ στην Βόρεια Αφρική (Αλγερία, Λιβύη) εμφανίζεται αύξηση τις ημέρες που πνέουν Νότιοι άνεμοι σε σχέση με τις ημέρες των ασθενών Ετησίων. Η τοπική αύξηση πάνω από την Βόρεια Αφρική δικαιολογείται καθώς οι Νότιοι άνεμοι που πνέουν μεταφέρουν θερμότερες αέριες μάζες προς τα εκεί. Ενώ η μείωση της θερμοκρασίας στην κεντρική Ευρώπη οφείλεται σε δύο λόγους. Από την μία στις ψυχρές αέριες μάζες που μετατοπίζονται από Βορειότερα λόγω της Βόρειας πνοής των ανέμων και από την άλλη στην αποδυνάμωση του Αντικυκλώνα των Αζορών, που όπως είδαμε όταν εμφανίζεται ισχυροποιημένος προκαλεί καλοκαιρία και αύξηση της θερμοκρασίας.

Παρατηρώντας τους χάρτες τις θερμοκρασίας για την στάθμη των 850hPa, βλέπουμε πως στον χάρτη 7δ η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από την δυτική και κεντρική Ευρώπη όπως και η μείωση πάνω από την ανατολική Ευρώπη, που υπήρχε στους χάρτες επιφανείας, συνεχίζει να υφίσταται και υψηλότερα αλλά με μειωμένη ένταση. Ενώ στην διαφορά 7ε η μείωση πάνω από την κεντρική Ευρώπη φαίνεται να μετατοπίζεται δυτικότερα και να απλώνεται σε μεγαλύτερη έκταση με μικρότερη ένταση. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή της Βόρειας Αφρικής δεν μετατοπίζεται διατηρώντας την ίδια τιμή.



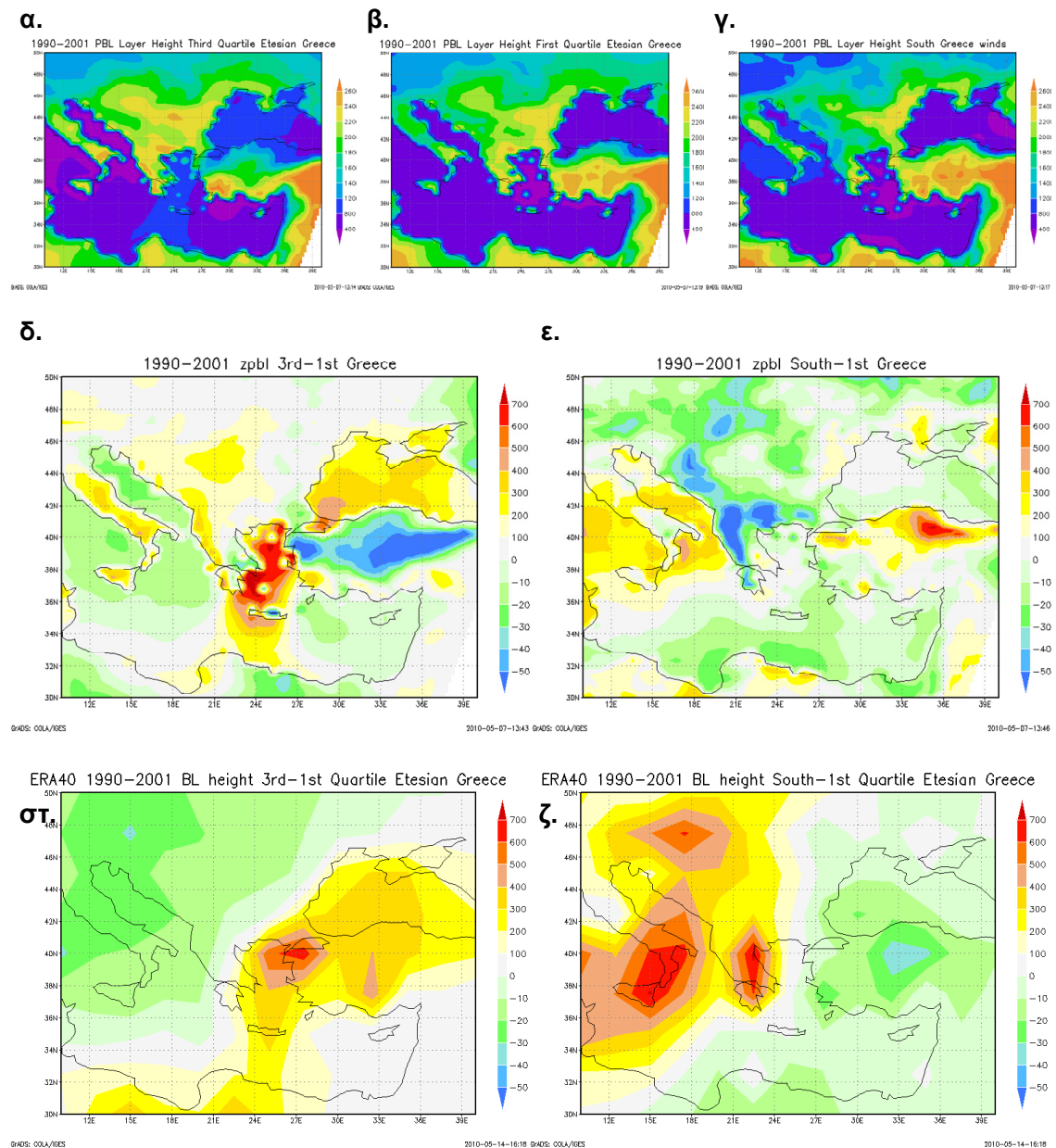
Χάρτης 7. Η θερμοκρασία στο επίπεδο των 850hPa πάνω από την Ευρώπη για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών - Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων - Ασθενών Ετησίων (ε).



Συμπεραίνουμε λοιπόν πως η θερμοκρασία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και είναι δύσκολο να προβλεφθεί η συμπεριφορά της σύμφωνα με μόνο μια μεταβλητή, τον άνεμο. Πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την συνολική κατάσταση την ατμόσφαιρας, βαρομετρικά κέντρα, μετωπικά συστήματα, νέφωση, άνεμος κ.α.

3.5 Ύψος του οριακού στρώματος

Το ύψος του οριακού στρώματος από την επιφάνεια απεικονίζεται στους παρακάτω χάρτες. Η μονάδα της κλίμακας είναι σε m. Για να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη εικόνα για το πώς επηρεάζουν οι Ετησίες το ύψος του οριακού στρώματος έγιναν οι αντίστοιχες διαφορές 8δ και 8ε που αναφέρθηκαν πριν στους χάρτες θερμοκρασίας.



Χάρτης 8. Το ύψος του οριακού στρώματος πάνω από την Ελλάδα για τις 3 ομάδες ημερών στους χάρτες α, β, γ. Οι διαφορές Ισχυρών - Ασθενών Ετησίων και Νοτίων ανέμων – Ασθενών Ετησίων για το μοντέλο RegCM3 φαίνονται στους χάρτες δ και ε, ενώ για τα δεδομένα Era40 στους στ και ζ αντίστοιχα.

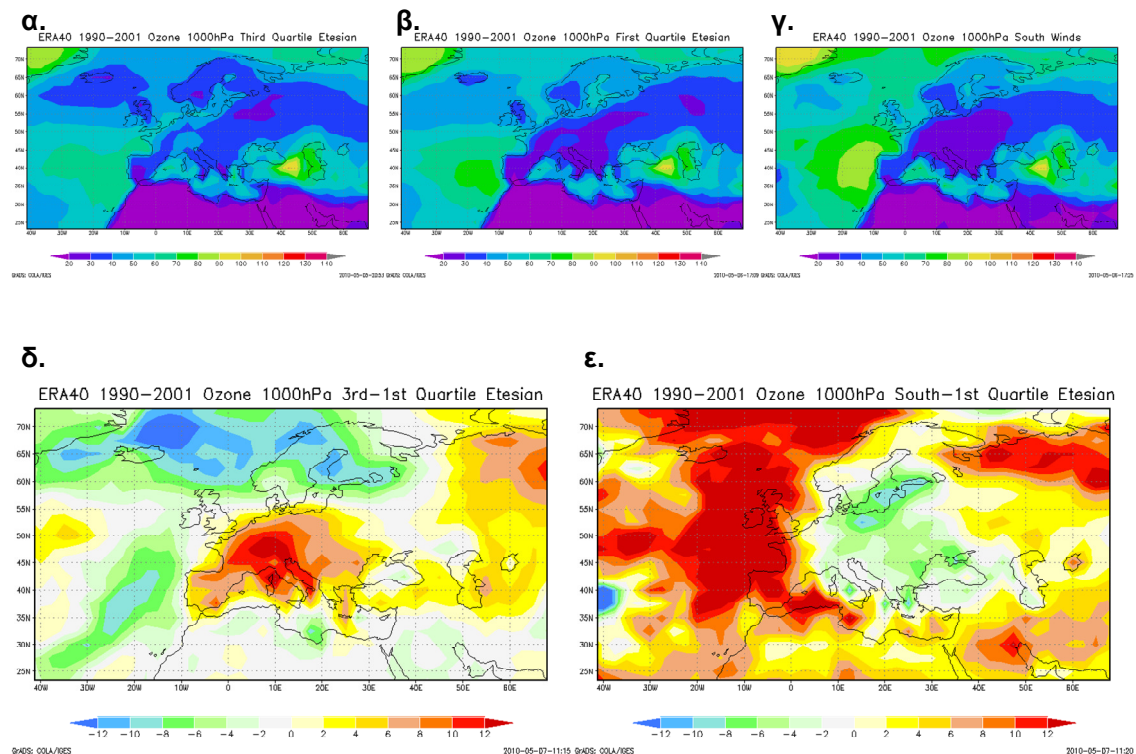


Μεγάλη μεταβολή παρατηρούμε στον χάρτη 5δ όπου όταν φυσούν ισχυρές Ετησίες το ύψος του οριακού στρώματος αυξάνεται στον Αιγαίο χώρο έως και 700m σε σχέση με τις περιόδους που πνέουν ασθενείς Ετησίες. Με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου έχουμε ταυτόχρονη αύξηση της μηχανικής τύρβης με αποτέλεσμα να ανεβαίνει το ύψος του οριακού στρώματος.

Όσο αναφορά τον χάρτη 8ε δεν εμφανίζεται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή στο ύψος του οριακού στρώματος πάνω από το Αιγαίο. Μάλιστα το μοντέλο RegCM3 και τα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40 δεν είχαν τα ίδια αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση, σε αντίθεση με την πρώτη διαφορά που τα αποτελέσματα συμπίπτουν, όπως βλέπουμε στους χάρτες 8στ και 8ζ.

3.6 Συγκέντρωση Τροποσφαιρικού Όζοντος

Το υποκεφάλαιο αυτό αφορά χάρτες συγκέντρωσης τροποσφαιρικού όζοντος οι οποίοι προήλθαν από τα δεδομένα επ-ανάλυσης Era40. Παρακάτω φαίνεται ο χάρτης της επιφανειακής συγκέντρωσης του όζοντος στα 1000hPa. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα βλέπουμε πως στην περίπτωση που φυσούν ισχυρές Ετησίες 9δ υπάρχουν αυξημένες τιμές τροποσφαιρικού όζοντος στην κεντρική Ευρώπη, τις τάξεις των 12ppb, σε σχέση με όταν πνέουν ασθενείς. Η αύξηση αυτή είναι σημαντική καθώς οι τιμές του όζοντος αγγίζουν σε πολλές περιοχές τα 50-60ppb όπως φαίνεται στον χάρτη 9α.

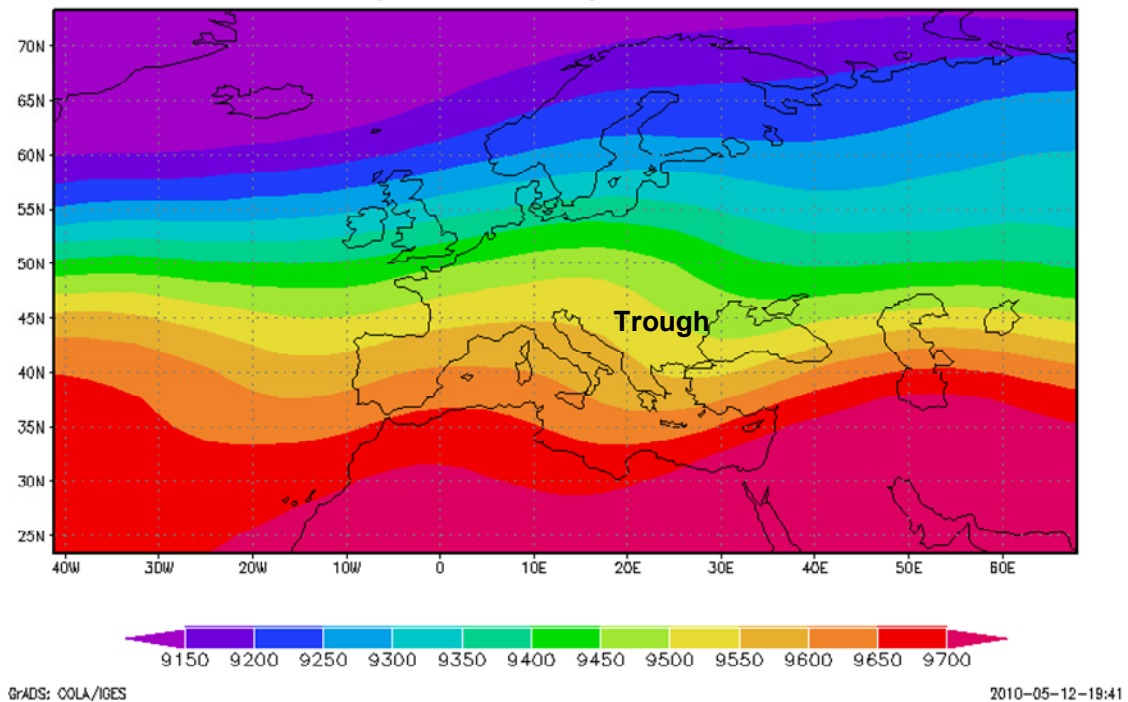


Χάρτης 9. Συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στην επιφάνεια στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών-Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων-Ασθενών Ετησίων (ε).

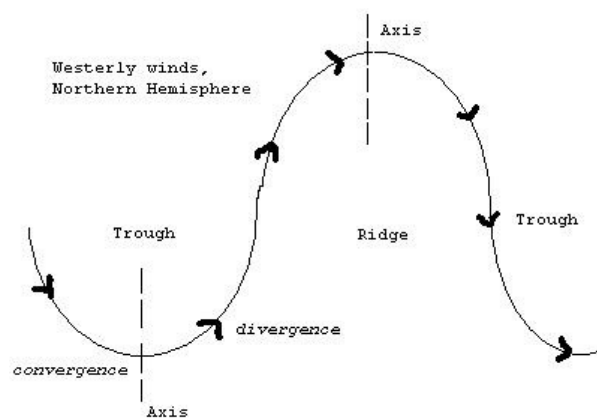
Η υψηλή συγκέντρωση όζοντος όπως και στην περίπτωση της Θερμοκρασίας δεν οφείλεται στις Ετησίες αλλά σε άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες που ενισχύουν την ένταση των Ετησίων. Το όζον φαίνεται να συσσωρεύεται λόγω της ανάπτυξης αντικυκλωνικών συνθηκών πάνω από την κεντρική Ευρώπη. Αυτές οι αντικυκλωνικές συνθήκες φαίνονται σαν επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών προς την Ευρώπη. Σε αντικυκλωνικές συνθήκες επικρατεί καλοκαιρία με ηλιοφάνεια οπότε ευνοείται η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος.

Επίσης σημαντικό ρόλο φαίνεται να παίζει ο Αυλώνας στην ανώτερη ατμόσφαιρα που σχηματίζεται δυτικά της χώρας μας και μπροστά από τον Αντικυκλώνα όπως φαίνεται στον χάρτη 10. Πίσω από τον Αυλώνα παρατηρείται συσσωρεύσει του αέρα και καθοδικές κινήσεις. Άρα εμπλουτίζεται η τροπόσφαιρα με πλούσιο σε όζον στρατοσφαιρικό αέρα.

ERA40 1990–2001 Geopotential Height 300hPa Third Quartile Etesia

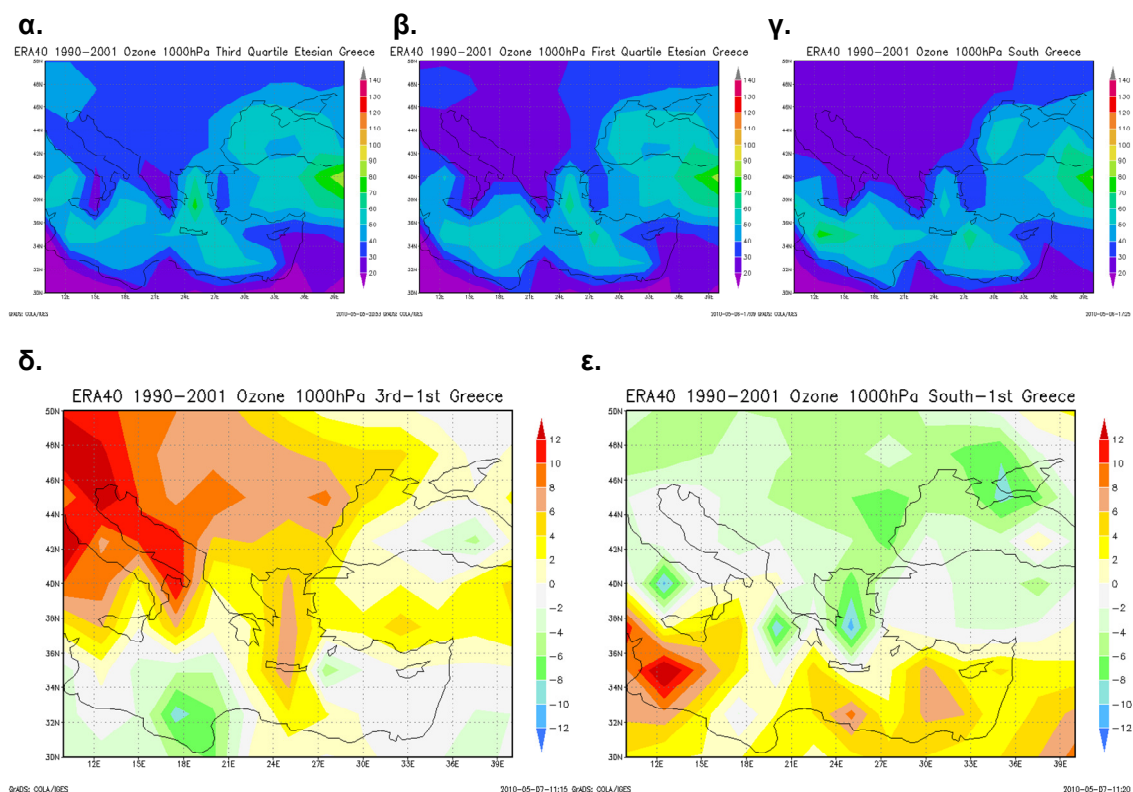


Χάρτης 10. Γεωδυναμικά ύψη στα 300hPa στην περίπτωση ισχυρών Ετησίων. Φαίνεται ο Αυλώνας που σχηματίζεται δυτικά της Ελλάδος και επηρεάζοντας την συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στην χώρα μας.



Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση ενός Αυλώνα (Trough) και μιας Ράχης (Ridge) για το Βόρειο ημισφαίριο.

Ιδιαίτερα ανησυχητικές είναι οι ενδείξεις για την χώρα μας. Πάνω από τον ελλαδικό χώρο η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος είναι 70-80ppb και 60-70ppb κατά την περίοδο που πνέουν ισχυρές και ασθενείς Ετησίες αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μεγάλες λαμβάνοντας υπόψη πως το Όριο Ενημέρωσης Πληθυσμού και το Όριο φυτο-τοξικότητας που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 63ppb και 32ppb αντίστοιχα (Ζάνης 2008). Αν υπολογίσουμε τις μέγιστες τιμές από τους χάρτες 11δ και 11ε που είναι 8ppb και 12ppb αντίστοιχα, συμπεραίνουμε πως όταν πνέουν ισχυρές Ετησίες σε σχέση με τους Νότιους ανέμους έχουμε αύξηση στην συγκέντρωση του όζοντος τις τάξεις των 20ppb στην περιοχή του Αιγαίου.

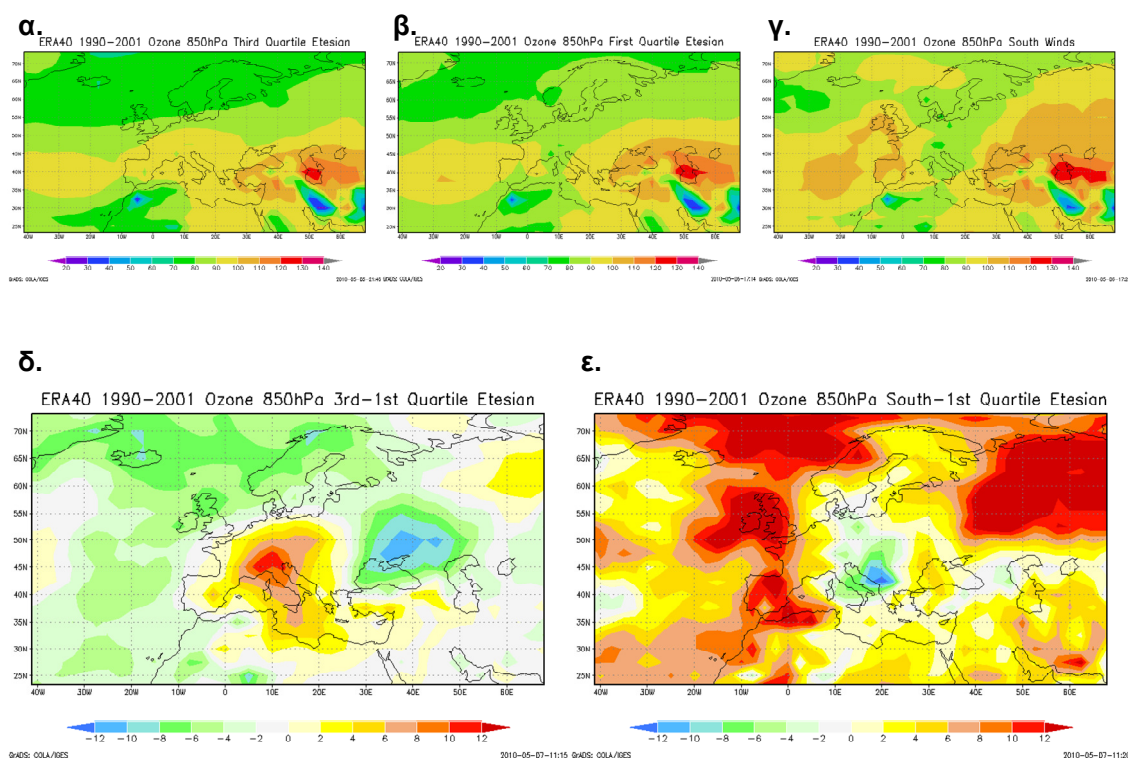


Χάρτης 11. Συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στην επιφάνεια στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών - Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων - Ασθενών Ετησίων (ε).

Λόγω καλοκαιρίας χαμηλής υγρασίας και υψηλής ηλιοφάνειας κατά την διάρκεια των Ισχυρών Ετησίων η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος είναι μέγιστη. Κυρίως μεγαλύτερη αύξηση του όζοντος παρατηρείται στα αστικά κέντρα καθώς εκεί λόγω ρύπανσης είναι διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την φωτοχημική παραγωγή του.

Πρέπει να τονίσουμε εδώ πως ακόμα και αν μειωθούν σημαντικά όλες οι εκπομπές πρόδρομων ενώσεων του όζοντος στην Ελλάδα δεν θα μειωθούν σημαντικά οι τιμές του τροποσφαιρικού όζοντος (Zerefos et al. 2002). Μείωση της εκπομπής των πρωτογενών ρύπων που ευνοούν την φωτοχημική παραγωγή του όζοντος θα πρέπει να γίνει σε Ευρωπαϊκή κλίμακα, καθώς η συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στην Ελλάδα προέρχεται από εκπομπές στην ηπειρωτική Ευρώπη (Ζάνης 2008).

Στην στάθμη των 850hPa που βρίσκεται περίπου σε ύψος 1400-1500m οι τιμές του όζοντος κυμαίνονται και στις 3 ομάδες ημερών σε υψηλότερα επίπεδα από την επιφάνεια. Η συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας όταν πνέουν ισχυρές Ετησίες φαίνεται να επηρεάζει την συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος πάνω από την Κεντρική Ευρώπη στον ίδιο βαθμό με την επιφάνεια. Έτσι όταν πνέουν ισχυρές Ετησίες έχουμε 12ppb περισσότερα σε σχέση με την περίπτωση που φυσούν ασθενείς.



Χάρτης 12. Συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στο επίπεδο των 850hPa στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης για τις 3 ομάδες ημερών και οι διαφορές Ισχυρών - Ασθενών Ετησίων (δ) και Νότιων ανέμων - Ασθενών Ετησίων (ε).

Κατά την καλοκαιρινή περίοδο στην χώρα μας πνέουν άνεμοι Βόρειο-Βορειοδυτικής διεύθυνσης κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό. Οι άνεμοι αυτή ονομάζονται Ετησίες και εμφανίζονται κάθε χρόνο πάνω από τον Αιγαίο χώρο. Σε σπάνιες μόνο περιπτώσεις η ροή αυτή διακόπτεται με Νότιες διευθύνσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αποδεικνύεται πως ο καλοκαιρινός άνεμος των Ετησίων επηρεάζει την συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος σε μεγάλο βαθμό επάνω από τον Αιγαίο χώρο αλλά και την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Η άνοδος αυτή είναι ιδιαίτερα υψηλή αν λάβουμε υπόψη μας τα όρια που έχει θεσπίσει η ευρωπαϊκή ένωση για την συγκέντρωση του όζοντος.

Επίσης η συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά την διάρκεια των ισχυρών Ετησίων επηρεάζει ιδιαίτερα την συγκέντρωση του τροποσφαιρικού όζοντος στην κεντρική Ευρώπη λόγω της επίδρασης του Αντικυκλώνα των Αζορών. Λόγω αντικυκλωνικής ροής επικρατεί καλοκαιρία και ηλιοφάνεια, με αποτέλεσμα να ευνοείται η φωτοχημική παραγωγή του όζοντος.

Η ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν πάνω από την κεντρική Ευρώπη κατά την περίοδο που πνέουν ισχυρές Ετησίες προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή. Κατά την περίοδο αυτή ο αντικυκλώνας των Αζορών εμφανίζεται ισχυροποιημένος με ανάπτυξη αντικυκλωνικών συνθηκών πάνω από την κεντρική Ευρώπη που φαίνονται σαν επέκταση του προς τα Ανατολικά.

Τέλος το ύψος του οριακού στρώματος αυξάνεται στην περίπτωση που πνέουν Ισχυρές Ετησίες καθώς με αύξηση της ταχύτητας του ανέμου έχουμε ταυτόχρονη αύξηση της μηχανικής τύρβης η οποία προκαλεί άνοδο του οριακού στρώματος. Στις ασθενείς Ετησίες δεν παρατηρείται κάτι ανάλογο.

1. Jes Fenger. 2008. Air pollution in the last 50 years – From local to global. *Atmospheric Environment* 43 (2009) 13-12.
2. P.D Kalabokas and C.C Repapis. 2004. A climatological study of rural surface ozone in central Greece. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 4, 1139-1147, 2004.
3. Robert Vautard, Sophie Szopa, Matthias Beekmann, Laurent Menut, Didier A. Hauglustaine, Laurence Rouil and Michiel Roemer. 2006. Are decadal anthropogenic emission reductions in Europe consistent with surface ozone observation? . *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L13810, doi:10.1029/2006GL026080, 2006.
4. Kallos, G., Kotroni, V., Lagouvardos, K. and Papadopoulos, A., 1998. On the longrange transport of air pollutants from Europe to Africa. *Geophys. Res. Lett.*, 25, pp. 619– 622.
5. Zerefos, C. S., Kourtidis, K., Melas, D., Balis, D., Zanis, P., Katsaros, L., Mantis, H., Repapis, C., Isaksen, I., Sundet, J., Herman, J., Bhartia, P. K. and Calpini, B., 2002. Photochemical Activity and Solar Ultraviolet Radiation Modulation Factors (PAUR): An overview of the project. *J. Geophys. Res.*, 107(DX), 10.1029/2000JD000134.
6. Πρόδρομος Ζάνης. 2008-2009. Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας. Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
7. Τ.Ι Μακρογιάννης και Χ.Σ Σαχσαμανόγλου. 2004. Μαθήματα γενικής Μετεωρολογίας. Εκδόσεις ΧΑΡΙΣ, Θεσσαλονίκη.
8. Π.Χ Μαχαίρας. 2003-2004. Μαθήματα δυναμικής και εφαρμοσμένης κλιματολογίας (Σημειώσεις). Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
9. Παναγιώτης Μαχαίρας. 2008-2009. Κλιματικές Μεταβολές. Εκδόσεις Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
10. Αγγελική Αρσένη – Παπαδημητρίου. 1984. Διδακτορική Διατριβή : Συμβολή στη μελέτη του προβλήματος των Ετησίων. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
11. Αναστασία Π. Πούπκου. Α, 2005. Διδακτορική διατριβή : Μελέτη της Ατμοσφαιρικής Φωτοχημικής Ρύπανσης στη Νοτιοανατολική Ευρώπη. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
12. Δημήτρης Ακριτίδης. 2008. Συνοπτικά και δυναμικά χαρακτηριστικά της δομής της ανώτερης ατμόσφαιρας κατά την μεταφορά στρατοσφαιρικού όζοντος.
13. Α. Παπαγιάννη. Laser & Εφαρμογές τους στην Βιοφυσική και το περιβάλλον.
14. Βίγκλας Παναγιώτης. 2007. Εισαγωγή στη Μετεωρολογία – Μια εκπαιδευτική προσέγγιση. Μέρος Α : Βασικές έννοιες. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας.



Διαδικτυακές Συνδέσεις

1. <http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/el/Ozone>
2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Tropospheric_ozone
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Trough_\(meteorology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Trough_(meteorology))
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/Etesian>
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/ERA-40>
7. http://www.ucar.edu/learn/1_7_1.htm
8. <http://www.ecmwf.int/>
9. <http://users.ictp.it/~pubregcm/>
10. <http://www.env-edu.gr/Chapters.aspx?id=67>