



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
<<ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ>>

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΟΥ
ΥΕΤΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ
1997-2021 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ GPCP

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΦΑΚΟΣ

A.M. 834

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΧΡΗΣΤΟΣ ΛΩΛΗΣ (ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2024

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Βασικές μετεωρολογικοί παράμετροι	10
1.3 Περί υετού	11
1.3.1 Βροχή	13
1.3.2 Χιόνι	18
1.3.3 Χαλάζι	19
1.3.4 Χιονοχάλαζο	20
1.3.5 Πηγνυόμενη βροχή	21
1.4 Βαρομετρικά συστήματα	21
1.5 Κατακόρυφη ισορροπία της ατμόσφαιρας.....	25
1.6 Υετός στην περιοχή της Μεσογείου	26
1.7 Σκοπός της εργασίας	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	29
2.1 Δεδομένα	29
2.2 Ελλείπουσες τιμές- Μέθοδος παρεμβολής	31
2.3 Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων	32
2.3.1 Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis, FA)	32
2.3.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis)	35
2.3.2.1 Μη Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες (K–Means)	37
2.3.2.2 Μέθοδος επιλογής των συστάδων (Jump Method).....	38
2.4 Μεθοδολογία	40
2.4.1 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης της μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο.....	40
2.4.2 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης της μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του υετού	41
2.4.3 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης της διαχρονικής διακύμανσης του ύψους του υετού ανά δίμηνο	41

2.4.4 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης των γραμμικών τάσεων του ύψους του νετού ανά δίμηνο, για την περίοδο 1997-2021.....	43
2.4.5 Ανάλυση επεξεργασίας στατιστικής ανάλυσης ακραίων περιπτώσεων νετού.....	43
2.4.6 Ανάλυση επεξεργασίας στατιστικής ανάλυσης ημερών ακραίου νετού	44
2.4.7 Επεξήγηση μεθοδολογίας σύνδεσης των ημερών ακραίου νετού με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
3.1.1 Μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους του νετού	45
3.2 Μέση χωρική κατανομή του ύψους του νετού	48
3.3 Διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού ανά δίμηνο για την περίοδο 1997-2021.....	49
3.4 Χωρική κατανομή γραμμικών τάσεων του ύψους του νετού, ανά δίμηνο για την περίοδο 1997-2021	60
3.5 Στατιστική ανάλυση περιπτώσεων μη μηδενικού νετού	64
3.5.1 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του αριθμού των περιπτώσεων μη μηδενικού νετού προς το σύνολο των διαθέσιμων τιμών.....	64
3.6 Στατιστική ανάλυση περιπτώσεων ακραίου νετού.....	67
3.6.1 Χωρική κατανομή κατωφλίου ακραίου ύψους νετού	67
3.6.2 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου νετού	69
3.6.3 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση μέσου ύψους νετού ανά περίπτωση ακραίου νετού ...	71
3.6.4 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού περιπτώσεων ακραίου νετού προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού νετού	74
3.7 Στατιστική ανάλυση ημερών ακραίων νετού	76
3.8 Σύνδεση των ημερών ακραίου νετού με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	100

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Μελέτη των κλιματικών χαρακτηριστικών του υετού στην περιοχή της Μεσογείου για την περίοδο 1997-2021 με τη χρήση της βάσης ημερήσιων δεδομένων GPCP». Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον». Την επίβλεψη αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής είχε αναλάβει ο Αναπληρωτής Καθηγητής του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κύριος Χρήστος Λώλης τον οποίο ευχαριστώ μέσα από τα βάθη της καρδιάς μου για την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση, την επιστημονική καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια συγγραφής της μεταπτυχιακής αυτής διατριβής. Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη ΔΕΠ τα οποία απαρτίζουν το συγκεκριμένο τομέα, καθώς συνεχίζουν αδιάκοπα το έργο τους και αποτελούν φωτεινούς πυλώνες μεταλαμπάδευσης γνώσεων και αξιών. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους συμφοιτητές μου που συνέβαλαν με τα σχόλια, την κριτική και τις γνώσεις τους. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω από αυτή την παράγραφο το διδακτορικό φοιτητή του τομέα Σταμάτη Μιχάλη που με οδήγησε στην χρήση της Python που αποτέλεσε σημαντικό εργαλείο στην παρούσα εργασία καθώς και το Φώτη Συγγούνα ηλεκτρολόγο μηχανικό και μηχανικό υπολογιστών, όπως και παλιό μου μαθητή που χωρίς την παρέμβαση του δεν θα είχε γίνει ο κώδικας της interpolation. Τελειώνοντας ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την κατανόηση και την υπομονή για τις τόσες ώρες που έλειπα από δίπλα τους.

Νικόλαος Φάκος, Ιωάννινα 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθούν τα κλιματικά χαρακτηριστικά του υετού στην περιοχή της Μεσογείου για μια περίοδο 25 ετών (1997–2021). Χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές του ύψους του υετού (mm/day) από τη βάση του GPCP v.1.3 και αφορούν την περίοδο από 1 Ιανουαρίου 1997 έως 31 Δεκεμβρίου 2021, σε 1071 πλεγματικά σημεία $1^\circ \times 1^\circ$ στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου. Μέσω της Παραγοντικής Ανάλυσης (Factor Analysis), βρέθηκαν 7 τύποι μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενθήμερο και 3 τύποι μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του υετού. Επιπλέον, μελετήθηκε η διαχρονική διακύμανση του ύψους του υετού για κάθε δίμηνο του έτους. Στη χωρική κατανομή γραμμικών τάσεων υετού ανά δίμηνο, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις και στα 6 δίμηνα, οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή του τεστ Mann-Kendall, με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επίσης, ορίστηκαν οι περιπτώσεις ακραίου υετού με βάση το κριτήριο οι ημερήσιες τιμές του ύψους υετού ενός πλεγματικού σημείου να ξεπερνούν το κατώφλι του υψηλότερου 1% των μη μηδενικών τιμών. Ταυτόχρονα έγινε η στατιστική ανάλυσή τους και παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές πτωτικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), τόσο στη διαχρονική διακύμανση του ποσοστού επί της εκατό του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού προς το σύνολο των περιπτώσεων, όσο και στη διαχρονική διακύμανση του αριθμού περιπτώσεων ακραίου υετού προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων υετού. Τέλος, έγινε ορισμός των ημερών ακραίου υετού που χαρακτηρίζονταν από εμφάνιση τουλάχιστον 11 πλεγματικών σημείων με ημερήσιες τιμές ύψους του υετού που να ξεπερνούν το κατώφλι του υψηλότερου 1% των μη μηδενικών τιμών. Στην συνέχεια μέσω της Ανάλυσης κατά Συστάδες (Cluster Analysis), βρέθηκαν 7 ομάδες, κάθε μία εκ των οποίων αντιστοιχούσε σε έναν τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούσε την ύπαρξη ημέρας ακραίου υετού. Χρησιμοποιήθηκαν στην Ανάλυση κατά Συστάδες τα ημερήσια δεδομένα (12 UTC), στις ακραίες ημέρες υετού, γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 1000 hPa και 500 hPa και της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε πλέγμα $1^\circ \times 1^\circ$, για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Επιπροσθέτως, παρατηρήθηκε μία στατιστικά σημαντική πτωτική τάση (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) στη διαχρονική διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού. Ολοκληρώνοντας, οι συνθήκες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν την εμφάνιση ημερών ακραίου υετού χαρακτηρίζονται κυρίως από κυκλωνική κυκλοφορία στην κατώτερη τροπόσφαιρα, σε συνδυασμό με σκάφη χαμηλών πιέσεων (trough) στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

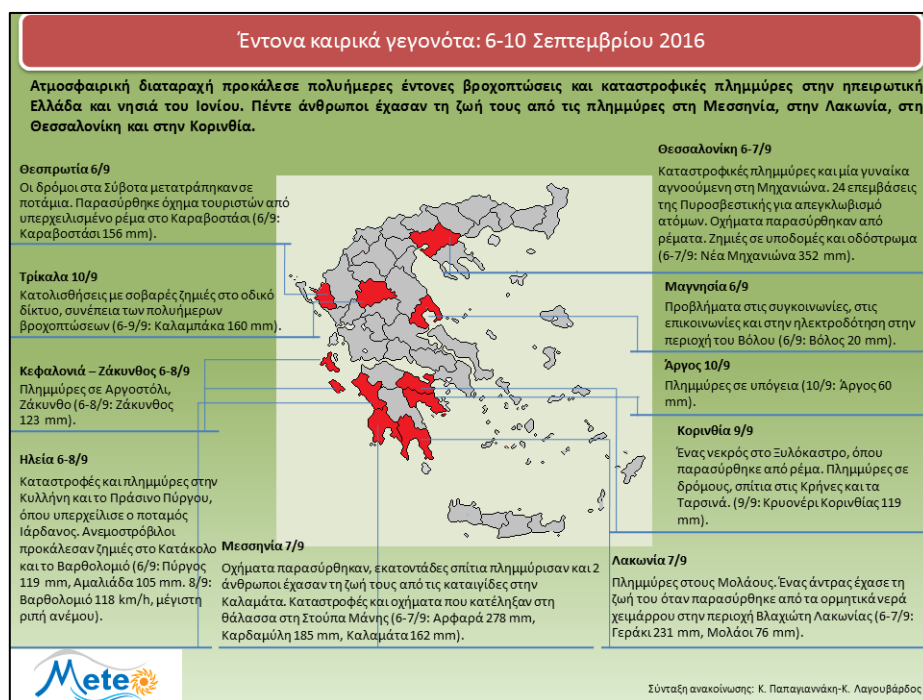
ABSTRACT

The aim of this thesis is to study the climatic characteristics of precipitation in the Mediterranean region over a 25-year period (1997-2021). Daily precipitation values (mm/day) from the GPCP v.1.3 database were used for the period from 1 January 1997 to 31 December 2021 at 1071 $1^\circ \times 1^\circ$ grid points in the Mediterranean basin. By means of Factor Analysis, 7 types of mean intra-annual variation of precipitation amount per five-day period and 3 types of mean spatial distribution of precipitation amount were found. In addition, the interannual variation of precipitation amount for each two months of the year was studied. In the spatial distribution of linear precipitation trends per bimonthly period, statistically significant trends were observed in all 6 bimonthly periods, obtained by applying the Mann-Kendall test, with a 95% confidence level. Extreme precipitation cases were also defined, based on the criterion that the daily values of the precipitation height of a plague point exceed the threshold of the highest 1% of non-zero values. At the same time, their statistical analysis was performed and statistically significant downward trends (95% confidence level) were observed both in the interannual variation of the percentage of the number of extreme precipitation cases to the total number of cases, and in the interannual variation of the number of extreme precipitation cases to the total number of precipitation cases. Finally, extreme precipitation days were defined as days characterized by the occurrence of at least 11 plague points with daily precipitation height values exceeding the threshold of the highest 1% of non-zero values. Subsequently, through Cluster Analysis, 7 clusters were found, each of which corresponded to an atmospheric circulation type that favored the occurrence of an extreme precipitation day. Daily data (12 UTC), on extreme precipitation days, geodynamic height at the 1000 hPa and 500 hPa isobaric surfaces and temperature at the 850 hPa isobaric surface in a $1^\circ \times 1^\circ$ grid were used in the Cluster Analysis for the Mediterranean region. In addition, a statistically significant downward trend (95% confidence level) was observed in the interannual variation of the number of extreme precipitation days. In conclusion, the atmospheric circulation conditions favouring the occurrence of extreme precipitation days are mainly characterised by cyclonic circulation in the lower troposphere, combined with troughs in the upper atmosphere.

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Από την αρχαιότητα έως και σήμερα οι ατμοσφαιρικές διεργασίες που συμβαίνουν γύρω μας επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη δραστηριότητα, τόσο σε τοπική όσο και σε ευρύτερη κλίμακα. Η ροπή της ανθρωπότητας προς προφύλαξη από καιρικά φαινόμενα (Σχήμα 1.1, Σχήμα 1.2) έχουν οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα να μελετά τον καιρό και το κλίμα.



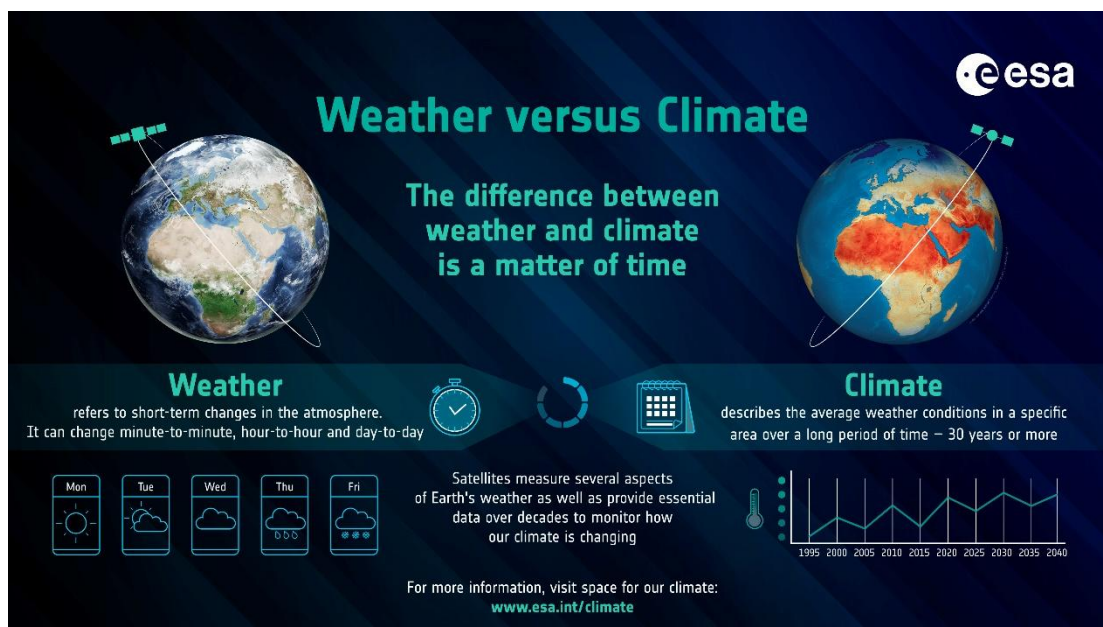
Σχήμα 1.1 Επιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων (meteo.gr: Οι επιπτώσεις της πρόσφατης κακοκαιρίας)



Σχήμα 1.2 Υψηλές συγκεντρώσεις Σαχαριανής σκόνης, Μάρτιος 2024 (meteo.gr: Αρχείο άρθρων)

Ωστόσο, οι ατμοσφαιρικές διεργασίες δεν είναι απολύτως κατανοητές από το μεγαλύτερο μέρος του ανθρώπινου πληθυσμού και αυτό διότι η ατμόσφαιρα είναι ένα μείγμα αόρατων αερίων. Η σημασία ύπαρξης της ατμόσφαιρας είναι τεράστια τόσο για τον άνθρωπο, όσο και για τον πλανήτη μας γενικότερα. Ενδεικτικά, λόγω του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου, η μέση πλανητική θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη μας αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα θα ήταν περίπου 33°C χαμηλότερη (ενεργός θερμοκρασία, T_{eff}) από αυτή που επικρατεί σήμερα ($\approx 15^\circ\text{C}$).

Η Μετεωρολογία και η Κλιματολογία αποτελούν τις επιστήμες που εξετάζουν το σύνολο των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα μέσα στην ατμόσφαιρα. Με τον όρο καιρό, εννοούμε την κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από μια περιοχή για μια ορισμένη χρονική στιγμή, συμπεριλαμβανομένης και της εξέλιξης της κατάστασης αυτής από τη γένεση ως το τέλος των συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών διαταραχών. Ενώ με τον όρο κλίμα (Σχήμα 1.3), εννοούμε τις συνθήκες της ατμόσφαιρας (καιρικές συνθήκες), σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, μεσοποιημένες για μια μεγάλη χρονική περίοδο (≥ 30 έτη).



Σχήμα 1.3 Διαφορές μεταξύ καιρού και κλίματος

(https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Weather_vs_climate_What_is_the_difference#:~:text=Weather%20refers%20to%20the%20short,a%20long%20period%20of%20time.)

Η ατμόσφαιρα είναι ο χώρος των κινήσεων των αερίων μαζών, καθώς και μιας ευρείας ποικιλομορφίας θερμοδυναμικών διαδικασιών. Λαμβάνει χώρα μία διαρκής ανταλλαγή θερμότητας και υγρασίας μεταξύ των διαφόρων στρωμάτων και περιοχών της ατμόσφαιρας. Ως αποτελέσματα αυτών των ανταλλαγών προκύπτουν μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, του ανέμου και της θερμοκρασίας. Οι μεταβολές αυτές οδηγούν στον σχηματισμό των νεφών και στη δημιουργία νετού (βροχής, χιονιού, πάγου), όπως και σε διάφορα άλλα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα μέσα στην ατμόσφαιρα.

Ο νετός πιο συγκεκριμένα αποτελεί ένα από τα φαινόμενα που απασχολεί ιδιαίτερα τον άνθρωπο στην καθημερινότητα του σε διάφορους τομείς (γεωργία, ναυσιπλοΐα, αεροπλοΐα, κ.α.). Ως αποτέλεσμα αυτού, η διακύμανση του νετού και η συσχέτισή του με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία έχει μελετηθεί τα τελευταία χρόνια από πολλούς ερευνητές σε όλο τον κόσμο, όπως και στην λεκάνη της Μεσογείου (Σχήμα 1.4) η οποία αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 1.4 Η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και οι 4 κύριες υπο-λεκάνες στις οποίες μπορεί να διαιρεθεί: (1) η δυτική, (2) η κεντρική και (3) η ανατολική. Το (4) αντιστοιχεί στη Μαύρη Θάλασσα (Λώλης 2002).

1.2 Βασικές μετεωρολογικές παράμετροι

Γεωδυναμικό ύψος:

Το έργο που παράγεται από τη μονάδα μάζας για την ανύψωσή της από τη στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας στο ύψος z ονομάζεται γεωδυναμικό (εξίσωση 1.1).

$$\Phi(z) = \int_0^z g \cdot dz \text{ (εξίσωση 1.1)}$$

Γεωδυναμικό ύψος (geopotential height) ορίζεται η ποσότητα $H=\Phi(z)/g_0$, όπου g_0 η μέση τιμή της επιτάχυνσης της βαρύτητας στην επιφάνεια της γης ($g_0=9.81 \text{ m/s}^2$). Μονάδα του γεωδυναμικού ύψους είναι το 1 grm (1 grm=9.8 J/kg). Σημεία με το ίδιο γεωδυναμικό ύψος βρίσκονται πάνω στην ίδια ισογεωδυναμική επιφάνεια. Η κίνηση πάνω σε τέτοιες επιφάνειες είναι ανεξάρτητη της βαρύτητας και εξαιτίας αυτού προτιμάται στη μελέτη των προβλημάτων δυναμικής μετεωρολογίας.

Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα (T):

Η θερμοκρασία είναι το μέτρο εκείνο με το οποίο προσδιορίζεται η θερμική κατάσταση των διαφόρων σωμάτων. Στις ατμοσφαιρικές επιστήμες μας αφορά κυρίως ο ατμοσφαιρικός αέρας. Βάσει της κινητικής θεωρίας των αερίων, η θερμοκρασία T του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ανάλογη της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων του (εξίσωση 1.2).

$$\frac{3}{2} \cdot K_B \cdot T = \frac{1}{2} \cdot \bar{M} \cdot \overline{U_\alpha^2} \text{ (εξίσωση 1.2)}$$

όπου $K_B=1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ανά μόριο, η σταθερά του Boltzmann, $\bar{M}=4.8096 \times 10^{-26} \text{ Kg}$ ανά μόριο η μέση μάζα ενός μορίου αέρα και τέλος, ο όρος $\overline{U_\alpha^2}$ αντιστοιχεί στη μέση θερμική ταχύτητα ενός μορίου αέρα σε m/s. Πιο συγκεκριμένα εάν θερμανθεί ο ατμοσφαιρικός αέρας, τα μόριά του θα κινηθούν γρηγορότερα και οι αποστάσεις μεταξύ τους θα αυξηθούν ελαφρώς έτσι ώστε ο αέρας να γίνει αραιότερος. Η αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται, εάν στη συνέχεια ψύξουμε τον αέρα.

Στους μετεωρολογικούς χάρτες μας αφορά κυρίως η θερμοκρασία στην ισοβαρική στάθμη των 850hPa, διότι σε αυτό το ύψος από την μέση στάθμη της θάλασσας (περίπου 1500 m), απουσιάζει η θερμική επίδραση του εδάφους. Συνηθισμένες μονάδες μέτρησής της είναι οι βαθμοί Celsius (°C) και Kelvin (K). Η σχέση που συνδέει την απόλυτη θερμοκρασία (T) με την θερμοκρασία (θ) δίνεται από την εξίσωση 1.3.

$$T(K) = 273.15 + \theta(^{\circ}C) \text{ (εξίσωση 1.3)}$$

Υψος βροχής:

Κάτι που θα αναφερθεί παρακάτω στην παρούσα εργασία και πρέπει να ξεκαθαριστεί είναι το ύψος της βροχής. Ύψος βροχής καλείται το ύψος στο οποίο θα έφθανε η στάθμη του νερού της βροχής αν έπεφτε σε οριζόντια μοναδιαία επιφάνεια, αποκλείοντας τους παράγοντες απορρόφησης και εξάτμισης. Εκφράζεται σε mm.

Ειδική υγρασία (q):

Ειδική υγρασία (specific humidity, q) ορίζεται ως το πηλίκο της μάζας των υδρατμών (m_v) προς τη μάζα του υγρού αέρα (m_a) στον οποίο περιέχονται (Metaxas and Bartzokas 2012).

$$q = \frac{m_v}{m_a} = 0.622 \frac{e}{P - 0.378e} \text{ (εξίσωση 1.4)}$$

όπου P η ολική πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα και e η τάση των υδρατμών.

1.3 Περί υετού

Αναφορά του υετού στην ελληνική μυθολογία

Σύμφωνα με την ελληνική μυθολογία, οι Υάδες (λέξη που σημαίνει «οι της βροχής»), ήταν αδελφές Νύμφες, που έφερναν τη βροχή (ετυμολογικά από το αρχαίο ρήμα *νώ* που σημαίνει βρέχω). Κατά το «Fabulae» του Υγίνου οι Υάδες ήταν οι 7 κόρες του τιτάνα Άτλαντα και της Πλειόνης.



Σχήμα 1.5 *Mercure confie Bacchus aux Hyades- Ο Ερμής εμπιστεύεται τον Διόνυσο στις Υάδες- Πίνακας του Hyacinthe Collin de Vermont. (Υάδες, οι νύμφες της βροχής που έκλαιγαν με δάκρυα βροχή | Elniplex)*

Οι Υάδες μαζί με τις 7 Πλειάδες αποτελούν τις 14 Ατλαντίδες, γνωστές και ως Δωδωνίδες, όπου δόθηκε ο θεός Διόνυσος σε αυτές ως βρέφος για να τον μεγαλώσουν (Σχήμα 1.5). Ο μύθος σύμφωνα με μία εκδοχή λέει ότι όταν ο Έγας που ήταν αδερφός των Υάδων πέθανε κατά τη διάρκεια

ενός κυνηγιού από λιοντάρι. Οι Υάδες άρχισαν να κλαίνε ασταμάτητα από τη λύπη τους και τα δάκρυά τους έπεφταν σαν πυκνή βροχή. Τότε οι θεοί τις λυπήθηκαν και τις μεταμόρφωσαν σε αστέρια, το γνωστό σμήνος αστεριών των Υάδων.

Ορισμός του υετού στην επιστημονική βιβλιογραφία

Γενικά με τον όρο υδατώδη ατμοσφαιρικά αποβλήματα (κατακρημνίσματα) εννοούμε τις διάφορες μορφές μεριδίων νερού, σε στερεή ή υγρή φάση, τα οποία φθάνουν διαμέσου της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια του εδάφους. Ειδικότερα με τον όρο υετό ονομάζουμε κάθε πτώση ή εναπόθεση στο έδαφος προϊόντων του ύδατος (σε υγρή ή στερεά μορφή, επιμερισμένη) τα οποία προέρχονται από συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας και αποτελούν μετρήσιμη ποσότητα νερού. Τα είδη υετού, τα οποία θα αναλυθούν συνοπτικά παρακάτω είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, το χιονοχάλαζο και η πηγνυόμενη βροχή. Συμπληρωματικά ακολουθεί και μία ταξινόμηση των τύπων υετού.

Ο υετός ταξινομείται σε 3 τύπους με βάση τη μέθοδο ψύξης η οποία οδηγεί στη συμπύκνωση των υδρατμών (Πνευματικός 2003):

α) Στον υετό κατακόρυφης ή οριζόντιας μεταφοράς. Στην πρώτη διαδικασία ο υετός δημιουργείται εξαιτίας των ανοδικών ρευμάτων του αέρα που οδηγεί στην αδιαβατική ψύξη των αερίων μαζών και στη συμπύκνωση των υδρατμών τους. Στη δεύτερη, η δημιουργία του οφείλεται στην βαθμιαία ψύξη τους, όταν μετακινούνται από θερμότερες σε ψυχρότερες περιοχές. Εδώ θα συναντήσουμε μορφές υετού όπως οι καταρρακτώδεις βροχές, το πυκνό χιόνι και το χαλάζι.

β) Στον ορογραφικό υετό, ο οποίος οφείλεται στις επιδράσεις του ανάγλυφου. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε ένα ρεύμα υγρού αέρα που καθώς συναντά ορεινές εξάρσεις, αναγκάζεται να ανέλθει κατά μήκος των πλαγιών τους. Εδώ έχουμε την προσήνεμη πλαγιά των ορέων η οποία είναι πλούσια σε βροχές και καλείται ομβροπλευρά, ενώ αντίθετα η υπήνεμη που παρουσιάζει μικρά ποσά βροχής, ονομάζεται ομβροσκιά. Η συγκεκριμένη διαδικασία μοιάζει με την παραπάνω στο ότι έχουμε και εδώ ανοδικές κινήσεις του αέρα. Ταυτόχρονα μέσω αδιαβατικής εκτόνωσης, έχουμε συμπύκνωση των υδρατμών με αποτέλεσμα το σχηματισμό υετού. Έπειτα μετά το πέρας των κορυφών των βουνών, οι κατερχόμενες αέριες μάζες έχουν μικρή περιεκτικότητα σε υδρατμούς και θερμαίνονται αδιαβατικώς.

γ) Στο μετωπικό υετό, ο οποίος συνοδεύεται από αδιαβατική ψύξη των αερίων μαζών, όταν αυτές συγκλίνουν και ανέρχονται στις υφέσεις, καθώς και κατά μήκος των μετωπικών επιφανειών.

Συνεχίζοντας θα αναφερθούμε στην ετήσια καθώς και ημερήσια πορεία του υετού. Υπάρχουν πολυάριθμοι τύποι της ετήσιας πορείας του υετού, που εξαρτώνται από δυναμικά και τοπικά αίτια, οι σπουδαιότεροι όμως είναι οι εξής (Πνευματικός 2003):

α) Ο ισημερινός τύπος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα της βροχής, τα οποία συμβαίνουν λίγο μετά τις ισημερίες και δύο ελάχιστα βροχής κατά τα ηλιοστάσια. Επικρατεί στην Ισημερινή ζώνη ανάμεσα στις 10° Β και 10° S του Ισημερινού.

β) Ο τροπικός τύπος, ο οποίος εμφανίζει ένα μέγιστο το θέρος όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ και ένα ελάχιστο το χειμώνα, λόγω της μετακίνησης της ζώνης των ισημερινών νηνεμιών, προς βορρά το θέρος και προς νότο το χειμώνα.

γ) Ο μουσωνικός τύπος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από άφθονο υετό το θέρος και ξηρασία το χειμώνα.

δ) Ο υποτροπικός τύπος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από χειμερινές βροχές και θερινή ξηρασία. Ο τύπος αυτός εμφανίζεται στις περιοχές όπου επικρατεί μεσογειακό κλίμα, γι' αυτό και καλείται και «μεσογειακός τύπος».

ε) Ο ηπειρωτικός τύπος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από θερινές βροχές και άλλες μορφές υετού και από χειμερινή μάλλον ξηρασία. Παρατηρείται στα εσωτερικά των ηπείρων.

στ) Τέλος, ο θαλάσσιος τύπος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από φθινοπωρινές και χειμερινές βροχές.

Στην ημερήσια πορεία του υετού διακρίνονται τρεις τύποι κυρίως (Πνευματικός 2003):

Ο θαλάσσιος τύπος παρουσιάζει το μέγιστο της βροχής κατά τη νύχτα ή νωρίς το πρωί ενώ ο ηπειρωτικός κατά τις πρώτες απογευματινές ώρες ή και αργότερα. Ωστόσο έχουμε αποκλίσεις από αυτή τη γενική κατάσταση λόγω δυναμικών αιτίων καθώς και εξαιτίας τοπογραφίας της εκάστοτε περιοχής. Ακολουθεί έτσι ένας πολύπλοκος τύπος που αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω τύπων.

1.3.1 Βροχή

Το νερό που περιέχει η ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάτμιση των υδάτινων επιφανειών της γης (ωκεανοί, θάλασσες, λίμνες, ποτάμια), την εξάχνωση του πάγου ή από την "αναπνοή" της χλωρίδας. Στην ατμόσφαιρα βρίσκεται κυρίως σε αέρια μορφή και ονομάζεται υδρατμός. Όταν προκύψει όμως συμπύκνωση συναντάται και σε υγρή ή στερεά μορφή. Σύμφωνα με τους Σαχσαμάνογλου και Μπλούτσο (1998), ο υδρατμός από την εξατμιζόμενη επιφάνεια, «συναντά» πρώτα το υπόστρωμα τριβής, μέσα στο οποίο επικρατεί η μοριακή διάχυση. Εν συνεχεία, περνάει στο επόμενο επιφανειακό ατμοσφαιρικό στρώμα, όπου επικρατεί η διάχυση μέσω στροβίλων. Και στα δύο αυτά στρώματα η ποσότητα E των υδρατμών (ανά μονάδα χρόνου και επιφανείας) που μεταφέρεται από την εξατμιζόμενη επιφάνεια προς το περιβάλλον (διάχυση) είναι ανάλογη με την κατακόρυφη βαθμίδα της ειδικής υγρασίας q και δίνεται από την εξίσωση 1.5:

$$E = -\rho \cdot K \cdot \frac{\partial q}{\partial z} \quad (\text{εξίσωση 1.5})$$

όπου ρ η πυκνότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και K ο συντελεστής μοριακής διάχυσης (υπόστρωμα τριβής) ή στροβιλώδους διαχύσεως (επιφανειακό στρώμα).

Η υδροχωρητικότητα του ξηρού αέρα εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία. Όσο πιο θερμός είναι ο αέρας τόσο περισσότερους υδρατμούς μπορεί να δεχτεί. Έτσι οφείλουμε να αναφερθούμε στην εξίσωση Clausius-Clapeyron (εξίσωση 1.2) που περιγράφει τη μεταβολή της πίεσης κορεσμένων υδρατμών συναρτήσει της θερμοκρασίας και καθορίζει το ρυθμό σχηματισμού/εξέλιξης των στοιχείων νερού υγρής/στερεής φάσης (πάγου). Η μεταβολή της πίεσης $dp_{v,s}$ των κορεσμένων υδρατμών πάνω από επίπεδη υγρή επιφάνεια καθαρού νερού με τη θερμοκρασία T , προσεγγίζεται/υπολογίζεται από την εξίσωση Clausius-Clapeyron (εξίσωση 1.6):

$$\frac{dp_{v,s}}{p_{v,s}} = \frac{1}{R_v} \left(\frac{A_h}{T^2} - \frac{B_h}{T} \right) dT \quad (\text{εξίσωση 1.6})$$

όπου: $A_h = 3.14839 \frac{J}{Kg}$, $B_h = 2370 \frac{J}{Kg \cdot K}$ και $R_v = 461.91 \frac{J}{Kg \cdot K}$ σταθερές

Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερη είναι η $p_{v,s}$, διότι σε υψηλές θερμοκρασίες τα μόρια του υγρού νερού εξατμίζονται ευκολότερα, ενώ το αντίστροφο ισχύει σε χαμηλές θερμοκρασίες και αυτό γιατί τα μόρια του υγρού νερού στην επιφάνεια έχουν μικρότερη

κινητική ενέργεια και δε μπορούν να εξατμισθούν τόσο εύκολα. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται επίσης και από την παρακάτω παραμετροποιημένη σχέση (εξίσωση 1.7), όπως αυτή αποδείχτηκε από τον David Bolton το 1980, που περιγράφει την εξάρτηση της πίεσης κορεσμένων υδρατμών $p_{v,s}$ (σε mb) πάνω από επίπεδη υγρή επιφάνεια καθαρού νερού με τη θερμοκρασία T (σε °C):

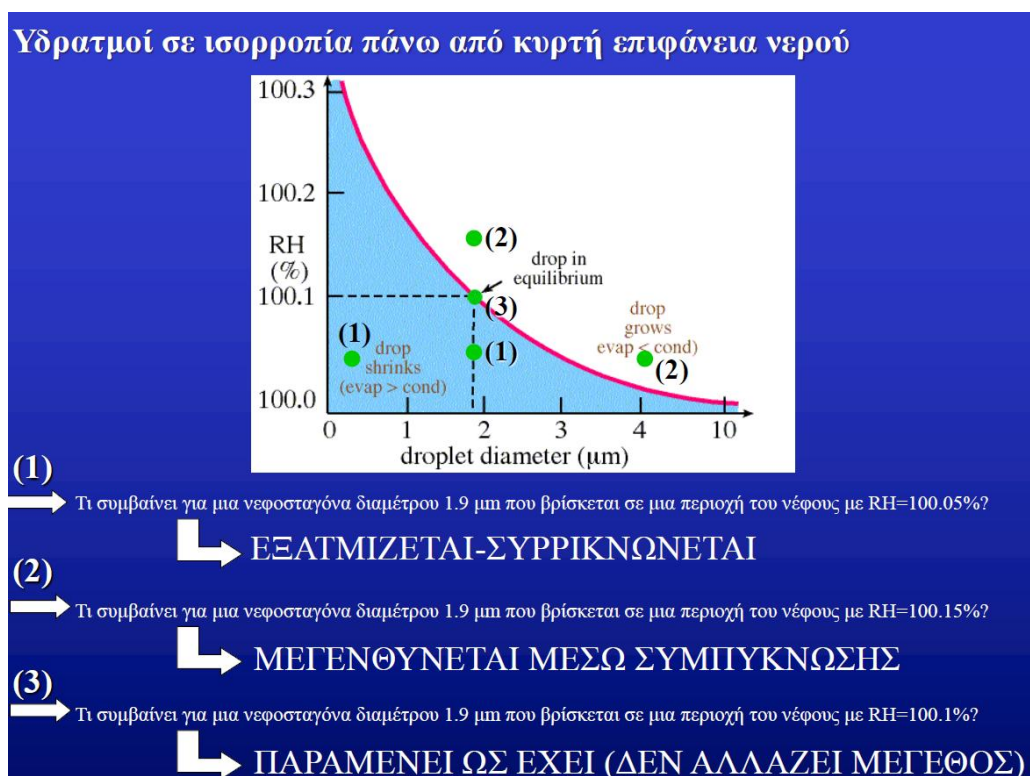
$$p_{v,s} = 6.112 \cdot e^{\left(\frac{17.67 \cdot T}{T+243.5}\right)} \quad (\text{εξίσωση 1.7})$$

Οφείλουμε να επισημάνουμε ότι η εξίσωση 1.7 ισχύει για $-35^\circ\text{C} < T < 35^\circ\text{C}$. Όμως, οι συνθήκες επίπεδης επιφάνειας υγρού νερού (όχι απαραίτητα καθαρού) απαντώνται μόνο σε μία μικρή έκταση της ατμόσφαιρας, στο λεπτό ατμοσφαιρικό (επιφανειακό) στρώμα που βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια της Γης. Έτσι παίζει ρόλο ο παράγοντας κυρτότητας (curvature effect) που φαίνεται και στην εξίσωση 1.8 παρακάτω.

$$e_{rs} = e_s \cdot e^{\left(\frac{A}{r \cdot T}\right)}, \text{ όπου } A = \frac{2 \cdot \sigma}{\rho_w \cdot R_v} \quad (\text{εξίσωση 1.8})$$

όπου r η ακτίνα καμπυλότητας της σταγόνας, T η θερμοκρασία του αέρα, ρ_w η πυκνότητα νερού που περιέχεται στην σταγόνα, σ η επιφανειακή τάση νερού, e_s η τάση των κορεσμένων υδρατμών πάνω από επίπεδη επιφάνεια και τέλος e_{rs} η τάση των κορεσμένων υδρατμών πάνω από κυρτή επιφάνεια νερού.

Ταυτόχρονα δείχνουμε παρακάτω στο Σχήμα 1.6 τι θα συμβεί σε μία νεφοσταγόνα όταν οι υδρατμοί βρίσκονται σε ισορροπία πάνω από μία κυρτή επιφάνεια νερού, καθώς θα βρίσκεται σε διάφορες καταστάσεις. Η κόκκινη καμπύλη, είναι καμπύλη ισορροπίας υδρατμών και νερού.



Σχήμα 1.6 Υδρατμοί σε ισορροπία πάνω από κυρτή επιφάνεια νερού (Ηλεκτρονικές σημειώσεις Hatzianastassiou 2023)

Καταλυτικό ρόλο επίσης στον σχηματισμό των νεφών παίζουν τα αερολύματα. Τα αερολύματα (Condensation Nuclei, CN ή total particle concentrations) δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης για το σχηματισμό νεφών (CCN). Μελέτες έχουν δείξει ότι ένα αρκετά ως πολύ μικρό ποσοστό των αερολυμάτων (CN) δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης των νεφών (δηλαδή ενεργοποιούνται) και αυτά ονομάζονται τελικά CCN. Για να δημιουργηθούν τα νέφη εκτός από τους νεφικούς πυρήνες συμπύκνωσης, απαραίτητες προϋποθέσεις είναι η χαμηλή θερμοκρασία του αέρα (μικρότερη από τη θερμοκρασία δρόσου), αλλά και οι υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αντιλαμβανόμαστε πως η διαδικασία σχηματισμού των νεφών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπου ενδεικτικά αναφέραμε μερικούς παραπάνω. Ταυτόχρονα εξηγείται πως όλα τα είδη των νεφών δεν «σχηματίζονται» στο ίδιο ύψος αλλά επίσης δεν μπορούν να είναι όλα βροχοφόρα. Νέφος ορίζεται κάθε ορατό σύνολο υδροσταγονιδίων ή παγοκρυσταλλίων που αιωρείται στην ατμόσφαιρα.

Τα είδη των νεφών (Σχήμα 1.7) με βάση με το ύψος της ατμόσφαιρας στο οποίο σχηματίζονται, κατατάσσονται ως εξής:

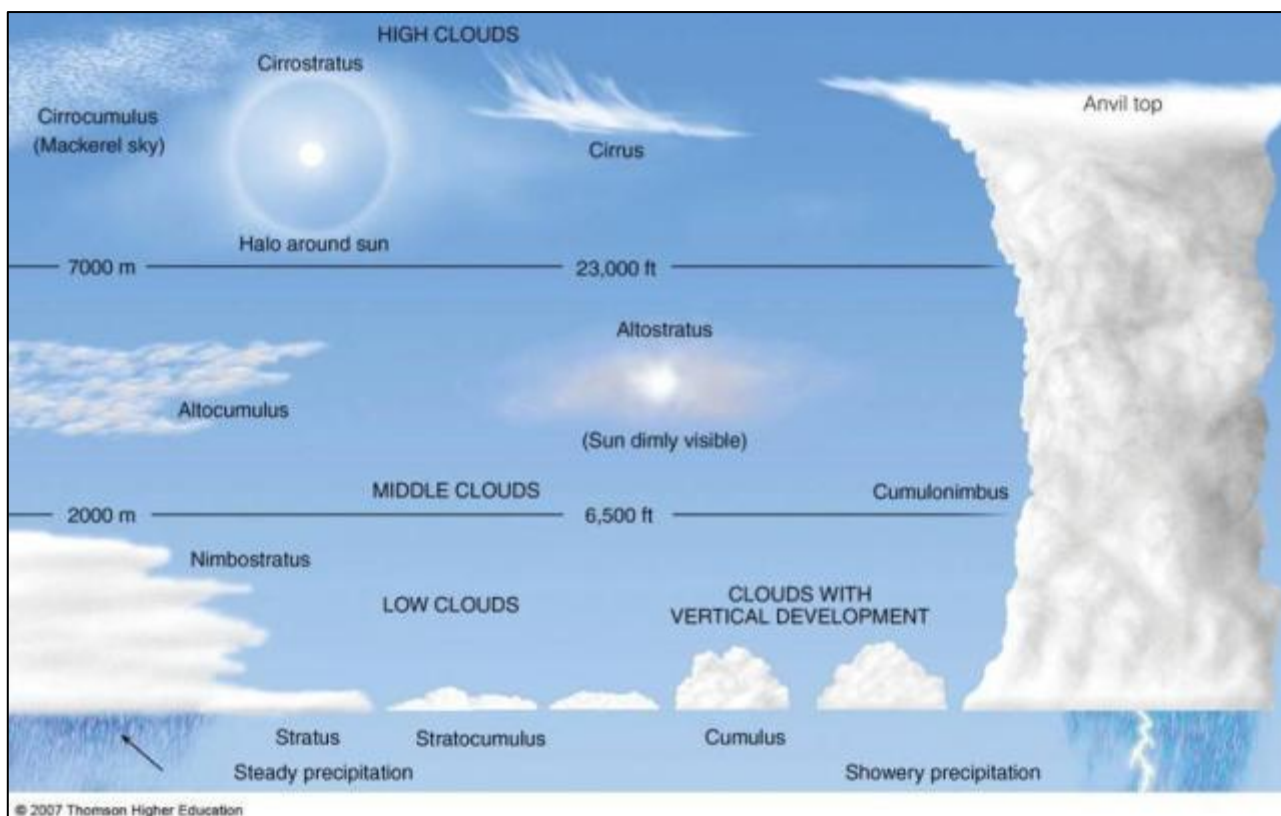
1. Ανώτερα νέφη ($h > 7\text{km}$)
 - α) Θύσανοι (Cirrus, Ci)
 - β) Θυσσανοσωρείτες (Cirrocumulus, Cc)
 - γ) Θυσσανοστρώματα (Cirrostratus, Cs)
2. Μέσα νέφη ($2\text{km} < h < 7\text{km}$)
 - α) Υψισωρείτες (Alto cumulus, Ac)
 - β) Υψιστρώματα (Altostratus, As)
3. Κατώτερα νέφη ($h < 2\text{km}$)
 - α) Στρώματα (Stratus, St)
 - β) Στρωματοσωρείτες (Stratocumulus, Sc)
 - γ) Μελανοστρώματα (Nimbostratus, Ns)
4. Νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης
 - α) Σωρείτες (Cumulus, Cu)
 - β) Σωρειτομελανίες (Cumulonimbus, Cb)

Παράλληλα, υπάρχουν 3 βασικές κατηγορίες νεφών, ανάλογα με το σχήμα τους:

1. Θύσανοι (cirrus/cirro): «σαν τούφες μαλλιών στον ουρανό»
2. Στρώματα (stratus/strato): «σαν στρώμα στον ουρανό»
3. Σωρείτες (cumulus/cumulo): «σαν σωρούς στον ουρανό»

Επίσης, τα νέφη με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 βασικές κατηγορίες:

1. Μετωπικά
2. Ορογραφικά
3. Ανοδικών Ρευμάτων
4. Ατμοσφαιρικών διαταράξεων



Σχήμα 1.7 Συνοπτική απεικόνιση των σημαντικότερων τύπων νεφών

(Πηγή: <https://armyaviation.wordpress.com/2012/02/18/%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%B7-%CE%BD%CE%B5%CF%86%CF%89%CE%BD/>)

Συνεχίζοντας με τον σχηματισμό των νεφών, τα τελευταία δημιουργούνται από ανοδικά ρεύματα αέρα που κατά την άνοδό τους προς την τροπόσφαιρα ψύχονται αδιαβατικά. Επισημαίνουμε ότι η μείωση της θερμοκρασίας του ανερχόμενου θύλακα αέρα επέρχεται από την εκτόνωσή του και όχι από την εκπομπή θερμότητας στο περιβάλλον. Στην διάρκεια της ψύξης, τα μόρια των υδρατμών προσκολλώνται στα αερολύματα, σχηματίζοντας τα υδροσταγονίδια των νεφών.

Οι μηχανισμοί σχηματισμού των νεφών χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. Ανύψωση αέριας μάζας (convergence or frontal lifting) λόγω της δημιουργίας μετώπου από τη συνάντηση δύο διαφορετικών, από άποψη θερμοκρασίας και υγρασίας, αερίων μαζών, με αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμότερης αέριας μάζας.
2. Εξαναγκασμένη (μηχανική) ανύψωση (orographic uplift).
3. Ελεύθερη ανύψωση (free convective lifting) λόγω της υπερθέρμανσης της επιφάνειας του εδάφους ή της θάλασσας, που στη συνέχεια θερμαίνουν τον υπερκείμενο αέρα, τον κάνουν πιο ελαφρύ και προκαλούν την κατακόρυφη ανύψωση του.
4. Άμεση ψύξη αέρα (radiative cooling)

Οι υδροσταγόνες, ή οι παγοκρύσταλλοι, οι οποίοι προκύπτουν από τη συνεχή συμπύκνωση υδρατμών στους πυρήνες συμπύκνωσης εντός των νεφών και τη συνένωση πολλών υδροσταγονιδίων ή παγοκρυσταλλίων, πέφτουν λόγω βάρους και φθάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή. Το φαινόμενο που μόλις περιγράψαμε καλείται βροχή. Βέβαια, για να φτάσει ένα σύννεφο σε κατάσταση κορεσμού, μεσολαβούν πολλά ενδιάμεσα στάδια. Όμως στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν θα επεκταθούμε στο συγκεκριμένο θέμα περαιτέρω.

Ολοκληρώνοντας την ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στα κυριότερα συστήματα βροχής ανά περιοχή, μεγάλης κλίμακας τα οποία είναι (Πνευματικός 2003):

α) Βροχή ισημερινών περιοχών.

Χαρακτηριστικό της είναι τα άφθονα ποσά βροχής, καθώς και η απουσία ξηρής εποχής. Είναι κυρίως βροχή λόγω μεταφοράς, αλλά μπορεί να είναι μετωπική εκεί όπου συμβαίνει σύγκλιση των αερίων μαζών κατά μήκος του ενδοτροπικού μετώπου.

β) Βροχή περιοχών Σαβάννας (Savanna).

Οι περιοχές αυτές εκτείνονται μεταξύ γεωγραφικών πλατών από 5° έως 20° βορείως ή νοτίως του Ισημερινού. Η βροχή ακολουθεί τον ήλιο, δηλαδή η βροχή μεταφοράς παρατηρείται κατά τους μήνες εκείνους κατά τους οποίους το ύψος του ήλιου είναι μεγάλο.

γ) Βροχή μεσογειακών περιοχών.

Η βροχή περιορίζεται κυρίως κατά τη χειμερινή εποχή, καθώς οι περιοχές αυτές (30° έως 40° βορείως) υφίστανται την επίδραση των υφισιακών ζωνών χαμηλής πίεσεως.

δ) Βροχή τροπικών ερημικών περιοχών.

Γνώρισμα τους τα χαμηλά ποσά βροχής κατά τη διάρκεια όλων των εποχών. Η ξηρασία συνοδεύεται από κατερχόμενες αέριες μάζες των υποτροπικών ζωνών υψηλής πίεσεως.

ε) Βροχή Δυτικής Ευρώπης.

Οι ακτογραμμές των περιοχών από 40° έως 60° βορείως βρίσκονται κάτω από την επίδραση ισχυρών Δυτικών ανέμων και από τις περιοχές των χαμηλών πιέσεων των υφέσεων. Τα ποσά βροχής είναι κυρίως μεγάλα και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το υψόμετρο των παράκτιων περιοχών. Δεν υπάρχει ξηρή εποχή, αν και υπάρχει μία τάση για περισσότερη βροχή κατά το χειμώνα παρά κατά το θέρος.

στ) Ηπειρωτική βροχή.

Η απόσταση από τους ωκεανούς αποτελεί καταλυτικό παράγοντα που καθορίζει το ύψος της βροχής στο εσωτερικό των ηπείρων. Συνήθως, έχουμε υψηλότερα ποσά βροχής στην διάρκεια των θερινών μηνών, όταν η υψηλή εποχική θερμοκρασία δημιουργεί ένα μέγιστο απόλυτης υγρασίας και ταυτόχρονα υπάρχει μία ροή αέρα προς την ηπειρωτική περιοχή χαμηλής πίεσεως.

ζ) Βροχή των ανατολικών παρυφών (ακτών).

Στα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, οι ζώνες των ανατολικών ακτών τείνουν να έχουν υψηλή βροχύπτωση. Η βροχή αυτή προκύπτει από τα μουσωνικά συστήματα ανέμου καθώς έχουμε εισροή θερμών και υγρών αερίων μαζών τους θερινούς μήνες και από κυκλωνικές συνθήκες κατά το χειμώνα.

η) Πολική βροχή.

Η κατανομή της βροχύπτωσης στην Αρκτική αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα, το οποίο αποτελεί αντικείμενο μακροχρόνιων συζητήσεων και επιδεινώνεται από την έλλειψη μετεωρολογικών σταθμών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες συνοδεύόμενες από χαμηλές απόλυτες υγρασίες έχουν σαν αποτέλεσμα μικρά ποσά βροχής. Εδώ οφείλουμε να επισημάνουμε ότι η υπολειπόμενη βροχύπτωση είναι σημαντικά μεγαλύτερη για τα στερεά από ό,τι για τα υγρά κατακρημνίσματα. Αυτό σημαίνει ότι ένα μέρος κάθε παρατηρούμενης θετικής τάσης βροχύπτωσης είναι πλασματικό, πράγμα που

οφείλεται στη μειωμένη υπολειπόμενη βροχόπτωση στους βροχογράφους (Førland and Hanssen-Bauer 2000).

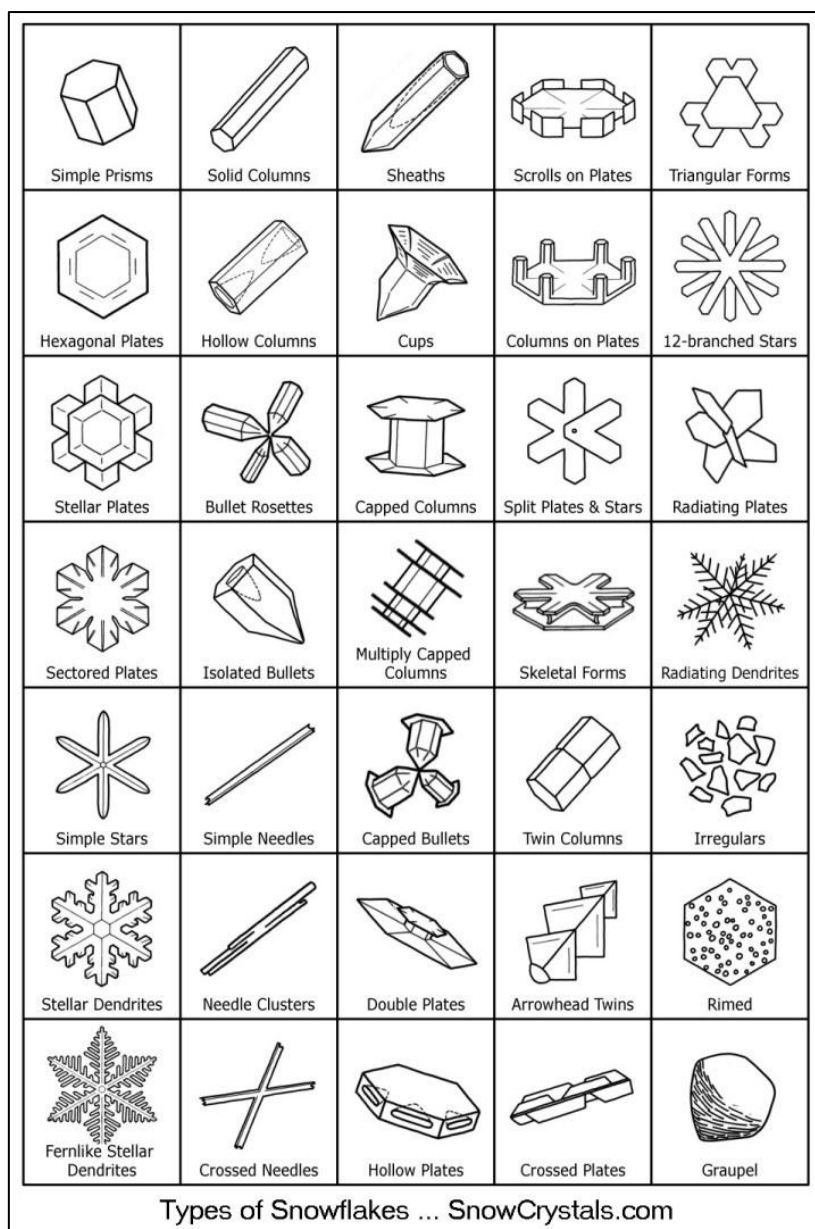
1.3.2 Χιόνι

Το χιόνι είναι το συνηθέστερο από τα στερεά υδατώδη ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Όπως γνωρίζουμε τα σύννεφα αποτελούνται από σταγόνες νερού και από παγοκρυστάλλους. Οι παγοκρυστάλλοι δημιουργούνται στα νέφη μέσω συμπύκνωσης των υδρατμών εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας. Ειδικότερα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (μικρότερες από -40°C) ο κορεσμός οδηγεί σε σχηματισμό παγοκρυστάλλων, ανεξάρτητα αν υπάρχουν πυρήνες παγοποίησης ή όχι (Aguado and Burt 2020). Ωστόσο, όταν η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ -40°C και -4°C η συμπύκνωση των υδρατμών οδηγεί σε σχηματισμό υδροσταγονιδίων και παγοκρυστάλλων, με τους τελευταίους να υπερτερούν σε αριθμό όσο χαμηλότερη θερμοκρασία επικρατεί (Aguado and Burt 2020). Χιόνι πρακτικά έχουμε στην περίπτωση που οι παγοκρυστάλλοι που έχουν σχηματισθεί και μεγεθυνθεί μέσα στα νέφη τα εγκαταλείψουν και φθάσουν στο έδαφος προτού λιώσουν. Πιο συγκεκριμένα, μεγεθύνονται καθώς αρχίζουν να πέφτουν από το σύννεφο, συγκρούονται και επικολλάνε πάνω σε άλλους παγοκρυστάλλους (aggregation). Βασική προϋπόθεση για να παρατηρήσουμε χιόνι είναι η μέση θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού στρώματος μεταξύ της βάσης του νέφους και του εδάφους να είναι $T < 0^{\circ}\text{C}$ (Ηλεκτρονικές σημειώσεις Lolis 2022).

Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται από -8°C έως 0°C πέφτουν στο έδαφος ως νιφάδες χιονιού (Ηλεκτρονικές σημειώσεις Lolis 2022). Αυτό συμβαίνει διότι η εξωτερική πλευρά των κρυστάλλων διατηρείται υγρή και έτσι κατά τη σύγκρουσή τους με άλλους κρυστάλλους σχηματίζουν νιφάδες. Έχουν ακανόνιστο σχήμα και μεγάλες διαστάσεις, αρκετών μερικές φορές εκατοστών και γι' αυτό πέφτουν αργά. Αν η θερμοκρασία του αέρα είναι κάτω από τους -8°C (όπως στις πολικές περιοχές, στα μεγάλα υψόμετρα και τις ηπειρωτικές περιοχές των μεγάλων γεωγραφικών πλατών κατά το χειμώνα) οι κρυστάλλοι δεν παρουσιάζουν υγρή επιφάνεια φτάνουν στο έδαφος με την μορφή κόκκων πάγου με διάμετρο μικρότερη από 3 mm.

Οι παγοκρυστάλλοι του χιονιού είναι διαφανείς ή αδιαφανείς και παρουσιάζουν πολύπλοκους εξαγωνικούς σχηματισμούς (πρίσματα και αστέρες) με διάμετρο 3-5 mm κατά μέσον όρο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.8. Η συμμετρία που παρατηρείται στις νιφάδες χιονιού είναι αποτέλεσμα της κρυσταλλοποίησης των μορίων νερού μέσα στη νιφάδα. Τα δύο άτομα υδρογόνου και το ένα άτομο οξυγόνου που αποτελούν το νερό (H_2O), διατάσσονται σε τρίγωνα, δίνοντας τη μορφή αυτή.

Το χιόνι, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, είναι δυνατό να καλύπτει το έδαφος για μακρά χρονικά διαστήματα. Υπάρχουν όμως και τόποι στους οποίους το χιόνι δεν τήκεται εντελώς το θέρος, αλλά παραμένει συνεχώς πάνω στο έδαφος. Τότε λέμε, ότι στην περιοχή αυτή παρατηρείται το φαινόμενο των αιώνιων χιονιών. Η γραμμή των αιώνιων χιονιών, δηλαδή η γραμμή που διαχωρίζει τις περιοχές που είναι μόνιμα χιονισμένες από εκείνες στις οποίες δεν παρατηρείται το φαινόμενο αυτό, έχει πάρα πολύ μεγάλη σημασία για την κλιματολογία. Σε περίπτωση που θα παρατηρηθεί μετατόπιση αυτής, υποδηλώνεται αξιόλογη κλιματική μεταβολή (Πνευματικός 2003, Κατσούλης 2005).



Σχήμα 1.8 Είδη χιονονιφάδων (Πηγή: <https://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/class/class-old.htm>)

Η ποσότητα του χιονιού μετράται είτε με το ύψος του χιονοστρώματος, είτε με το ισοδύναμο ύψος βροχής που προκύπτει εάν λιώσει το χιόνι. Τέλος με τον όρο χιονόλυτο (χιονόνερο) ονομάζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο, το χιόνι λιώνει κατά τη διέλευσή του σε στρώμα αέρα μέσης θερμοκρασίας μεγαλύτερης από 0° C και φθάνει στο έδαφος με τη μορφή ψιλής βροχής (Ηλεκτρονικές σημειώσεις Lolis 2022).

1.3.3 Χαλάζι

Το χαλάζι ως ένας τύπος υετού σε στερεά κατάσταση εκδηλώνεται υπό την ύπαρξη καταιγιδοφόρων νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης (Cumulonimbus). Βασική προϋπόθεση πέρα από την παρουσία πυρήνων συμπύκνωσης για τον σχηματισμό χαλαζιού, αποτελεί και η δομή του νέφους κατακόρυφης ανάπτυξης να είναι μεγάλη. Αυτό διότι χρειάζεται το κατώτερο τμήμα του να εμφανίζει θετικές τιμές θερμοκρασίας, ενώ το υπόλοιπο αρνητικές.

Κάτι τέτοιο κρίνεται απαραίτητο ώστε οι υδροσταγόνες που παρασύρονται από το ανοδικό ρεύμα στο εσωτερικό του νέφους, να φτάνουν κάποια στιγμή σε επίπεδο που επικρατούν αρνητικές θερμοκρασίες με την εξωτερική τους επιφάνεια να στερεοποιείται. Στη συνέχεια, ολόένα και περισσότεροι υδρατμοί συμπυκνώνονται πάνω στην εξωτερική επιφάνεια με αποτέλεσμα να βαραίνουν ξεκινώντας μια καθοδική κίνηση έως την περιοχή του νέφους όπου επικρατούν θετικές θερμοκρασίες. Έχει προκύψει λοιπόν ένας χαλαζόκοκκος αποτελούμενος από πάγο και νερό. Ύστερα ο χαλαζόκοκκος παρασύρεται και πάλι από το ανοδικό ρεύμα και ανεβαίνει πάνω από το επίπεδο «παγοποίησης». Τότε σχηματίζεται ένα νέο στρώμα πάγου μέχρι να αρχίσει και πάλι η καθοδική κίνηση, που θα οδηγήσει εκ νέου στο σχηματισμό ενός ακόμα υγρού στρώματος. Αυτή η διαδικασία (Σχήμα 1.9) επαναλαμβάνεται μέχρι το βάρος του χαλαζόκοκκου να υπερνικήσει οριστικά το ανοδικό ρεύμα του νέφους και να πέσει στο έδαφος.



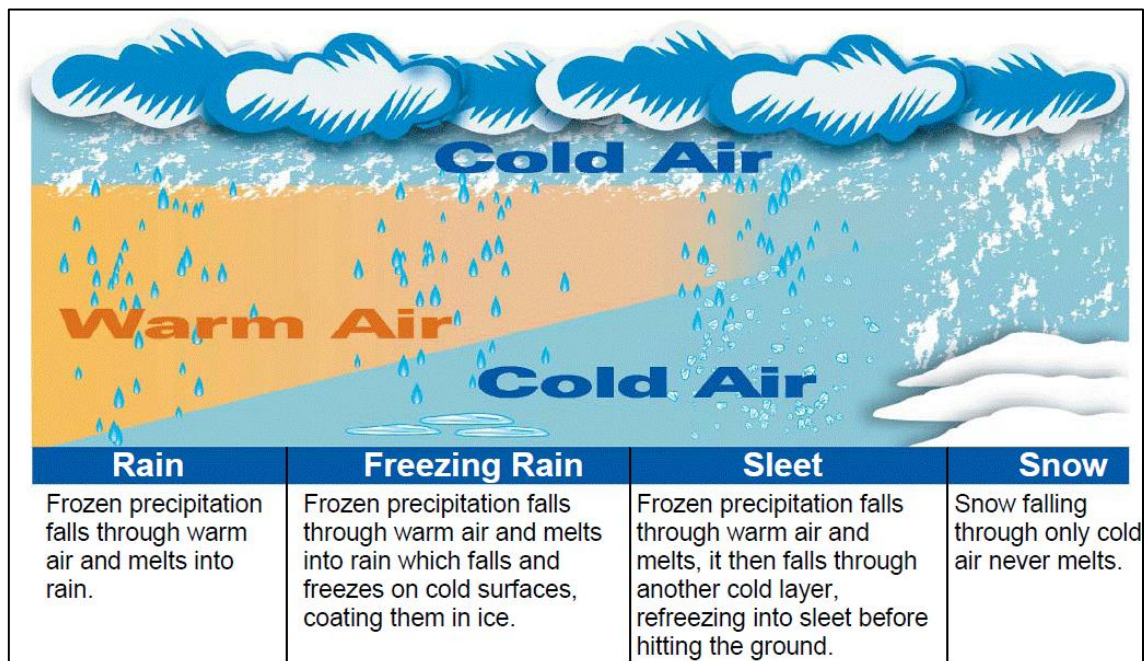
Σχήμα 1.9 Μηχανισμός σχηματισμού του χαλαζιού μέσα σε ένα καταιγιδοφόρο νέφος (Πηγή: https://meteo.gr/article_view.cfm?entryID=662)

1.3.4 Χιονοχάλαζο

Χιονοχάλαζο, καλείται το φαινόμενο της πτώσης στο έδαφος με τη μορφή όμβρου λευκών χιονωδών αδιαφανών κόκκων διαμέτρου από 2mm έως 5mm, οι οποίοι δημιουργούνται από συσσώρευση υδροσταγονιδίων σε υπέρτηξη γύρω από παγοκρυστάλλους σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης υπό χαμηλές θερμοκρασίες. Συνήθως η πτώση τους στο έδαφος συνοδεύεται με χιόνι.

1.3.5 Πηγνυόμενη βροχή (Freezing rain)

Η Πηγνυόμενη (παγωμένη) βροχή εμφανίζεται καθώς υγρές σταγόνες βροχής σε ένα στρώμα θερμού αέρα πολύ πάνω από την επιφάνεια πέφτουν σε ένα στρώμα παγωμένου αέρα που καλύπτει το έδαφος. Το στρώμα του παγωμένου αέρα είναι τόσο λεπτό που οι σταγόνες βροχής δεν προλαβαίνουν να παγώσουν πριν φτάσουν στο έδαφος (Σχήμα 1.10). Αντ' αυτού, το νερό παγώνει κατά την επαφή του με την επιφάνεια, δημιουργώντας μια επίστρωση πάγου. Η πηγνυόμενη βροχή συμβαίνει στην περίπτωση επιφανειακών αναστροφών κυρίως μετά από νύχτες με έντονη επιφανειακή ψύξη λόγω ακτινοβολίας, καθώς και στην περίπτωση θερμών εισβολών πάνω από πολύ ψυχρές εδαφικές επιφάνειες (Ηλεκτρονικές σημειώσεις Lolis 2022).



Σχήμα 1.10 Σχηματισμός διαφορετικών τύπων χειμερινών κατακρημνισμάτων.
(Πηγή: <https://www.weather.gov/arx/wintersafety>)

1.4 Βαρομετρικά συστήματα

Μία αέρια μάζα είναι ένα εκτεταμένο τμήμα της ατμόσφαιρας, του οποίου οι ιδιότητες της θερμοκρασίας, της υγρασίας κ.α., παρουσιάζουν ομοιογένεια κατά την οριζόντια διεύθυνση. Η μελέτη των αέριων μαζών είναι πολύ σημαντική, διότι μέσω αυτών πραγματοποιείται η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Επιπλέον μέσω των αέριων μαζών μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας από τις τροπικές περιοχές προς τις πολικές.

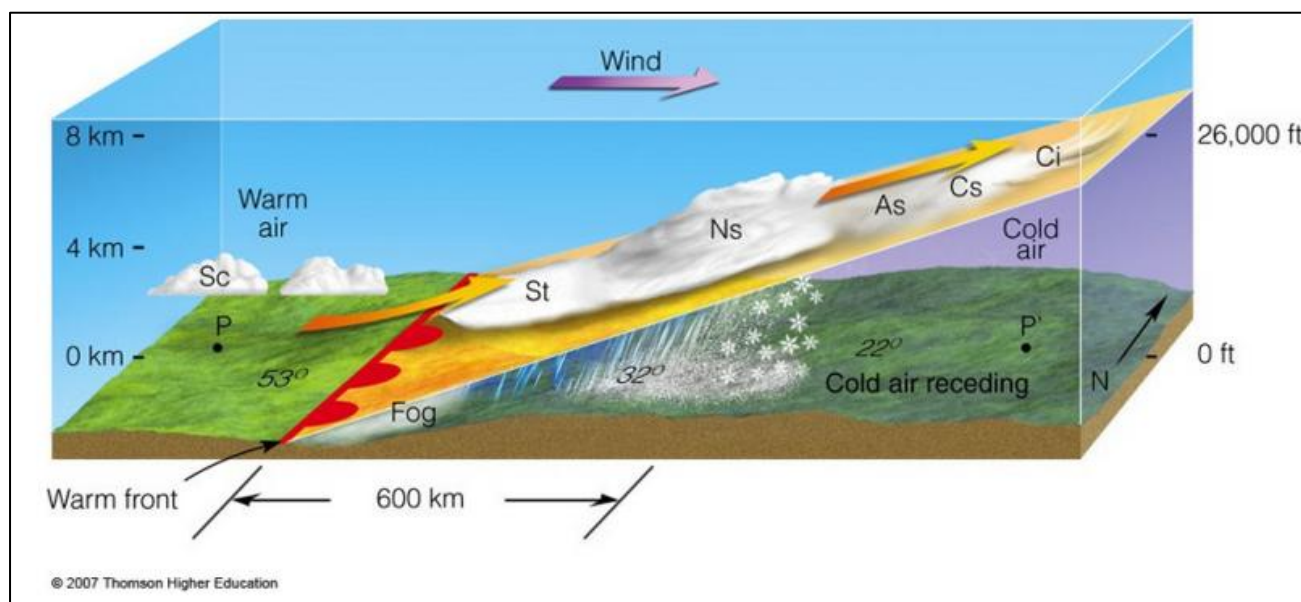
Για την ανάλυση και την μελέτη των αέριων μαζών απαιτείται η γνώση κάποιων κύριων χαρακτηριστικών τους. Αρχικά θα πρέπει να γνωρίζουμε ποια είναι η πηγή προέλευσής της. Δηλαδή η περιοχή πάνω από την οποία σχηματίστηκε η αέρια μάζα και απέκτησε τα χαρακτηριστικά της. Εν συνεχεία την διαδρομή της, δηλαδή, την πορεία που ακολουθεί η αέρια μάζα κατά τη μετακίνησή της και τέλος την ηλικία της. Με άλλα λόγια, το χρονικό διάστημα που πέρασε από τη στιγμή κατά την οποία η αέρια μάζα εγκαταλείπει την πηγή της. Η ταξινόμηση των αέριων μαζών μαζί με κάποια χαρακτηριστικά τους δίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1.11.

Ονομασία	Πηγή	Χαρακτηριστικά
Αρκτική (A)	Πολικές περιοχές	Χαμηλές θερμοκρασίες, μικρή ειδική αλλά μεγάλη σχετική υγρασία το καλοκαίρι. Οι ψυχρότερες χειμερινές αέριες μάζες
Πολική ηπειρωτική (cP)	Υποπολικές (υποαρκτικές) ηπειρωτικές περιοχές	Χαμηλές θερμοκρασίες (αυξάνουν με μετακίνηση προς νότο), μικρή υγρασία
Πολική θαλάσσια (mP)	Υποπολικές (υποαρκτικές) και αρκτικές θάλασσες	Χαμηλές θερμοκρασίες (αυξάνουν με την κίνηση), υψηλότερη υγρασία
Τροπική ηπειρωτική (cT)	Υποτροπικές γήινες εκτάσεις υψηλών πιέσεων	Υψηλή θερμοκρασία, μικρή απόλυτη υγρασία
Τροπική θαλάσσια (mT)	Νότιες περιοχές των ωκεανείων περιοχών υψηλών πιέσεων	Σχετικά υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή σχετική και ειδική υγρασία
Ισημερινή (E)	Ισημερινές και τροπικές θαλάσσιες περιοχές	Υψηλή θερμοκρασία και υγρασία

Σχήμα 1.11 Ταξινόμηση των αέριων μαζών (Κατσούλης 2005)

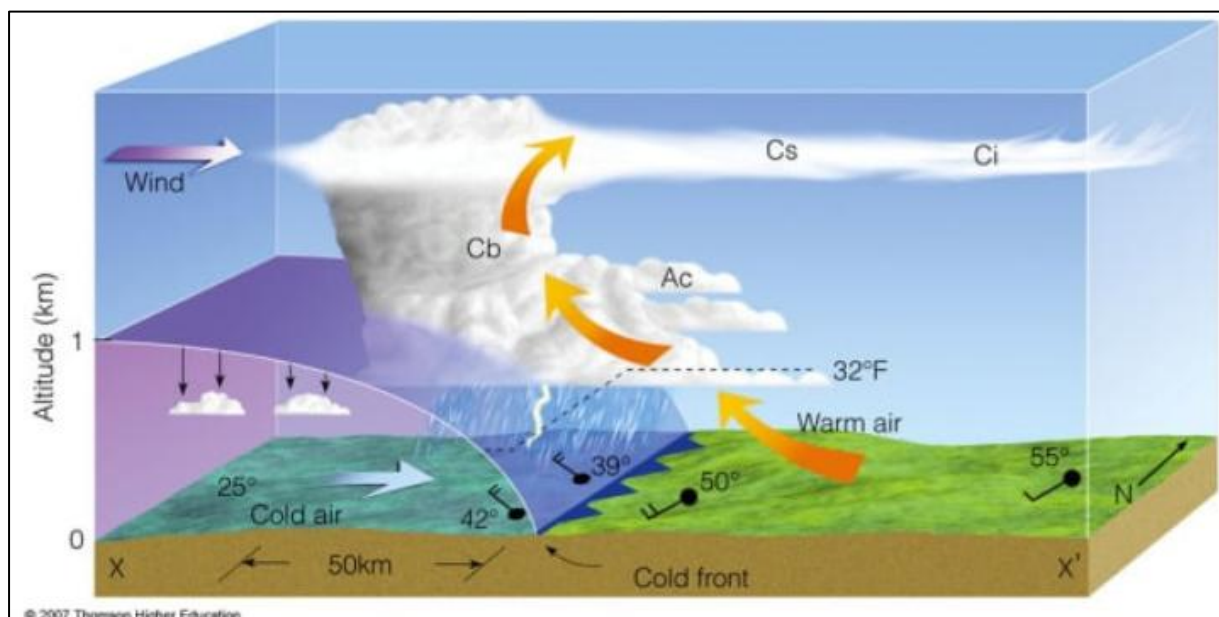
Όταν έρθουν σε επαφή αέριες μάζες με διαφορετικές ιδιότητες (θερμοκρασίας και υγρασίας), δεν αναμειγνύονται ελεύθερα η μία με τις υπόλοιπες, αλλά τείνουν να διατηρηθούν χωριστά με διακεκριμένες και κεκλιμένες οριακές επιφάνειες να τις διαχωρίζουν. Αυτές οι επιφάνειες ασυνέχειας καλούνται μετωπικές επιφάνειες. Η τομή μιας μετωπικής επιφάνειας με την επιφάνεια της γης καλείται μέτωπο.

Όταν οι δύο αέριες μάζες κινούνται έτσι ώστε η θερμή να ακολουθεί την ψυχρή, η μετωπική επιφάνεια που τις διαχωρίζει καλείται θερμή μετωπική επιφάνεια και η τομή της με το έδαφος θερμό μέτωπο (Σχήμα 1.12).



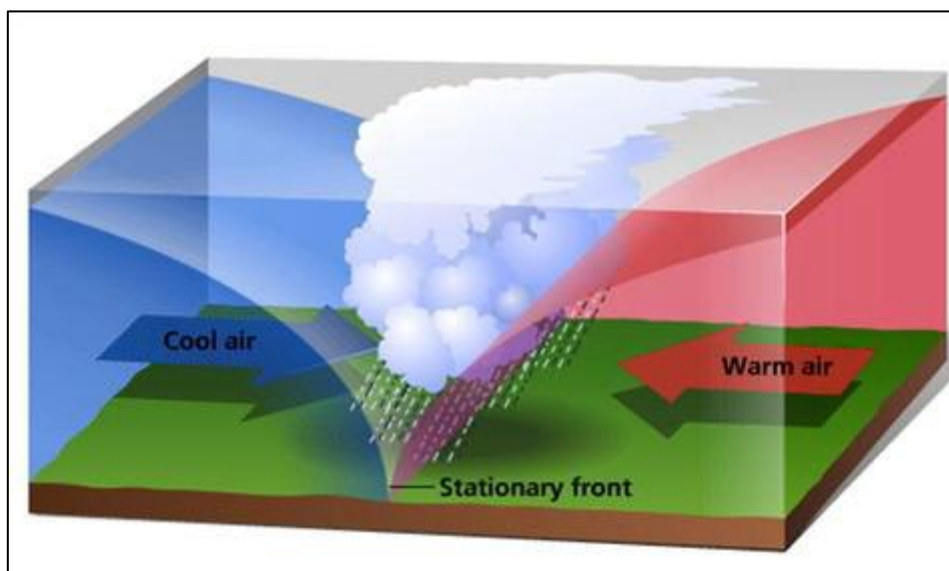
Σχήμα 1.12 Κατακόρυφη τομή ενός θερμού μετώπου. Τα θυσανοστρώματα είναι το πρώτο σημάδι, με τα σύννεφα να πυκνώνουν βαθμιαία και να χαμηλώνουν καθώς το μέτωπο πλησιάζει. Μπορεί να πέσει βροχή ή χιόνι, ανάλογα με τη θερμοκρασία στην επιφάνεια. (Ahrens and Henson 2018, <https://www.stratusdeck.co.uk/fronts>)

Όταν οι δύο αέριες μάζες κινούνται έτσι ώστε η ψυχρή να ακολουθεί τη θερμή, η μετωπική επιφάνεια που τις διαχωρίζει καλείται ψυχρή μετωπική επιφάνεια και η τομή της με το έδαφος ψυχρό μέτωπο (Σχήμα 1.13).



Σχήμα 1.13 Κατακόρυφη τομή ενός ψυχρού μετώπου. Τα νέφη Cumulonimbus μπορούν να σχηματιστούν επειδή το μέτωπο λειτουργεί ως μηχανισμός ενεργοποίησης της ανωμεταφοράς, σε αντίθεση με ένα θερμό μέτωπο, το οποίο δρα ως «κάλυμμα» της ατμόσφαιρας. (Ahrens and Henson 2018, <https://www.stratusdeck.co.uk/fronts/>)

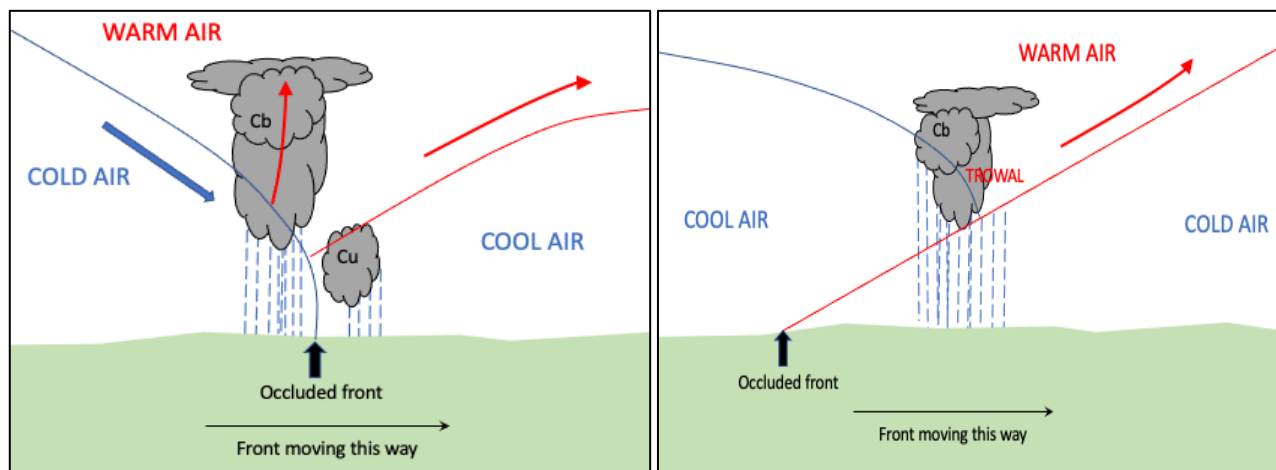
Το μέτωπο καλείται στάσιμο αν δεν υπάρχει ουσιαστική μετακίνηση (Σχήμα 1.14). Τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν εξαρτώνται κυρίως από την υγρασία των αερίων μαζών.



Σχήμα 1.14 Κατακόρυφη τομή ενός στάσιμου μετώπου. (Ahrens and Henson 2018, <https://www.pmfiias.com/fronts-frontogenesis-stationary-front-cold-front-warm-front-occluded-front/>)

Το συνεσφιγμένο μέτωπο δημιουργείται όταν το ταχέως κινούμενο ψυχρό μέτωπο συναντήσει το πιο αργό θερμό μέτωπο. Σχηματίζουν ένα ενιαίο μέτωπο, συνήθως μήκους εκατοντάδων χιλιομέτρων. Ένα συνεσφιγμένο μέτωπο σχηματίζεται όταν μια θερμή αέρια μάζα εγκλωβίζεται μεταξύ δύο ψυχρών αερίων μαζών. Η θερμή αέρια μάζα ανυψώνεται καθώς οι ψυχρές αέριες μάζες

ωθούνται και συναντώνται στη μέση. Η θερμοκρασία πέφτει καθώς η θερμή αέρια μάζα «αποκόπτεται» από το έδαφος και ωθείται προς τα πάνω. Τέτοια μέτωπα μπορεί να φέρουν ισχυρούς ανέμους και έντονες βροχοπτώσεις. Ανάλογα με το ποια από τις δύο ψυχρές μάζες είναι ψυχρότερη όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.15 έχουμε ψυχρό συνεσφιγμένο (ψυχρή σύσφιξη) όταν η ψυχρότερη αέρια μάζα βρίσκεται πίσω από την λιγότερη ψυχρή, ενώ όταν συμβαίνει η αντίστροφη διαδικασία έχουμε θερμό συνεσφιγμένο (θερμή σύσφιξη).



Σχήμα 1.15 Κατακόρυφη τομή συνεσφιγμένου μετώπου. Αριστερά έχουμε ψυχρό συνεσφιγμένο, ενώ δεξιά θερμό συνεσφιγμένο. (Πηγή :<https://skybrary.aero/articles/occluded-front>)

Οι ισοβαρείς καμπύλες στους χάρτες καιρού παρουσιάζουν διάφορες μορφές (Σχήμα 1.16) οι σπουδαιότερες των οποίων είναι (Πνευματικός 2003):

α) Η ύφεση ή βαρομετρικό χαμηλό (L), είναι το σύστημα εκείνο που αποτελείται από κλειστές ισοβαρείς περίπου κυκλικές ή ελλειπτικές στις οποίες η πίεση ελαττώνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο. Αποτελεί σύστημα κακοκαιρίας.

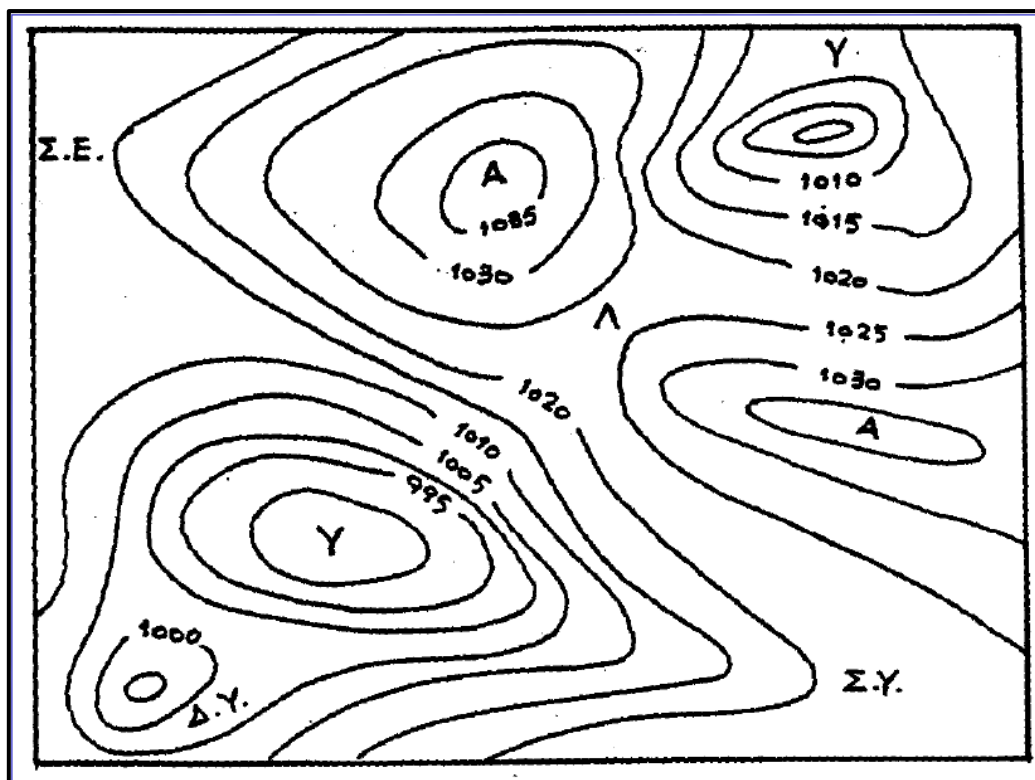
β) Ο αντικυκλώνας ή βαρομετρικό υψηλό (H), είναι το σύστημα με κλειστές ισοβαρείς περίπου κυκλικές ή ελλειπτικές στις οποίες η πίεση αυξάνει από την περιφέρεια προς το κέντρο. Αποτελεί σύστημα καλοκαιρίας.

γ) Η δευτερεύουσα ύφεση, είναι ύφεση μικρότερη άλλης στις ισοβαρείς της οποίας περιέχεται.

δ) Η σφήνα ύφεσης (trough), είναι σύστημα που αποτελείται από ισοβαρείς με μορφή επιμηκών γλωσσών με την πίεση να ελαττώνεται από τα έξω προς τα μέσα.

ε) Η σφήνα έξαρσης (ridge), είναι σύστημα που αποτελείται από ισοβαρείς με μορφή επιμήκων γλωσσών με την πίεση να αυξάνει από τα έξω προς τα μέσα.

στ) Ο βαρομετρικός λαιμός (barometric col), είναι η περιοχή που περιλαμβάνεται μεταξύ δύο υφέσεων και δύο αντικυκλώνων που διατάσσονται σταυροειδώς. Στους χάρτες καιρού επιφανείας, οι ισοβαρείς καμπύλες χαράσσονται συνήθως ανά 4 hPa.



Σχήμα 1.16 Μορφές ισοβαρών καμπυλών. Ύφεση ή βαρομετρικό χαμηλό (Y), αντικυκλώνας ή βαρομετρικό υψηλό (A), δευτερεύουσα ύφεση (Δ.Y.), σφήνας υφέσεως (Σ.Y.), σφήνας εξάρσεως (Σ.Ε.), βαρομετρικός λαιμός (Λ) (Πνευματικός 2003)

1.5 Κατακόρυφη ισορροπία της ατμόσφαιρας

Γενικά, η ισορροπία που επικρατεί σε ένα σύστημα διαταράσσεται εξαιτίας μιας μικρής εξωτερικής διατάραξης της ισορροπίας αυτής και αναπτύσσεται επιτάχυνση στο σύστημα με αποτέλεσμα την μετακίνηση του (Metaxas and Bartzokas 2012). Τότε είναι δυνατό να αναπτυχθεί:

1. επιτάχυνση ομόρροπη προς την μετακίνηση αυτή. Σε αυτή την περίπτωση η ισορροπία χαρακτηρίζεται ως ασταθής.
2. επιτάχυνση αντίρροπη προς την μετακίνηση αυτή. Σε αυτή την περίπτωση η ισορροπία χαρακτηρίζεται ως ευσταθής.
3. επιτάχυνση μηδέν. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε ουδέτερη ισορροπία.

Βασικό ρόλο, αλλά όχι και τον μοναδικό στην κατάσταση της αστάθειας ή ευστάθειας της ατμόσφαιρας παίζει η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας της. Η μεταβολή της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το ύψος ονομάζεται κατακόρυφη θερμοβαθμίδα γ' (εξίσωση 1.9). Η μέση τιμή της ως προς χρόνο και χώρο είναι $0.65^\circ \text{C}/100\text{m}$.

$$\gamma' = -\frac{\partial T}{\partial z} \quad (\text{εξίσωση 1.9})$$

Αν ένας θύλακας αέρα υποχρεωθεί να κινηθεί προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ειδικό πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η θερμοκρασία που παίρνει σε κάθε θέση του. Η γ_d (εξίσωση 1.10) ονομάζεται ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα και αποτελεί την κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος ενός θύλακα αέρα, καθώς αυτός κινείται αδιαβατικά, χωρίς συμπυκνώσεις.

$$\gamma_d = -\frac{dT}{dz} = -\frac{g}{C_p} \approx \frac{1^\circ\text{C}}{100\text{m}} \quad (\text{εξίσωση 1.10})$$

Η γ_s (εξίσωση 1.11) ονομάζεται υγρή κατακόρυφη αδιαβατική θερμοβαθμίδα και δείχνει τον ρυθμό αδιαβατικής ψύξης μιας κορεσμένης αέριας μάζας που ανέρχεται στην ατμόσφαιρα. Η τιμή της εξαρτάται από την λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται από την ποσότητα των υδρατμών που συμπυκνώνονται.

$$\gamma_s = -\frac{dT}{dz} \quad (\text{εξίσωση 1.11})$$

Οπότε:

1. Όταν ισχύει $\gamma' > \gamma_d > \gamma_s$ χαρακτηρίζεται απόλυτα ασταθής (absolutely unstable).
2. Όταν ισχύει $\gamma' < \gamma_s < \gamma_d$ η ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται απόλυτα ευσταθής (absolutely stable).
3. Όταν ισχύει $\gamma_d > \gamma' > \gamma_s$ χαρακτηρίζεται υπό όρους ασταθής (conditionally unstable).

1.6 Υετός στην περιοχή της Μεσογείου

Η Μεσόγειος αποτελεί μία περιοχή μεγάλου κλιματικού ενδιαφέροντος, καθώς είναι μία μεταβατική ζώνη ανάμεσα στις περιοχές υποτροπικών υψηλών και στις περιοχές των μέσων γεωγραφικών πλατών, που επικρατούν δυτικοί άνεμοι. Σύμφωνα με τον Korpen, η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από υγρούς και όχι ιδιαίτερα ψυχρούς χειμώνες, αλλά και από θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Γενικά, η ξηρή περίοδος έχει μεγαλύτερη διάρκεια, καθώς κατευθυνόμαστε από βόρεια προς νότια και από δυσμάς προς ανατολάς (Maheras 1985). Η υγρή περίοδος, ξεκινά εν γένει τον Σεπτέμβριο και λήγει την άνοιξη. Μετακινούμενοι προς τα ανατολικά, το πρωτεύον μέγιστο της βροχόπτωσης μετατοπίζεται από τον Οκτώβριο στον Νοέμβριο, από το Νοέμβριο στο Δεκέμβριο και από το Δεκέμβριο στον Ιανουάριο (Maheras 1985). Στην ίδια μελέτη, οι έντονες ψυχρές αέριες εισβολές που λαμβάνουν χώρα δυτικά του 10° μεσημβρινού προκαλούν ψυχρά μέτωπα που οδηγούν σε έντονες βροχοπτώσεις και έτσι προκύπτει το δευτερεύον μέγιστο, το οποίο σημειώνεται το δίμηνο Μαρτίου- Απριλίου και εμφανίζεται στις περιοχές του Μαρόκου, της Αλγερίας, της νότιας Ιταλίας, της Ελλάδας και της Τουρκίας. Ταυτόχρονα και η ορειογραφία της εκάστοτε περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο. Πιο συγκεκριμένα, η οροσειρά της Πίνδου σε συνδυασμό με την δυναμική αστάθεια προκαλούν ευνοϊκές συνθήκες για βροχή στην Δυτική Ελλάδα (Lolis et al. 2004). Εν αντιθέσει, το θέρος οι περισσότερες περιοχές χαρακτηρίζονται ως ξηρές, γεγονός που συμβαίνει εξαιτίας του υποτροπικού αντικυκλώνα των Αζορών, αλλά και των συνθηκών στατικής ευστάθειας, με το τελευταίο λόγω του γεγονότος ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι μικρότερη από την θερμοκρασία του αέρα (Bartzokas et al. 2003).

Ο Goosens (1985) χώρισε σε υποπεριοχές την περιοχή της Μεσογείου ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των βροχομετρικών συστημάτων που επικρατούν στην καθεμία. Πιο συγκεκριμένα στη βόρεια Πορτογαλία, στη βορειοδυτική Ισπανία, στην ανατολική Γαλλία και στη βόρεια Ιταλία έχουμε ομοιόμορφη κατανομή στην βροχόπτωση με ετήσια ύψη βροχής άνω των 700 mm. Στα υπόλοιπα τμήματα των χωρών αυτών, η βροχόπτωση παρουσιάζει μέγιστο τον χειμώνα και ελάχιστο το θέρος. Σε περιοχές όμως όπως η κεντρική Ιταλία, οι Βαλεαρίδες νήσοι και η βόρεια Ελλάδα εμφανίζονται μεγάλα ύψη βροχής και το καλοκαίρι. Τέλος στη νοτιοανατολική Ιταλία, στην Κροατία, στη Σερβία και στην Αλβανία μέγιστο βροχής εμφανίζεται κατά τον χειμώνα, αλλά και κατά το θέρος τα ύψη βροχής είναι σημαντικά.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και η μελέτη των τάσεων των βροχοπτώσεων στην Μεσόγειο κατά τον περασμένο αιώνα. Για παράδειγμα για την περίοδο 1901-1998 παρατηρήθηκαν αρνητικές τάσεις στην βροχόπτωση, τόσο τους χειμερινούς μήνες όσο και κατά την διάρκεια του έτους, ενώ θετικές τάσεις στην διάρκεια του θέρους (Folland et al. 2001, Giorgi 2002). Εν συνεχεία οφείλουμε να επισημάνουμε ότι διαπιστώθηκε μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης του ύψους του νετού σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας κατά τον χειμώνα, για την περίοδο 1958-1994 (Xorlaki et al. 2000). Πιο συγκεκριμένα αυτή η τάση μείωσης παρατηρήθηκε στις ορεινές περιοχές στα δυτικά της Ελλάδας (Ιωάννινα, Αγρίνιο, Πάτρα και Τρίπολη). Επίσης στα Ιόνια νησιά (Κέρκυρα και Αργοστόλι), πάνω από τη βόρεια Ελλάδα (Θεσσαλονίκη) καθώς και στο βόρειο και ανατολικό Αιγαίο (Σκύρος, Μυτιλήνη, Σάμος και Ρόδος).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μελέτες που αφορούν τη συσχέτιση μεταξύ των δεικτών μεγάλης κλίμακας κυκλοφορίας με τον νετό στην περιοχή της Μεσογείου. Πιο συγκεκριμένα έχει τονισθεί ότι η βροχόπτωση ενός σταθμού, μερικές φορές, συσχετίζεται καλύτερα με την κυκλοφορία σε μία απομακρυσμένη περιοχή απ' ότι σε περιοχές κοντά στον σταθμό (Kozuchowski and Marciniak 1988). Οι Kozuchowski et al. (1992) επισήμαναν το γεγονός ότι το χειμώνα οι υψηλές τιμές του ύψους του νετού στη Θεσσαλονίκη και στην Αθήνα για την περίοδο 1951-1985, συνδέονται με μια σφήνα ύφεσης πάνω από την κεντρική Μεσόγειο και με μία σφήνα έξαρσης πάνω από τη Σκανδιναβία, στην ισοβαρική επιφάνεια της στάθμης των 500hPa. Αυτό συμφωνεί με πρόσφατες μελέτες της Xorlaki et al. (1999), οι οποίοι διερεύνησαν την επίδραση των ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας στην εποχιακή μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη για την περίοδο 1958-1997. Ακόμη, στην περιοχή της Τουρκίας διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των αποχών των γεωδυναμικών υψών στην ισοβαρική επιφάνεια της στάθμης των 500hPa πάνω από την Κωνσταντινούπολη και των αποχών τους ύψους της βροχής πάνω από την ίδια περιοχή κατά τον χειμώνα (Türkes et al. 2002). Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε μία ομοιότητα της περιοδικότητας μεταξύ των αποχών των γεωδυναμικών υψών στην ισοβαρική επιφάνεια της στάθμης των 500hPa πάνω από την Κωνσταντινούπολη και των αποχών τους ύψους της βροχής πάνω από την Άγκυρα κατά την άνοιξη (Türkes et al. 2002).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, πρέπει να αναφερθούμε στην μελέτη του συστήματος εμφάνισης νετού στη λεκάνη της Μεσογείου που διερευνήθηκε από τους Hatzianastassiou et al (2016) για την περίοδο 1979-2010. Χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες μέσες τιμές του ύψους του νετού από δορυφορικά δεδομένα από το Global Precipitation Climatology Project (GPCPv2). Ένα από τα αποτελέσματα του πρώτου μέρους της εργασίας είναι ότι σε μέση ετήσια βάση, η ευρύτερη λεκάνη της Μεσογείου δέχεται 592.8 mm/year (ή 49.4 mm/month), με το ανατολικό τμήμα της να δέχεται μικρότερες ποσότητες νετού (46.4 mm/month) από το δυτικό και κυρίως το κεντρικό τμήμα (50.2 και 54.2mm/month αντιστοίχως). Ακόμη η βροχόπτωση είναι στενά συνδεδεμένη με την τοπογραφία των ηπειρωτικών περιοχών, ενώ από νότια προς βόρεια μία αυξητική τάση είναι επίσης εμφανής. Επίσης, τα δεδομένα GPCPv2 επιβεβαιώνουν την ύπαρξη υψηλών ποσοτήτων νετού στις ανεμογενείς περιοχές της Ιταλικής και Βαλκανικής χερσονήσου. Εν συνεχεία, στο δεύτερο μέρος της παραπάνω εργασίας διαπιστώθηκε ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση κατά μέσο όρο στην περιοχή μελέτης αυξήθηκε ελαφρώς από το 1979 έως το 2010 κατά 1,28mm ή κατά 0,2% (τάση μη στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%). Ωστόσο, εξετάστηκαν οι τάσεις σε τοπική κλίμακα, αποκαλύπτοντας χωρικά και χρονικά πρότυπα, με αντίθετες τάσεις σε γειτονικές περιοχές και αύξηση της βροχόπτωσης το καλοκαίρι και το φθινόπωρο έναντι σχεδόν αμετάβλητων ή μειούμενων βροχοπτώσεων το χειμώνα και την άνοιξη, αντίστοιχα.

1.7 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να συμβάλει στην μελέτη των τάσεων, των διαχρονικών διακυμάνσεων, της μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης και της μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του νετού στην περιοχή της Μεσογείου τις τελευταίες δεκαετίες. Ταυτόχρονα, στόχος αυτής, είναι να συμβάλει στην μελέτη των περιστατικών ακραίου νετού αλλά και ημερών ακραίου νετού, καθώς και της επίδρασης των μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (γεωδυναμικά ύψη στις ισοβαρικές επιφάνειες των 850hPa και των 1000hPa και θερμοκρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου) σε αυτές.

Κεφάλαιο 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δεδομένα

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 2.1) ελήφθησαν ως δεδομένα:

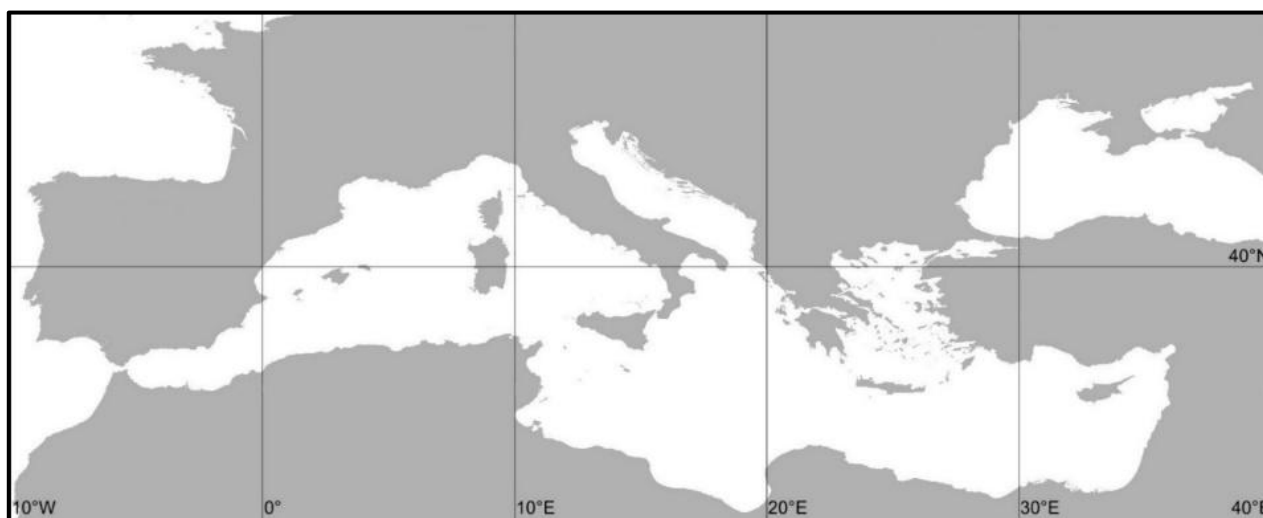
Οι ημερήσιες τιμές του ύψους νετού από το Global Precipitation Climatology Project (GPCP) v.1.3 και αφορούν την περίοδο από 1 Ιανουαρίου 1997 έως 31 Δεκεμβρίου 2021. Πιο συγκεκριμένα οι ημερήσιες τιμές του ύψους του νετού (mm/day) αναφέρονται σε 1071 πλεγματικά σημεία $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου (Σχήμα 2.1), μεταξύ των παραλλήλων 30°B και 50°B (21 πλεγματικά σημεία) και των μεσημβρινών $10^{\circ}\Delta$ και 40°A (51 πλεγματικά σημεία).

Οι ημερήσιες τιμές του ύψους του νετού από το NOAA NCEP-NCAR CDAS-1: Climate Data Assimilation System I (NCEP-NCAR Reanalysis Project) και αφορούν την περίοδο από 1 Ιανουαρίου 1997 έως 31 Δεκεμβρίου 2021. Πιο συγκεκριμένα οι ημερήσιες τιμές του ύψους του νετού αναφέρονται σε 364 πλεγματικά σημεία $1.875^{\circ} \times 1.9048^{\circ}$ στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου, μεταξύ των παραλλήλων 27.6186°B και 50.4752°B (13 πλεγματικά σημεία) και των μεσημβρινών $9.375^{\circ}\Delta$ και 41.25°A (28 πλεγματικά σημεία). Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι αυτό το σύνολο δεδομένων χρειάστηκε μόνο για να εφαρμόσουμε την μέθοδο της παρεμβολής (interpolation) που θα δούμε παρακάτω (παράγραφος 2.2) ώστε να καταστεί εφικτό να συμπληρωθούν οι ελλείπουσες τιμές των δεδομένων GPCP.

Οι ημερήσιες τιμές για τις παρακάτω παραμέτρους από τη βάση δεδομένων ERA5 του ECMWF, στις ημέρες ακραίου νετού (για τις 12 UTC):

1. Γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρικές επιφάνειες των 500 hPa και 1000 hPa
2. Θερμοκρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa.

Αναφέρουμε ωστόσο ότι υπολογίστηκαν μέσω κώδικα (Παράρτημα Ε) οι αποχές του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 και 1000 hPa, όπως και της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa, για τις ακραίες ημέρες νετού.



Σχήμα 2.1 Χάρτης της υπό μελέτη ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου

Εφόσον η παρούσα εργασία στηρίχθηκε στις ημερήσιες τιμές του ύψους νετού από το GPCP θα αφιερώσουμε τις παρακάτω 2 παραγράφους στα δεδομένα αυτά. Ωστόσο για να μην επεκταθούμε πολύ, η ανάλυσή τους θα είναι σύντομη.

Εξαιτίας διαφόρων μελετών, συμπεριλαμβανομένων της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, της επιφανειακής υδρολογίας και της κατασκευής αριθμητικών μοντέλων καιρού και κλίματος είναι απαραίτητη η παρατήρηση του ύψους νετού σε παγκόσμιο επίπεδο. Λόγω της έλλειψης επίγειων οργάνων παρατήρησης του ύψους νετού σε ένα αρκετά μεγάλο μέρος του πλανήτη Γη (σχεδόν τα τρία τέταρτά του καταλαμβάνονται από ωκεανούς) η επιστημονική κοινότητα στράφηκε στους δορυφόρους. Μέσω των τελευταίων μπορεί να εκτιμηθεί η χωρική κατανομή καθώς και η χρονική μεταβολή του ύψους νετού πάνω από δυσπρόσιτες περιοχές, περιοχές με μεγάλη έκταση καθώς και πάνω από τους ωκεανούς. Σε όλα τα παραπάνω συνέβαλε σημαντικά το Global Precipitation Climatology Project (GPCP).

Πιο αναλυτικά, τον Οκτώβριο του 1996 το GPCP έθεσε τις βάσεις για εκτιμήσεις του ύψους νετού υψηλότερης ανάλυσης (One-Degree Daily σε πλέγμα $1^\circ \times 1^\circ$) χρησιμοποιώντας γεωσύγχρονους δορυφόρους σε όλο τον κόσμο για την συλλογή-κατασκευή ιστογραμμάτων (στην περιοχή του υπέρυθρου) της θερμοκρασίας λαμπρότητας (brightness temperature, T_b), καλύπτοντας την γεωγραφική περιοχή μεταξύ των παραλλήλων 40°N και 40°B , ανά τρίωρα χρονικά διαστήματα (Huffman et al. 2001). Πιο συγκεκριμένα, θεωρήθηκε πως αν κάποια εικονοστοιχεία (pixel) στο εσωτερικό μιας δοθείσας περιοχής έχουν θερμοκρασία λαμπρότητας (T_b) μικρότερη από 235K, έχουμε ύψος νετού ίσο με 3 mm/h. Αντίθετα, οποιαδήποτε άλλη τιμή της T_b ισοδυναμεί με 0. Η θερμοκρασία λαμπρότητας ή φωτεινότητας (brightness temperature, T_b) ορίζεται ως η θερμοκρασία που θα έπρεπε να έχει ένα μέλαν σώμα σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του, ώστε να εκπέμπει ακτινοβολία με ένταση ίδια με αυτή του πραγματικού (φαιού) σώματος, σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Η διαθεσιμότητα αυτού του συνόλου δεδομένων ώθησε τους δημιουργούς να αναπτύξουν το Threshold-Matched Precipitation Index (TMPI) για την εκτίμηση του ύψους νετού. Εκτός από τα παραπάνω δεδομένα λαμβάνονται υπόψιν για το TMPI τα εξής (Huffman et al. 2001):

1. Στιγμιαίες εκτιμήσεις του ύψους νετού στην γεωγραφική περιοχή μεταξύ των παραλλήλων 40°N και 40°B , ανά τρίωρα χρονικά διαστήματα, από παθητικούς αισθητήρες μικροκυμάτων που βρίσκονται σε δορυφόρους πολικής τροχιάς.
2. Εκτιμήσεις του ύψους νετού (σε πλέγμα $1^\circ \times 1^\circ$) μέσω μεθόδων παρεμβολής τιμών από μηνιαία δεδομένα (GPCP version 2) καθώς και από επίγειες παρατηρήσεις.
3. Ο αλγόριθμος Goddard Profiling Version 6.0 (GPROF 6.0), βασισμένος στους Kummerow et al. (1996), ο οποίος ταιριάζει τα παρατηρούμενα μήκη κύματος ακτινοβολιών με εκείνα τα μήκη κύματος που αντιστοιχούν σε μοντέλα νεφών δημιουργώντας εκτιμήσεις ύψους νετού pixel-by-pixel.

Κλείνοντας, το GPCP εν μέσω συνεχών βελτιώσεων παρέχει ημερήσιες τιμές του ύψους νετού προς ανάλυση από τον Οκτώβριο του 1996 έως και σήμερα.

2.2 Ελλείπουσες τιμές - Μέθοδος παρεμβολής.

Παρατηρήθηκε ότι στο πρώτο σύνολο δεδομένων (GPCP) υπήρχαν κάποιες ελλείπουσες τιμές (χωρικά και χρονικά) οι οποίες συμπληρώθηκαν από το δεύτερο σύνολο δεδομένων (NOAA). Πιο συγκεκριμένα μία περιγραφή στο πρώτο σύνολο δεδομένων (GPCP) για τις ελλείπουσες τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Ανάλυση ελλειπουσών τιμών από το σύνολο δεδομένων GPCP

ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΕΛΛΕΙΠΟΥΣΕΣ ΤΙΜΕΣ	(ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΕΛΛΕΙΠΟΥΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΗΜΕΡΩΝ ΟΛΗΣ ΠΡΟΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ)*100%	ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΛΛΕΙΠΟΥΣΩΝ ΤΙΜΩΝ	(ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΛΛΕΙΠΟΥΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΙΜΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΜΕ)*100%
82	0.87%	40348	0.4%

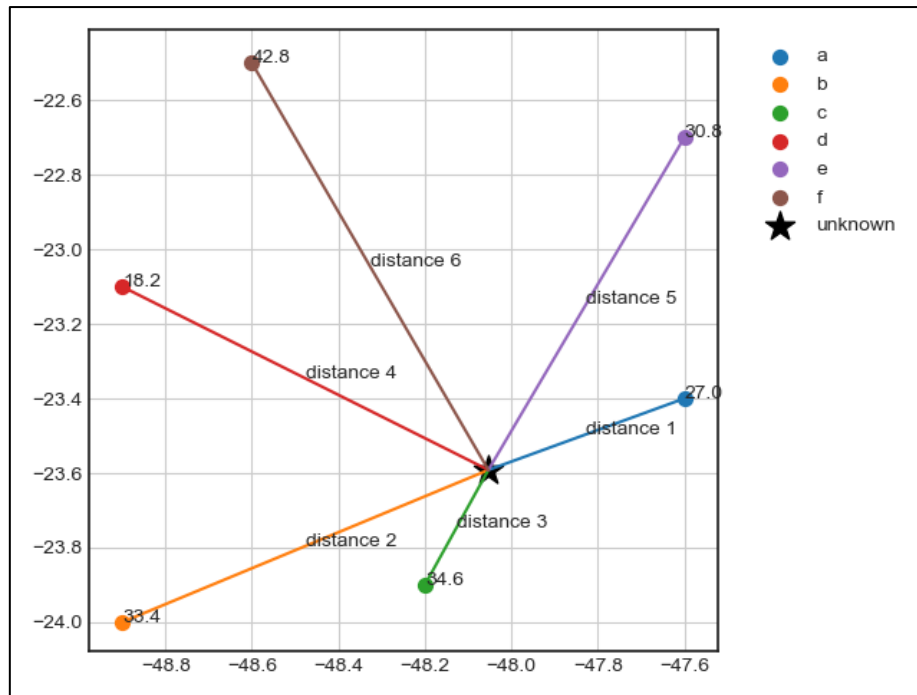
Για να συμπληρωθούν οι παραπάνω ελλείπουσες τιμές (από το σύνολο δεδομένων NOAA) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής τιμών (inverse distance weighting interpolation) μέσω σταθμισμένων βαρών, που υπολογίστηκαν με τη χρήση της ευκλείδειας απόστασης (Li et al. 2018). Για τη διαδικασία αυτή κρίθηκε απαραίτητη η χρήση κώδικα στην python (βλέπε Παράρτημα Ι) και παρακάτω βλέπουμε την βασική εξίσωση 2.1 γύρω από την οποία «χτίστηκε».

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p} Z_i / \sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^p}. \quad (\text{εξίσωση 2.1})$$

Όπου Z είναι η εκτιμώμενη τιμή για το σημείο πρόβλεψης, Z_i είναι η μετρούμενη τιμή για το σημείο δειγματοληψίας και d_i είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του σημείου δειγματοληψίας και του σημείου πρόβλεψης. Το p είναι μια παράμετρος ισχύος (χωρίς διαστάσεις) και τέλος το n αντιπροσωπεύει τον αριθμό των σημείων δειγματοληψίας. Ο δείκτης άθροισης δίνεται από το i . Όταν η τιμή του p αυξάνεται, η ομαλότητα της επιφάνειας εξόδου του IDW αυξάνεται (Husar and Falke 1996). Η τιμή της παραμέτρου p λαμβάνεται ως $p = 2$ για όλες τις παρεμβολές ως παρεμβολή με αντίστροφη τετραγωνική απόσταση που είναι σταθμισμένη (Husar and Falke 1996).

Για να κατανοήσουμε πλήρως πως δουλεύει ο κώδικας (βλέπε Παράρτημα Ι) θα τον περιγράψουμε συνοπτικά παρακάτω. Επίσης οφείλουμε να επισημάνουμε ότι ο κώδικας της γραμμικής παρεμβολής στο Παράρτημα Ι έχει ως βασικό μέρος το `main.py` και τα υπόλοιπα μέρη χρησιμοποιούνται ως βιβλιοθήκες.

1. Ο κώδικας διαβάζει αρχικά το excel μέσω του οποίου θέλουμε να εκτιμήσουμε τις τιμές που θα προκύψουν από παρεμβολή.
2. Εν συνεχεία μετατρέπει το excel σε netcdf αρχείο και δημιουργεί εικονικές ελλείπουσες τιμές μέσα σε αυτό, σύμφωνα με τις συντεταγμένες στην αντίστοιχη ημερομηνία που γνωρίζουμε ότι έχουμε τιμή που λείπει (οι συντεταγμένες και οι ημερομηνίες όπου λείπουν οι τιμές δίνονται μέσω κάποιου άλλου αρχείου που έχουμε κατασκευάσει).
3. Υπολογίζει με βάση τα πλησιέστερα γειτονικά κελιά που εμείς ορίζουμε (Σχήμα 2.2) μία εκτιμώμενη τιμή σύμφωνα με την εξίσωση 2.1. Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε 4 γειτονικά κελιά για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης τιμής.
4. Στο τέλος στο αρχικό μας αρχείο με τις ελλείπουσες τιμές συμπληρώνει τα κελιά με την εκτιμώμενη τιμή στις αντίστοιχες συντεταγμένες, στην αντίστοιχη ημερομηνία. Έτσι έχουμε έτοιμο το αρχείο προς επεξεργασία και ανάλυση.



Σχήμα 2.2 Σχηματική απεικόνιση της IDW interpolation με 6 γειτονικά σημεία.
(Πηγή: https://rafatieppo.github.io/post/2018_07_27_idw2pyr/)

2.3 Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων

2.3.1 Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis, FA)

Η Παραγοντική Ανάλυση δημιουργήθηκε πρωταρχικά με σκοπό την ερμηνεία της ψυχολογίας της ανθρώπινης προσωπικότητας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών και η εν συνεχεία κατηγοριοποίησή τους σε ένα δομικό μοντέλο. Ο Francis Galton (1884) χρησιμοποιεί την μέθοδο αυτή για τον εντοπισμό όρων που περιγράφουν την προσωπικότητα. Ο Spearman ασχολήθηκε με το έργο του Galton και σε μια εργασία που δημοσιεύεται το 1904, χρησιμοποιεί ο ίδιος τους όρους παράγοντας (factor) και φορτία (loadings). Ωστόσο, η παραγοντική ανάλυση ως πολυμεταβλητή στατιστική διαδικασία, χρησιμοποιείται συνήθως στους τομείς των συστημάτων πληροφοριών, της ψυχολογίας, του εμπορίου και της εκπαίδευσης (Byrant 1999, Yarnold et al. 1999).

Η παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis, FA) είναι μια στατιστική μέθοδος που έχει σκοπό να εντοπίσει παράγοντες κοινούς ανάμεσα σε μια ομάδα μεταβλητών, με κύριο σκοπό την μείωση των διαστάσεων του προβλήματος. Αντί να δουλεύουμε με τις αρχικές μεταβλητές, ασχολούμαστε με λιγότερες, αφού οι παράγοντες είναι έτσι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να διατηρούν όσο γίνεται την πληροφορία που υπήρχε στις αρχικές μεταβλητές. Μπορούμε να εξηγήσουμε τις συσχετίσεις που υπάρχουν στα δεδομένα, για τις οποίες έχουμε υποθέσει ότι οφείλονται αποκλειστικά στην ύπαρξη κάποιων κοινών παραγόντων που δημιουργήσαν τα δεδομένα (Καρλής 2003).

Εισάγεται για να γίνει δυνατή η περιγραφή μιας ομάδας $\mathbf{p}$ εν γένει συσχετιζόμενων μεταξύ τους μεταβλητών $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ από ένα μικρό αριθμό νέων, ασυσχέτιστων μεταξύ τους μεταβλητών, οι οποίοι ονομάζονται παράγοντες (factors), έτσι ώστε να ελαττωθεί η διαστατικότητα των αρχικών δεδομένων και να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ των $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ (Lolis 2002). Η υπόθεση του ορθογωνίου μοντέλου είναι ότι κάθε μια από τις p αρχικές μεταβλητές μπορεί να εκφρασθεί ως

γραμμικός συνδυασμός $\mathbf{k}$ ($\mathbf{k} < \mathbf{p}$) ασυσχέτιστων μεταβλητών. Επίσης είναι προφανές ότι $\mathbf{k} < \mathbf{p}$, δηλαδή ο αριθμός των παραγόντων πρέπει να είναι μικρότερος του αριθμού των μεταβλητών γιατί αλλιώς θα ήταν χωρίς νόημα να γίνει παραγοντική ανάλυση (Καρλής 2003).

Θα ισχύει λοιπόν:

$\mathbf{X}_1 = \mathbf{a}_{11}\mathbf{F}_1 + \mathbf{a}_{12}\mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{a}_{1k}\mathbf{F}_k + \mathbf{\varepsilon}_1$
$\mathbf{X}_2 = \mathbf{a}_{21}\mathbf{F}_1 + \mathbf{a}_{22}\mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{a}_{2k}\mathbf{F}_k + \mathbf{\varepsilon}_2$
.
.
$\mathbf{X}_p = \mathbf{a}_{p1}\mathbf{F}_1 + \mathbf{a}_{p2}\mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{a}_{pk}\mathbf{F}_k + \mathbf{\varepsilon}_k$

(εξίσωση 2.2)

όπου $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_k$ είναι οι καινούριες μεταβλητές (παράγοντες ή factors). Οι συντελεστές $\mathbf{a}_{11}, \mathbf{a}_{12}, \dots, \mathbf{a}_{pk}$ αντιστοιχούν στα φορτία των παραγόντων (factor loadings) τα οποία εκφράζουν τη συσχέτιση της εκάστοτε μεταβλητής $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ με κάθε έναν από τους παράγοντες της. Τέλος οι τιμές $\mathbf{\varepsilon}_1, \mathbf{\varepsilon}_2, \dots, \mathbf{\varepsilon}_k$ είναι τα σφάλματα ή οι μοναδικοί παράγοντες. Το σφάλμα $\mathbf{\varepsilon}_i$ είναι μία μοναδική τιμή που αποτελεί την απόκλιση της $\mathbf{X}_i$ μεταβλητής. Ωστόσο είναι το μέρος της μεταβλητής το οποίο δεν μπορεί να εξηγηθεί από τους παράγοντες. Συνεχίζοντας με τις παραδοχές του ορθογωνίου μοντέλου έχουμε τα εξής. Οι τιμές των κανονικοποιημένων παραγόντων (factor scores) έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα (Manly 1986, Jolliffe 1986, 1990, 1993). Τα σφάλματα $\mathbf{\varepsilon}_k$ έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με έναν διαγώνιο πίνακα Ψ της μορφής :

$$\Psi = \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \psi_2 & \dots & 0 \\ \dots & & & \\ 0 & 0 & \dots & \psi_p \end{bmatrix}$$

Τέλος, η συνδιακύμανση των παραγόντων και των σφαλμάτων είναι ίση με το μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους. Συνεπώς και εφόσον οι παράγοντες αναλύουν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό της αρχικής πληροφορίας, ο μοναδικός παράγοντας $\mathbf{\varepsilon}_i$, πολλές φορές δεν παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της διαστατικότητας του προβλήματος. Το άθροισμα $\sum_{j=1}^k \mathbf{a}_{ij}^2$ ονομάζεται ‘communalities’ της $\mathbf{X}_i$ και αποτελεί το τμήμα της διακύμανσής της, που ερμηνεύεται από το σύνολο των $\mathbf{k}$ παραγόντων. Σύμφωνα με τα παραπάνω δημιουργούνται τα σκορ των παραγόντων ως γραμμικός συνδυασμός των αρχικών μεταβλητών.

$\mathbf{F}_1 = \mathbf{a}_{11}\mathbf{X}_1 + \mathbf{a}_{12}\mathbf{X}_2 + \dots + \mathbf{a}_{1k}\mathbf{X}_k$
$\mathbf{F}_2 = \mathbf{a}_{21}\mathbf{X}_1 + \mathbf{a}_{22}\mathbf{X}_2 + \dots + \mathbf{a}_{2k}\mathbf{X}_k$
.
.
$\mathbf{F}_k = \mathbf{a}_{k1}\mathbf{X}_1 + \mathbf{a}_{k2}\mathbf{X}_2 + \dots + \mathbf{a}_{kk}\mathbf{X}_k$

(εξίσωση 2.3)

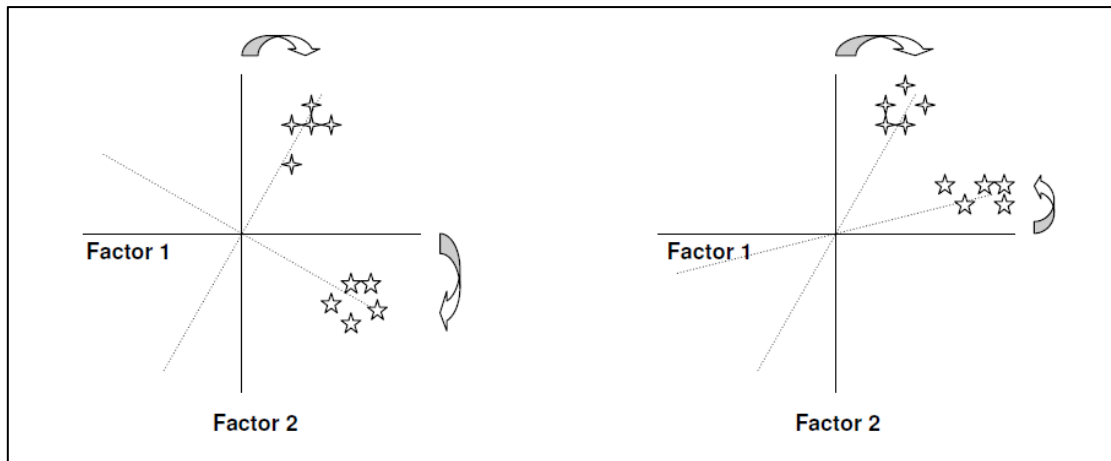
Ο αριθμός $\mathbf{k}$ των παραγόντων που πρέπει να διατηρηθούν αποφασίζεται με τη βοήθεια κάποιου από τα ακόλουθα κριτήρια επιλογής. Σύμφωνα με το κριτήριο GUTTMAN, ο αριθμός των παραγόντων που διατηρούνται πρέπει να ισούται με τον αριθμό των ιδιοτιμών του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών που είναι μεγαλύτερες από τη μονάδα.

Μια άλλη δημοφιλής μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του αριθμού των παραγόντων που πρέπει να διατηρηθούν είναι το τεστ Scree του Cattell (Cattell 1966), το οποίο περιλαμβάνει την οπτική διερεύνηση μιας γραφικής παράστασης σε ένα διάγραμμα όπου παρατίθενται οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών με σειρά από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη, για σπασίματα ή ασυνέχειες. Ο αριθμός των σημείων δεδομένων πάνω από τη διακοπή (μη συμπεριλαμβανομένου του σημείου στο οποίο εμφανίζεται η διακοπή) είναι ο αριθμός των παραγόντων που πρέπει να διατηρηθούν. Η λογική πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι ότι το σημείο αυτό διαχωρίζει τους σημαντικούς ή μείζονες παράγοντες από τους δευτερεύοντες ή ασήμαντους παράγοντες (Ledesma and Valero-Mora 2007). Όπως καταδεικνύεται από πολλούς ερευνητές όπως ο Thompson (2004), η ερμηνεία των διαγραμμάτων Scree είναι υποκειμενική και απαιτεί την κρίση του ερευνητή. Ως εκ τούτου, ο αριθμός των παραγόντων που πρέπει να διατηρηθούν και τα αποτελέσματα μπορεί να είναι διαφορετικά (Zwick and Velicer 1986). Αυτή η διαφωνία και η υποκειμενικότητα μειώνεται όταν το μέγεθος του δείγματος είναι μεγάλο και οι τιμές των communalities είναι υψηλές (Linn 1968). Το κριτήριο LEV διαφέρει από το SCREE μόνο στο ότι αντί για τις ιδιοτιμές χρησιμοποιείται ο λογάριθμός τους. Τέλος, σύμφωνα με το κριτήριο MONTE CARLO, ο αριθμός των παραγόντων πρέπει να ισούται με τον αριθμό των ιδιοτιμών που είναι μεγαλύτερες από το 95% αυτών που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τυχαία δεδομένα (Jolliffe 1986, Rogers 1990).

Πάντως, ανεξάρτητα από το τι υποδεικνύει κάθε ένα απ' τα παραπάνω κριτήρια, έχει επισημανθεί από διάφορους ερευνητές (π.χ. Bartzokas and Metaxas 1993) ότι ο αριθμός των παραγόντων που διατηρούνται πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε τα αποτελέσματα που προκύπτουν να είναι όσο γίνεται καλύτερα ερμηνεύσιμα από φυσική άποψη. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε το κριτήριο SCREE ενώ γίνεται και έλεγχος και για τη φυσική σημασία των αποτελεσμάτων θέτοντας την προϋπόθεση για κάθε έναν παράγοντα, τα loadings τα οποία είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερα από 0.7.

Η «περιστροφή των αξόνων» είναι μια διαδικασία που οδηγεί σε δημιουργία νέων παραγόντων που εκφράζουν διαφορετικά ποσοστά της ολικής διακύμανσης απ' αυτά των παλαιών, διατηρώντας όμως την ολική διακύμανση των k παραγόντων ανεπηρέαστη. Η περιστροφή επιτυγχάνει καλύτερη διάκριση μεταξύ των αρχικών μεταβλητών, μεγιστοποιώντας τα φορτία των παραγόντων. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη δυνατή κατάταξή τους στον αντίστοιχο παράγοντα.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη διεξαγωγή περιστροφών και με το SPSS που χρησιμοποιήσαμε στην factor analysis να προσφέρει πέντε. Αυτές είναι η varimax, η quartimax, η equamax, η direct oblimin και τέλος η promax. Οι τρεις πρώτες επιλογές είναι ορθογώνιες περιστροφές και οι δύο τελευταίες πλάγιες. Εξαρτάται από την κατάσταση, αλλά ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται η varimax στην ορθογώνια περιστροφή και η direct oblimin στην πλάγια περιστροφή (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Γραφική αναπαράσταση της περιστροφής παραγόντων. Το αριστερό γράφημα αναπαριστά την ορθογώνια περιστροφή και το δεξιό αναπαριστά την πλάγια περιστροφή. Τα αστέρια αντιπροσωπεύουν τις φορτίσεις των αρχικών μεταβλητών στους παράγοντες. (Πηγή για το σχήμα αυτό: Field 2000: 439).

Ως τύπο περιστροφής που χρησιμοποιήσαμε σ' αυτή την εργασία, είναι η περιστροφή 'varimax', η οποία βασίζεται στο ότι η ερμηνευτική ικανότητα ενός παράγοντα εκφράζεται ποσοτικά με τη διακύμανση των τετραγώνων των αντίστοιχων φορτίων. Η περιστροφή 'varimax' μεγιστοποιεί αυτές τις διακυμάνσεις για όλους τους παράγοντες, διατηρώντας τους επιπλέον ασυσχέτιστους (Richman, 1986). Η περιστροφή 'varimax' που αναπτύχθηκε από τον Thompson (2004) είναι η πιο κοινή μορφή μεθόδων περιστροφής για τη διερευνητική παραγοντική ανάλυση και συχνά παρέχει μια απλή δομή. Από την άλλη πλευρά, οι Fabrigar et al. (1999) δήλωσαν ότι δεν υπάρχει μια ευρέως προτιμώμενη τεχνική πλάγιας περιστροφής και όλες οι τεχνικές τείνουν να παράγουν παρόμοια αποτελέσματα.

2.3.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis)

Η ανάλυση κατά συστάδες είναι η διαδικασία διαχωρισμού ενός συνόλου αντικειμένων δεδομένων (ή παρατηρήσεων) σε υποσύνολα. Κάθε υποσύνολο είναι μια συστάδα, έτσι ώστε τα αντικείμενα σε μια συστάδα να είναι παρόμοια μεταξύ τους, αλλά ανόμοια με τα αντικείμενα σε άλλες συστάδες. Το σύνολο των συστάδων που προκύπτει από μια ανάλυση συστάδων μπορεί να αναφέρεται ως συσταδοποίηση.

Δύο βασικές έννοιες για την ανάλυση κατά συστάδες είναι οι έννοιες της απόστασης και της ομοιότητας. Δηλαδή παρατηρήσεις που μοιάζουν πολύ μεταξύ τους θα πρέπει να έχουν πολύ μεγάλη τιμή για το μέτρο της ομοιότητας που θα χρησιμοποιήσουμε αλλά και πολύ μικρή απόσταση (Καρλής 2003). Οι έννοιες αυτές είναι πολύ χρήσιμες καθώς μας επιτρέπουν να μετρήσουμε πόσο μοιάζουν οι παρατηρήσεις μεταξύ τους και επομένως να τις τοποθετήσουμε στην ίδια ομάδα. Επομένως σκοπός της ανάλυσης σε συστάδες είναι να δημιουργήσουμε ομάδες μέσα στις οποίες οι παρατηρήσεις απέχουν λίγο, ενώ οι παρατηρήσεις διαφορετικών ομάδων απέχουν μεταξύ τους αρκετά (Καρλής 2003). Οι βασικότερες και πιο διαδεδομένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Κύριες μέθοδοι Ανάλυσης κατά Συστάδες

Ιεραρχικές	Ξεκινάμε με κάθε παρατήρηση να είναι από μόνη της μια συστάδα. Σε κάθε βήμα ενώνουμε τις 2 παρατηρήσεις που έχουν πιο μικρή απόσταση. Αν 2 παρατηρήσεις έχουν ενωθεί σε προηγούμενο βήμα ενώνουμε μια προϋπάρχουσα συστάδα με μια παρατήρηση μέχρι να φτιάξουμε μια μεγαλύτερη συστάδα κ.ο.κ. Κοιτώντας τα αποτελέσματα διαλέγουμε στις πόσες συστάδες θα σταματήσουμε.
Μη Ιεραρχικές (K-Means)	Ο αριθμός των συστάδων είναι γνωστός από πριν. Με έναν επαναληπτικό αλγόριθμο μοιράζουμε τις παρατηρήσεις στις συστάδες ανάλογα με το ποια συστάδα είναι πιο κοντά στην παρατήρηση.
Στατιστικές μέθοδοι	Δυστυχώς αυτές οι μέθοδοι έχουν αρκετά υπολογιστικά προβλήματα και για αυτό δεν προσφέρονται από πολλά στατιστικά πακέτα που χρησιμοποιούνται στην πράξη.

Η απόσταση είναι μια θεμελιώδης έννοια στην πολυμεταβλητή ανάλυση και όχι μόνο για την ανάλυση δεδομένων. Η επιλογή των μέτρων απόστασης είναι ένα κρίσιμο βήμα στην ομαδοποίηση, διότι καθορίζει τον τρόπο υπολογισμού της ομοιότητας δύο στοιχείων (x, y) και επηρεάζει το σχήμα των συστάδων. Χωρίς να επεκταθούμε περαιτέρω στην θεωρία της Ανάλυσης κατά Συστάδες, παραθέτουμε παρακάτω μερικά από τα μέτρα της απόστασης που χρησιμοποιούνται γενικότερα.

A. Ευκλείδεια Απόσταση $d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2}$ (εξίσωση 2.4), όπου d(x,y) και p η απόσταση και ο αριθμός των παρατηρήσεων αντίστοιχα. Επίσης x_i είναι η τιμή της i μεταβλητής της x παρατήρησης και y_i είναι η τιμή της i μεταβλητής της y παρατήρησης.

B. Τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση $d(x, y) = \sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2$ (εξίσωση 2.5)

C. Απόσταση City- Block (Manhattan) $d(x, y) = \sum_{i=1}^p |x_i - y_i|$ (εξίσωση 2.6)

D. Απόσταση Power $d(x, y) = (\sum_{i=1}^p |x_i - y_i|^q)^{1/r}$ (εξίσωση 2.7)

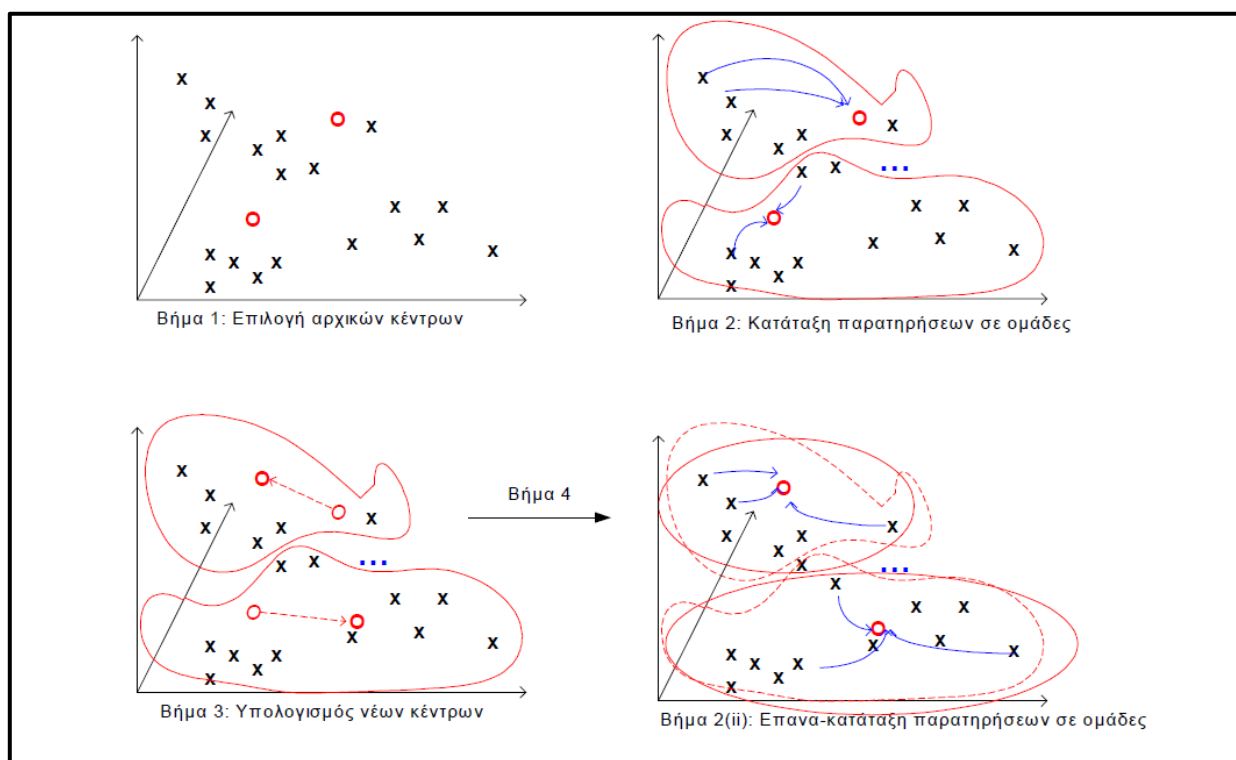
όπου τα r και q είναι παράμετροι που ορίζει ο εκάστοτε ερευνητής.

Η απόσταση Power (εξίσωση 2.7) αποτελεί μία γενίκευση όλων των παραπάνω αποστάσεων. Στην παρούσα εργασία μας χρησιμοποιήσαμε την ευκλείδεια απόσταση (εξίσωση 2.4) και την μη Ιεραρχική μέθοδο για να ομαδοποιήσουμε τα δεδομένα μας και να δημιουργήσουμε τις συστάδες. Παρακάτω θα γίνει μία μικρή περιγραφή της k-Means Ανάλυσης.

2.3.2.1 Μη Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες (K-Means)

Τα βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος στηρίζεται στον αλγόριθμο που ευρέως χρησιμοποιείται των Hartigan-Wong (1979) σε αυτή την ανάλυση αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω (Καρλής 2003):

1. Αρχικά έχουμε καθορίσει με κάποια μέθοδο (Jump method, θα αναλυθεί παρακάτω στην επόμενη παράγραφο) τον αριθμό των συστάδων (K) που θα δημιουργηθούν.
2. Εν συνεχεία γίνεται μία τυχαία επιλογή k σημείων από το σύνολο δεδομένων ως τα αρχικά κέντρα ή μέσα συστάδων. Κατανέμεται κάθε παρατήρηση στο πλησιέστερο κέντρο της, με βάση την μικρότερη ευκλείδεια απόσταση μεταξύ της παρατήρησης και του κέντρου (Σχήμα 2.4).
3. Για κάθε μία από τις k συστάδες που δημιουργούνται ενημερώνει το κέντρο της συστάδας μέσω υπολογισμού των νέων μέσων τιμών όλων των σημείων δεδομένων στη συστάδα. Το κέντρο μιας k -οστής συστάδας είναι ένα διάνυσμα μήκους p που περιέχει τους μέσους όρους όλων των μεταβλητών για τις παρατηρήσεις.
4. Αν τα νέα κέντρα δεν διαφέρουν από τα παλιά ο αλγόριθμος σταματά αλλιώς γίνεται επανάληψη του βήματος 3, έως ότου οι αναθέσεις συστάδων σταματήσουν να αλλάζουν ή να επιτευχθεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων.



Σχήμα 2.4 Γραφική αναπαράσταση της μη ιεραρχικής k -means Ανάλυσης κατά Συστάδες. (Καρλής, 2003)

2.4.2.2. Μέθοδος επιλογής των συστάδων (Jump Method)

Ένα θεμελιώδες, και σε μεγάλο βαθμό άλυτο, πρόβλημα στην ανάλυση συστάδων είναι ο προσδιορισμός του «πραγματικού» αριθμού των ομάδων σε ένα σύνολο δεδομένων Παραδείγματα στη βιβλιογραφία της στατιστικής περιλαμβάνουν τον δείκτη των Calinski και Harabasz (1974), τον κανόνα του Hartigan (1975), το τεστ των Kranowski and Lai (1985) και τέλος η στατιστική της «σιλουέτας» (silhouette statistic) (Kaufman and Rousseeuw 1990).

Δύο νεότερες προτάσεις είναι μια προσέγγιση βασισμένη στο γκαουσιανό μοντέλο που χρησιμοποιεί προσεγγιστικούς παράγοντες όπως αυτή των Bayes, Frayley and Raftery (1998) και την στατιστική του «χάσματος» (the gap statistic) που συγκρίνει τη μεταβολή στην διασπορά εντός της συστάδας με εκείνη που αναμένεται βάσει μιας κατάλληλης μηδενικής κατανομής (Tibshirani et al. 2001).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε για την επιλογή του αριθμού των συστάδων, μία μέθοδο που στηρίζεται σε συγκεκριμένες παραμετρικές υποθέσεις και μπορεί να αιτιολογηθεί αυστηρά θεωρητικά μέσω του τομέα της θεωρίας του ρυθμού στρέβλωσης (Sugar and James 2003). Η διαδικασία βασίζεται στη «στρέβλωση» η οποία είναι ένα μέτρο της διασποράς εντός της συστάδας. Η στρέβλωση μιας ομαδοποίησης κάποιων δεδομένων, ορίζεται παρακάτω.

Έστω ότι το σύνολο δεδομένων μοντελοποιείται ως μια p -διάστατη τυχαία παρατήρηση X , που αποτελείται από μια μεικτή κατανομή G συνιστωσών με κοινή συνδιακύμανση, Γ . Αν θεωρήσουμε ότι $c_1, c_2, c_3 \dots c_k$ είναι ένα σύνολο από k κέντρα συστάδων, με c_x το πλησιέστερο κέντρο, τότε η ελάχιστη μέση παραμόρφωση ανά διάσταση κατά την προσαρμογή των K κέντρων στα δεδομένα είναι:

$$d_k = \frac{1}{p} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^T \cdot \Gamma^{-1} \cdot (X - c_x)] \text{ (εξίσωση 2.8)}$$

Η στρέβλωση dk (εξίσωση 2.8) ονομάζεται ως η μέση «Mahalanobis» απόσταση ανά διάσταση, μεταξύ των X και c_x . Έχουμε επίσης ως p , το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν κάθε παρατήρηση και Γ τον πίνακα των συνδιακυμάνσεων (covariance) των p μεταβλητών. Οφείλουμε να επισημάνουμε όταν ο πίνακας Γ είναι μοναδιαίος και οι p μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, τότε η στρέβλωση dk γίνεται ίση με τη μέση τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση ή αλλιώς ίση με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (εξίσωση 2.9).

$$d_k = \frac{1}{p} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^2] \text{ (εξίσωση 2.9)}$$

Για την επιλογή του αριθμού των συστάδων, αναζητούμε στην γραφική παράσταση του d_k ως προς το k το σημείο όπου η κλίση της καμπύλης στο διάγραμμα θα έτεινε να γίνει μηδενική. Παρόλα αυτά, σε ένα τέτοιο διάγραμμα καθίσταται δύσκολο να επιλέξουμε το κατάλληλο σημείο, όπου η καμπύλη γίνεται σχεδόν παράλληλη με τον άξονα k . Για τον λόγο αυτό γίνεται ο μετασχηματισμός της καμπύλης του dk υψώνοντάς τον όρο αυτό σε μια αρνητική δύναμη. Επιπροσθέτως γίνεται και ένας επιπλέον μετασχηματισμός της καμπύλης, μέσω της αφαίρεσης των συνεχόμενων τιμών από τα ήδη μετασχηματισμένα dk μεταξύ τους. Έτσι έχουμε τον υπολογισμό των αλμάτων και καταλήγουμε σε μια νέα καμπύλη, όπου η τιμή του k που παρουσιάζεται το μέγιστο άλμα, να είναι το καταλληλότερο πλήθος των ομάδων στις οποίες θα γίνει η κατάταξη των αρχικών παρατηρήσεων.

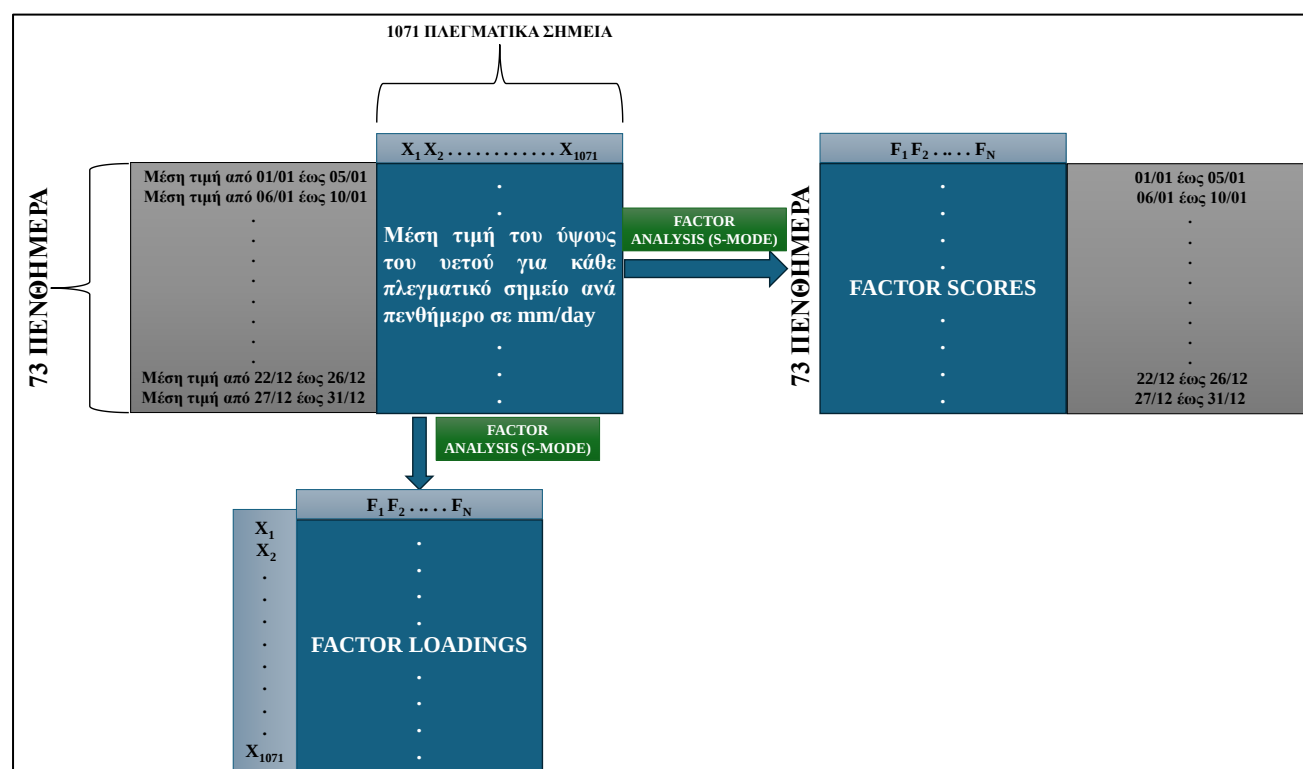
Η διαδικασία σύμφωνα με τους Sugar and James (2003), την οποία αποκαλούμε «μέθοδο άλματος» παρουσιάζεται συνοπτικά με τα παρακάτω βήματα για την εκτίμηση του πραγματικού αριθμού συστάδων.

1. Εφαρμόζουμε συνεχώς την μη ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες (k – Means) για διαφορετική τιμή του k . Επιλέξαμε έως $k=20$.
2. Υπολογίζουμε με κάθε εφαρμογή της k -Means ανάλυσης τις στρεβλώσεις d_k .
3. Επιλέγουμε την τιμή της δύναμης Y στην οποία θα υψωθεί η d_k , ώστε να μετασχηματιστεί. ($Y=p/2$, όπου p είναι το πλήθος των μεταβλητών)
4. Υπολογίζουμε τα άλματα σε κάθε μετασχηματισμένη στρέβλωση $J_k = d_k^{-Y} - d_{k-1}^{-Y}$.
5. Τέλος, στη γραφική παράσταση του J_k ως προς τον αριθμό των k ομάδων, επιλέγουμε την τιμή του k όπου παρατηρούμε ότι κλίση τείνει στο μηδέν.

2.4 Μεθοδολογία

2.4.1 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης της μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του νετού ανά πενθήμερο

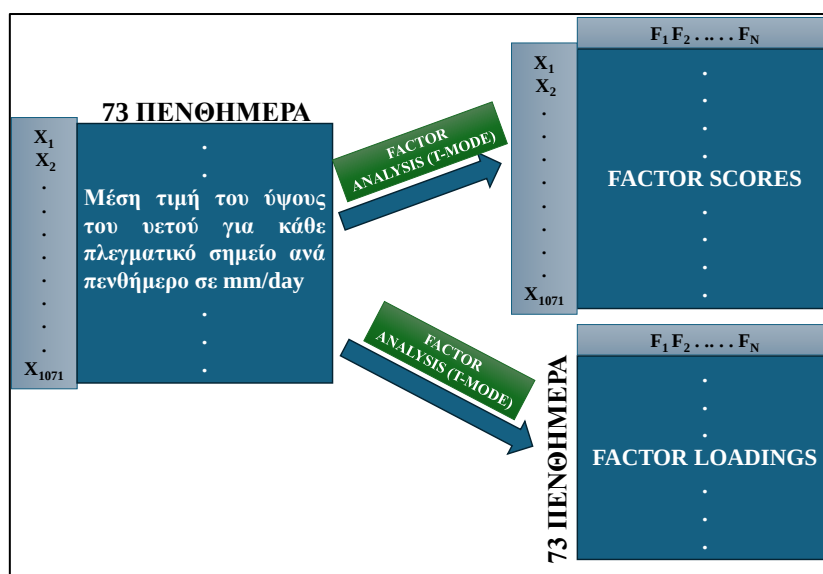
Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας μας υπολογίσαμε τις μέσες τιμές του ύψους του νετού (mm/day) για κάθε πλεγματοτικό σημείο ανά πενθήμερο. Η παραπάνω διαδικασία έγινε με τη χρήση κώδικα στην python (βλ. Παράρτημα Β). Εν συνεχεία υπολογίσαμε τη μέση τιμή του ίδιου πενθημέρου σε όλη την χρονοσειρά μας 1997-2021 για κάθε πλεγματοτικό σημείο και πάλι μέσω κώδικα στην python (βλ. Παράρτημα Γ). Οι μεταβλητές $X_1, X_2, \dots, X_{1071}$ είναι χρονοσειρές του ύψους του νετού σε 1071 διαφορετικά σημεία του χώρου. Η περίπτωση αυτή κατά την οποία ομαδοποιούνται χρονοσειρές μιας κλιματικής παραμέτρου που αναφέρονται σε διαφορετικά σημεία του χώρου αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως S-MODE (Richman, 1986). Μέσω της Παραγοντικής Ανάλυσης (Σχήμα 2.5) που εφαρμόσαμε στον πίνακα με τις μέσες τιμές των ίδιων πενθημέρων στην περίοδο 1997-2021, ομαδοποιήσαμε τις χρονοσειρές που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση με κάποιον από τους παράγοντες και έχουν συνεπώς υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους. Τέλος, επιλέξαμε τον αριθμό των factors, έτσι ώστε να γίνει ο χάρτης της χωρικής κατανομής των loadings και τα διαγράμματα της ενδο-ετήσιας διακύμανσης των scores των factors. Αξίζει να σημειωθεί εδώ, ότι κάθε ένας από τους παράγοντες παρουσιάζει υψηλή συσχέτιση με τις πραγματικές χρονοσειρές κάποιων περιοχών, χωρίς να ταυτίζεται με καμία απ' αυτές. Κάθε παράγων αποτέλεσε, λοιπόν, μια τεχνητή χρονοσειρά που μπορεί λόγω του υψηλού συντελεστή συσχέτισής της με κάποιες από τις αρχικές χρονοσειρές να αντιπροσωπεύσει το σύνολο αυτών των χρονοσειρών, εκφράζοντας τη χρονική διακύμανση της υπό εξέταση κλιματικής παραμέτρου σε μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή (Λώλης 2002).



Σχήμα 2.5 S-Mode μέθοδος Παραγοντικής Ανάλυσης του ύψους του νετού ανά πενθήμερο για τα 1071 πλεγματοτικά σημεία.

2.4.2 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης της μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του νετού

Όσον αφορά τη μελέτη της μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του νετού, αντιστρέψαμε τον πίνακα των δεδομένων μας όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6 και μέσω της Παραγοντικής Ανάλυσης (T-Mode) βρέθηκαν οι χωρικές κατανομές των factor scores αλλά και οι ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των factor loadings. Πρακτικά βρέθηκε, το πως κατανέμεται χωρικά η μέση τιμή του ύψους του νετού σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, όπου οι τιμές των loadings είναι πάνω από 0.6. Δηλαδή, θεωρήσαμε στα αποτελέσματα της Παραγοντικής Ανάλυσης μας το εξής: τα χρονικά διαστήματα του έτους όπου οι τιμές των loadings είναι πάνω από 0.6, αντιστοιχούν στους χάρτες χωρικής κατανομής των αντίστοιχων factor scores. Το τελευταίο θεωρήθηκε, διότι παρατηρήθηκε οριακά ένας τρίτος τύπος χωρικής κατανομής του μέσου ύψους του νετού.

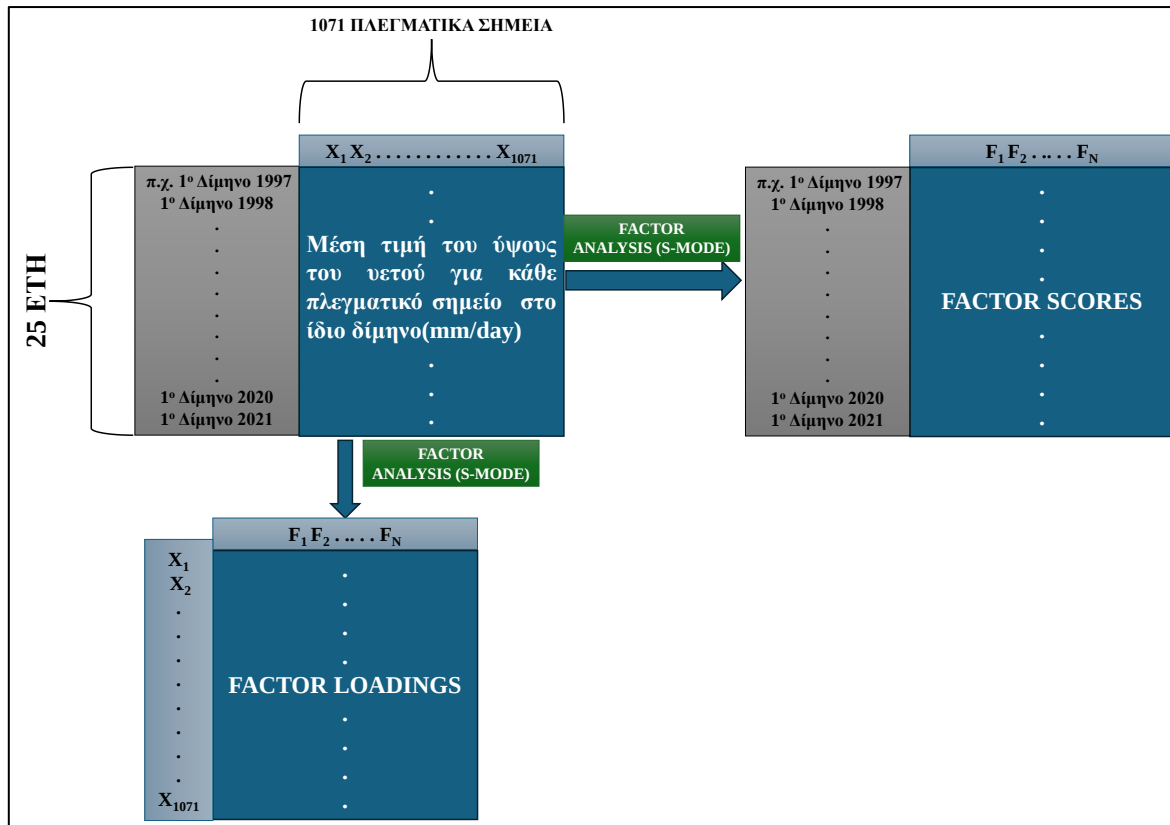


Σχήμα 2.6 T-Mode μέθοδος Παραγοντικής Ανάλυσης

2.4.3 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης της διαχρονικής διακύμανσης του ύψους του νετού ανά δίμηνο

Επιπλέον, στην παρούσα εργασία μας υπολογίσαμε τη μέση τιμή του ύψους του νετού ανά δίμηνο σε κάθε έτος, για τα 1071 πλεγματικά σημεία σε όλη την χρονοσειρά 1997-2021. Αυτή η ανάλυση πραγματοποιήθηκε μέσω κώδικα στην python (βλ. Παράρτημα Δ). Τα αποτελέσματά μας χωρίστηκαν σε 6 επιμέρους πίνακες. Σε καθέναν από αυτούς ξεχωριστά, συμπεριλαμβανόταν οι διαχρονικές διακυμάνσεις του ύψους νετού για τα 1071 πλεγματικά σημεία για ένα συγκεκριμένο δίμηνο του έτους. Πιο αναλυτικά ο πρώτος πίνακας είχε τις μέσες τιμές του ύψους του νετού για το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου από το 1997 έως το 2021 για τα 1071 πλεγματικά σημεία, κ.ο.κ.

Εφαρμόστηκε η S-Mode Παραγοντική Ανάλυση (Σχήμα 2.7) ώστε να προκύψουν οι χάρτες χωρικής κατανομής των factor loadings (ισοπληθείς με τιμές πάνω από 0.7) αλλά και τα διαγράμματα των διαχρονικών διακυμάνσεων των factor scores.



Σχήμα 2.7 S-Mode μέθοδος Παραγοντικής Ανάλυσης του ύψους του νετού για το ίδιο δίμηνο στην περίοδο 1997 έως 2021 για τα 1071 πλεγματικά σημεία

Επιπροσθέτως, στα διαγράμματα της διαχρονικής διακύμανσης των factor scores, εκτός από τον έλεγχο τάσης αύξησης/μείωσης που πραγματοποιήθηκε με το τεστ Mann-Kendall (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) προστέθηκε και μία ακόμη καμπύλη προς εξομάλυνση της αρχικής, που προέκυψε από κινητούς μέσους όρους 5 τιμών με συντελεστές τα βάρη του διωνυμικού αναπτύγματος. Η τελευταία μέθοδος στηρίζεται στο τρίγωνο του Pascal (Σχήμα 2.6) που μπορεί να αναπτύξει το βασικό διώνυμο $(x+y)^n$ (εξίσωση 2.10).

$$(x + y)^n = \binom{n}{0} x^n + \binom{n}{1} x^{n-1} y + \dots + \binom{n}{n-1} x y^{n-1} + \binom{n}{n} y^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k y^{n-k} \quad (\text{εξίσωση 2.10})$$

Το «Τρίγωνο του Pascal» (Σχήμα 2.8) είναι μία πυραμίδα αριθμών, χτισμένη από πάνω προς τα κάτω. Στην κορυφή της πυραμίδας βρίσκεται η μονάδα. Οι επόμενες σειρές της πυραμίδας «χτίζονται» με έναν απλό κανόνα. Στα άκρα τοποθετούνται μονάδες και κάθε αριθμός στο εσωτερικό της γραμμής προκύπτει από το άθροισμα των δύο αριθμών που βρίσκονται από πάνω του.

Το Τρίγωνο του Πασκάλ (Pascal 1623-1662)

				1				
			1		1			
		1		2		1		
	1		3		3		1	
1		4		6		4		1

Σχήμα 2.8 Οι πρώτες 5 γραμμές του τριγώνου του Pascal (Πηγή: <http://users.sch.gr/geoman22/mathP/Pascal.htm>)

2.4.4 Επεξήγηση μεθόδου μελέτης των γραμμικών τάσεων του ύψους του υετού ανά δίμηνο, για την περίοδο 1997-2021

Σε αυτή την ενότητα επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων μας υπολογίστηκαν οι μέσες τάσεις ανά πλεγματικό σημείο του ύψους του υετού για κάθε δίμηνο του έτους από το 1997 έως το 2021. Έτσι κατασκευάστηκαν οι χάρτες μέσης χωρικής κατανομής γραμμικών τάσεων του ύψους του υετού ανά δίμηνο στην χρονοσειρά μας. Αυτό επιτεύχθηκε εφόσον κάτω από κάθε στήλη του αντίστοιχου πίνακα για κάθε δίμηνο, υπολογίστηκε η γραμμική της κλίση όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.11. Ταυτόχρονα ελέγχθηκε και η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων του υετού ανά δίμηνο (1997-2021), ανά πλεγματικό σημείο μέσω του τεστ Mann-Kendall (βλ. Παράρτημα Α).

$$\text{slope} = \frac{\sum[(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})]}{\sum(x - \bar{x})^2}, \quad \text{trend} = \text{slope} * 24 \quad (\text{εξίσωση 2.11})$$

x: το έτος

$\bar{x}$: η μέση τιμή των ετών

y: ύψος του υετού του διμήνου στο εκάστοτε έτος

$\bar{y}$: μέση τιμή του ύψους του υετού του διμήνου από 1997-2021

2.4.5 Ανάλυση επεξεργασίας στατιστικής ανάλυσης ακραίων περιπτώσεων υετού

Επιπροσθέτως, στην παρούσα εργασία ορίστηκαν οι ακραίες περιπτώσεις υετού και έγινε η στατιστική ανάλυση τους (διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση, διαχρονική διακύμανση ανά μήνα). Οι ακραίες περιπτώσεις υετού, ορίστηκαν ως οι ημερήσιες τιμές του ύψους υετού ενός πλεγματικού σημείου να ξεπερνούν το κατώφλι του υψηλότερου 1% των μη μηδενικών τιμών (Lolis and Türkeş 2016).

Για τον υπολογισμό τους ακολουθήσαμε τα εξής βήματα:

1. Ταξινομήθηκαν τα κελιά των στηλών του πίνακά μας, που περιείχαν το ύψος του υετού ανά πλεγματικό σημείο, σε φθίνουσα σειρά.
2. Υπολογίστηκε ανά στήλη πόσες μη μηδενικές τιμές είχαμε.
3. Ανά πλεγματικό σημείο, πολλαπλασιάσαμε τον αριθμό των μη μηδενικών τιμών με το 0.01, ώστε να υπολογίσουμε τον αριθμό X_i που αντιστοιχεί στο 1% των μεγαλύτερων τιμών του ύψους του υετού ανά πλεγματικό σημείο.
4. Ανά πλεγματικό σημείο η τιμή του ύψους του υετού που περιείχε το κελί που αντιστοιχούσε στον αριθμό X_i , στην φθίνουσα σειρά που είχαν ταξινομηθεί τα κελιά, ήταν το κατώφλι (1%).
5. Αυτό αντιστοιχεί στην τιμή του υετού, πάνω από την οποία σε κάθε πλεγματικό σημείο, έχουμε ακραία περίπτωση υετού. Έτσι κατασκευάστηκε και ο χάρτης χωρικής κατανομής κατωφλίου (1%), για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.
6. Στο αρχικό μας αρχείο, πριν την ταξινόμηση, με κατάλληλη εντολή όποιο κελί σε κάθε στήλη είχε τιμή ύψους υετού πάνω από το αντίστοιχο κατώφλι (1%) του εκάστοτε πλεγματικού σημείου, χαρακτηριζόταν το κελί αυτό ως <1>, αλλιώς <0>. Εν συνεχεία μετρήθηκαν, πόσες ακραίες περιπτώσεις υετού είχαμε σε κάθε ημερομηνία και πλεγματικό σημείο.
7. Τέλος έγινε η ομαδοποίηση του αριθμού των ακραίων περιπτώσεων υετού ανά μήνα και έτος μέσω κώδικα στην python (Παράρτημα Κ) και μετέπειτα ακολούθησε η στατιστική τους ανάλυση.

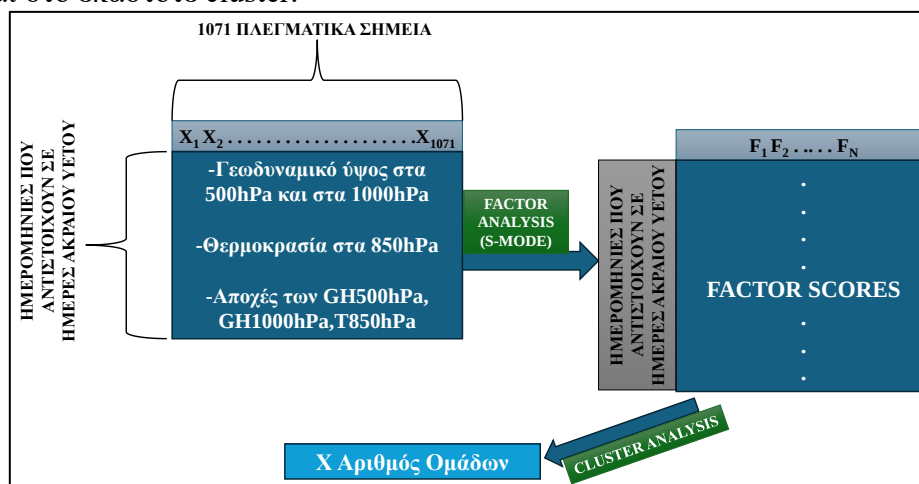
2.4.6 Ανάλυση επεξεργασίας στατιστικής ανάλυσης ημερών ακραίου υετού

Ακολουθως, ορίστηκαν οι ημέρες ακραίου υετού και έγινε η στατιστική επεξεργασία τους (διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση, διαχρονική διακύμανση ανά μήνα). Με βάση ότι η ημέρα ακραίου υετού δεν αναφέρεται συνήθως σε μόνο σε ένα μεμονωμένο ακραίο φαινόμενο αλλά σε τουλάχιστον ένα χωρικά εκτεταμένο (Lolis and Turkes 2016), ορίστηκε ως η ημέρα με αριθμό τουλάχιστον n τιμών του ύψους υετού που ξεπερνούν το κατώφλι του υψηλότερου 1% των μη μηδενικών τιμών. Πιο συγκεκριμένα, αν μία ημέρα είχε αριθμό ακραίων περιπτώσεων υετού μεγαλύτερο από το 10% των πλεγματικών σημείων δηλαδή 11 ($0.01 \cdot 1071 = 10,71 \approx 11$), οριζόταν ως ημέρα ακραίου υετού.

Εν συνεχεία χαρακτηρίστηκε με βάση το παραπάνω κριτήριο, η εκάστοτε ημερομηνία που πληρούσε τις προϋποθέσεις, ως <Ακραία>. Τέλος έγινε η ομαδοποίηση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού ανά μήνα και έτος, μέσω παρόμοιου κώδικα στην *python* του Παραρτήματος Κ και ακολούθησε η στατιστική τους ανάλυση.

2.4.7 Επεξήγηση μεθοδολογίας σύνδεσης των ημερών ακραίου υετού με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας μας, έγινε συσχέτιση των ακραίων ημερών με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Εδώ χρειαστήκαμε αρχικά τις τιμές υετού (GPCP) στις ημέρες ακραίου υετού. Επίσης χρειαστήκαμε δεδομένα από το ERA-5 που αντιστοιχούν στις ημερήσιες τιμές του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa και στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, αλλά και της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa. Τα δεδομένα αυτά αντιστοιχούν στις ημέρες ακραίου υετού για τις 12 UTC. Επισημαίνουμε και πάλι ότι υπολογίστηκαν μέσω κώδικα και οι αποχές του γεωδυναμικού ύψους στις επιφάνειες των 500 και 1000 hPa αλλά και της θερμοκρασίας στα 850hPa μέσω κώδικα (Παράρτημα Ε), στις ημέρες ακραίου υετού, που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυση μας (Factor & Cluster Analysis-Σχήμα 2.9). Έπειτα κρατήσαμε στα παραπάνω δεδομένα του ERA-5 μόνο τις ημερομηνίες που αντιστοιχούν στις ημέρες ακραίου υετού, μέσω χρήσης κώδικα της *python* (Παράρτημα Θ). Εφαρμόστηκε αρχικά η Factor Analysis στα παραπάνω δεδομένα για τον προσδιορισμό των factors. Εν συνεχεία στα scores των factors εφαρμόστηκε η Cluster Analysis για τον προσδιορισμό ομάδων με κοινά χαρακτηριστικά. Τέλος στον αριθμό X των ομάδων που επιλέχθηκε μέσω της μεθόδου του «άλματος» κατανέμονται όλες οι ημέρες του ακραίου υετού στα αντίστοιχα clusters και στη συνέχεια θα δημιουργηθούν οι μέσοι χάρτες για τις παραμέτρους στις οποίες έγινε η Παραγοντική Ανάλυση (Σχήμα 2.9). Ολοκληρώνοντας κατασκευάστηκαν για κάθε μία ομάδα (cluster), τα διαγράμματα με την ενδο-ετήσια και την διαχρονική διακύμανση των ημερών που κατατάσσονται στο εκάστοτε cluster.



Σχήμα 2.9 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου επεξεργασίας των ημερών ακραίου υετού

Κεφάλαιο 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1.1 Μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους του υετού

Αρχικά, στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο. Για τον παραπάνω σκοπό παραθέτουμε παρακάτω στο Σχήμα 3.1 τον χάρτη με τη μέση χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) και κάτω από αυτόν τα διαγράμματα της ενδο-ετήσιας διακύμανσης των scores των factors που προέκυψαν (Σχήμα 3.2). Στα τελευταία εμφανίζονται και έντονες καμπύλες οι οποίες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 τιμών με συντελεστές τα βάρη του διωνυμικού αναπτύγματος. Κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης για την εύρεση της μέσης ενδο-ετήσιας πορείας του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο, προέκυψαν επτά παράγοντες οι οποίοι καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 79.6%. Οι 7 παράγοντες που προέκυψαν αναλύονται παρακάτω.

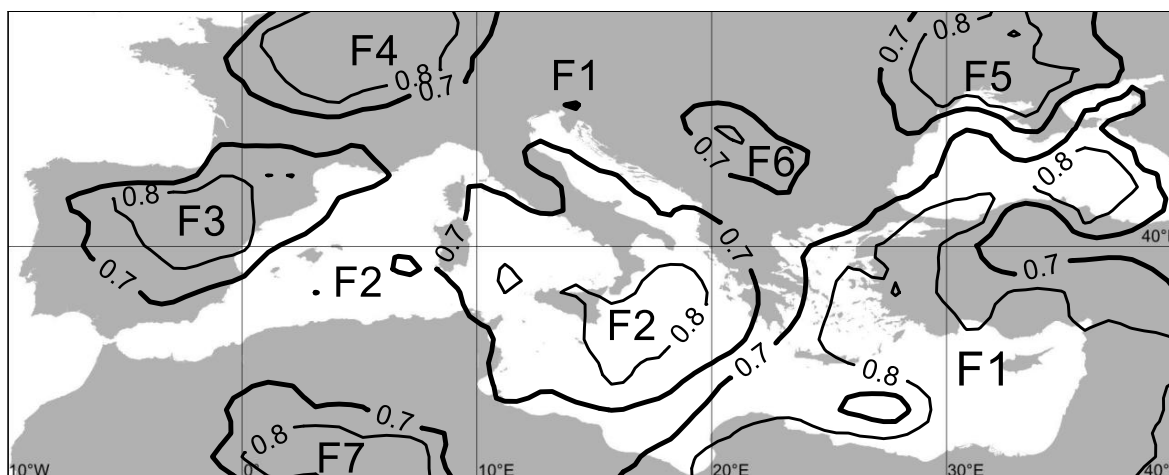
Συγκεκριμένα, ο πρώτος τύπος που περιγράφεται από τον παράγοντα 1 επικρατεί ως επί το πλείστον σε θάλασσα και πιο συγκεκριμένα στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου έως τη Μαύρη θάλασσα συμπεριλαμβάνοντας τα νησιά του Αιγαίου, την Κρήτη αλλά και την Κύπρο. Επίσης ο παράγοντας 1 επικρατεί στις ακτές της βορειοανατολικής Αφρικής, στη νοτιοδυτική Ασία, αλλά και στη Σλοβενία. Παρατηρούμε ότι ο παράγοντας 1 παρουσιάζει μέγιστο τέλος Δεκεμβρίου – αρχές Ιανουαρίου.

Ο δεύτερος παράγοντας είναι ένας τύπος μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο που επικρατεί στην κεντρική Μεσόγειο, συμπεριλαμβάνοντας την κεντρική και νότια Ιταλία, τη Μάλτα, τη Σαρδηνία, τα νησιά του Ιονίου, την Ήπειρο αλλά και τη Δυτική Ελλάδα. Ο παράγοντας 2 όπως παρατηρούμε έχει ένα μέγιστο να παρουσιάζεται περί τα μέσα του Νοεμβρίου και ένα δευτερεύον ακόμη στις αρχές του Οκτωβρίου.

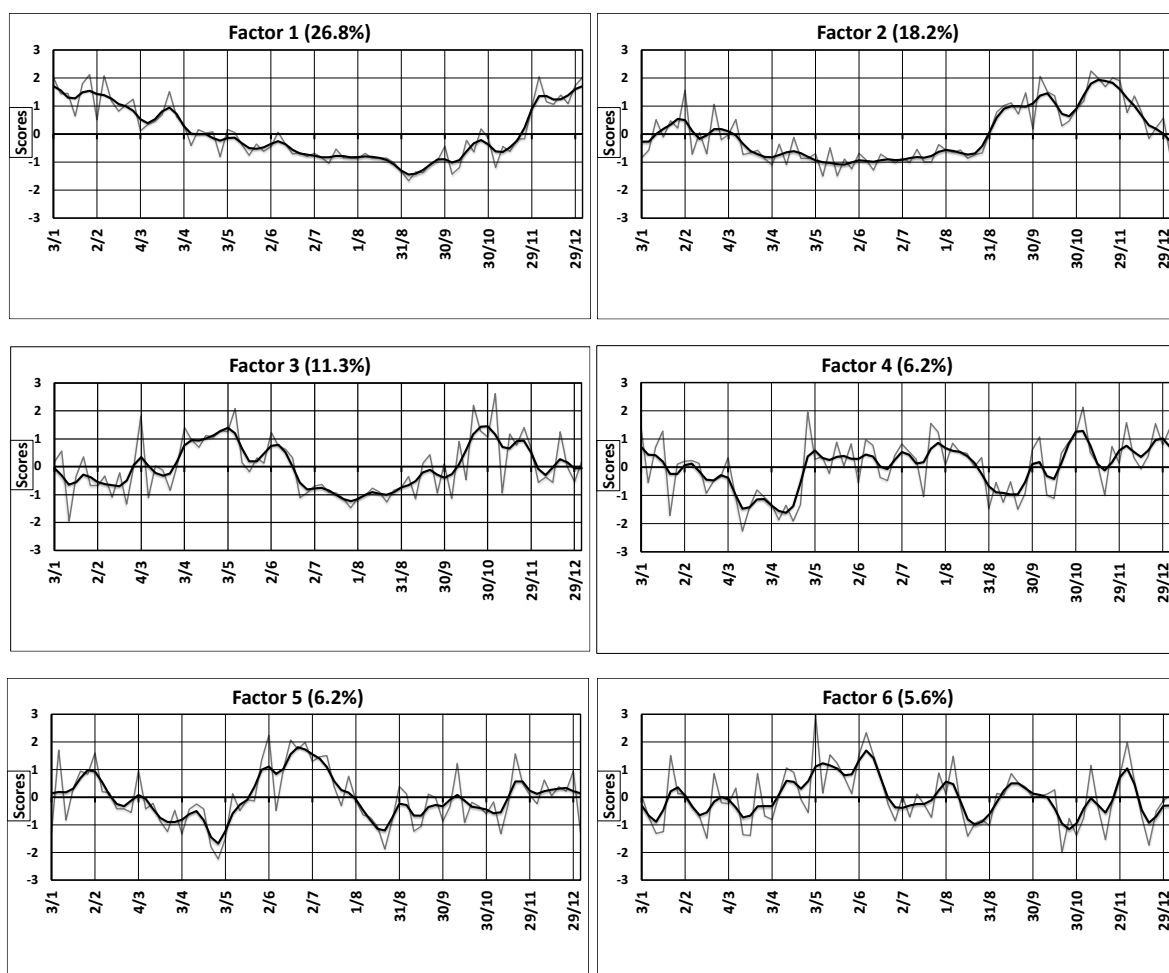
Ο τρίτος τύπος που περιγράφεται από τον παράγοντα 3 επικρατεί στην Ιβηρική ανατολική, κυρίως την ανατολική, χερσόνησο έως τη νότια Γαλλία συμπεριλαμβάνοντας και τα θαλάσσια τμήματα κοντά στα παράλια αυτών. Παρουσιάζει μέγιστες τιμές στις αρχές του Μαΐου και στα τέλη του Οκτωβρίου.

Ο τέταρτος παράγοντας είναι ένας ηπειρωτικός τύπος μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο που επικρατεί στο γεωγραφικό τμήμα που εκτείνεται από την κεντρική Γαλλία έως τη Γερμανία. Παρουσιάζει μέγιστο, όχι πολύ ξεκάθαρο, στις αρχές του Νοεμβρίου.

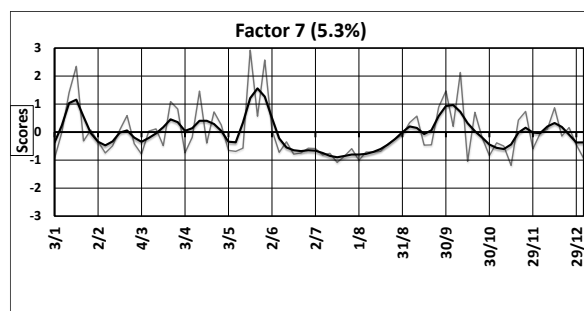
Ο πέμπτος τύπος που περιγράφεται από τον παράγοντα 5 είναι επίσης ένας ηπειρωτικός τύπος μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο που εκτείνεται βορειοδυτικά της Μαύρης θάλασσας, με το μέγιστο να παρουσιάζεται τους θερμούς μήνες περί τα τέλη του Ιουνίου. Ο έκτος παράγοντας είναι επίσης ένας ηπειρωτικός τύπος μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο που εκτείνεται στα κεντρικά βαλκάνια, με μέγιστο να παρουσιάζεται τους στις αρχές του θέρους. Ο τελευταίος και έβδομος στην σειρά τύπος που περιγράφεται από τον παράγοντα 7 είναι ένας ακόμη ηπειρωτικός τύπος μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης του ύψους του υετού ανά πενήνήμερο που εκτείνεται κεντρικά της Αλγερίας. Ο παράγοντας 7 όπως παρατηρούμε έχει ένα μέγιστο που εμφανίζεται περί τα μέσα του Μαΐου και δύο δευτερεύοντα ακόμη, ένα στα μέσα του Ιανουαρίου και το δεύτερο στις αρχές Οκτωβρίου.



Σχήμα 3.1 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους του νετού στην περιοχή της Μεσογείου.



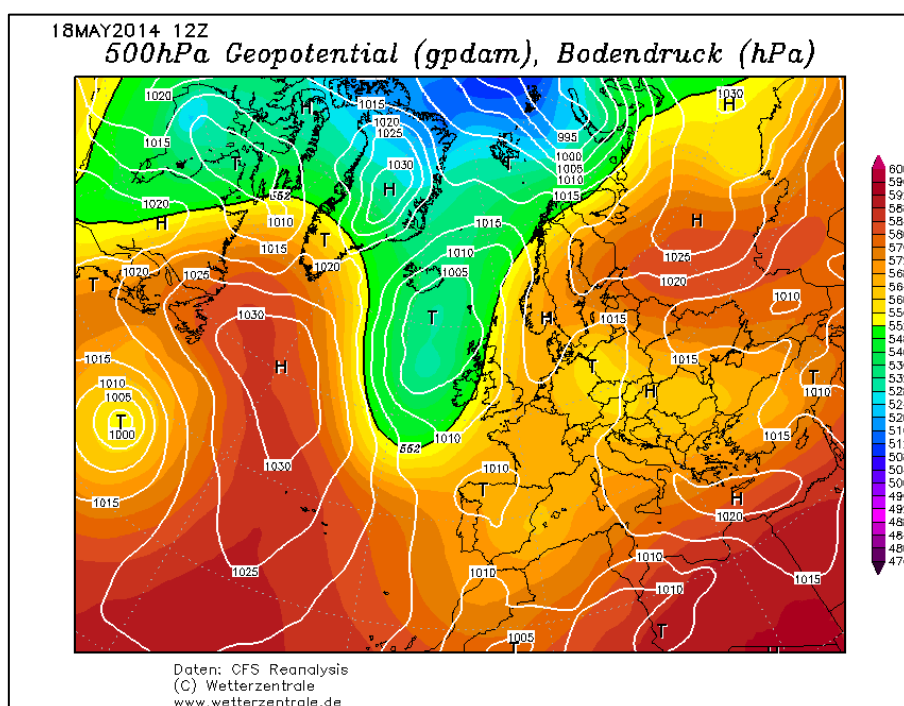
Σχήμα 3.2 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την ενδο-ετήσια διακύμανση των scores των 7 factors που προέκυψαν για τη μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους του νετού στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 τιμών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος.



Σχήμα 3.2 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)

Οφείλουμε να επισημάνουμε ότι στο διάγραμμα των scores του παράγοντα 7 (Σχήμα 3.2) είχαμε μία τιμή στο 4^ο πενθήμερο του Μαΐου, πολύ υψηλότερη από όλες τις υψηλότερες τιμές σε όλα τα υπόλοιπα διαγράμματα. Διερευνήθηκε το αίτιο της υψηλής μέσης τιμής πενθημέρου στα αρχικά δεδομένα, πριν γίνει η μεσοποίηση και παρατηρήθηκαν κάποιες πολύ υψηλές τιμές ύψους νετού (από 73mm/day έως 92mm/day), στα κεντρικά της Αλγερίας στις 18/05/2014.

Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνεται από τον χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa (Σχήμα 3.3). Παρατηρούμε μία έντονη κυκλωνική δραστηριότητα που εκτείνεται έως τη βορειοδυτική Αφρική, που συνοδεύονται από χαμηλά βαρομετρικά στην επιφάνεια.



Σχήμα 3.3 Χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa στις 18 Μαΐου 2014 στις 12:00 UTC. (Πηγή: <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?jaar=2014&maand=5&dag=18&uur=1200&var=1&map=1&model=cfsr>)

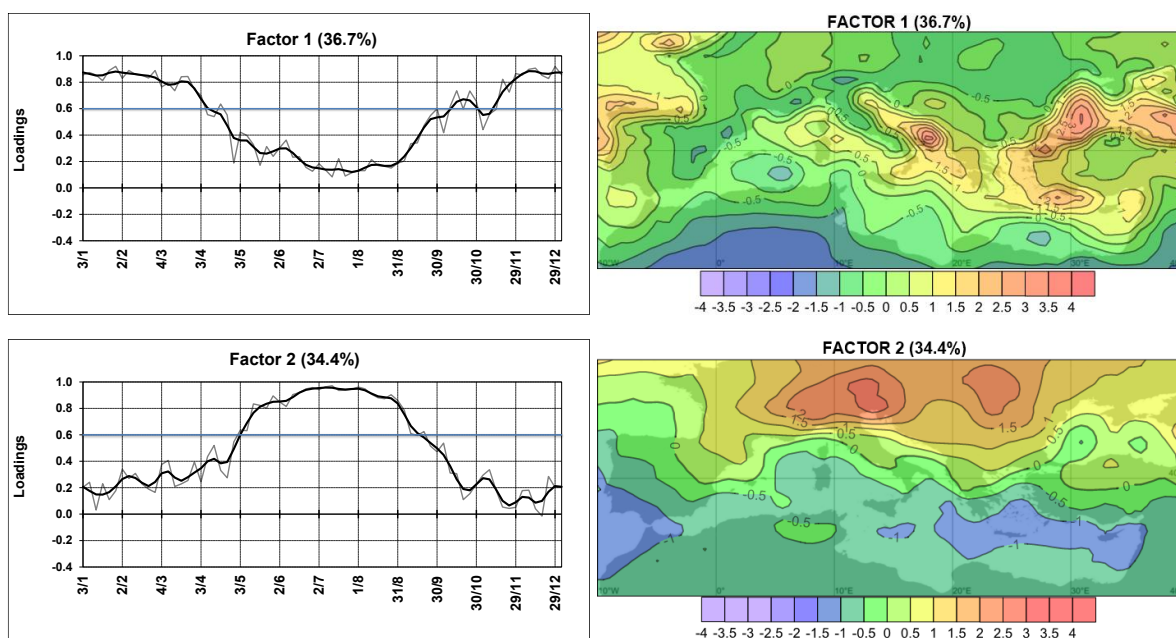
3.2 Μέση χωρική κατανομή του ύψους του νετού

Εν συνεχεία, μελετήθηκε η μέση χωρική κατανομή του ύψους του νετού. Κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης για την εύρεση των κύριων τύπων της μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του νετού καθώς και των διαστημάτων του έτους κατά τα οποία αυτές επικρατούν, προέκυψαν τρεις παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 86.7%, όπως παρατηρούμε από τους χάρτες (δεξιά) και από τα διαγράμματα των loadings (αριστερά) του Σχήματος 3.4.

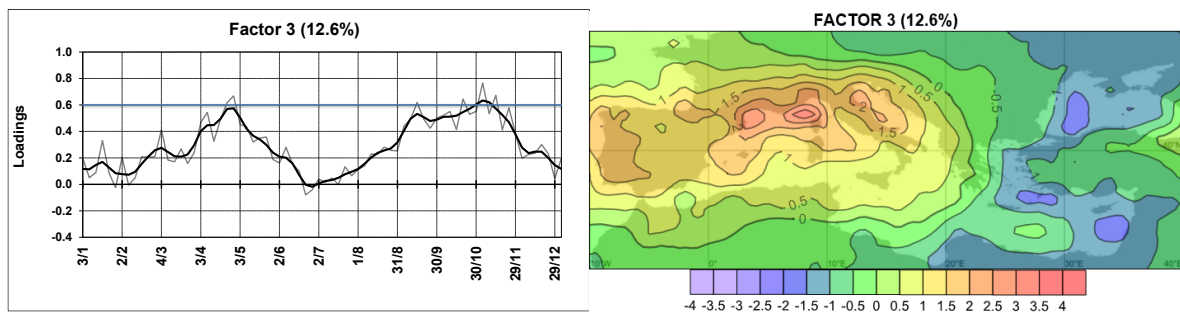
Για τον πρώτο τύπο που αντιστοιχεί στον παράγοντα 1, παρατηρείται στο χάρτη του Σχήματος 3.4, πως η μέση τιμή του ύψους του νετού παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές κυρίως στα βόρεια θαλάσσια τμήματα της Μεσογείου και τη Μαύρη Θάλασσα. Όπως παρατηρούμε από τις ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των loadings (αριστερά στο Σχήμα 3.4) ο πρώτος τύπος που περιγράφεται από τον παράγοντα 1 αντιστοιχεί κυρίως στη χειμερινή περίοδο από μέσα Νοεμβρίου έως αρχές Απριλίου, ενώ ένα δευτερεύον μέγιστο επικράτησης εμφανίζεται περί τα μέσα Οκτωβρίου.

Ο δεύτερος τύπος που περιγράφεται από τον παράγοντα 2 παρατηρούμε από τον χάρτη του Σχήματος 3.4, πως η μέση τιμή του ύψους του νετού παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στα βόρεια και ηπειρωτικά. Ο δεύτερος τύπος αντιστοιχεί στις χρονικές περιόδους (τιμές των loadings μεγαλύτερες από 0.6) από τις αρχές του Μαΐου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου, όπως παρατηρούμε από τις ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των loadings (αριστερά στο Σχήμα 3.4).

Στον τρίτο και τελευταίο τύπο που περιγράφεται από τον παράγοντα 3 παρατηρούμε πως η μέση τιμή του ύψους του νετού παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στο δυτικό τμήμα της Μεσογείου με μέγιστο στις περιοχές του κόλπου του Λέοντος και της Γένοβας. Ο τρίτος τύπος αντιστοιχεί οριακά (τιμές των loadings οριακά κοντά στο 0.6) στα τέλη του Απριλίου και τις αρχές του Νοεμβρίου, όπως παρατηρούμε από τις ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των loadings.



Σχήμα 3.4 Τύποι χωρικής κατανομής μέσου ύψους νετού. Στα αριστερά οι ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των loadings. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 τιμών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος. Στα δεξιά οι χάρτες που παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή των factor scores.



Σχήμα 3.4 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)

3.3 Διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού ανά δίμηνο για την περίοδο 1997-2021

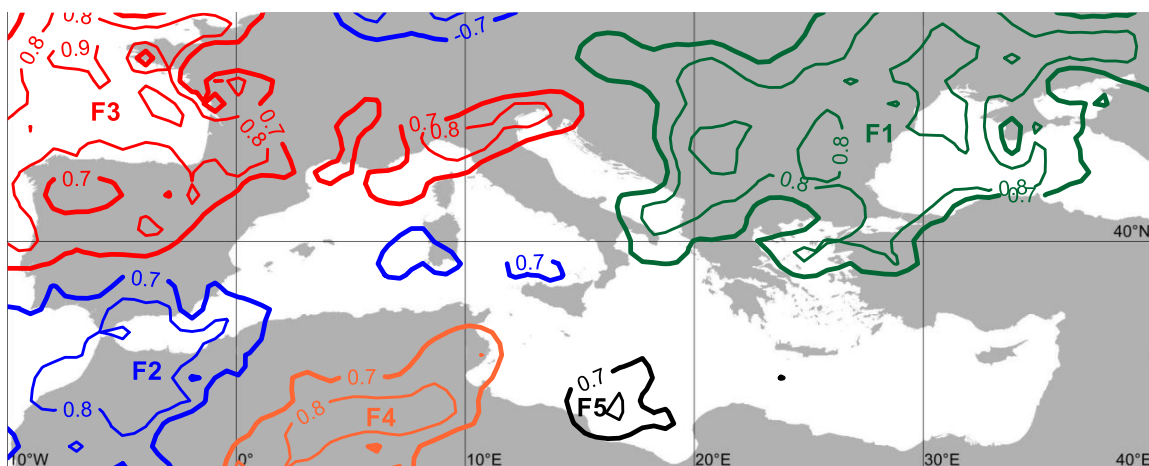
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού ανά δίμηνο για την περίοδο 1997-2021. Μέσω της Παραγοντικής Ανάλυσης που εφαρμόστηκε παρακάτω παρατίθενται για το εκάστοτε δίμηνο ο χάρτης με τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) και κάτω από αυτόν τα διαγράμματα της διαχρονικής διακύμανσης των scores των factors που προέκυψαν. Στα τελευταία εμφανίζονται, εκτός από τις έντονες καμπύλες οι οποίες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 τιμών με συντελεστές τα βάρη του διωνυμικού αναπτύγματος, οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% που προέκυψαν μέσω του τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου

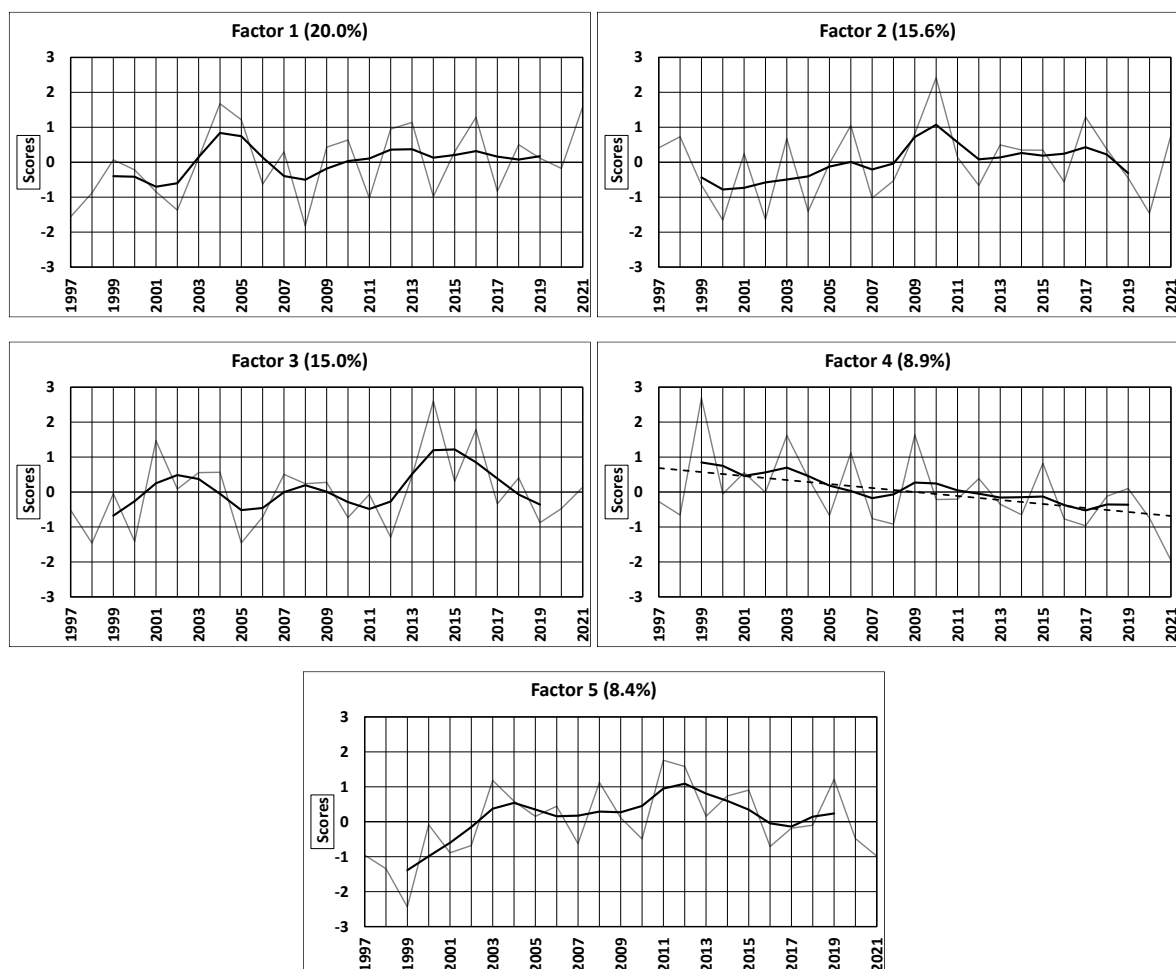
Για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου, προέκυψαν 5 παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 67.9%. Παρακάτω ακολουθεί στο Σχήμα 3.5 ο χάρτης χωρικής κατανομής των loadings όπου φαίνεται που αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας στην περιοχή της Μεσογείου.

Ειδικότερα ο παράγοντας 1 επικρατεί σε ένα μεγάλο τμήμα που περιλαμβάνει τα Βαλκάνια, τη Βόρεια Ελλάδα και τη βόρεια Τουρκία έως νοτιοανατολικά της Ρωσίας. Ο παράγοντας 2 επικρατεί κυρίως από τη βορειοδυτική Αφρική έως τη νότια Ιβηρική. Ακόμα επικρατεί νότια της Σαρδηνίας και στην κεντρική Γερμανία. Συνεχίζοντας, ο παράγον 3 επικρατεί στη βορειοδυτική Ιβηρική Χερσόνησο και στη δυτική και νότια Γαλλία. Ταυτόχρονα εκτείνεται στη βόρεια Ιταλία και τη Σλοβενία. Όσον αφορά τον παράγοντα 4, αυτός κυρίως επικρατεί στην κεντρική Αλγερία και σχεδόν εξ ολοκλήρου την Τυνησία. Τελειώνοντας, ο παράγοντας 5 επικρατεί στο θαλάσσιο τμήμα βόρεια της Λιβύης.

Επίσης, στο Σχήμα 3.6 έχουμε τα διαγράμματα με τη διαχρονική διακύμανση του κάθε παράγοντα στα 25 έτη μελέτης. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα των scores του Σχήματος 3.6 οι παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντικά τάση, με εξαίρεση τον παράγοντα 4 ο οποίος εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης για την περίοδο 1997-2021.



Σχήμα 3.5 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου στην περιοχή της Μεσογείου (με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι ισοπληθείς των loadings του παράγοντα 2, ενώ με κόκκινο του παράγοντα 3).



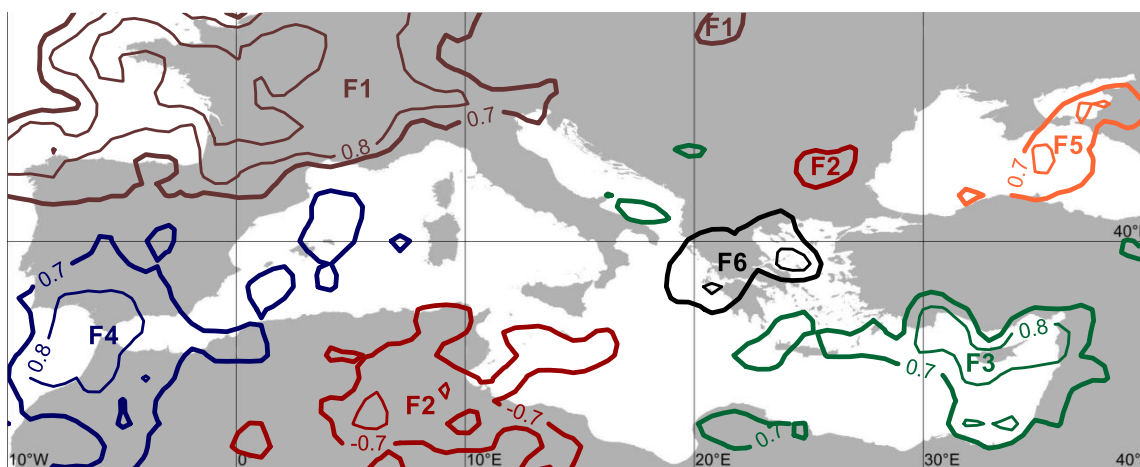
Σχήμα 3.6 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση των scores των 5 factors που προέκυψαν για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 ετών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου

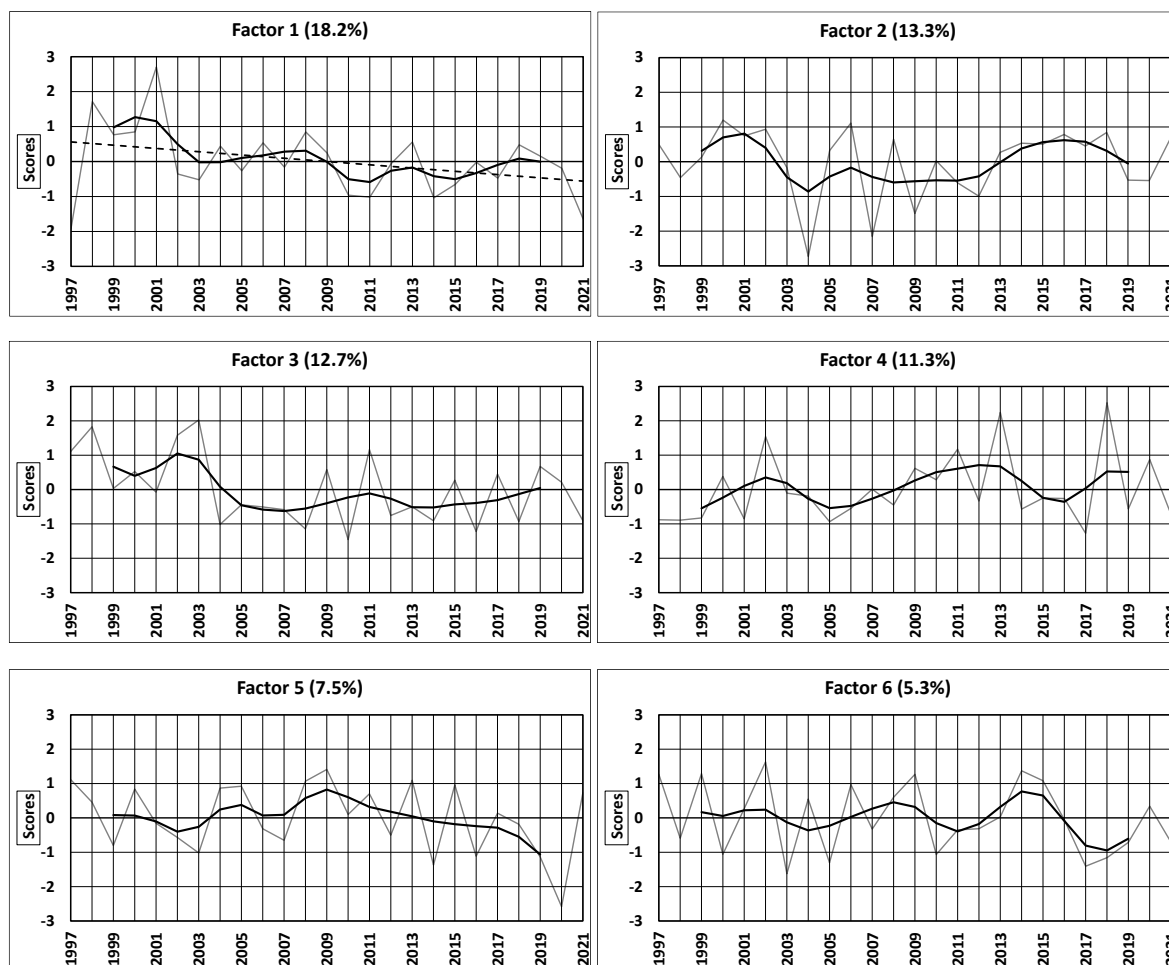
Για το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου, προέκυψαν 6 παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 68.3%. Παρακάτω ακολουθεί στο Σχήμα 3.7 ο χάρτης χωρικής κατανομής των loadings όπου φαίνεται που αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας στην περιοχή της Μεσογείου.

Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας 1 καταλαμβάνει ένα μεγάλο τμήμα που περιλαμβάνει τη βόρεια Ιβηρική και από τη Γαλλία έως την Αυστρία. Ο παράγοντας 2 υφίσταται κυρίως από την ανατολική Αλγερία, έως τη δυτική Λιβύη, συμπεριλαμβάνοντας και το θαλάσσιο τμήμα ανατολικά της Τυνησίας. Εν συνεχεία ο παράγοντας 3, επικρατεί κυρίως στα θαλάσσια τμήματα δυτικά της Συρίας, μαζί με την Κύπρο, έως την Κρήτη. Ταυτόχρονα εκτείνεται στη βορειοδυτική Αίγυπτο. Όσον αφορά τον παράγοντα 4, αυτός περιλαμβάνει κυρίως την περιοχή από τη βορειοδυτική Αφρική έως τη νότια Ιβηρική, καθώς και τα θαλάσσια τμήματα ανατολικά της Ιβηρικής. Ο παράγοντας 5 επικρατεί στο θαλάσσιο τμήμα ανατολικά της Μαύρης Θάλασσας, μαζί με το νότιο τμήμα της θάλασσας του Αζόφ, καθώς και ένα ηπειρωτικό τμήμα της νοτιοδυτικής Ρωσίας. Ολοκληρώνοντας, ο παράγοντας 6, περιλαμβάνει την κεντρική Ελλάδα, το νότιο Ιόνιο και το βορειοδυτικό Αιγαίο.

Επίσης, στο Σχήμα 3.7 έχουμε τα διαγράμματα με τη διαχρονική διακύμανση του κάθε παράγοντα στα 25 έτη μελέτης. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα των scores του Σχήματος 3.8 οι παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντικά τάση, με εξαίρεση τον παράγοντα 1 ο οποίος εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική τάσης μείωσης στην χρονοσειρά μελέτης 1997-2021 που έχουμε.



Σχήμα 3.7 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου στην περιοχή της Μεσογείου (με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι ισοπληθείς των loadings του παράγοντα 2, με πράσινο χρώμα του παράγοντα 3, ενώ με μπλε του παράγοντα 4) .



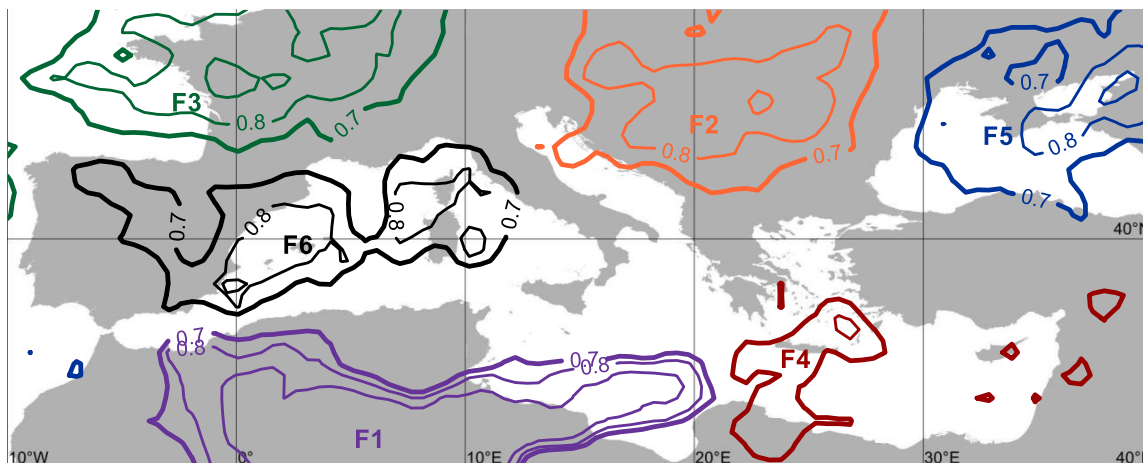
Σχήμα 3.8 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση των scores των 6 factors που προέκυψαν για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 ετών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου

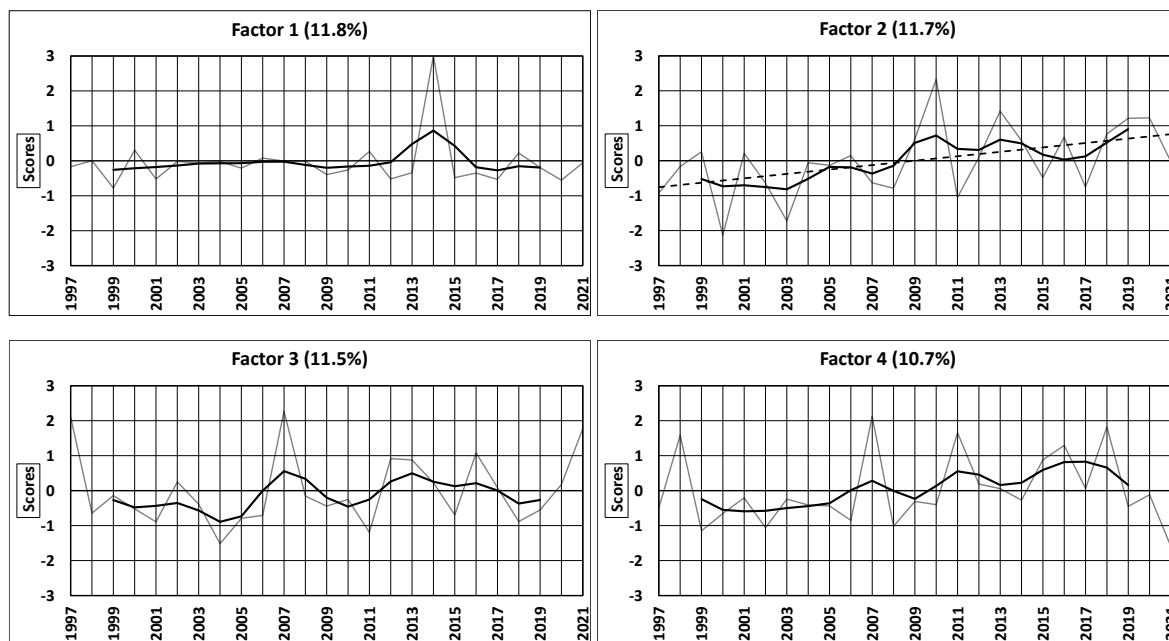
Για το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου, προέκυψαν 6 παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 65.1%. Παρακάτω ακολουθεί στο Σχήμα 3.9 ο χάρτης χωρικής κατανομής των loadings όπου φαίνονται οι περιοχές στις οποίες αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας στην περιοχή της Μεσογείου.

Καθώς αναλύουμε τον παρακάτω χάρτη χωρικής κατανομής των loadings του Σχήματος 3.9, παρατηρούμε ότι ο παράγοντας 1 καταλαμβάνει ένα μεγάλο τμήμα που περιλαμβάνει την περιοχή από το βορειοανατολικό Μαρόκο και την κεντρική Αλγερία έως τη δυτική Λιβύη, καθώς και το θαλάσσιο τμήμα βόρεια αυτής. Ο παράγοντας 2 εκτείνεται από τα βόρεια Βαλκάνια, έως την Πολωνία. Εν συνεχεία ο παράγοντας 3, επικρατεί στα ηπειρωτικά και στα δυτικά θαλάσσια τμήματα της Γαλλίας φθάνοντας προς ανατολάς έως τη δυτική Γερμανία. Όσον αφορά τον παράγοντα 4, αυτός υφίσταται κυρίως από βορειοανατολικά της Κρήτης έως τη Βόρεια Αίγυπτο. Ο παράγοντας 5 επικρατεί στο μεγαλύτερο θαλάσσιο τμήμα της Μαύρης Θάλασσας (μαζί με τη θάλασσα του Αζόφ) καθώς και σε ένα ηπειρωτικό τμήμα βόρεια και ανατολικά της Μαύρης Θάλασσας. Ολοκληρώνοντας, ο παράγοντας 6, περιλαμβάνει το τμήμα που εκτείνεται από την κεντρική Ιβηρική έως ανατολικά της Τοσκάνης.

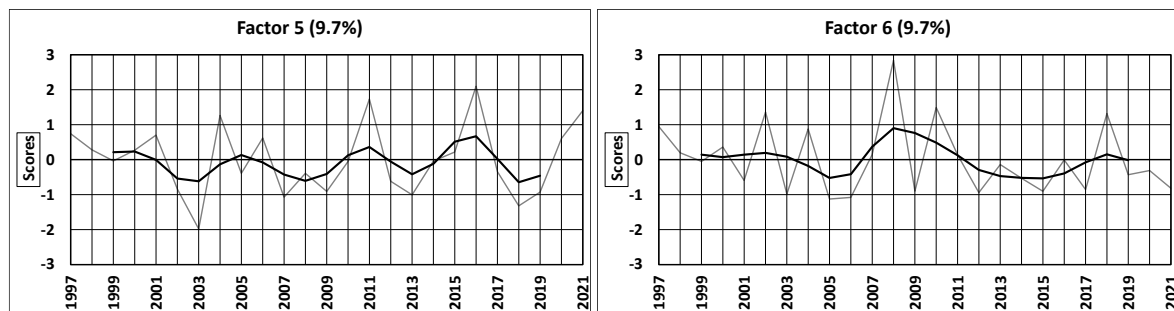
Ακόμη, στο Σχήμα 3.10 έχουμε τα διαγράμματα με τη διαχρονική διακύμανση του κάθε παράγοντα στα 25 έτη μελέτης. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα των scores του Σχήματος 3.10 οι παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντική τάση, με εξαίρεση τον παράγοντα 2 ο οποίος εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική αυξητική τάση στην χρονοσειρά 1997-2021.



Σχήμα 3.9 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου στην περιοχή της Μεσογείου (με σκούρο κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι ισοπληθείς των loadings του παράγοντα 4, ενώ με μπλε του παράγοντα 5).



Σχήμα 3.10 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση των scores των 6 factors που προέκυψαν για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 ετών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.



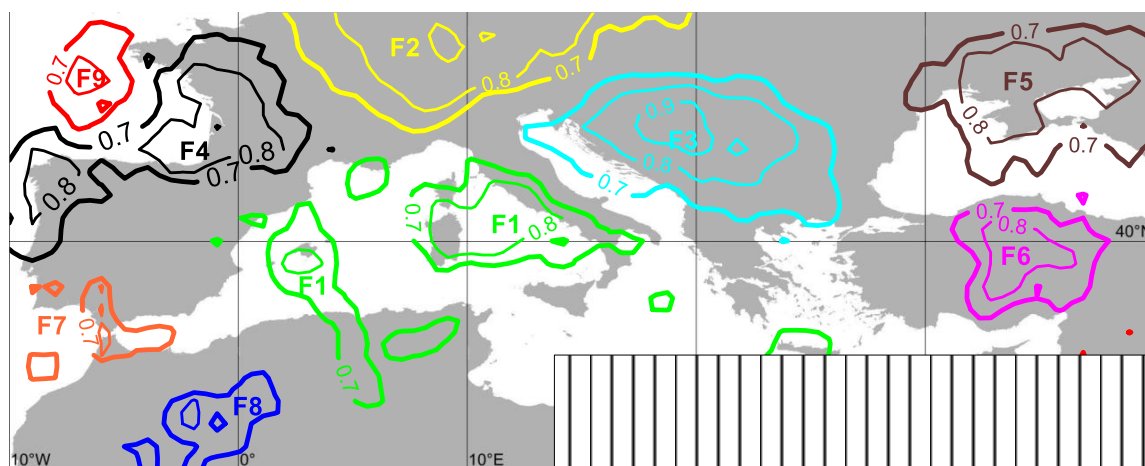
Σχήμα 3.10 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)

Δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου

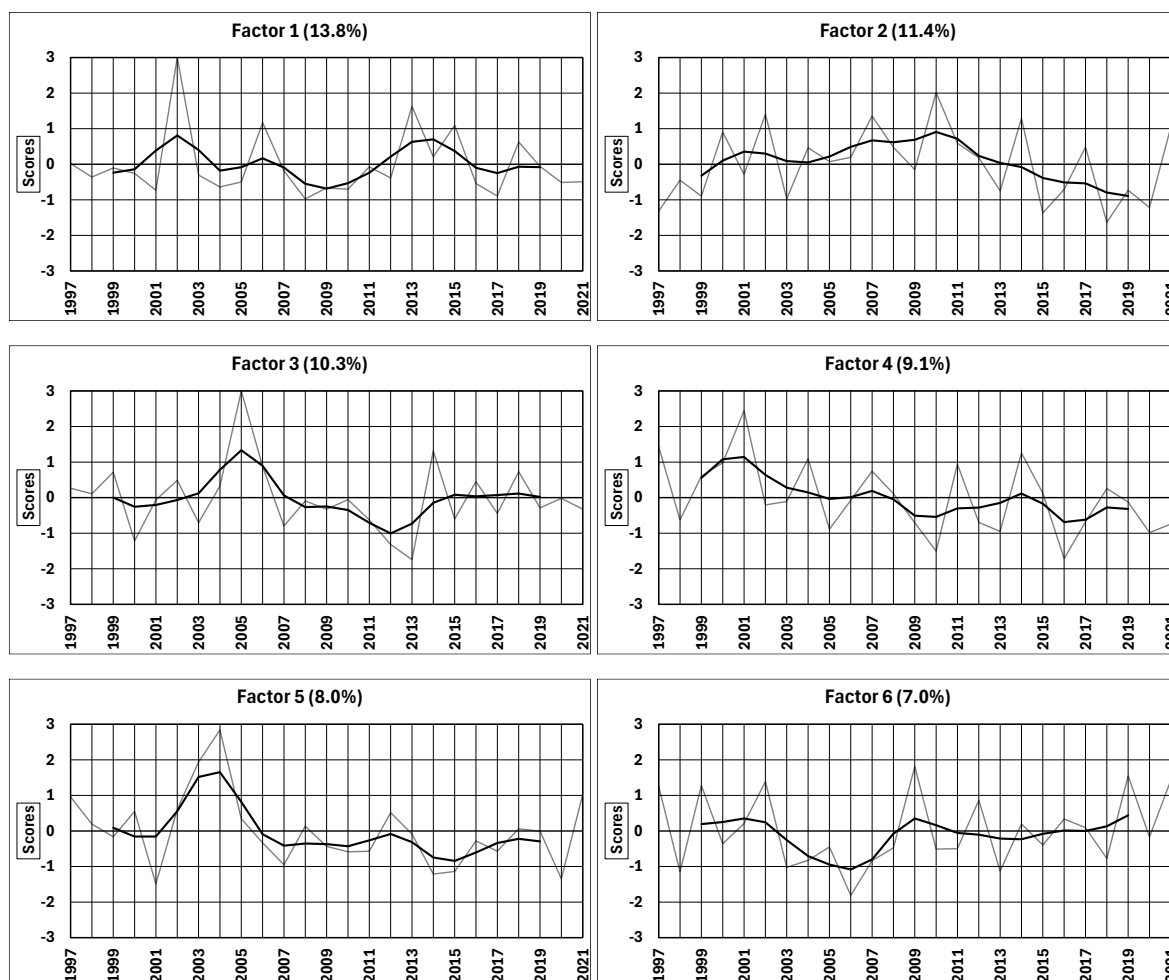
Για το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου, προέκυψαν 9 παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 77.8%. Παρακάτω, ακολουθεί στο Σχήμα 3.11 ο χάρτης χωρικής κατανομής των loadings όπου φαίνεται που αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας στην περιοχή της Μεσογείου. Οφείλουμε να σημειώσουμε ότι στον χάρτη του Σχήματος 3.11 έχουμε μια περιοχή που έχει απορριφθεί από τη μελέτη. Αυτό έχει συμβεί διότι στην περιοχή που απορρίψαμε είχαμε πολλά πλεγματικά σημεία με πάνω από 5 μηδενικές τιμές στην χρονοσειρά των 25 ετών με αποτέλεσμα να μην είναι δόκιμη η εφαρμογή τις μεθόδου για τις αντίστοιχες χρονοσειρές.

Στο χάρτη χωρικής κατανομής των loadings του Σχήματος 3.11, παρατηρούμε ότι ο παράγοντας 1 καταλαμβάνει θαλάσσια τμήματα μεταξύ Ιταλίας (Τυρρηνική Θάλασσα), Ιβηρικής Χερσονήσου και Αλγερίας. Επίσης ο ίδιος παράγοντας καταλαμβάνει και ηπειρωτικά τμήματα της βόρειας Αλγερίας, καθώς και την Κρήτη. Ο παράγοντας 2 εκτείνεται στην κεντρική Ευρώπη. Εν συνεχεία ο παράγοντας 3, επικρατεί κυρίως στα Βαλκάνια και τη βόρεια Ελλάδα έως και τα θαλάσσια τμήματα ανατολικά της Ιταλίας. Όσον αφορά τον παράγοντα 4, αυτός επικρατεί στη δυτική Γαλλία και στη βορειοδυτική Ιβηρική, καθώς και στον νότιο και ανατολικό Βискаϊκό Κόλπο. Ο παράγοντας 5 επικρατεί βόρεια της Μαύρης Θάλασσας. Επίσης, ο παράγοντας 6 ως ηπειρωτικός παράγοντας περιλαμβάνει την ανατολική Τουρκία, ενώ ο παράγοντας 7 αντιστοιχεί στην περιοχή μεταξύ Ιβηρικής και βορειοδυτικής Αφρικής (Στενό του Γιβραλτάρ). Τελειώνοντας, ο παράγοντας 8 περιλαμβάνει την περιοχή από το ανατολικό Μαρόκο έως το δυτικό άκρο της Αλγερίας, ενώ ο παράγοντας 9 τη θαλάσσια περιοχή βόρεια του Βискаϊκού Κόλπου.

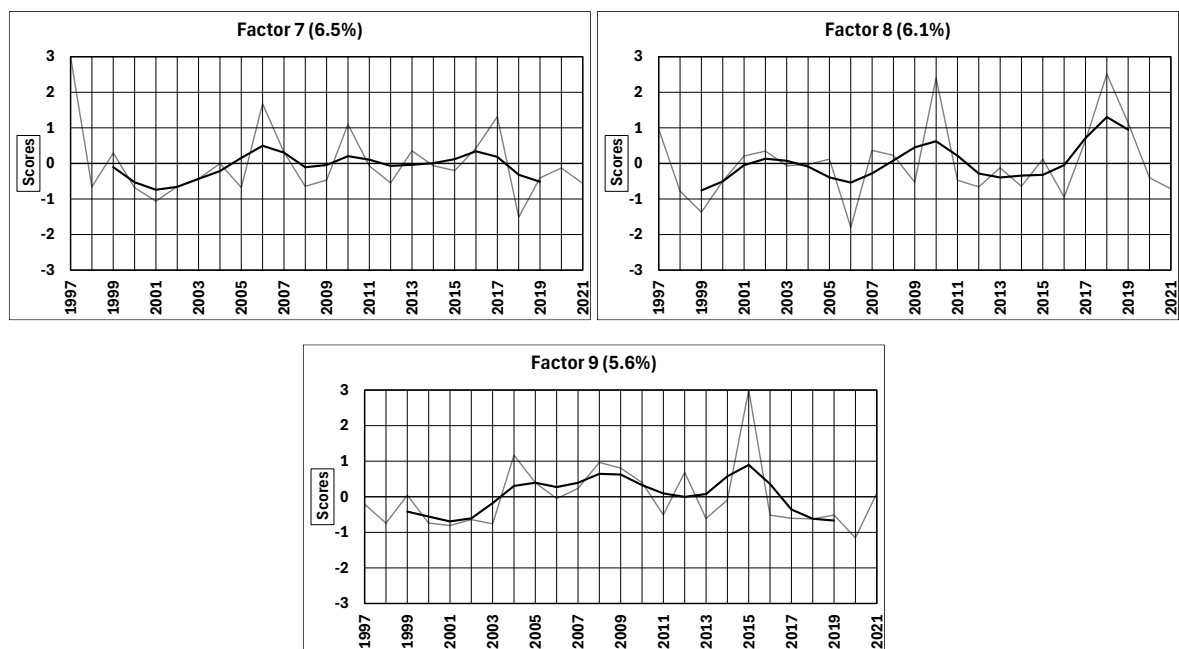
Τέλος, στο Σχήμα 3.12 έχουμε τα διαγράμματα με τη διαχρονική διακύμανση του κάθε παράγοντα στα 25 έτη μελέτης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.12 όλοι οι παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντικά τάση, για την περίοδο 1997-2021.



Σχήμα 3.11 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου στην περιοχή της Μεσογείου (με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι ισοπληθείς των loadings του παράγοντα 1). Το γραμμοσκιασμένο ορθογώνιο είναι η περιοχή που δεν έχει ληφθεί υπόψιν στη μελέτη.



Σχήμα 3.12 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση των scores των 9 factors που προέκυψαν για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 ετών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος.



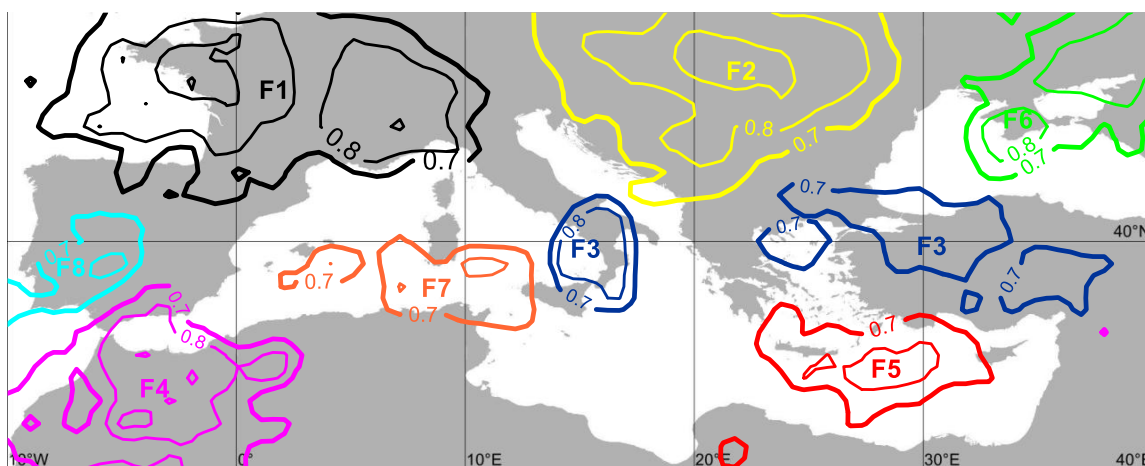
Σχήμα 3.12 (Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα)

Δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου

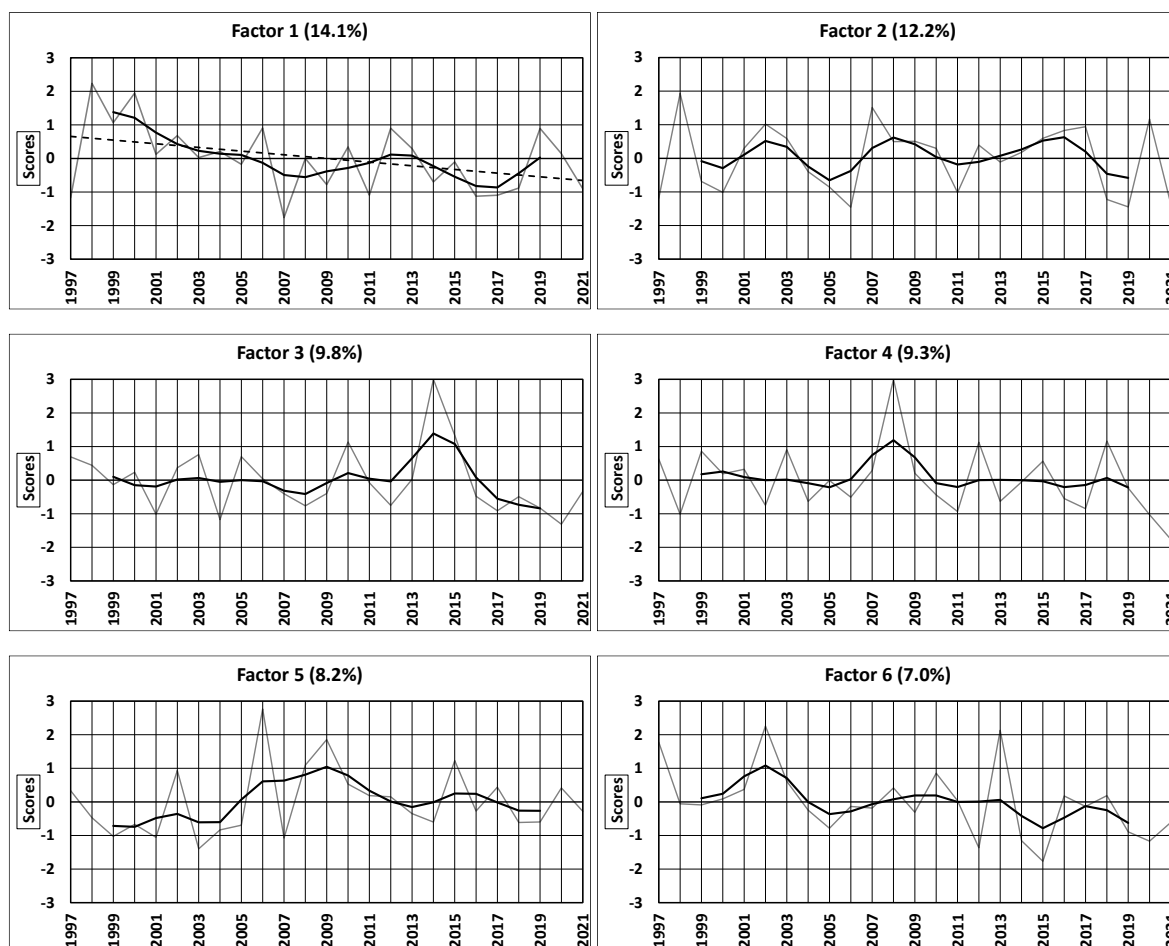
Για το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου, προέκυψαν 8 παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 74.3%. Ακολουθεί στο Σχήμα 3.13 ο χάρτης χωρικής κατανομής των loadings, όπου φαίνεται σε ποια υποπεριοχή αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Ειδικότερα ο παράγοντας 1 εκτείνεται από τον Βισκαϊκό Κόλπο έως βορειοδυτικά της Ιταλίας. Ο παράγοντας 2 εντοπίζεται στα Βαλκάνια. Εν συνέχεια ο παράγοντας 3, επικρατεί στη νότια Ιταλία, στο βόρειο Αιγαίο, στη Θράκη, στη Θάλασσα του Μαρμαρά, αλλά και στη βόρεια και ανατολική Τουρκία. Όσον αφορά τον παράγοντα 4, αυτός υφίσταται στη βορειοδυτική Αφρική. Ο παράγοντας 5 επικρατεί στα θαλάσσια τμήματα από το νότιο Αιγαίο έως δυτικά της Κύπρου, συμπεριλαμβάνοντας και την Κρήτη. Επίσης, ο παράγοντας 6 περιλαμβάνει τη θάλασσα του Αζόφ και την περιοχή της Ρωσίας βορειοανατολικά αυτής, ενώ ο παράγοντας 7 εκτείνεται σε θαλάσσια τμήματα από τον Κόλπο της Σικελίας έως βόρεια της Αλγερίας. Τελειώνοντας ο παράγοντας 8 αντιστοιχεί στη νοτιοδυτική Ιβηρική.

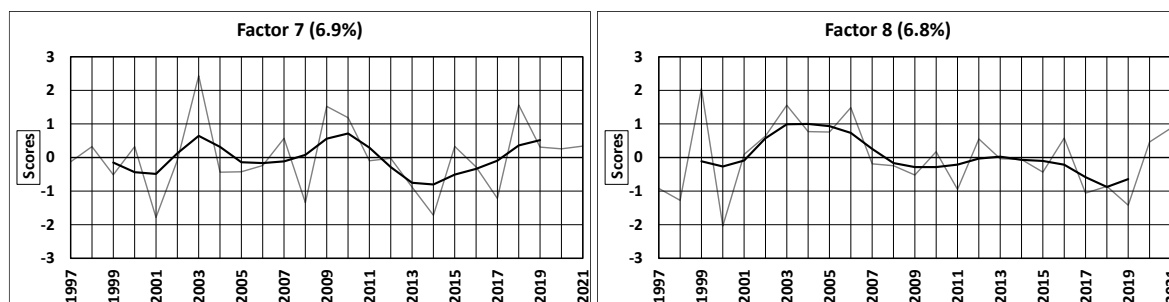
Επίσης στο Σχήμα 3.14 έχουμε τα διαγράμματα με τη διαχρονική διακύμανση του κάθε παράγοντα στα 25 έτη μελέτης. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα του Σχήματος 3.14, οι παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντικά τάση, με εξαίρεση τον παράγοντα 1 ο οποίος εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική πτωτική τάση στην χρονοσειρά 1997-2021.



Σχήμα 3.13 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου στην λεκάνη της Μεσογείου (με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι ισοπληθείς του παράγοντα 3, ενώ με κόκκινο του παράγοντα 5).



Σχήμα 3.14 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση των scores των 8 factors που προέκυψαν για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 ετών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.



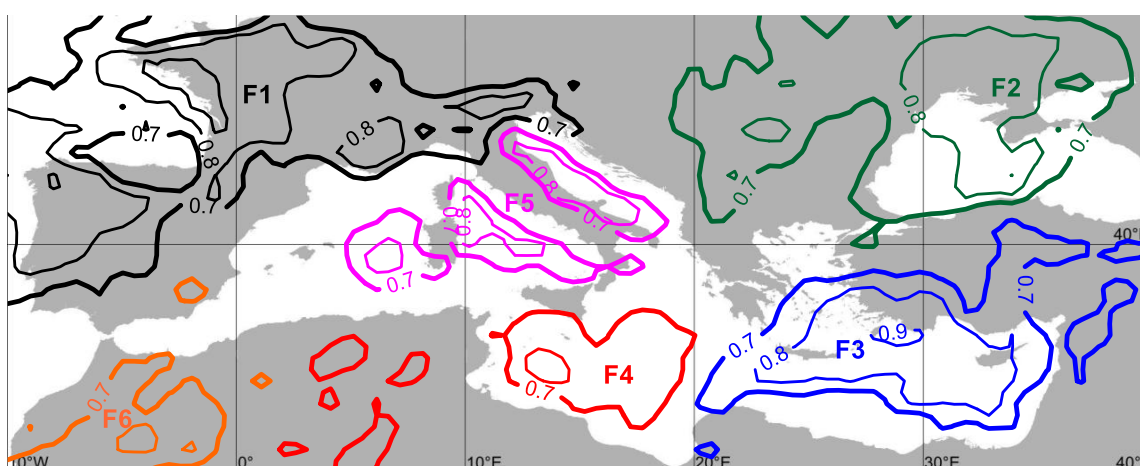
Σχήμα 3.14 (Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα)

Δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου

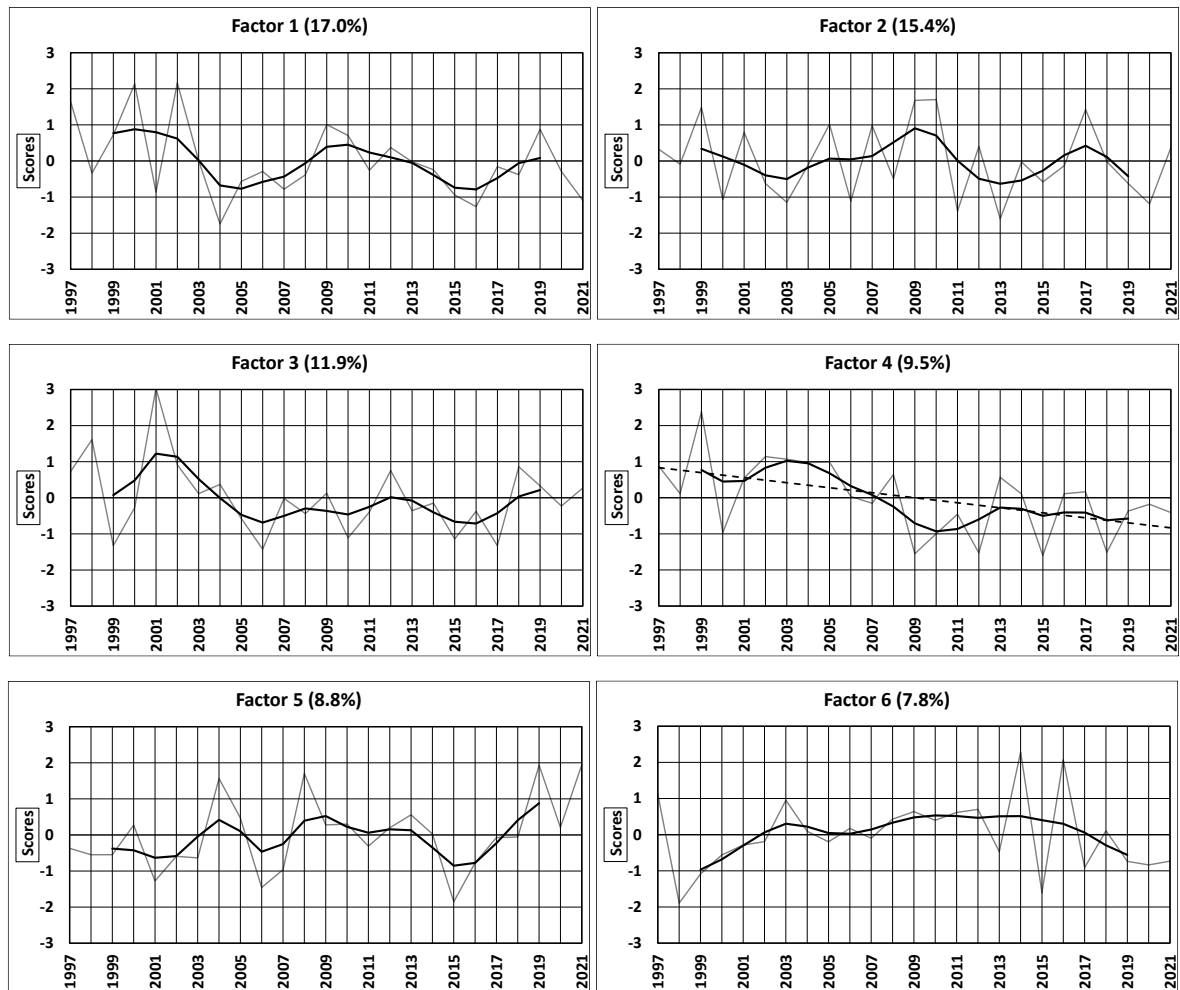
Για το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου, προέκυψαν 6 παράγοντες με αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης 70.4%. Παρακάτω ακολουθεί στο Σχήμα 3.15 ο χάρτης χωρικής κατανομής των loadings όπου φαίνεται που αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας στην περιοχή της Μεσογείου.

Μελετώντας τον παρακάτω χάρτη χωρικής κατανομής των loadings του Σχήματος 3.15, παρατηρούμε ότι ο παράγοντας 1 καταλαμβάνει τη δυτική Ιβηρική και τον Βισκαϊκό Κόλπο. Επίσης ο ίδιος παράγοντας καταλαμβάνει από τη Γαλλία έως την Αυστρία. Ο παράγοντας 2 εκτείνεται από τα Βαλκάνια έως την Ουκρανία, αλλά και τη θάλασσα του Αζόφ, όπως και τη δυτική Μαύρη Θάλασσα. Εν συνεχεία ο παράγοντας 3, επικρατεί στο θαλάσσιο τμήμα μεταξύ Ελλάδας, Λιβύης και Συρίας. Ακόμα περιλαμβάνει τη νότια και ανατολική Τουρκία, αλλά και τμήματα της Συρίας. Όσον αφορά τον παράγοντα 4, αυτός υφίσταται στο θαλάσσιο τμήμα νότια της Σικελίας, αλλά και σε ηπειρωτικά τμήματα της βόρειας Αλγερίας. Επιπροσθέτως ο παράγοντας 5 εκτείνεται από το θαλάσσιο τμήμα ανατολικά της Ιταλίας έως ανατολικά της Σαρδηνίας. Ολοκληρώνοντας ο παράγοντας 6 αντιστοιχεί στην περιοχή του Μαρόκο.

Επίσης, στο Σχήμα 3.16 παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τη διαχρονική διακύμανση του κάθε παράγοντα στα 25 έτη μελέτης. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα του Σχήματος 3.16, οι παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντικά τάση, με εξαίρεση τον παράγοντα 4 ο οποίος εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική πτωτική τάση για την περίοδο 1997-2021.



Σχήμα 3.15 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη μέση διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου στην περιοχή της Μεσογείου (με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι ισοπληθείς του παράγοντα 3, με κόκκινο του παράγοντα 4, ενώ με πορτοκαλί του παράγοντα 6).



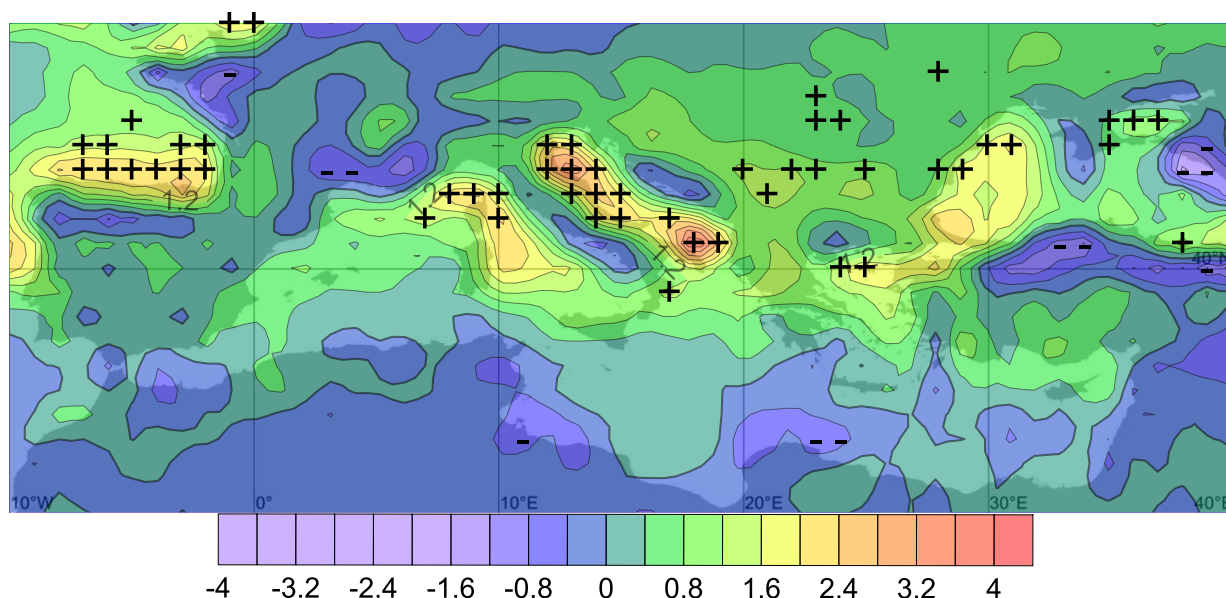
Σχήμα 3.16 Διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση των scores των 6 factors που προέκυψαν για τη διαχρονική διακύμανση του ύψους του νετού κατά το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από κινητούς μέσους όρους 5 ετών με βάρη τους συντελεστές του διωνυμικού αναπτύγματος. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

3.4 Χωρική κατανομή γραμμικών τάσεων του ύψους του νετού, ανά δίμηνο για την περίοδο 1997-2021

Στη χωρική κατανομή γραμμικών τάσεων νετού ανά δίμηνο, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις και στα 6 δίμηνα, που προέκυψαν από την εφαρμογή του τεστ Mann-Kendall, με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (Σχήματα 3.17 έως 3.22).

Δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου

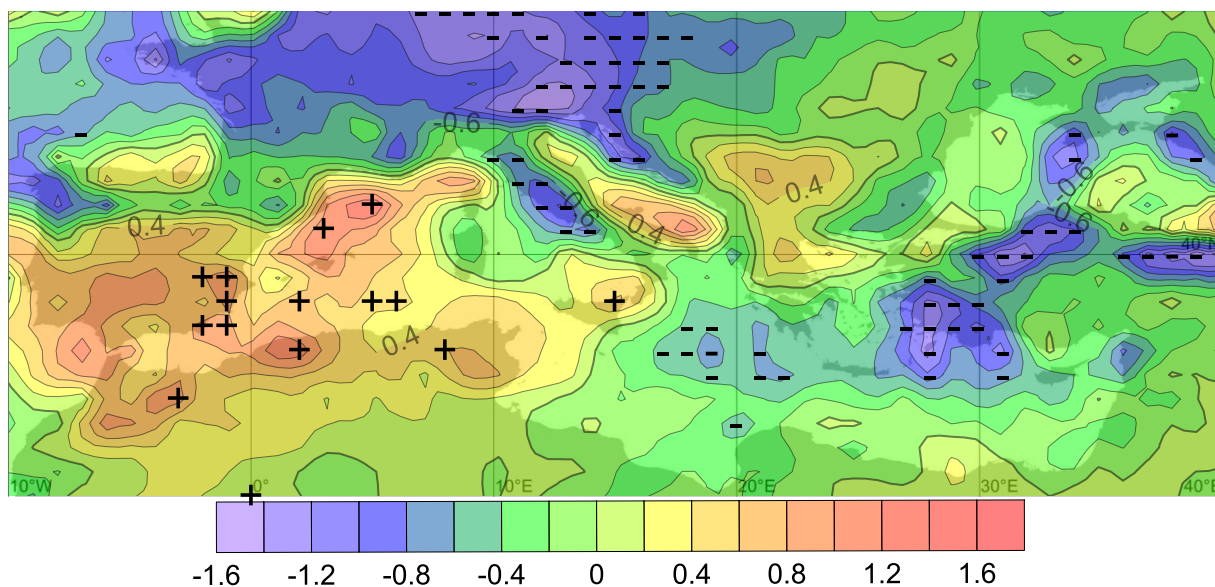
Η χωρική κατανομή των τάσεων για το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου στην περίοδο 1997-2021 φαίνεται στο Σχήμα 3.17. Συγκεκριμένα, μερικές (οι πιο ισχυρές) από τις περιπτώσεις στατιστικά σημαντικών τάσεων για το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου που βρέθηκαν στην χρονοσειρά 1997-2021 είναι η αύξηση του ύψους του νετού στο θαλάσσιο τμήμα βόρεια της Ιβηρικής (Βισκαϊκό Κόλπο). Επίσης, αύξηση παρατηρήθηκε στην βορειοανατολική Ιταλία και στην Αδριατική Θάλασσα, κάτι που συνδέεται με την υψηλή κυκλωνική δραστηριότητα πάνω από την Ιταλία, όπως παρατηρήθηκε από τον Lolis (2010) στους χειμερινούς μήνες από τον Δεκέμβριο έως Ιανουάριο στην χρονοσειρά 1950-2009.



Σχήμα 3.17 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των γραμμικών τάσεων του μέσου ημερήσιου ύψους του νετού (mm/day) για την περίοδο 1997-2021 κατά το δίμηνο Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου στην περιοχή της Μεσογείου. Με (+) και (-) εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις (mm/day) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με το τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου

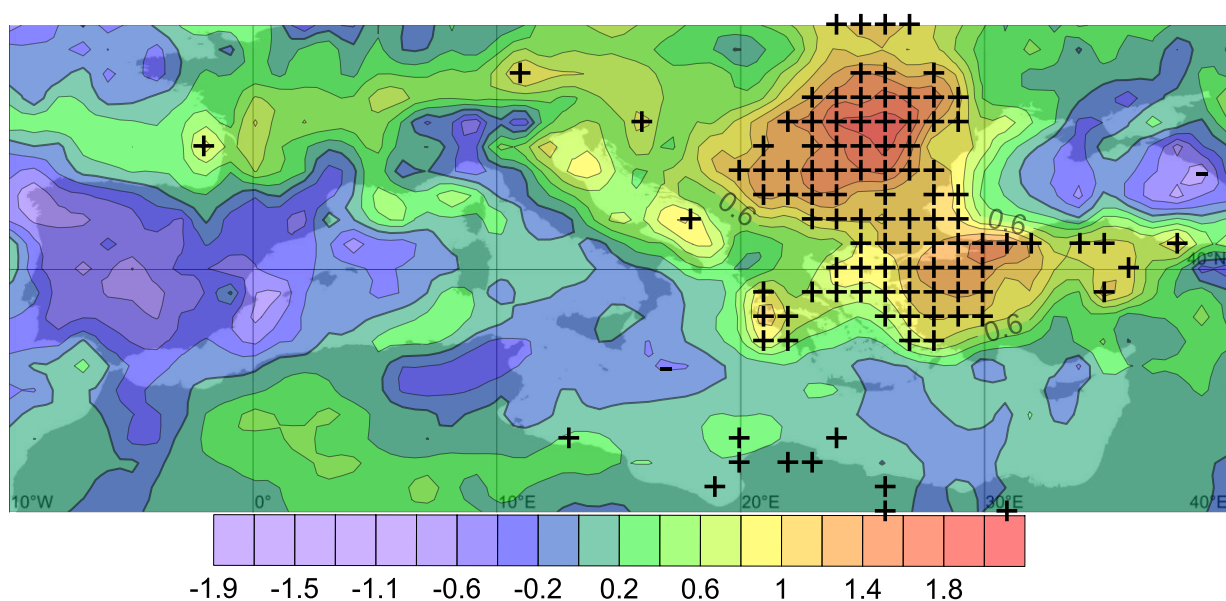
Η χωρική κατανομή των τάσεων για το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου την περίοδο 1997-2021 φαίνεται στο Σχήμα 3.18. Ειδικότερα, μερικές από τις περιπτώσεις στατιστικών σημαντικών τάσεων για το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου που βρέθηκαν στην χρονοσειρά 1997-2021 είναι η μείωση του ύψους νετού στην κεντρική Ευρώπη, βόρεια και νοτιοδυτικά της Τουρκίας. Επιπλέον, σημειώθηκε μείωση του ύψους στην ανατολική Τουρκία και αύξηση νοτιοανατολικά της Ιβηρικής. Αυτή η τάση μείωσης του ύψους του νετού, γενικότερα στη νότια περιοχή του Αιγαίου στο δίμηνο αυτό παρατηρήθηκε επίσης κατά την περίοδο της άνοιξης στην χρονοσειρά 1951-2007 από τον Lolis (2012).



Σχήμα 3.18 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των γραμμικών τάσεων του μέσου ημερήσιου ύψους του νετού (mm/day) για την περίοδο 1997-2021 κατά το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου στην περιοχή της Μεσογείου. Με (+) και (-) εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις (mm/day) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με το τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου

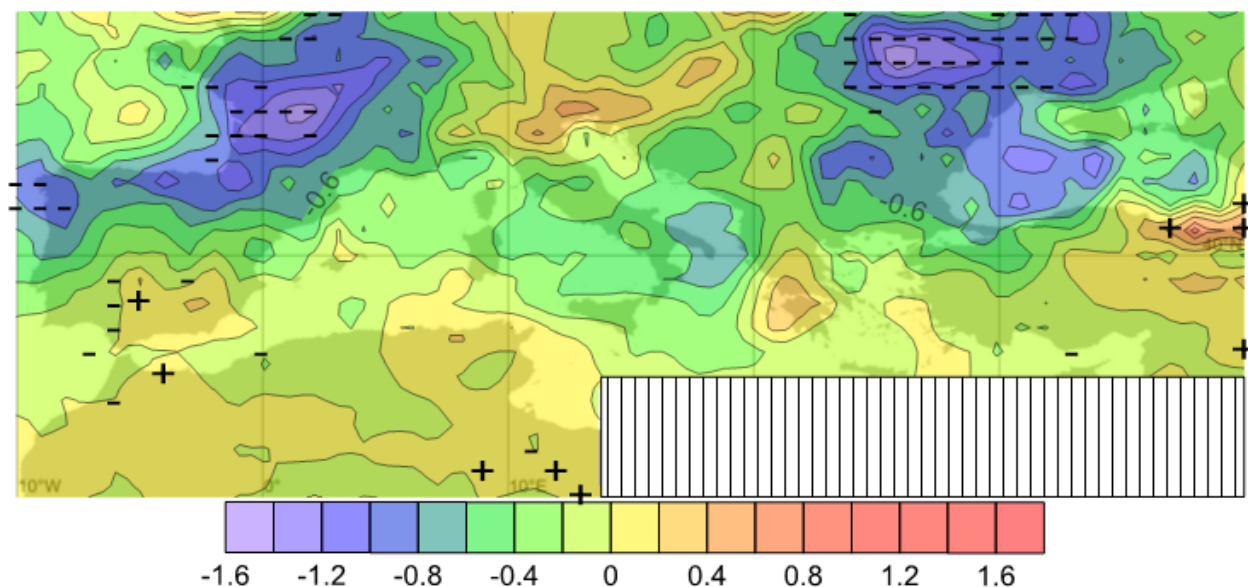
Η χωρική κατανομή των τάσεων για το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου στην περίοδο 1997-2021 φαίνεται στο Σχήμα 3.19. Η αύξηση του ύψους νετού στα ανατολικά Βαλκάνια και στη δυτική Τουρκία είναι δύο από τις περιπτώσεις στατιστικών σημαντικών τάσεων για το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου που βρέθηκαν στην χρονοσειρά 1997-2021. Παρατηρήθηκε η τάση αυτή στο ύψος του νετού, επίσης κατά την περίοδο της άνοιξης στην χρονοσειρά 1951-2007 από τον Lolis (2012). Οφείλουμε να προσθέσουμε ότι στην χρονική περίοδο αυτή παρατηρήθηκε μία τάση αύξησης στον δείκτη CAPE από τον Lolis (2017). Ο δείκτης CAPE είναι ένας δείκτης ατμοσφαιρικής στατικής αστάθειας. Ο δείκτης αυτός συνδέεται με έντονες βροχοπτώσεις, καταιγίδες και άλλα βίαια ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όταν βρίσκεται στο κατάλληλο εύρος τιμών (J/Kg) και ταυτόχρονα επικρατούν και άλλες κατάλληλες συνθήκες. Επίσης, παρατηρήθηκε αύξηση ανατολικά της Ελλάδας, στο Αιγαίο πέλαγος, στη δυτική Ελλάδα και στη νοτιοδυτική Πελοπόννησο.



Σχήμα 3.19 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των γραμμικών τάσεων του μέσου ημερήσιου ύψους του νετού (mm/day) για την περίοδο 1997-2021 κατά το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου στην λεκάνη της Μεσογείου. Με (+) και (-) εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις (mm/day) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με το τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου

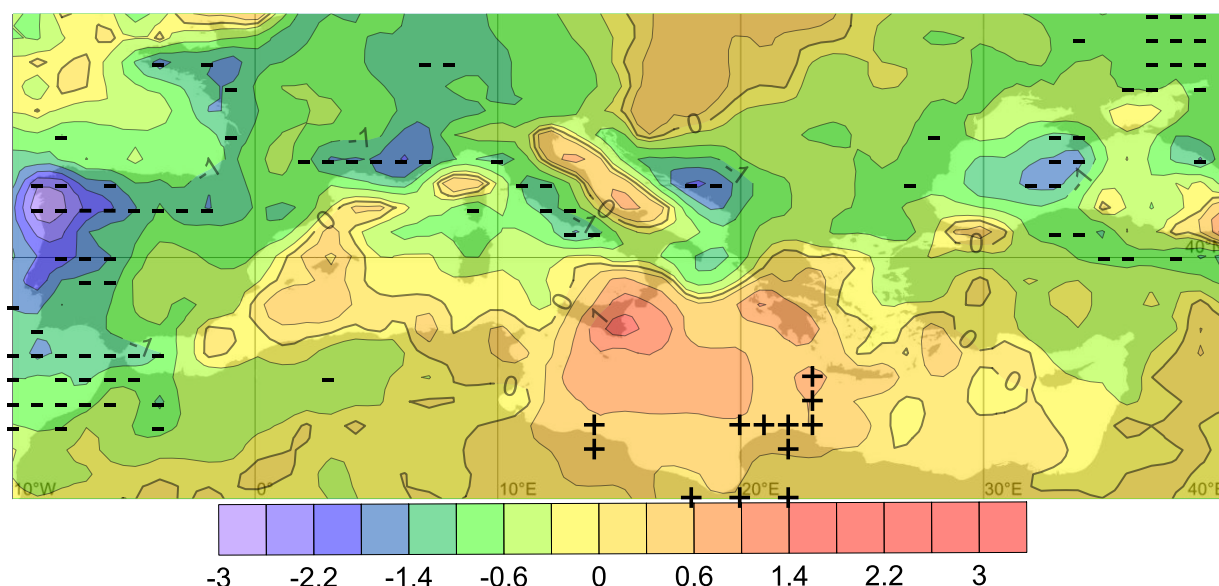
Η χωρική κατανομή των τάσεων για το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου στην περίοδο 1997-2021 φαίνεται στο Σχήμα 3.20. Ειδικότερα, περιπτώσεις στατιστικών σημαντικών τάσεων για το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου που βρέθηκαν στην χρονοσειρά 1997-2021, θεωρούνται η μείωση του ύψους νετού βόρεια της Μαύρης Θάλασσας και δυτικά της Γαλλίας.



Σχήμα 3.20 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των γραμμικών τάσεων του μέσου ημερήσιου ύψους του νετού (mm/day) κατά το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου στην περιοχή της Μεσογείου. Με (+) και (-) εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις (mm/day) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με το τεστ Mann-Kendall. Το γραμμοσκιασμένο ορθογώνιο αποτελεί την περιοχή που δεν έχει ληφθεί υπόψιν προς μελέτη.

Δίμηνο Σεπτεμβρίου- Οκτωβρίου

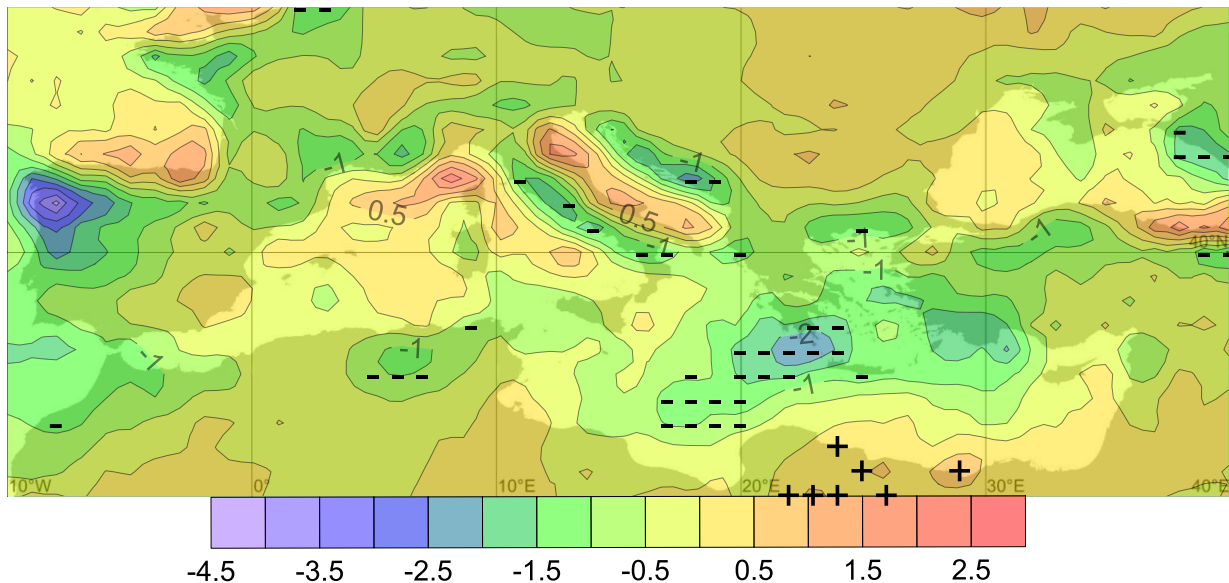
Η χωρική κατανομή των τάσεων για το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου στην περίοδο 1997-2021 φαίνεται στο Σχήμα 3.21. Συγκεκριμένα, μερικές περιπτώσεις στατιστικών σημαντικών τάσεων για το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου που βρέθηκαν στην χρονοσειρά 1997-2021 αναφέρονται παρακάτω. Σημειώθηκε μείωση του ύψους νετού στη δυτική Ιβηρική, στη δυτική Ιταλία, βορειοδυτικά του Μαρόκου και βορειοανατολικά της Μαύρης Θάλασσας. Αντιθέτως παρατηρήθηκε αύξηση του ύψους του νετού νοτιοδυτικά της Κρήτης. Έχει παρατηρηθεί ότι η ατμοσφαιρική στατική ευστάθεια/αστάθεια αποτελεί έναν ισχυρό παράγοντα δημιουργίας αντικυκλωνικής/κυκλωνικής δραστηριότητας (Lolis et al. 2012). Μέσω αυτού, οφείλουμε να προσθέσουμε πως τα παραπάνω αποτελέσματα, συνδέονται με την εργασία των Lolis et al. (2012). Αυτή η σύνδεση προκύπτει μέσω της μελέτης των διαγραμμάτων της ενδο-ετήσιας διακύμανσης των scores των 3 factors που αφορούν τον δείκτη K-index (οι υψηλές τιμές του δείκτη αυτού δείχνουν υψηλή αστάθεια) για την περίοδο 1948-2007. Στα διαγράμματα αυτά παρατηρήθηκαν τιμές των scores του δείκτη K-index πάνω/κάτω από την μέση τιμή στις παραπάνω περιοχές (Lolis et al. 2012), όπου σημειώθηκε αντίστοιχα αύξηση/μείωση του ύψους του νετού στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 3.21 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των γραμμικών τάσεων του μέσου ημερήσιου ύψους του νετού (mm/day) κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου στην περιοχή της Μεσογείου. Με (+) και (-) εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις (mm/day) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με το τεστ Mann-Kendall.

Δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου

Η χωρική κατανομή των τάσεων για το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου στην περίοδο 1997-2021 φαίνεται στο Σχήμα 3.22. Συγκεκριμένα, μία περίπτωση στατιστικά σημαντικής τάσης για το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου που βρέθηκε στην χρονοσειρά 1997-2021 είναι η μείωση του ύψους νετού στην περιοχή δυτικά της Κρήτης.



Σχήμα 3.22 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των γραμμικών τάσεων του μέσου ημερήσιου ύψους του νετού (mm/day) κατά το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου στην περιοχή της Μεσογείου. Με (+) και (-) εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις (mm/day) σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με το τεστ Mann-Kendall.

3.5 Στατιστική ανάλυση περιπτώσεων μη μηδενικού νετού

3.5.1 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του αριθμού των περιπτώσεων μη μηδενικού νετού προς το σύνολο των διαθέσιμων τιμών

Στην παρούσα εργασία έγινε μία μελέτη της διαχρονικής και ενδο-ετήσιας διακύμανσης (Σχήμα 3.24) του ποσοστού επί τοις εκατό του αριθμού των περιπτώσεων μη μηδενικού νετού, προς το συνολικό αριθμό των ημερήσιων τιμών (συμπεριλαμβανομένων των μηδενικών τιμών). Η διαχρονική διακύμανση του ποσοστού επί τοις εκατό του αριθμού των περιπτώσεων νετού έγινε και ξεχωριστά για κάθε μήνα (Σχήμα 3.23). Σκοπός των παρόντων μελετών αποτέλεσε η πιθανή εμφάνιση κάποιας στατιστικά σημαντικής τάσης στην διαχρονική διακύμανση των ημερών με νετό (αύξησης ή μείωσης) ανά μήνα και σε ολόκληρο το έτος στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, για την περίοδο 1997-2021. Για τις δύο παραπάνω μελέτες χρειάστηκε η κατασκευή των Πινάκων 3.1 και 3.2, όπως και των αντίστοιχων ιστογραμμάτων (Σχήματα 3.23 και 3.24). Οφείλουμε να επισημάνουμε ότι για τη διαχρονική διακύμανση ανά μήνα, αναφερόμενοι στον συνολικό αριθμό περιπτώσεων, εννοούμε για τον εκάστοτε μήνα τον αριθμό των ημερών του μήνα επί το 1071 (που αντιστοιχεί στον αριθμό των πλεγματικών σημείων που έχουμε).

Αντίστοιχα για τη διαχρονική διακύμανση στην χρονοσειρά των 25 ετών που έχουμε, ο συνολικός αριθμός των περιπτώσεων του νετού ανά έτος αντιστοιχεί σε 365 (αριθμός ημερών του έτους) επί 1071. Για την ενδο-ετήσια διακύμανση, ο συνολικός αριθμός περιπτώσεων του νετού ανά μήνα αντιστοιχεί στο γινόμενο των όρων: ο αριθμός των ημερών του μήνα επί το σύνολο των ετών που μελετήσαμε επί το σύνολο των πλεγματικών σημείων. Για λόγους κανονικοποίησης, δεν συμπεριλάβαμε την μία παραπάνω ημέρα του Φεβρουαρίου στα δίσεκτα έτη. Πιο συγκεκριμένα και προς επεξήγηση όλων των παραπάνω ακολουθούν οι παρακάτω Πίνακες 3.1 και 3.2 με τον αριθμό των περιπτώσεων νετού, αλλά και με τον συνολικό αριθμό των διαθέσιμων τιμών αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1: Συνολικός αριθμός περιπτώσεων μη μηδενικού υετού κατά μήνα και κατ'έτος.

ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΕΤΟΣ
1997	10548	9487	8573	11079	10329	10729	6263	8695	9740	11493	13056	13976	123968
1998	10795	8704	9024	11070	13805	9392	6551	7044	10929	11554	12292	11085	122245
1999	11494	11634	11124	10879	10707	9821	7634	8189	11236	12135	11635	11944	128432
2000	9198	10142	9042	12163	11401	7823	7361	7694	9847	12247	11916	13843	122677
2001	12079	9399	12163	10498	12430	8058	7884	7737	11540	9769	12441	13493	127491
2002	10380	10103	10546	11085	11016	8285	9686	11790	11747	13494	13681	14330	136143
2003	12617	10377	7814	10250	10684	8997	9394	8531	9726	13748	10950	12306	125394
2004	13944	8067	9842	11591	11793	11362	9630	10670	8897	11613	12045	10863	130317
2005	10193	10210	10111	10689	10297	9684	9744	9913	9942	11095	10901	11897	124676
2006	10012	10494	12424	11653	12410	10487	9004	10460	11105	12337	11813	10257	132456
2007	11969	11663	10494	10645	13374	10759	8025	10796	9896	12296	12075	10782	132774
2008	9827	8442	12348	10135	13512	10609	9928	7875	13426	12949	12317	12860	134228
2009	14948	11440	10869	12279	11702	12513	10475	8596	12594	12061	13072	15594	146143
2010	16379	14168	10104	10265	14292	12217	10390	9322	12511	14133	14150	14568	152499
2011	12193	12006	11063	11395	13794	11948	10560	8694	9530	11286	10346	13166	135981
2012	11397	11372	8313	14266	13244	10360	9344	9698	11165	13862	13745	14042	140808
2013	15158	9958	12840	11907	12873	10710	9085	8379	13614	11230	13866	10357	139977
2014	14981	10319	10309	12612	14296	11319	11624	11107	12889	11946	13925	13223	148550
2015	13209	11413	12722	9811	11522	11652	8904	11832	12342	14110	11459	9489	138465
2016	13612	11946	11956	11585	14541	11292	8695	9581	11971	12936	13767	10591	142473
2017	10990	9414	11119	10214	13021	11092	10092	9759	11847	11445	13269	11373	133635
2018	12478	12093	16406	10086	15259	12963	11048	10220	11938	14332	13699	13076	153268
2019	14189	8925	10486	13723	14794	11689	10563	10279	11571	12401	14275	12118	145013
2020	10002	10679	11820	11380	13709	14212	8666	7837	10216	13745	10610	13682	136558
2021	14557	10181	9333	10974	14193	13283	10262	9472	11961	12453	13443	13037	143149
ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΜΗΝΑ	307149	262636	270845	282234	318998	271256	230812	234170	282180	310670	314418	311952	
number_of_total_precipitation_cases													

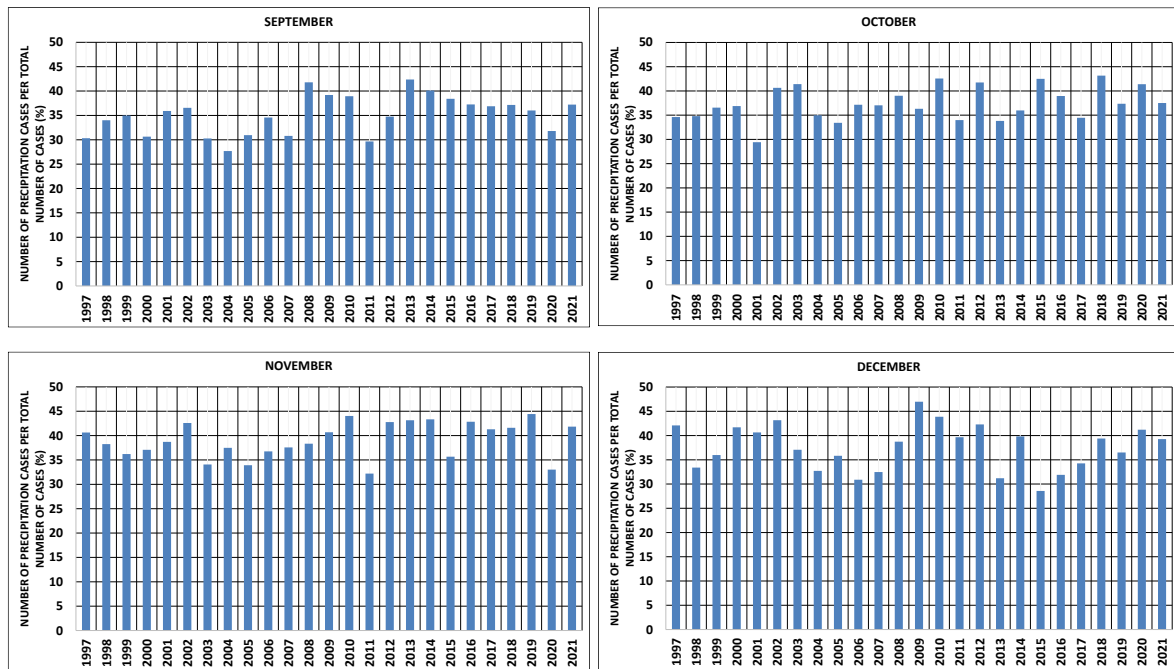
Πίνακας 3.2: Συνολικός αριθμός διαθέσιμων τιμών κατά μήνα για ολόκληρη την περίοδο μελέτης 1997-2021.

Διαχρονική διακύμανση		Ενδο-ετήσια διακύμανση	
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31x1071=33201	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31x25x1071=830025
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28x1071=29988	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28x25x1071=749700
ΜΑΡΤΙΟΣ	31x1071=33201	ΜΑΡΤΙΟΣ	31x25x1071=830025
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30x1071=32130	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30x25x1071=803250
ΜΑΙΟΣ	31x1071=33201	ΜΑΙΟΣ	31x25x1071=830025
ΙΟΥΝΙΟΣ	30x1071=32130	ΙΟΥΝΙΟΣ	30x25x1071=803250
ΙΟΥΛΙΟΣ	31x1071=33201	ΙΟΥΛΙΟΣ	31x25x1071=830025
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31x1071=33201	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31x25x1071=830025
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30x1071=32130	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30x25x1071=803250
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31x1071=33201	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31x25x1071=830025
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30x1071=32130	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30x25x1071=803250
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31x1071=33201	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31x25x1071=830025

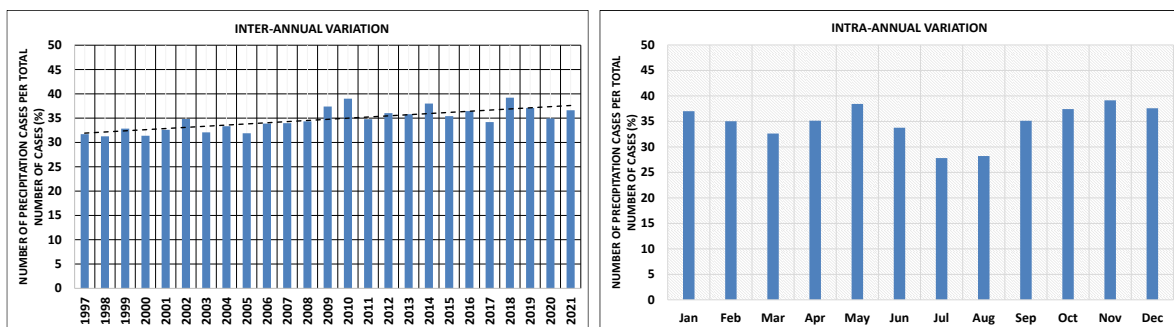
Από τα παρακάτω ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση του ποσοστού των περιπτώσεων μη μηδενικού υετού στην περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 3.23) παρατηρούμε ότι δεν προέκυψε στατιστικά σημαντική τάση (επίπεδο σημαντικότητας 95%) για τους περισσότερους μήνες. Εξαιρέση αποτελούν οι μήνες Μάιος, Ιούνιος και Ιούλιος όπου είχαμε στατιστικά σημαντική αυξητική τάση για την περίοδο 1997-2021. Στη συνέχεια, από τα ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν τη διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού των περιπτώσεων μη μηδενικού υετού για ολόκληρο το έτος (Σχήμα 3.24) παρατηρούμε ότι στη διαχρονική διακύμανση έχουμε μία στατιστικά σημαντική τάση αύξησης στην υπό μελέτη χρονοσειρά των 25 ετών. Οι στατιστικά σημαντικές αυξητικές τάσεις που εμφανίστηκαν στα ιστογράμματα που αναφέρθηκαν παραπάνω (Σχήματα 3.23 και 3.24) εκφράζουν από φυσικής απόψεως ότι υπήρξε μία τάση αύξησης των ημερών με υετό, χωρίς αυτό να συνεπάγεται ότι αυξήθηκε το ποσό του υετού. Στην ενδο-ετήσια διακύμανση παρατηρούμε μέγιστα τους μήνες Μάιο και Νοέμβριο, ενώ ελάχιστο το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου.



Σχήμα 3.23 Ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων μη μηδενικού νετού για κάθε μήνα στην περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.



Σχήμα 3.23 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)



Σχήμα 3.24 Ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων μη μηδενικού υετού για την περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

3.6 Στατιστική ανάλυση περιπτώσεων ακραίου υετού

Μελετήθηκε η διαχρονική και ενδο-ετήσια πορεία των ακραίων περιπτώσεων υετού, όπως και η διαχρονική διακύμανσή τους ξεχωριστά κατά μήνα στην περιοχή της Μεσογείου. Με βάση το κριτήριο που εξηγήθηκε στην παράγραφο 2.3.5, ορίστηκαν οι περιπτώσεις ακραίου υετού, ως οι ημερήσιες τιμές του ύψους υετού ενός πλεγματοκού σημείου που ξεπερνούν το κατώφλι του υψηλότερου 1% των μη μηδενικών τιμών (Lolis and Türkeş 2016).

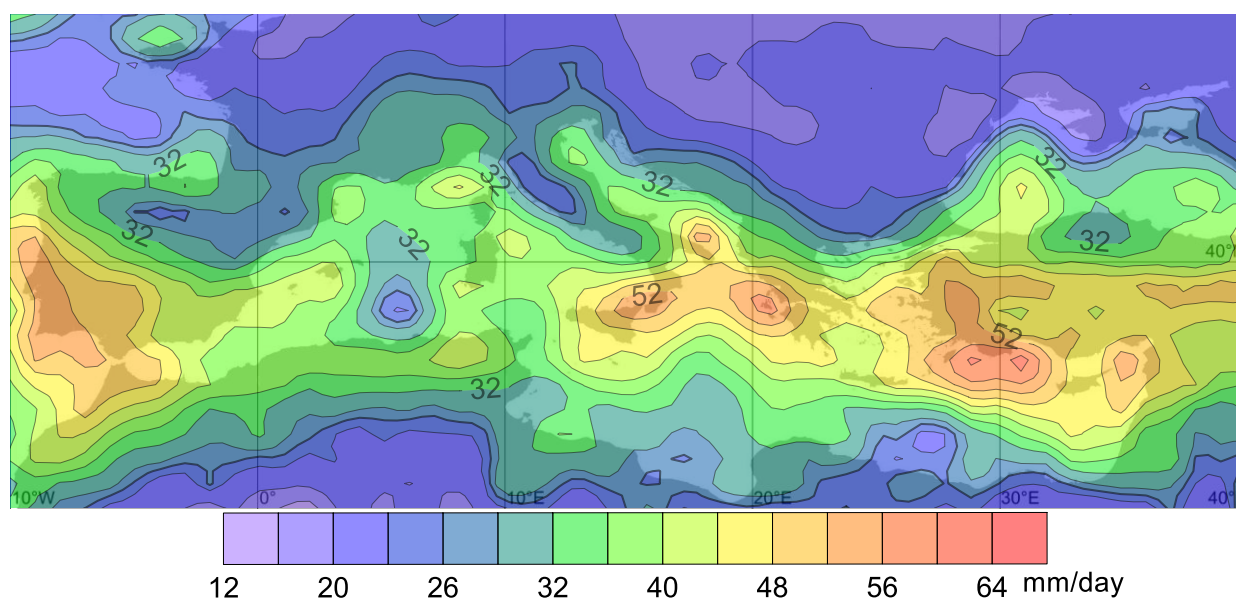
3.6.1 Χωρική κατανομή κατωφλίου ακραίου ύψους υετού

Με βάση τον ορισμό που αναφέρθηκε παραπάνω, κατασκευάστηκε ο παρακάτω Πίνακας 3.3 που περιλαμβάνει ουσιαστικά τη χωρική κατανομή του κατωφλίου του ύψους των περιπτώσεων ακραίου υετού στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, ανά πλεγματοκού σημείο, κατά την περίοδο 1997-2021.

Πίνακας 3.3: Πίνακας τιμών κατωφλίου του ύψους του νετού (mm/day) των περιπτώσεων ακραίου νετού (1%) στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, ανά πλεγματικό σημείο.

x	y	κατώφλι(1%) σε mm/day
-10	30	33.30161285
-9	30	31.65567589
-8	30	26.34603119
-7	30	26.05764389
.	.	.
.	.	.
36	50	22.43664551
37	50	21.52619362
38	50	20.46886635
39	50	20.28849983
40	50	20.26490402

Απόρροια των παραπάνω, είναι και η κατασκευή του χάρτη ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή του κατωφλίου του ύψους νετού (mm/day) για τις περιπτώσεις ακραίου νετού (Σχήμα 3.25). Γενικά μπορούμε να πούμε πως η Μεσόγειος χωρίζεται σε 2 μέρη. Το πρώτο που αποτελείται από τις υψηλές τιμές κατωφλίου (1%), περιλαμβάνει τα θαλάσσια τμήματα, καθώς και τις περιοχές που περιβάλλονται από αυτά. Το δεύτερο με τις πιο χαμηλές τιμές, περιλαμβάνει τα υπόλοιπα ηπειρωτικά τμήματα. Επίσης παρατηρούμε πως οι υψηλότερες τιμές αφορούν τη δυτική Ιβηρική, το κεντρικό και νότιο τμήμα μεταξύ Ιταλίας και Ελλάδας και την ανατολική και νότια Τουρκία. Επιπροσθέτως, οι χαμηλές τιμές του κατωφλίου του ύψους του νετού (mm/day) για τις περιπτώσεις ακραίου νετού που προέκυψαν στις περιοχές βορείως της Αφρικής και στα παράλια τους (Σχήμα 3.25), έρχονται σε συμφωνία με τα πολύ χαμηλά ποσά βροχής στις περιοχές αυτές που παρατηρήθηκαν στην γεωγραφική κατανομή του μέσου ετήσιου αθροιστικού νετού για το χρονικό διάστημα 1979-2010 από τους Hatzianastassiou et al (2016).



Σχήμα 3.25 Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή του κατωφλίου του ύψους του νετού (mm/day) για τις περιπτώσεις ακραίου νετού στην περιοχή της Μεσογείου.

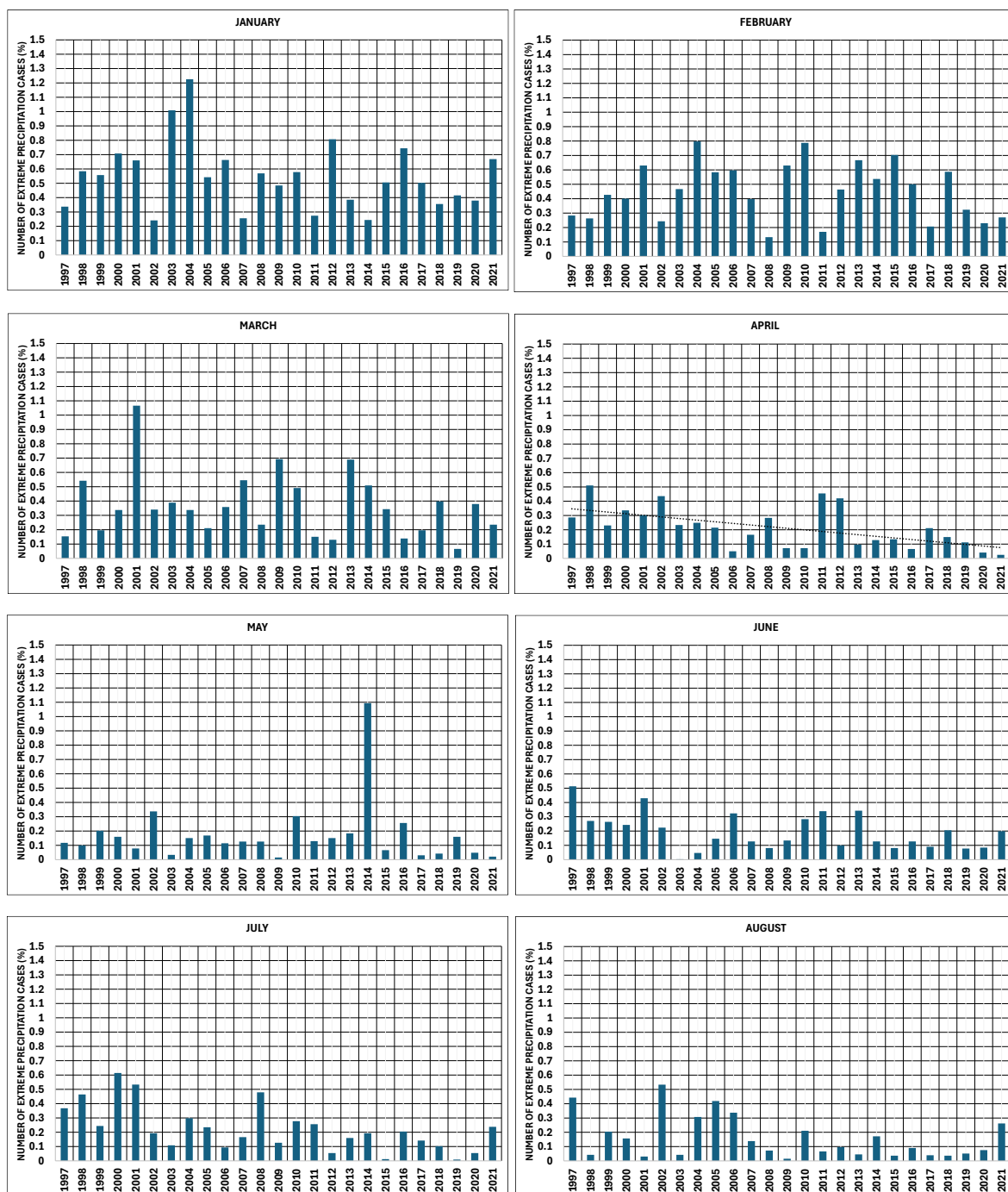
3.6.2 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού

Μελετήθηκε επίσης στην παρούσα εργασία η διαχρονική διακύμανση του ποσοστού επί τοις εκατό του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού προς το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων τιμών, ξεχωριστά για κάθε μήνα. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν τα παρακάτω ιστογράμματα (Σχήμα 3.26), μέσω των οποίων παρατηρούμε ότι προέκυψαν στατιστικά σημαντικές πτωτικές τάσεις για τους μήνες Απρίλιο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο.

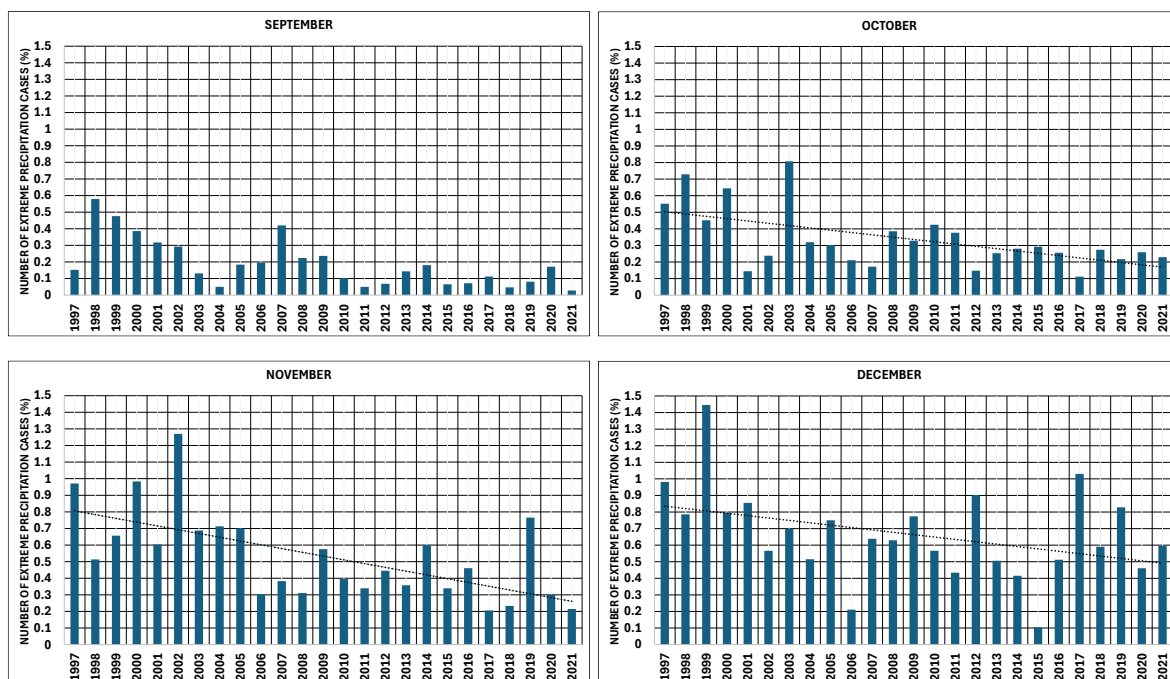
Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η διαχρονική για ολόκληρο το έτος, αλλά και η ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού και παρουσιάζονται μέσω των απαραίτητων ιστογραμμάτων (Σχήμα 3.27). Για την κατασκευή των παρακάτω ιστογραμμάτων του Σχήματος 3.26 και 3.27 χρειάστηκε ο Πίνακας 3.2 με τον συνολικό αριθμό διαθέσιμων τιμών που παραθέσαμε παραπάνω αλλά και ο παρακάτω Πίνακας 3.4 με τον συνολικό αριθμό περιπτώσεων ακραίου υετού. Ο Πίνακας 3.4 κατασκευάστηκε μέσω κώδικα στην Python (βλέπε Παράρτημα Λ). Πρακτικά για κάθε περίπτωση έγινε η διαίρεση του συνολικού αριθμού περιπτώσεων ακραίου υετού προς το σύνολο των περιπτώσεων (σύνολο μηδενικών και μη μηδενικών τιμών) επί 100%. Αναλύοντας τα ιστογράμματα του Σχήματος 3.27, είναι πρόδηλο ότι έχουμε μία τάση μείωσης στην διαχρονική πορεία του ποσοστού επί τοις εκατό του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού, ενώ στην αντίστοιχη ενδο-ετήσια διακύμανση παρατηρούμε ότι έχουμε ελάχιστο τους θερινούς μήνες. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως στην ενδο-ετήσια διακύμανση έχουμε το μέγιστο τον μήνα Δεκέμβριο και το ελάχιστο το μήνα Αύγουστο.

Πίνακας 3.4: Συνολικός αριθμός περιπτώσεων ακραίου υετού κατά μήνα και έτος.

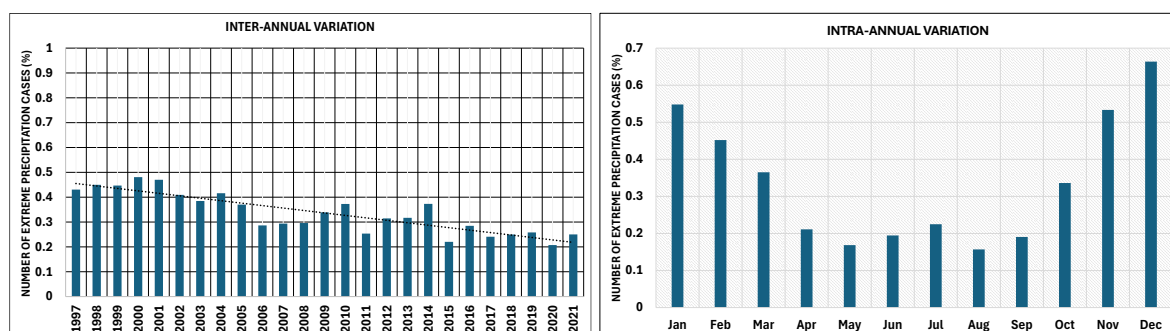
ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΕΤΟΣ
1997	112	85	51	92	39	165	122	147	49	183	312	326	1683
1998	194	79	180	164	33	87	154	14	186	242	165	261	1759
1999	185	128	65	74	67	85	81	68	153	150	211	480	1747
2000	235	120	112	108	53	78	204	52	124	214	316	264	1880
2001	219	189	354	97	26	138	177	10	102	48	194	284	1838
2002	80	73	113	140	112	72	64	177	94	79	408	188	1600
2003	335	140	129	75	11	1	36	14	42	268	221	232	1504
2004	407	239	112	80	50	15	99	102	16	106	229	171	1626
2005	180	175	70	69	56	47	78	139	59	100	225	249	1447
2006	220	179	119	16	38	104	31	112	63	70	98	70	1120
2007	85	119	181	53	42	41	55	46	135	57	123	212	1149
2008	189	40	78	91	42	26	159	24	72	128	100	209	1158
2009	161	189	230	23	5	43	42	5	76	109	185	257	1325
2010	192	236	163	23	101	91	92	70	33	141	127	188	1457
2011	91	51	50	146	43	109	85	22	16	125	109	144	991
2012	268	139	43	135	50	32	18	32	22	49	143	299	1230
2013	128	200	229	31	61	110	53	15	46	84	115	168	1240
2014	81	161	169	41	363	41	64	57	58	93	193	138	1459
2015	168	211	114	43	22	26	4	12	21	97	109	35	862
2016	247	150	46	21	85	41	68	30	23	85	148	170	1114
2017	167	62	65	68	10	29	47	13	36	37	66	342	942
2018	118	176	132	48	14	66	34	12	15	91	75	196	977
2019	138	97	22	36	53	25	3	17	26	72	246	275	1010
2020	126	69	126	13	16	27	18	25	55	86	97	153	811
2021	222	81	78	8	7	64	79	87	9	76	69	198	978
ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΜΗΝΑ	4548	3388	3031	1695	1399	1563	1867	1302	1531	2790	4284	5509	
number_of_extreme_cases													



Σχήμα 3.26 Ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου νετού κατά μήνα στην περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.



Σχήμα 3.26 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)



Σχήμα 3.27 Στα αριστερά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την διαχρονική διακύμανση για το ολόκληρο το έτος και στα δεξιά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού. Με διακεκομμένη ευθεία εμφανίζεται η στατιστικά σημαντική γραμμική τάση σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, η οποία έχει προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

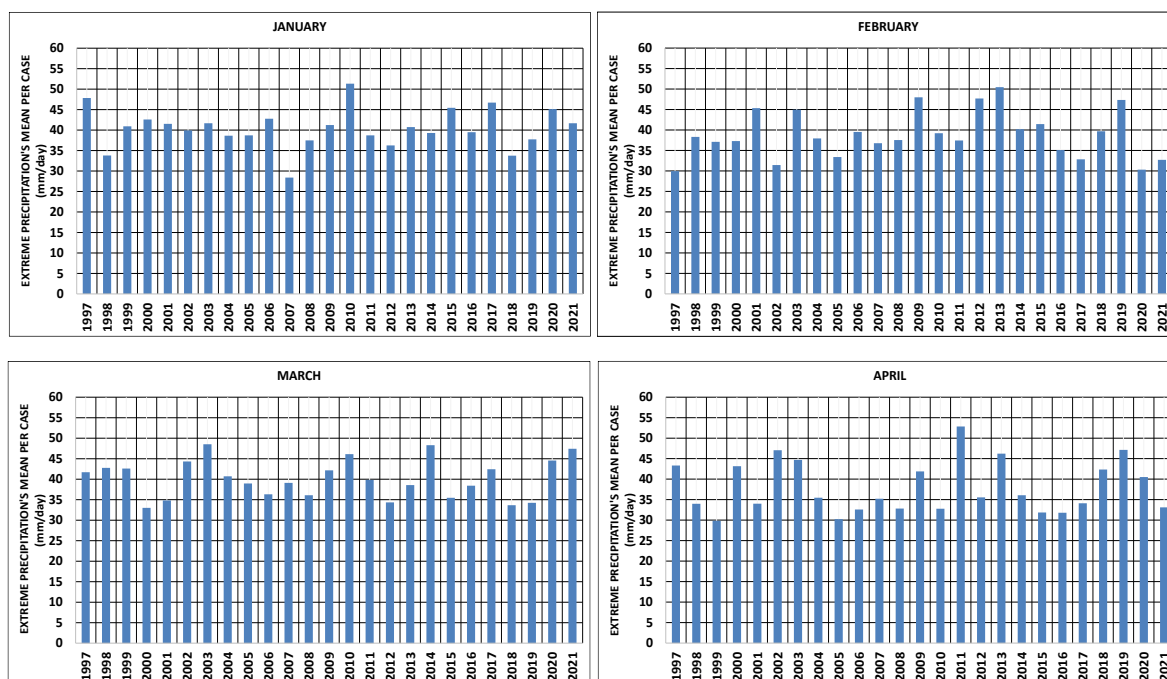
3.6.3 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση μέσου ύψους υετού ανά περίπτωση ακραίου υετού

Ανάλογη σημασία για τη μελέτη των ακραίων περιπτώσεων υετού στη περιοχή της Μεσογείου, έχει και ο παρακάτω Πίνακας 3.5 που δείχνει το άθροισμα του υετού σε mm των περιπτώσεων ακραίου υετού ανά μήνα και έτος. Ο Πίνακας 3.5 κατασκευάστηκε μέσω κώδικα στην Python (βλέπε Παράρτημα Λ) μαζί με την χρήση excel. Πρακτικά, έγινε διαίρεση του κάθε κελιού του παρακάτω Πίνακα 3.5, με το αντίστοιχο κελί του Πίνακα 3.4 για τον υπολογισμό της μέσης τιμής ανά περίπτωση ακραίου υετού. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάστηκαν τα παρακάτω ιστογράμματα του Σχήματος 3.29 για τη μέση διαχρονική διακύμανση για το έτος και την ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους υετού ανά περίπτωση ακραίου υετού, αλλά και τα αντίστοιχα ιστογράμματα για τη μέση διαχρονική διακύμανση για κάθε μήνα (Σχήμα 3.28).

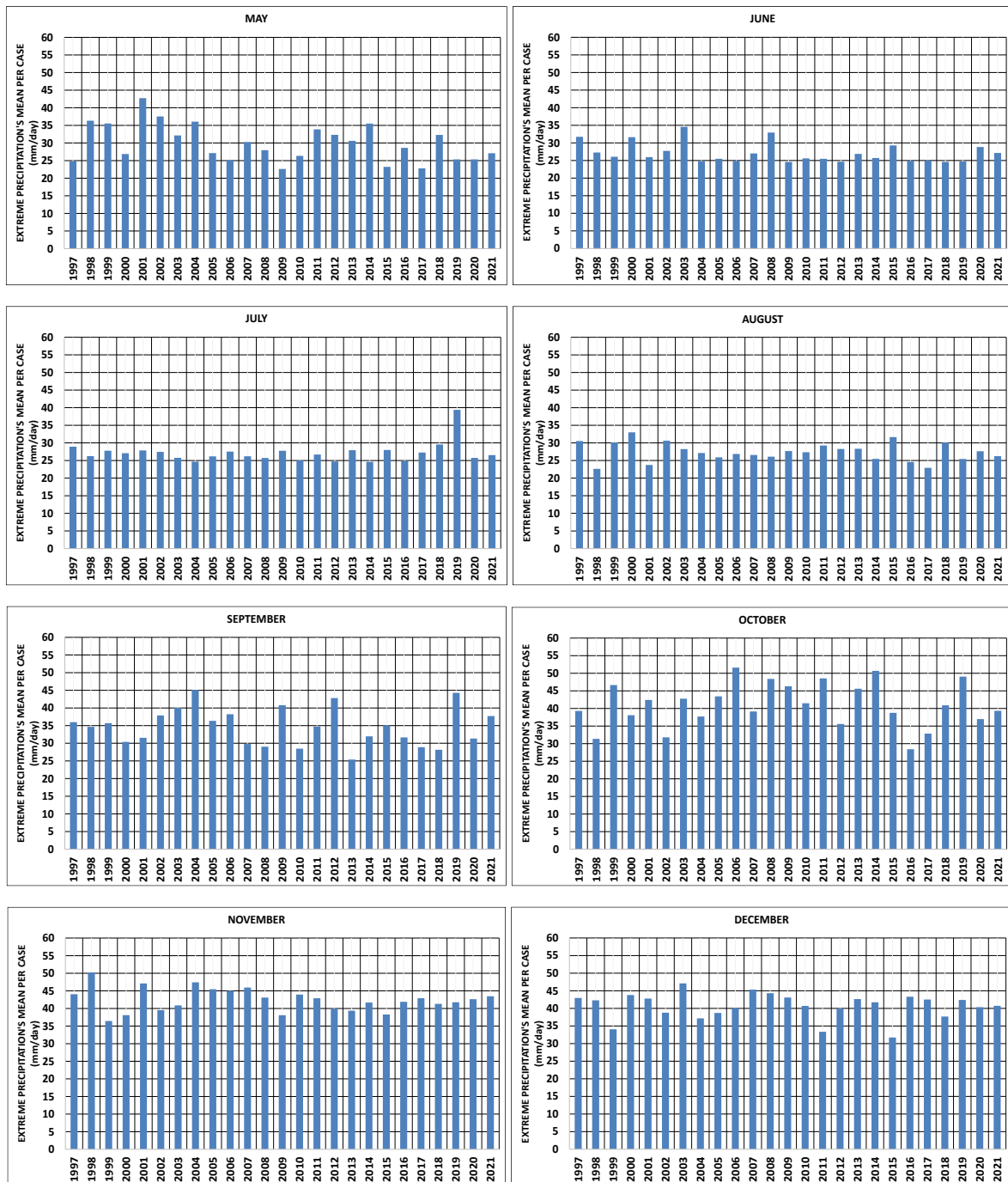
Πίνακας 3.5: Αθροισμα του νετού σε mm των περιπτώσεων ακραίου νετού ανά μήνα και έτος.

ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΕΤΟΣ
1997	5357.69784	2547.594196	2127.5537	3986.5413	967.85182	5234.4828	3528.9942	4486.35556	1762.617208	7191.39679	13745.3653	14004.52436	64940.97512
1998	6555.32583	3027.018303	7698.1818	5575.3867	1198.7133	2373.8148	4040.4401	316.855888	6445.145721	7591.76327	8290.59271	11038.96103	64152.19945
1999	7571.72698	4749.839533	2769.0403	2208.2688	2380.3414	2216.4414	2250.7671	2050.51058	5460.875195	6996.68262	7687.31341	16342.55093	62684.35826
2000	10006.1416	4474.140486	3698.3108	4661.8471	1424.2395	2466.3714	5523.7625	1715.92743	3766.631918	8152.94093	12042.2737	11560.46912	69493.05638
2001	9094.2574	8568.426064	12326.82	3299.1189	1111.2436	3581.7	4932.3335	237.289911	3218.52424	2036.06922	9139.71194	12152.24713	69697.7419
2002	3192.86819	2295.600985	5009.0541	6587.6803	4203.2689	1996.3824	1757.3006	5423.41096	3560.560257	2512.4553	16125.2123	7286.994905	59950.78924
2003	13961.5368	6293.520254	6260.4288	3352.4033	353.51324	34.573128	927.50739	395.395597	1681.343044	11466.9953	9032.83214	10924.76464	64684.81372
2004	15720.4161	9069.669699	4559.2628	2837.1058	1803.1289	372.57816	2441.9111	2768.0212	721.6017246	3998.01717	10861.1144	6353.226049	61506.05321
2005	6967.05485	5844.179277	2726.6146	2086.2758	1519.3098	1198.0768	2041.635	3600.6622	2144.752274	4345.48919	10231.0183	9635.454453	52340.52257
2006	9410.6362	7075.661114	4320.8907	521.59663	955.99225	2592.4181	853.45273	3007.64007	2408.230921	3613.37797	4411.21408	2811.240046	41982.35085
2007	2414.63795	4377.243473	7079.991	1866.6804	1271.2424	1106.9591	1440.7122	1221.81552	4023.209681	2231.3302	5650.48898	9607.990005	42292.3009
2008	7082.69051	1501.54104	2815.4089	2987.492	1173.8986	856.51558	4089.4749	626.137882	2090.272329	6195.65485	4310.26461	9258.292156	42987.64336
2009	6636.6643	9066.703644	9699.6641	963.45475	113.0941	1057.6217	1166.0239	138.463997	3098.812577	5048.57261	7046.38812	11071.34071	55106.80451
2010	9855.61934	9255.534788	7515.3754	753.83063	2660.5543	2331.0631	2305.1512	1915.42747	939.2966461	5850.87251	5582.357	7652.267193	56617.34968
2011	3522.74864	1909.383106	1991.6359	7716.0736	1456.1768	2776.9278	2268.8816	643.753536	556.1624794	6069.62994	4677.15775	4803.058685	38391.58982
2012	9716.02758	6629.85216	1477.1683	4798.6759	1615.8361	788.56834	444.99177	904.948965	941.779192	1743.70353	5713.28954	11941.84841	46716.68981
2013	5213.7256	10089.72037	8829.444	1432.8731	1866.6999	2956.9065	1480.3714	425.229866	1167.95027	3831.29654	4528.02408	7162.441664	48984.68344
2014	3182.90661	6471.337543	8164.152	1478.9931	12888.293	1054.3467	1575.831	1451.17009	1854.03293	4715.44288	8044.55886	5757.246504	56638.311
2015	7635.12618	8742.454391	4043.0484	1369.896	510.93137	761.24321	111.96458	379.809624	736.7176876	3760.46129	4172.76308	1110.505211	33334.92102
2016	9752.75718	5267.081617	1767.0942	667.67794	2432.6012	1021.8343	1690.6698	737.526218	727.8894997	2415.55176	6200.78506	7361.870192	40043.33899
2017	7801.10487	2036.607182	2757.6331	2319.8998	227.86614	726.61816	1281.4113	297.911648	1039.94923	1216.0108	2831.50333	14541.22098	37077.73647
2018	3984.0005	6986.47028	4442.1574	2032.388	452.02121	1624.1504	1004.9134	361.477486	422.2743034	3722.00266	3098.46211	7386.669634	35516.98735
2019	5208.42469	4591.815397	753.39573	1696.8901	1343.1982	618.64993	118.12858	432.428455	1151.361191	3531.8583	10273.7698	11657.48888	41377.40927
2020	5686.42392	2092.411638	5613.3065	526.52203	405.41541	778.70811	463.41332	690.761606	1723.676254	3180.33559	4135.76767	6173.733238	31470.47524
2021	9250.319	2649.534346	3699.214	264.93835	189.68815	1738.3216	2096.8694	2282.97097	339.3819237	2990.62416	2999.25832	8063.321957	36564.44217
ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΜΗΝΑ	184780.839	135613.3409	122144.85	65992.51	44525.12	42265.274	49836.913	36511.9027	51983.0487	114408.535	180831.487	225659.7281	
sum of extreme_cases(mm/day)													

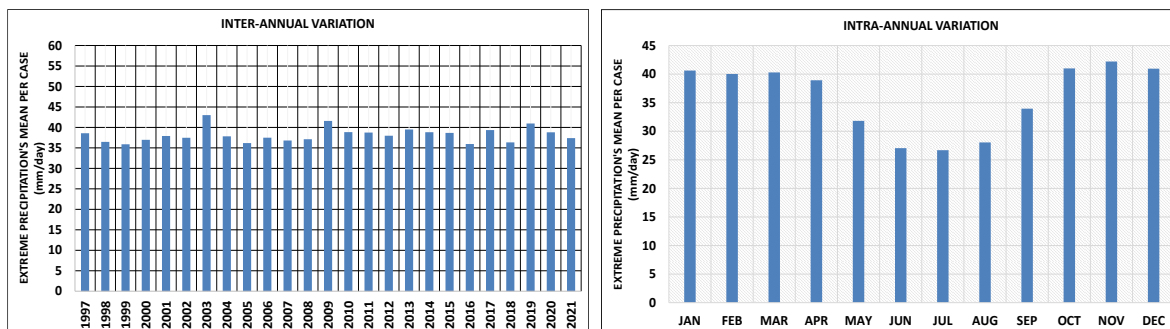
Σύμφωνα με τα Σχήματα 3.28 και 3.29, βλέπουμε πως δεν προέκυψε καμία στατιστικά σημαντική τάση στην διαχρονική διακύμανση του μέσου ύψους νετού ανά περίπτωση ακραίου νετού. Επιπλέον, από το Σχήμα 3.29, παρατηρούμε πως στην ενδο-ετήσια διακύμανση έχουμε ελάχιστο του ύψους νετού κατά τους θερινούς μήνες.



Σχήμα 3.28 Ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την μέση διαχρονική διακύμανση του ύψους νετού ανά περίπτωση ακραίου νετού, κατά μήνα στην περιοχή της Μεσογείου.



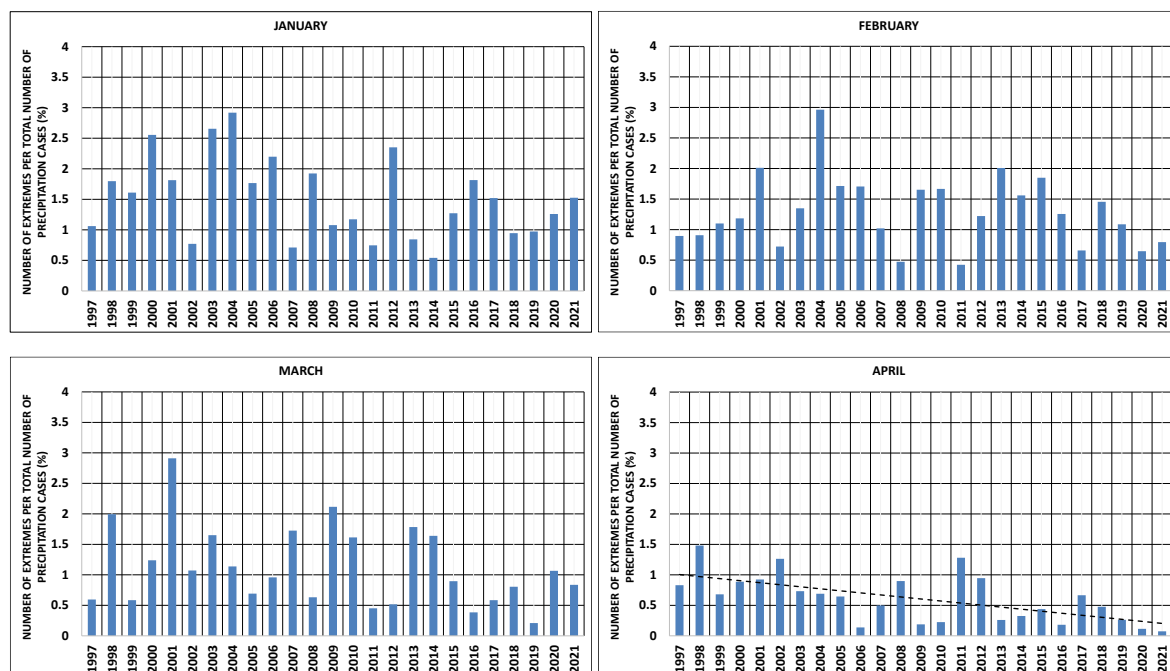
Σχήμα 3.28 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)



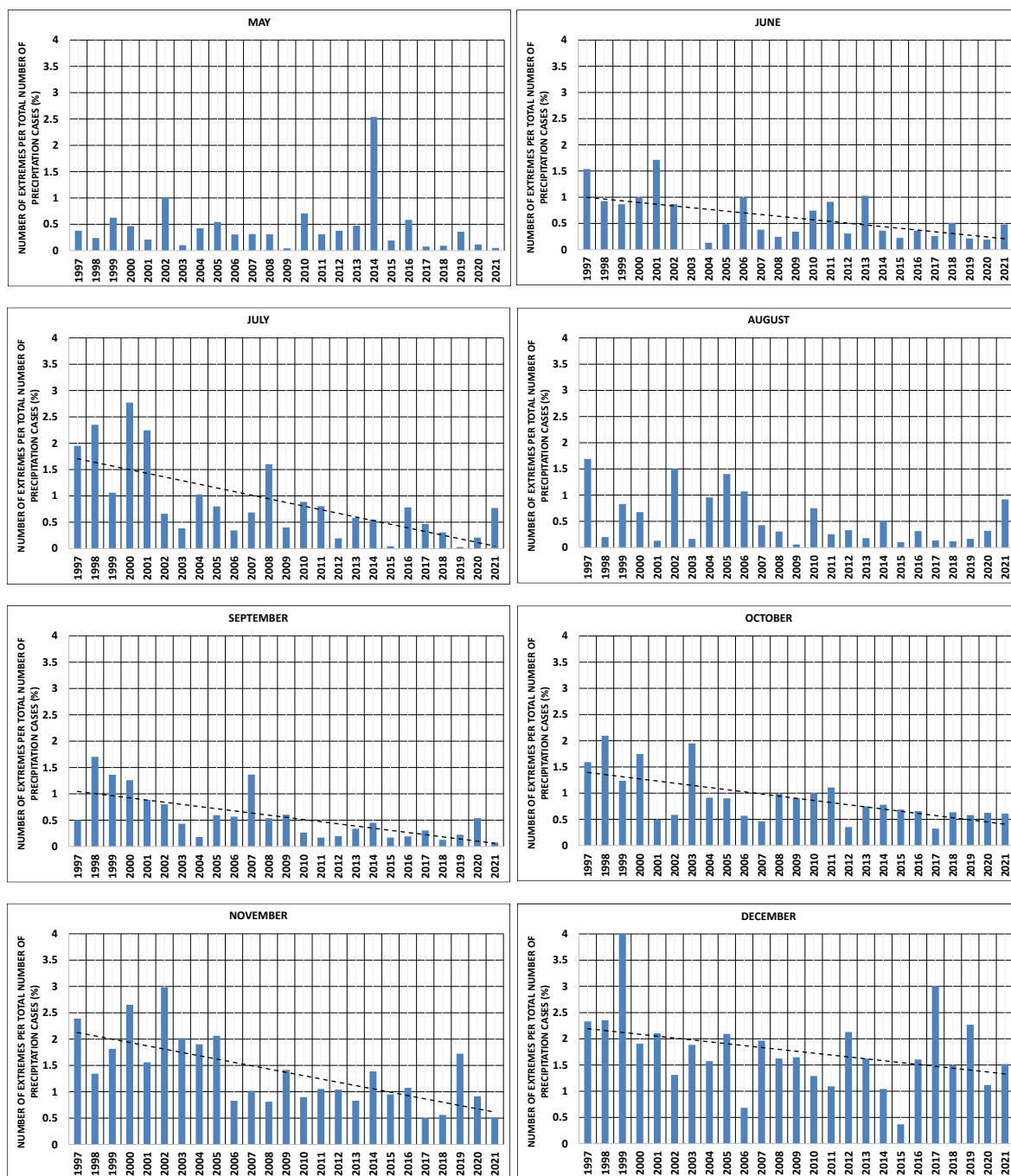
Σχήμα 3.29 Στα αριστερά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την μέση διαχρονική διακύμανση και στα δεξιά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους νετού ανά περίπτωση ακραίου νετού στην περιοχή της Μεσογείου.

3.6.4 Διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού περιπτώσεων ακραίου νετού προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού νετού

Συμπληρωματικά, στη μελέτη των ακραίων περιπτώσεων του νετού, μέσω των Πινάκων 3.1 και 3.4 κατασκευάστηκαν τα παρακάτω ιστογράμματα του Σχήματος 3.30 και 3.31 για τη διαχρονική και ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού περιπτώσεων ακραίου νετού προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού νετού. Πιο αναλυτικά, για τη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε διαίρεση του κάθε κελιού του Πίνακα 3.4, με το αντίστοιχο κελί του Πίνακα 3.1 πολλαπλασιασμένο επί 100%.

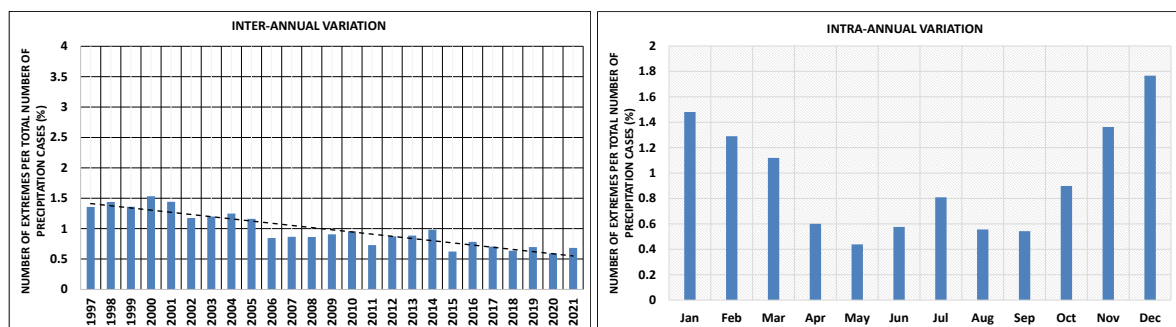


Σχήμα 3.30 Ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου νετού προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού νετού για κάθε μήνα στην περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.



Σχήμα 3.30 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)

Σύμφωνα με τα Σχήματα 3.30 και 3.31, βλέπουμε πως προέκυψε στατιστικά σημαντική τάση μείωσης στη διαχρονική διακύμανση για το έτος. Αντίστοιχα, στη διαχρονική διακύμανση για κάθε μήνα ξεχωριστά, παρατηρούμε επίσης μία τάση μείωσης για τους μήνες Απρίλιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Επιπλέον, στο Σχήμα 3.31, παρατηρούμε πως στην ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού έχουμε ελάχιστο κατά τους μήνες της θερμής περιόδου, με το Μάιο να έχει τη χαμηλότερη τιμή.



Σχήμα 3.31 Στα αριστερά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την διαχρονική διακύμανση και στα δεξιά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την ενδο-ετήσια διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου υετού προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού υετού στην περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένη ευθεία εμφανίζεται η στατιστικά σημαντική γραμμική τάση σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, η οποία έχει προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

3.7 Στατιστική ανάλυση ημερών ακραίου υετού

Ταυτόχρονα, μελετήθηκε η διαχρονική και ενδο-ετήσια πορεία των ημερών ακραίου υετού (ημερήσιων χωρικά εκτεταμένων ακραίων περιστατικών), όπως και η διαχρονική διακύμανσή τους ανά μήνα στην περιοχή της Μεσογείου. Όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 2.3.6, μία ακραία ημέρα υετού στην περιοχή της Μεσογείου ορίστηκε ως η ημέρα με τουλάχιστον 11 ακραίες περιπτώσεις υετού, δηλαδή 11 ημερήσιες τιμές του ύψους υετού σε αντίστοιχο αριθμό πλεγματικών σημείων που ξεπερνούν το κατώφλι του υψηλότερου 1% των μη μηδενικών τιμών.

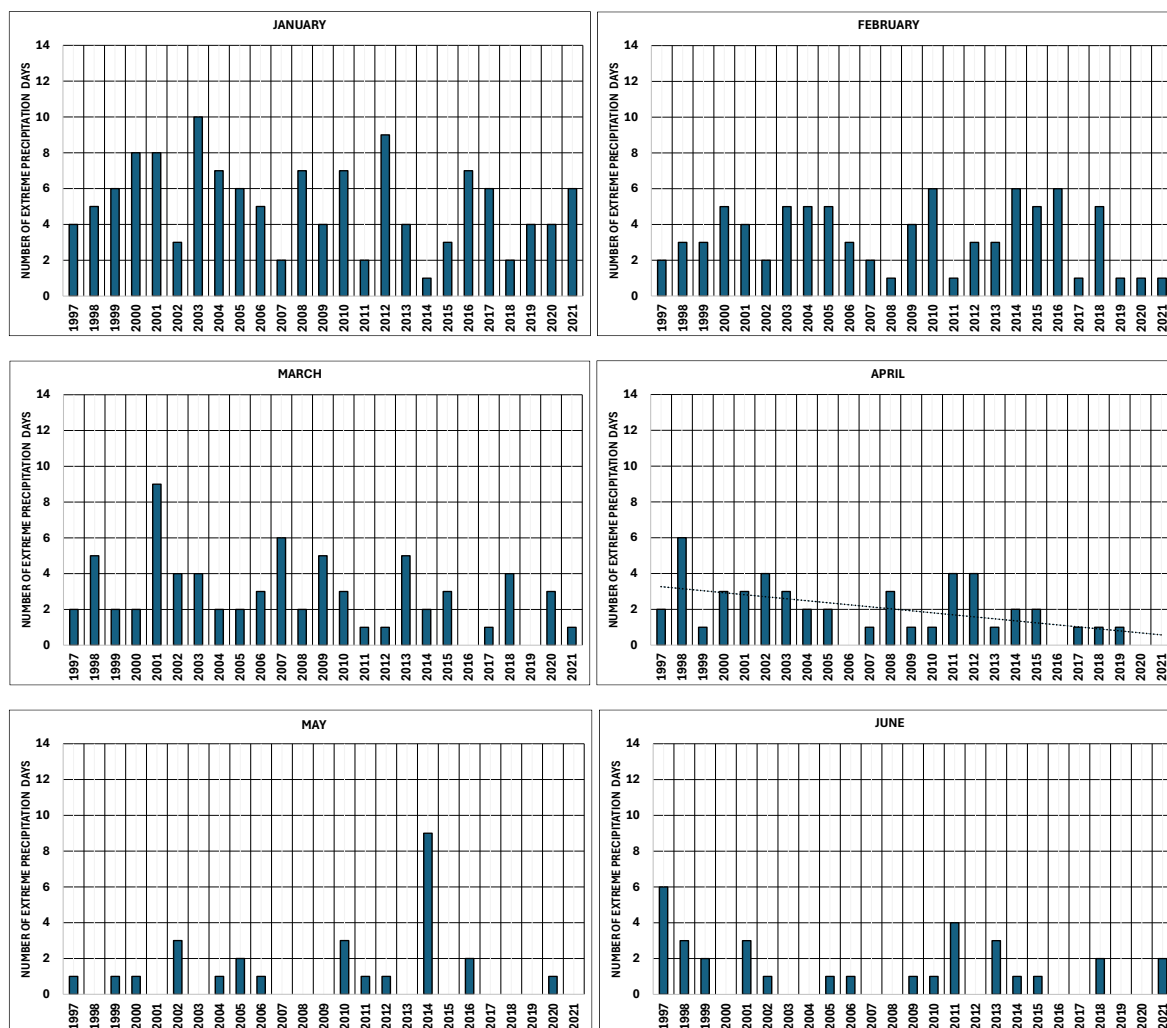
Η επιλογή του αριθμού 11, για το σύνολο των περιπτώσεων ακραίου υετού σε μία ημέρα, αντιστοιχεί στο 1% των 1071 πλεγματικών σημείων. Το τελευταίο διασφαλίζει ότι η ημέρα ακραίου υετού δεν αναφέρεται σε μόνο σε ένα μεμονωμένο ακραίο φαινόμενο αλλά σε ένα χωρικά εκτεταμένο (Lolis and Türkeş 2016). Για τον λόγο που αναφέραμε ακριβώς παραπάνω κατασκευάστηκε ο Πίνακας 3.6, οποίος χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των ιστογραμμάτων των Σχημάτων 3.32 και 3.33.

Πίνακας 3.6: Αριθμός ημερών ακραίου υετού ανά μήνα και έτος.

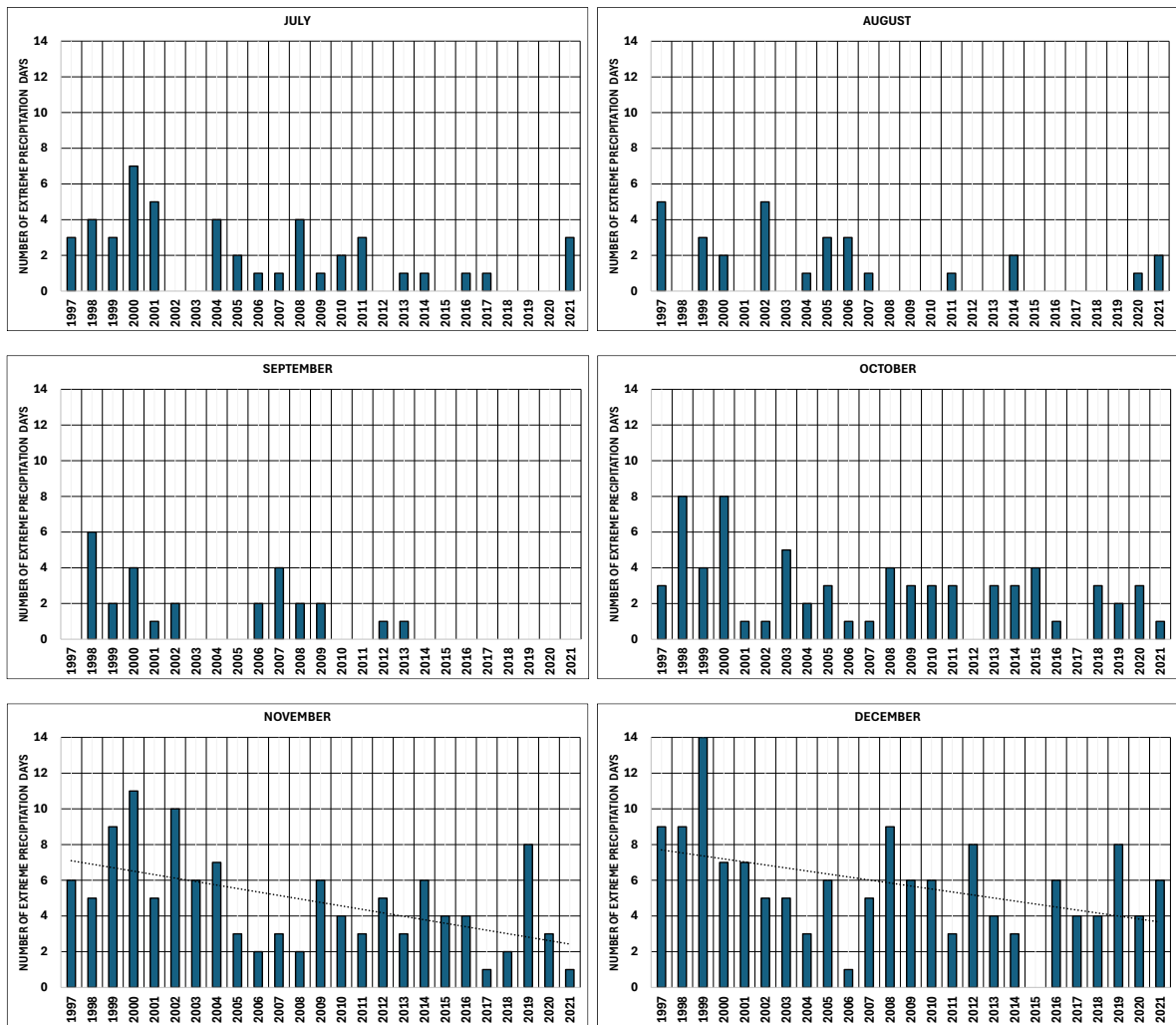
ΕΤΟΣ	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΕΤΟΣ
1997	4	2	2	2	1	6	3	5	0	3	6	9	43
1998	5	3	5	6	0	3	4	0	6	8	5	9	54
1999	6	3	2	1	1	2	3	3	2	4	9	14	50
2000	8	5	2	3	1	0	7	2	4	8	11	7	58
2001	8	4	9	3	0	3	5	0	1	1	5	7	46
2002	3	2	4	4	3	1	0	5	2	1	10	5	40
2003	10	5	4	3	0	0	0	0	0	5	6	5	38
2004	7	5	2	2	1	0	4	1	0	2	7	3	34
2005	6	5	2	2	2	1	2	3	0	3	3	6	35
2006	5	3	3	0	1	1	1	3	2	1	2	1	23
2007	2	2	6	1	0	0	1	1	4	1	3	5	26
2008	7	1	2	3	0	0	4	0	2	4	2	9	34
2009	4	4	5	1	0	1	1	0	2	3	6	6	33
2010	7	6	3	1	3	1	2	0	0	3	4	6	36
2011	2	1	1	4	1	4	3	1	0	3	3	3	26
2012	9	3	1	4	1	0	0	0	1	0	5	8	32
2013	4	3	5	1	0	3	1	0	1	3	3	4	28
2014	1	6	2	2	9	1	1	2	0	3	6	3	36
2015	3	5	3	2	0	1	0	0	0	4	4	0	22
2016	7	6	0	0	2	0	1	0	0	1	4	6	27
2017	6	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	4	15
2018	2	5	4	1	0	2	0	0	0	3	2	4	23
2019	4	1	0	1	0	0	0	0	0	2	8	8	24
2020	4	1	3	0	1	0	0	1	0	3	3	4	20
2021	6	1	1	0	0	2	3	2	0	1	1	6	23
ΣΥΝΟΛΟ ΑΝΑ ΜΗΝΑ	130	83	72	48	27	32	47	29	27	70	119	142	826

number_of_extreme_days

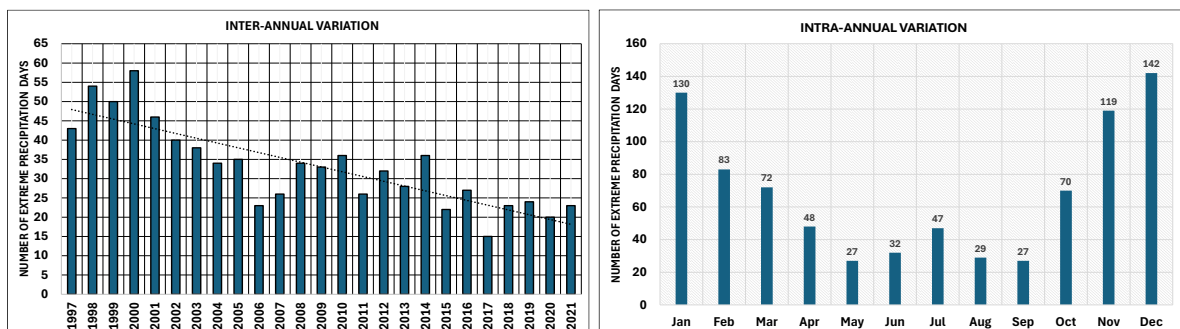
Αναλύοντας τα Σχήματα 3.32 και 3.33, βλέπουμε πως προέκυψε μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης στη διαχρονική διακύμανση του ετήσιου αριθμού των ημερών ακραίου υετού. Αντίστοιχα στη διαχρονική διακύμανση του μηνιαίου αριθμού των ακραίων ημερών υετού παρατηρούμε επίσης μία τάση μείωσης μόνο στους μήνες Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο ενώ στους υπόλοιπους μήνες δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική τάση. Επιπλέον από το Σχήμα 3.33, παρατηρούμε πως στην ενδο-ετήσια διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού έχουμε ελάχιστο κατά τη θερμή περίοδο από τον Μάιο έως το Σεπτέμβριο, με το εξής αξιοσημείωτο ο Ιούλιος να έχει κατ' εξαίρεση σχετικά υψηλότερη τιμή από τους γειτονικούς μήνες.



Σχήμα 3.32 Ιστογράμματα τα οποία παρουσιάζουν την διαχρονική διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού για κάθε μήνα στην περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένες ευθείες εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.



Σχήμα 3.32 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα)



Σχήμα 3.33 Στα αριστερά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την διαχρονική διακύμανση και στα δεξιά το ιστόγραμμα το οποίο παρουσιάζει την ενδο-ετήσια διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού στην περιοχή της Μεσογείου. Με διακεκομμένη ευθεία εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, οι οποίες έχουν προκύψει με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall.

3.8 Σύνδεση των ημερών ακραίου υετού με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Στο τελευταίο μέρος της παρούσας εργασίας αφού έγινε η επεξεργασία των δεδομένων όπως αναφερθήκαμε στην παράγραφο 2.3.7, μέσω της μεθόδου Ανάλυσης κατά Συστάδες, έγινε σύνδεση των ημερών ακραίου υετού, όπως έχουμε ορίσει στις παραγράφους 2.3.6 και 3.7, με τα χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Κάτι τέτοιο μας οδήγησε στην ανάδειξη τύπων κυκλοφορίας με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

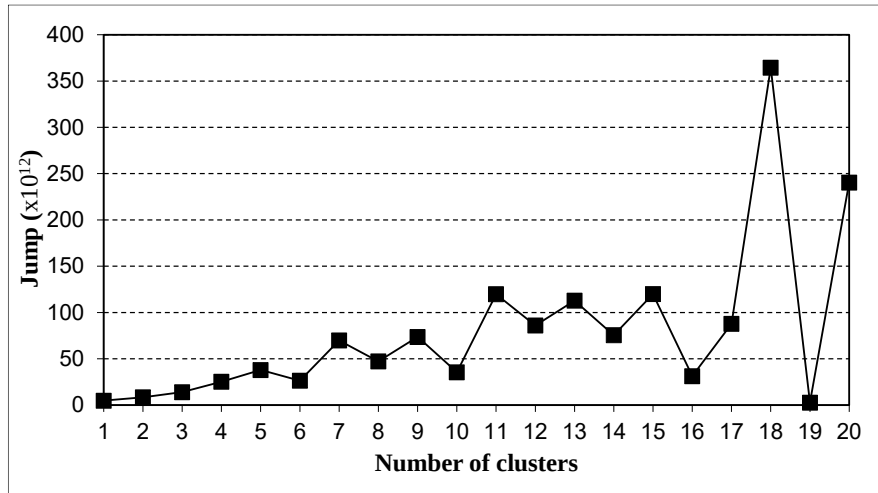
Αρχικά, εφαρμόστηκε η παραγοντική ανάλυση για τις 826 ημερομηνίες τόσο του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 hPa και 1000 hPa, καθώς και της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa όσο και των αντίστοιχων αποχών αυτών, με σκοπό να βρεθεί ο αριθμός των παραγόντων. Ο αριθμός των παραγόντων ήταν 33 (Σχήμα 3.34) και εν συνεχεία στα scores των factors εφαρμόστηκε η Ανάλυση κατά Συστάδες. Έπειτα, φαίνεται το διάγραμμα της μεθόδου του «άλματος» που χρησιμοποιήσαμε στα αποτελέσματα της Cluster Analysis (Σχήμα 3.35), το οποίο μας υποδηλώνει πόσες ομάδες (clusters) διατηρήθηκαν.

Από τα αποτελέσματα της Ανάλυσης κατά Συστάδες προέκυψαν 7 ομάδες ημερών για τις οποίες κατασκευάστηκαν μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 hPa και 1000 hPa, της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa, καθώς και των αντίστοιχων αποχών τους. Έπειτα κατασκευάστηκαν και οι αντίστοιχοι χάρτες με τη χωρική κατανομή του μέσου ύψους υετού (mm/day).

Total Variance Explained <table> <tr> <th rowspan="2">Component</th><th colspan="3">Rotation Sums of Squared Loadings</th></tr> <tr> <th>Total</th><th>% of Variance</th><th>Cumulative %</th></tr> <tr> <td>1</td><td>255,646</td><td>23,870</td><td>23,870</td></tr> <tr> <td>2</td><td>195,781</td><td>18,280</td><td>42,150</td></tr> <tr> <td>3</td><td>193,039</td><td>18,024</td><td>60,174</td></tr> <tr> <td>4</td><td>181,413</td><td>16,939</td><td>77,113</td></tr> <tr> <td>5</td><td>156,280</td><td>14,592</td><td>91,705</td></tr> </table> Extraction Method: Principal Component Analysis. (α)				Component	Rotation Sums of Squared Loadings			Total	% of Variance	Cumulative %	1	255,646	23,870	23,870	2	195,781	18,280	42,150	3	193,039	18,024	60,174	4	181,413	16,939	77,113	5	156,280	14,592	91,705								
Component	Rotation Sums of Squared Loadings																																					
	Total	% of Variance	Cumulative %																																			
1	255,646	23,870	23,870																																			
2	195,781	18,280	42,150																																			
3	193,039	18,024	60,174																																			
4	181,413	16,939	77,113																																			
5	156,280	14,592	91,705																																			
Total Variance Explained <table> <tr> <th rowspan="2">Component</th><th colspan="3">Rotation Sums of Squared Loadings</th></tr> <tr> <th>Total</th><th>% of Variance</th><th>Cumulative %</th></tr> <tr> <td>1</td><td>185,777</td><td>17,346</td><td>17,346</td></tr> <tr> <td>2</td><td>140,629</td><td>13,131</td><td>30,477</td></tr> <tr> <td>3</td><td>140,153</td><td>13,086</td><td>43,563</td></tr> <tr> <td>4</td><td>139,169</td><td>12,994</td><td>56,557</td></tr> <tr> <td>5</td><td>133,309</td><td>12,447</td><td>69,005</td></tr> <tr> <td>6</td><td>125,550</td><td>11,723</td><td>80,727</td></tr> <tr> <td>7</td><td>121,822</td><td>11,375</td><td>92,102</td></tr> </table> Extraction Method: Principal Component Analysis. (β)				Component	Rotation Sums of Squared Loadings			Total	% of Variance	Cumulative %	1	185,777	17,346	17,346	2	140,629	13,131	30,477	3	140,153	13,086	43,563	4	139,169	12,994	56,557	5	133,309	12,447	69,005	6	125,550	11,723	80,727	7	121,822	11,375	92,102
Component	Rotation Sums of Squared Loadings																																					
	Total	% of Variance	Cumulative %																																			
1	185,777	17,346	17,346																																			
2	140,629	13,131	30,477																																			
3	140,153	13,086	43,563																																			
4	139,169	12,994	56,557																																			
5	133,309	12,447	69,005																																			
6	125,550	11,723	80,727																																			
7	121,822	11,375	92,102																																			
Total Variance Explained <table> <tr> <th rowspan="2">Component</th><th colspan="3">Rotation Sums of Squared Loadings</th></tr> <tr> <th>Total</th><th>% of Variance</th><th>Cumulative %</th></tr> <tr> <td>1</td><td>200,302</td><td>18,702</td><td>18,702</td></tr> <tr> <td>2</td><td>189,808</td><td>17,723</td><td>36,425</td></tr> <tr> <td>3</td><td>189,641</td><td>17,707</td><td>54,132</td></tr> <tr> <td>4</td><td>183,955</td><td>17,176</td><td>71,308</td></tr> <tr> <td>5</td><td>182,809</td><td>17,069</td><td>88,377</td></tr> </table> Extraction Method: Principal Component Analysis. (γ)				Component	Rotation Sums of Squared Loadings			Total	% of Variance	Cumulative %	1	200,302	18,702	18,702	2	189,808	17,723	36,425	3	189,641	17,707	54,132	4	183,955	17,176	71,308	5	182,809	17,069	88,377								
Component	Rotation Sums of Squared Loadings																																					
	Total	% of Variance	Cumulative %																																			
1	200,302	18,702	18,702																																			
2	189,808	17,723	36,425																																			
3	189,641	17,707	54,132																																			
4	183,955	17,176	71,308																																			
5	182,809	17,069	88,377																																			
Total Variance Explained <table> <tr> <th rowspan="2">Component</th><th colspan="3">Rotation Sums of Squared Loadings</th></tr> <tr> <th>Total</th><th>% of Variance</th><th>Cumulative %</th></tr> <tr> <td>1</td><td>211,159</td><td>19,716</td><td>19,716</td></tr> <tr> <td>2</td><td>199,023</td><td>18,583</td><td>38,299</td></tr> <tr> <td>3</td><td>190,266</td><td>17,765</td><td>56,064</td></tr> <tr> <td>4</td><td>181,112</td><td>16,911</td><td>72,975</td></tr> <tr> <td>5</td><td>155,487</td><td>14,518</td><td>87,493</td></tr> </table> Extraction Method: Principal Component Analysis. (δ)				Component	Rotation Sums of Squared Loadings			Total	% of Variance	Cumulative %	1	211,159	19,716	19,716	2	199,023	18,583	38,299	3	190,266	17,765	56,064	4	181,112	16,911	72,975	5	155,487	14,518	87,493								
Component	Rotation Sums of Squared Loadings																																					
	Total	% of Variance	Cumulative %																																			
1	211,159	19,716	19,716																																			
2	199,023	18,583	38,299																																			
3	190,266	17,765	56,064																																			
4	181,112	16,911	72,975																																			
5	155,487	14,518	87,493																																			
Total Variance Explained <table> <tr> <th rowspan="2">Component</th><th colspan="3">Rotation Sums of Squared Loadings</th></tr> <tr> <th>Total</th><th>% of Variance</th><th>Cumulative %</th></tr> <tr> <td>1</td><td>315,588</td><td>29,467</td><td>29,467</td></tr> <tr> <td>2</td><td>259,255</td><td>24,207</td><td>53,673</td></tr> <tr> <td>3</td><td>200,144</td><td>18,688</td><td>72,361</td></tr> <tr> <td>4</td><td>145,183</td><td>13,556</td><td>85,917</td></tr> </table> Extraction Method: Principal Component Analysis. (ε)				Component	Rotation Sums of Squared Loadings			Total	% of Variance	Cumulative %	1	315,588	29,467	29,467	2	259,255	24,207	53,673	3	200,144	18,688	72,361	4	145,183	13,556	85,917												
Component	Rotation Sums of Squared Loadings																																					
	Total	% of Variance	Cumulative %																																			
1	315,588	29,467	29,467																																			
2	259,255	24,207	53,673																																			
3	200,144	18,688	72,361																																			
4	145,183	13,556	85,917																																			
Total Variance Explained <table> <tr> <th rowspan="2">Component</th><th colspan="3">Rotation Sums of Squared Loadings</th></tr> <tr> <th>Total</th><th>% of Variance</th><th>Cumulative %</th></tr> <tr> <td>1</td><td>170,291</td><td>15,900</td><td>15,900</td></tr> <tr> <td>2</td><td>130,543</td><td>12,189</td><td>28,089</td></tr> <tr> <td>3</td><td>128,669</td><td>12,014</td><td>40,103</td></tr> <tr> <td>4</td><td>116,789</td><td>10,903</td><td>51,006</td></tr> <tr> <td>5</td><td>116,338</td><td>10,863</td><td>61,868</td></tr> <tr> <td>6</td><td>107,560</td><td>10,043</td><td>71,911</td></tr> <tr> <td>7</td><td>105,152</td><td>9,818</td><td>81,729</td></tr> </table> Extraction Method: Principal Component Analysis. (στ)				Component	Rotation Sums of Squared Loadings			Total	% of Variance	Cumulative %	1	170,291	15,900	15,900	2	130,543	12,189	28,089	3	128,669	12,014	40,103	4	116,789	10,903	51,006	5	116,338	10,863	61,868	6	107,560	10,043	71,911	7	105,152	9,818	81,729
Component	Rotation Sums of Squared Loadings																																					
	Total	% of Variance	Cumulative %																																			
1	170,291	15,900	15,900																																			
2	130,543	12,189	28,089																																			
3	128,669	12,014	40,103																																			
4	116,789	10,903	51,006																																			
5	116,338	10,863	61,868																																			
6	107,560	10,043	71,911																																			
7	105,152	9,818	81,729																																			

Σχήμα 3.34 Πίνακες ποσοστών ολικής διακύμανσης της Παραγοντικής Ανάλυσης των γεωδυναμικών υψών στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας στα 850hPa (ε), των αποχών της θερμοκρασίας στα 850hPa (στ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) για τις μέρες ακραίου υετού.

Από το Σχήμα 3.35, προέκυψε ότι ένας από τους κατάλληλους αριθμούς ομάδων είναι 7, κάθε μια από τους οποίους αντιστοιχεί σε έναν τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοεί την ύπαρξη ημερών ακραίου υετού στην λεκάνη της Μεσογείου. Ακολούθως, παραθέτουμε παρακάτω τους χάρτες που προέκυψαν από την ανάλυση κατά Συστάδες για κάθε μια από τις 7 ομάδες. Παράλληλα με αυτούς παραθέτουμε τα ιστογράμματα με την ενδο-ετήσια και τη διαχρονική διακύμανση του αριθμού ημερών της εκάστοτε ομάδας.

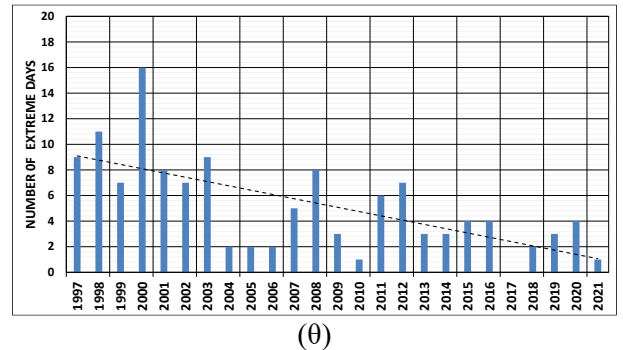
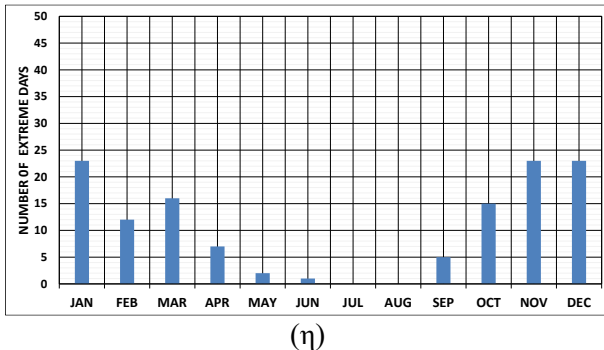
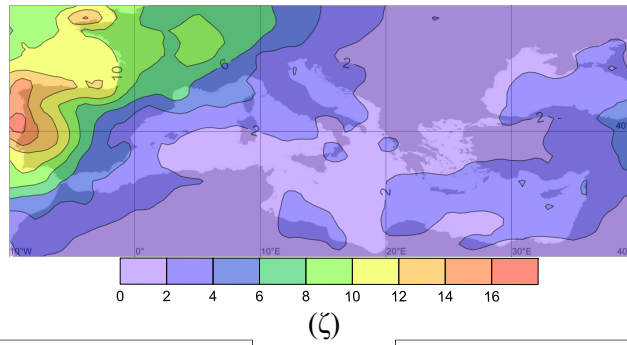
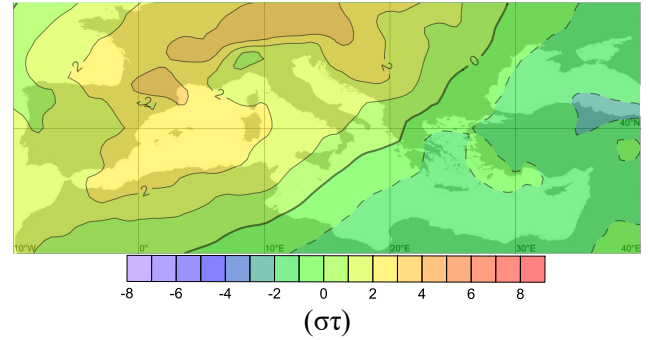
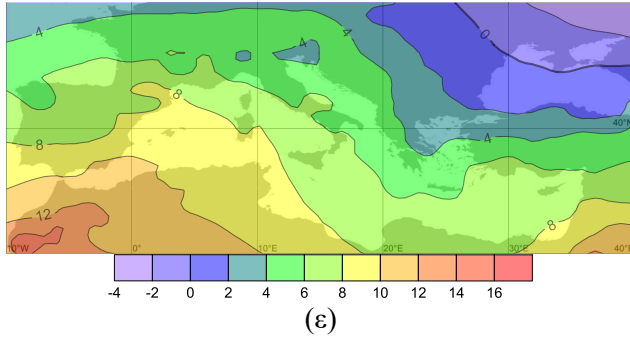
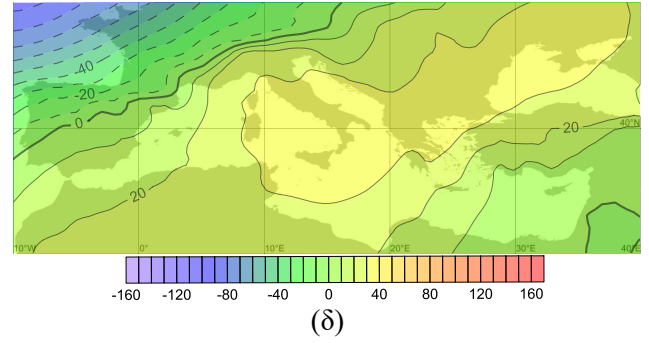
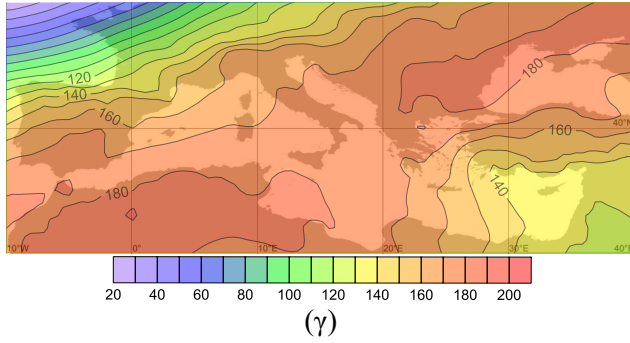
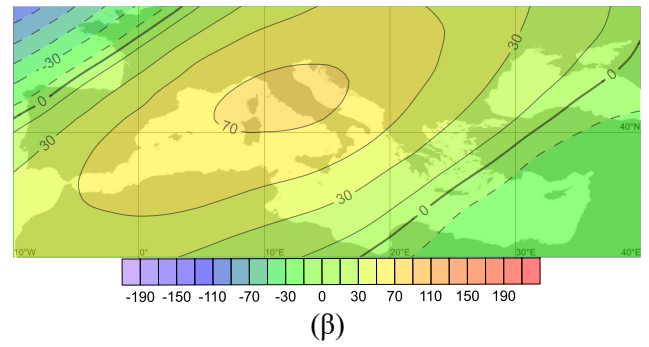
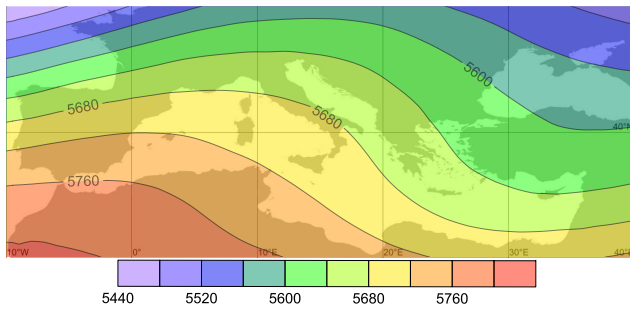


Σχήμα 3.35 Διάγραμμα αλμάτων συναρτήσει του αριθμού των ομάδων

Ανάλυση πρώτου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Cluster 1):

- Μέσω του Σχήματος 3.36 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 1 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό πάνω από τη δυτική Ευρώπη και ένα ασθενές νότια της Συρίας.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι αρκετά μεγάλες, εν αντιθέσει με το ασθενές χαμηλό που οι αποχές είναι μικρές. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και των troughs οι οποίες βρίσκονται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, πάνω από τις περιοχές που εμφανίζονται τα χαμηλά (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους του υετού είναι η νοτιοδυτική Ευρώπη όπου πρόκειται επομένως για την περιοχή όπου έχει βορείως της το ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό. Ισχυροί νοτιοδυτικοί πλήττουν την συγκεκριμένη περιοχή. Χαμηλότερες τιμές του ύψους του υετού παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα της Συρίας. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από ασθενείς ανατολικούς ανέμους.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας κατανομής των ημερών ακραίου υετού, φαίνεται ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται σχεδόν σε όλους τους μήνες του έτους, με εξαίρεση τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Οι περισσότερες εμφανίσεις του cluster 1 μοιράζονται στους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Οπότε δύναται να χαρακτηριστεί ως χειμερινός και φθινοπωρινός.
- Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa ότι στην περιοχή με τις υψηλές τιμές υετού έχουμε υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από το μέσο όρο.
- Τέλος από το ιστόγραμμα της διαχρονικής κατανομής των ακραίων ημερών υετού ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζει μία έντονη στατιστικά σημαντική τάση μείωσης.

CLUSTER 1

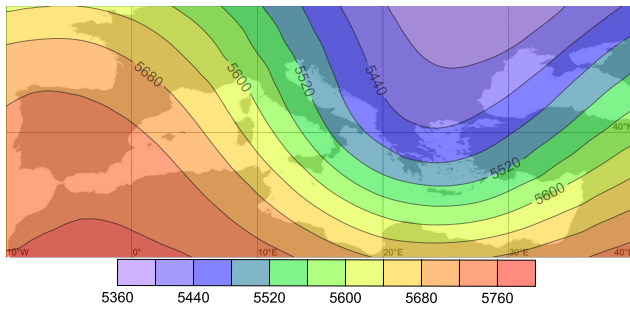


Σχήμα 3.36 *CLI* Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (*gpm*) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (β), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (*mm/day*) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (στ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (*gpm*) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 1.

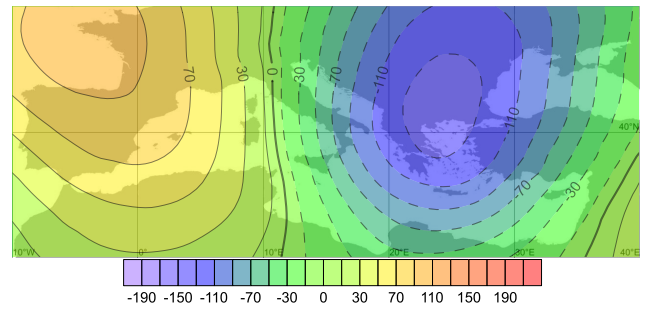
Ανάλυση δεύτερου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Cluster 2):

- Μέσω του Σχήματος 3.37 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 2 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό πάνω από την Τουρκία.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί αυτό το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι μεγάλες. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και της μεγάλης trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία φτάνει έως την κεντρική Ελλάδα σε γεωγραφικό πλάτος (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους του νετού είναι η περιοχή της Τουρκίας και κυρίως στα παράλια της, όπου πρόκειται επομένως για την περιοχή όπου βρίσκεται από πάνω της το χαμηλό βαρομετρικό.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας κατανομής των ημερών ακραίου νετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται σε όλους τους μήνες του έτους, με εξαίρεση την περίοδο από Μάιο έως και τον Σεπτέμβριο. Οπότε ίσως δύναται να χαρακτηριστεί ως χειμερινός και αυτό διότι επιπροσθέτως οι περισσότερες εμφανίσεις του cluster 2 είναι το μήνα Δεκέμβριο και οι αμέσως μετά ακολουθεί ο μήνας Ιανουάριος.
- Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa, ότι η κεντρική Ευρώπη έχει χαμηλές τιμές θερμοκρασίας, από την υπόλοιπη υπό μελέτη περιοχή. Στην περιοχή με τις υψηλές τιμές νετού έχουμε θερμοκρασίες κάτω από το μέσο όρο.
- Τέλος από το ιστόγραμμα της διαχρονικής κατανομής των ακραίων ημερών νετού προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης.

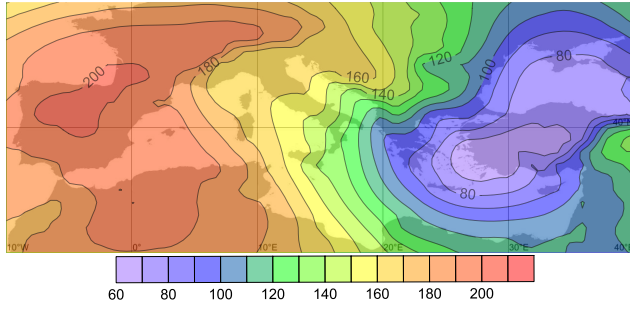
CLUSTER 2



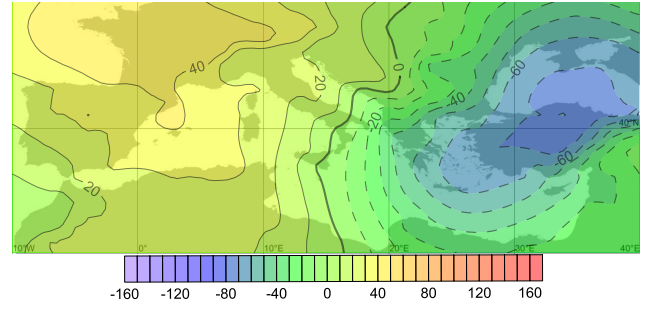
(α)



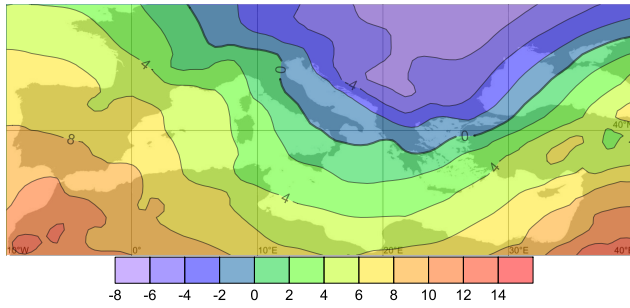
(β)



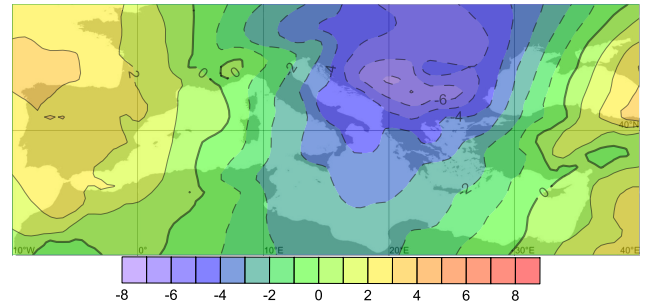
(γ)



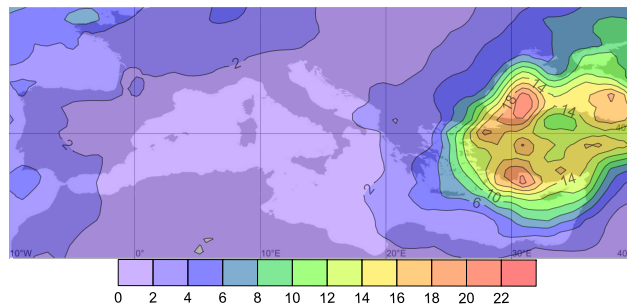
(δ)



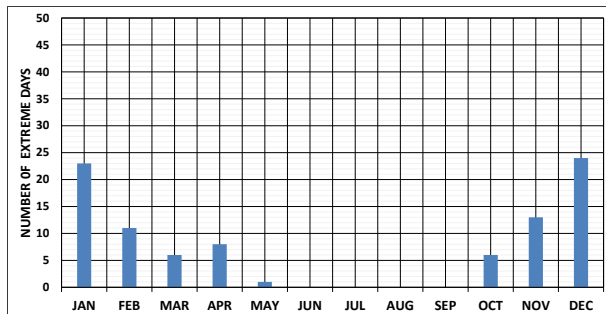
(ε)



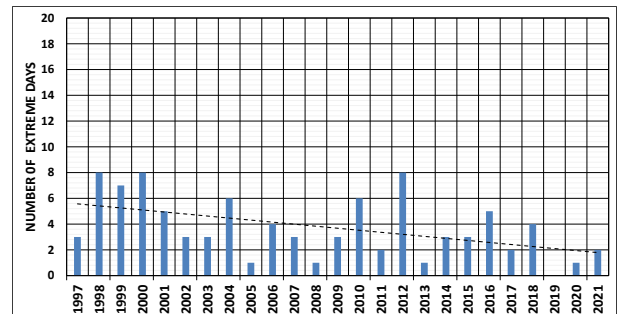
(σ)



(ζ)



(η)



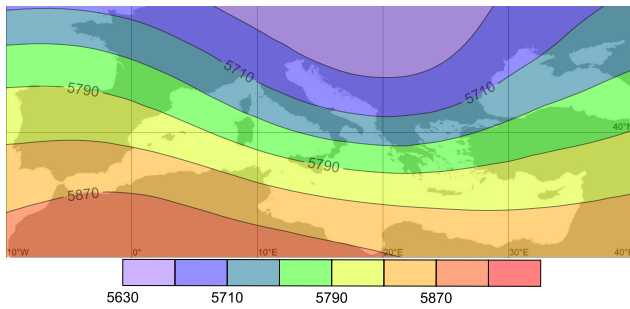
(θ)

Σχήμα 3.37 CL2 Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (mm/day) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (σ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και η διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 2.

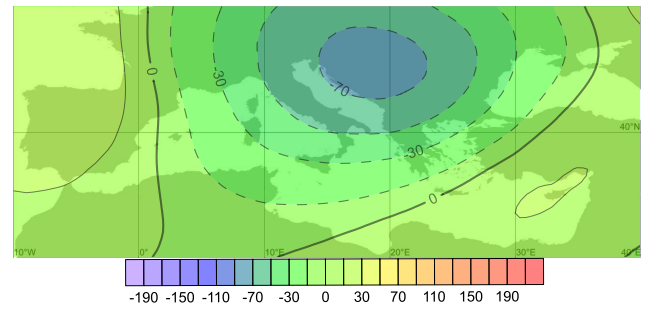
Ανάλυση τρίτου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του Cluster 3:

- Μέσω του Σχήματος 3.38 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 3 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό με το κέντρο του να είναι νοτιοανατολικά της Τουρκίας.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί αυτό το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι αρκετά μικρές. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και της μεγάλης trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία βρίσκεται πάνω από την κεντρική Ευρώπη (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους του υετού είναι η κεντρική Ευρώπη, η οποία αποτελεί την περιοχή όπου βρίσκεται το ανώτερο χαμηλό στα 500hPa και άρα η περιοχή υψηλής ατμοσφαιρικής αστάθειας. Η κεντρική Ευρώπη χαρακτηρίζεται από ανατολικούς ανέμους.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας κατανομής των ημερών ακραίου υετού, ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται κυρίως τους μήνες της θερμής περιόδου του έτους, κυρίως τους θερινούς. Για αυτό δύναται να χαρακτηριστεί ως θερινός τύπος. Οι υψηλότερες εμφανίσεις παρατηρούνται τον μήνα Ιούλιο.
- Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa ότι στην περιοχή με τις υψηλές τιμές υετού έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω από το μέσο όρο.
- Τέλος από το ιστόγραμμα της διαχρονικής κατανομής των ακραίων ημερών υετού ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης.

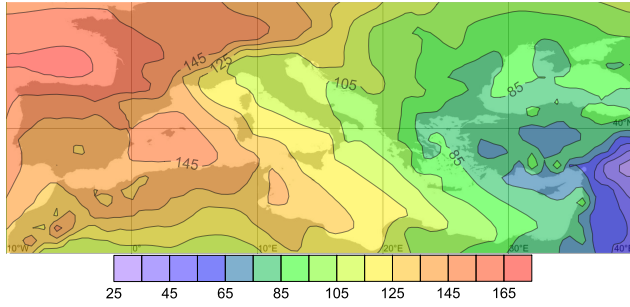
CLUSTER 3



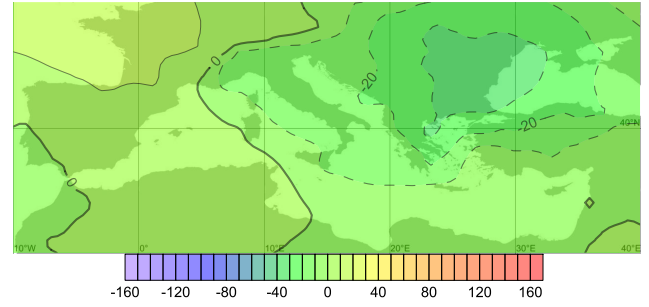
(α)



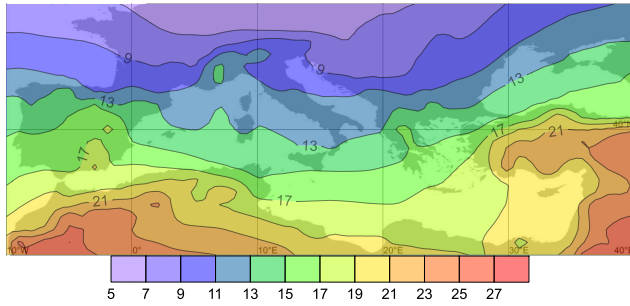
(β)



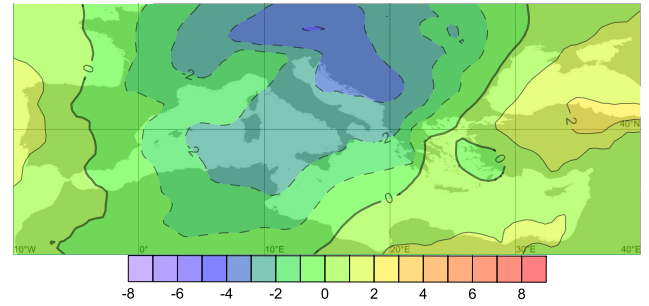
(γ)



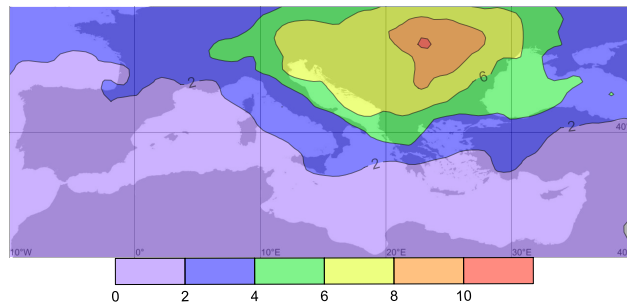
(δ)



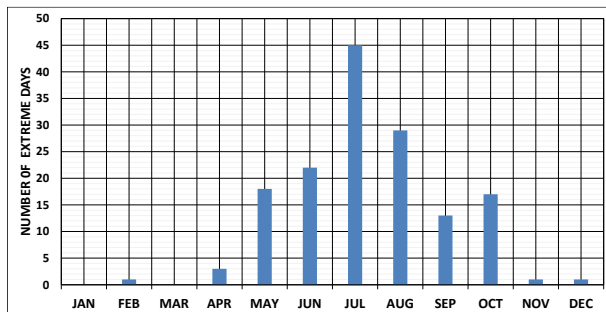
(ε)



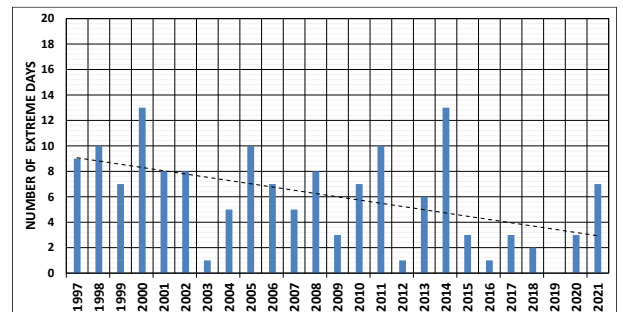
(σ)



(ζ)



(η)



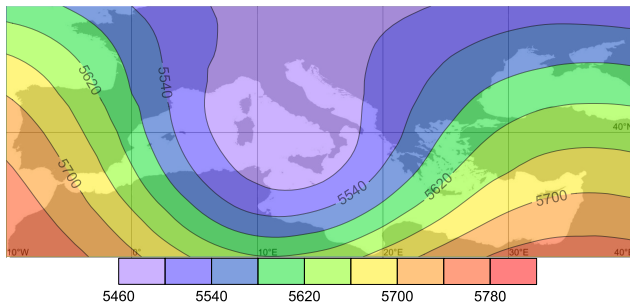
(θ)

Σχήμα 3.38 CL3 Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (*gpm*) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (*mm/day*) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (σ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (*gpm*) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και η διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 3.

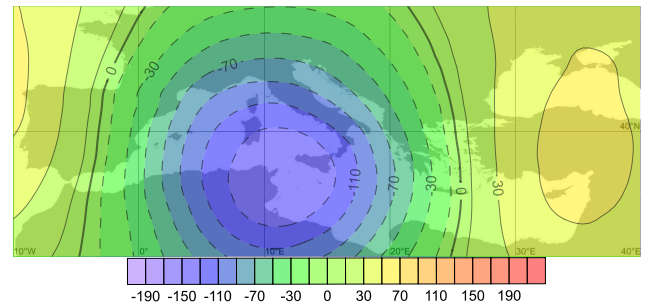
Ανάλυση τέταρτου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του Cluster 4:

- Σύμφωνα με το Σχήμα 3.39 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 4 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό με το κέντρο του να είναι νότια της Ιταλίας.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί αυτό το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι μικρές. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και της μεγάλης trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία εκτείνεται έως τη νότια Ιταλία (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους του υετού είναι ανατολικά της Ιταλίας και κυρίως στην δυτική Ελλάδα. Πρόκειται επομένως για την περιοχή την οποία επηρεάζει το βαρομετρικό χαμηλό και προς την οποία κινείται . Η περιοχή χαρακτηρίζεται από νοτιοανατολικούς ανέμους.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας διακύμανσης των ημερών ακραίου υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται την ψυχρή περίοδο του έτους, δηλαδή τους μήνες από Οκτώβριο έως και Απρίλιο. Συμπερασματικά, ίσως να μπορεί να χαρακτηριστεί ως χειμερινός τύπος. Οι περισσότερες εμφανίσεις του cluster 4 είναι το μήνα Δεκέμβριο. Ο αμέσως επόμενος μήνας με τις υψηλότερες εμφανίσεις είναι ο Ιανουάριος.
- Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa ότι στην περιοχή με τις υψηλές τιμές υετού έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω από το μέσο όρο.
- Τέλος από το ιστόγραμμα της διαχρονικής κατανομής των ακραίων ημερών υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, δεν εμφανίζει καμία στατιστικά σημαντική τάση.

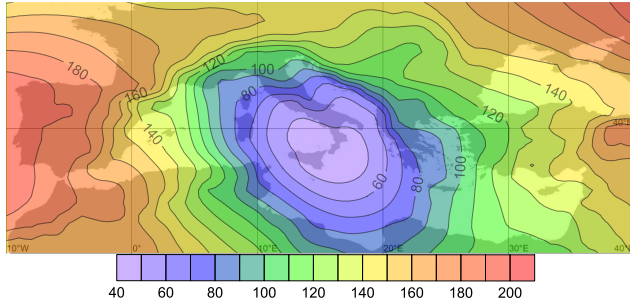
CLUSTER 4



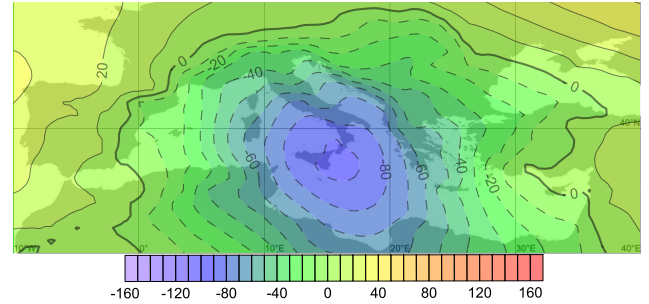
(α)



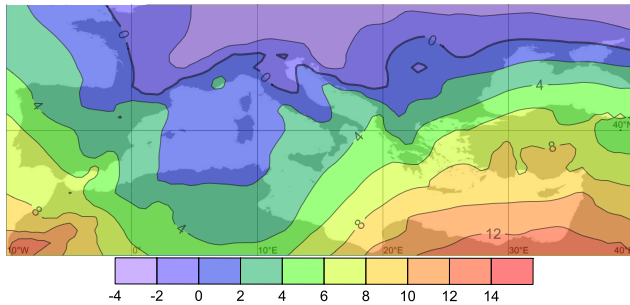
(β)



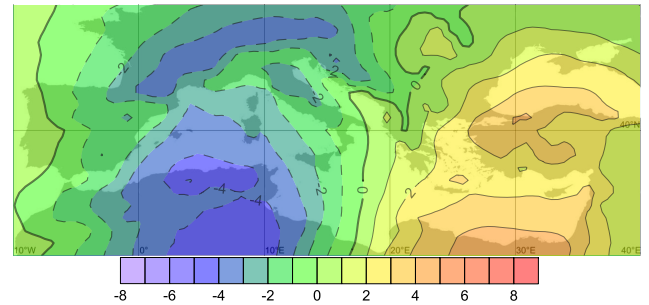
(γ)



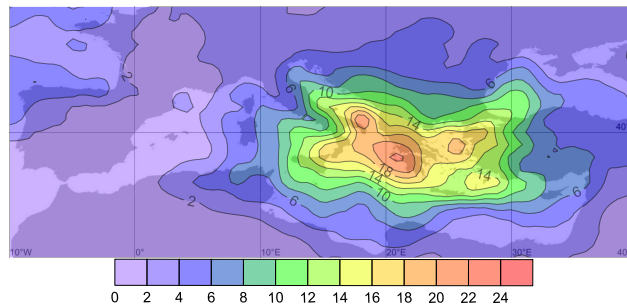
(δ)



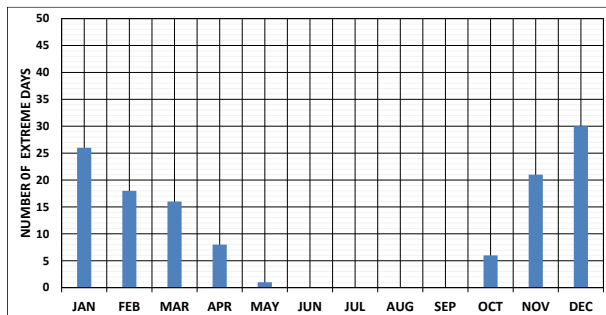
(ε)



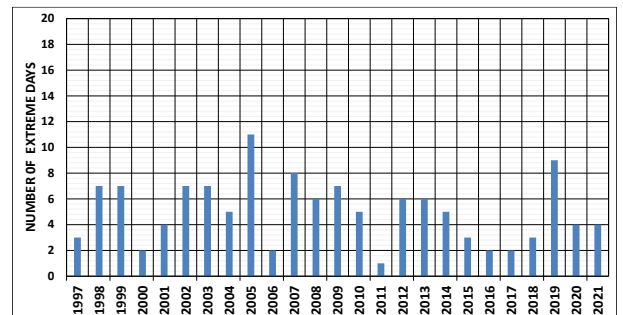
(σ)



(ζ)



(η)



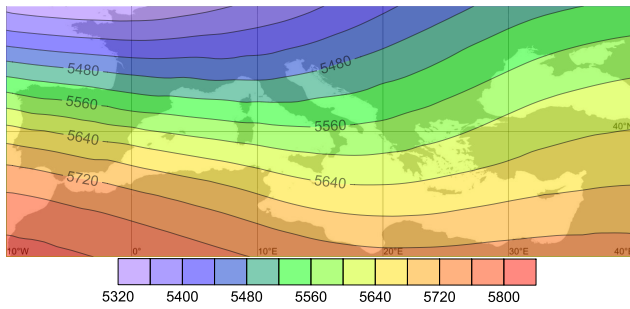
(θ)

Σχήμα 3.39 CL4 Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (mm/day) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (στ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και η διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 4.

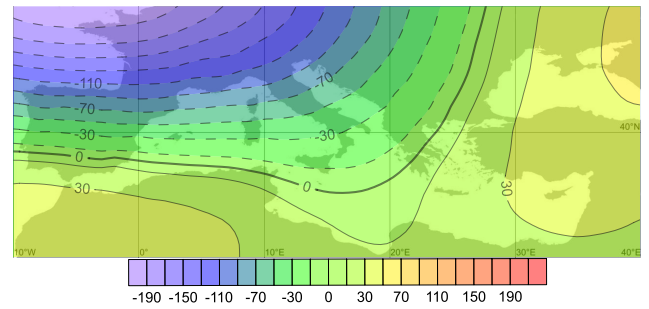
Ανάλυση πέμπτου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Cluster 5):

- Σύμφωνα με το Σχήμα 3.40 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 5 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό με το κέντρο του να είναι στη δυτική Ευρώπη.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί αυτό το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι μεγάλες. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και της μεγάλης trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία βρίσκεται πάνω από την περιοχή όπου βρίσκεται το χαμηλό βαρομετρικό (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους υετού είναι στο βορειοδυτικό τμήμα της Μεσογείου, όπου δρα το ισχυρό χαμηλό βαρομετρικό με την αντίστοιχη δυτική ροή η οποία μεταφέρει σημαντικά ποσά υγρασίας από τον Ατλαντικό Ωκεανό.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας κατανομής των ακραίων ημερών του υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Συμπερασματικά, ίσως να μπορεί να χαρακτηριστεί ως χειμερινός. Οι περισσότερες εμφανίσεις του cluster 5 είναι το μήνα Δεκέμβριο. Ο αμέσως επόμενος μήνας με τις υψηλότερες εμφανίσεις να παρατηρούνται τον μήνα Ιανουάριο.
- Επιπροσθέτως, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa ότι δυτικά της Ιβηρικής και ανατολικά της Ιταλίας με τις υψηλές τιμές υετού έχουμε θερμοκρασίες πάνω από το μηδέν και κοντά στον μέσο όρο.
- Τέλος, από το ιστόγραμμα της διαχρονικής διακύμανσης των ημερών ακραίου υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, δεν εμφανίζει καμία στατιστικά σημαντική τάση.

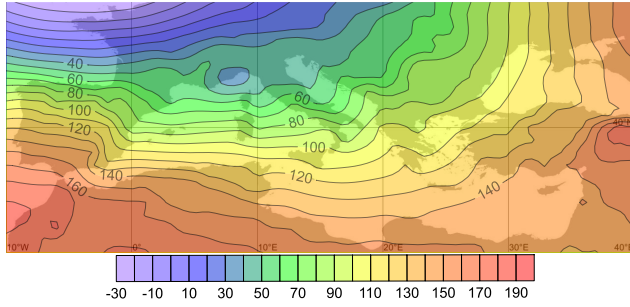
CLUSTER 5



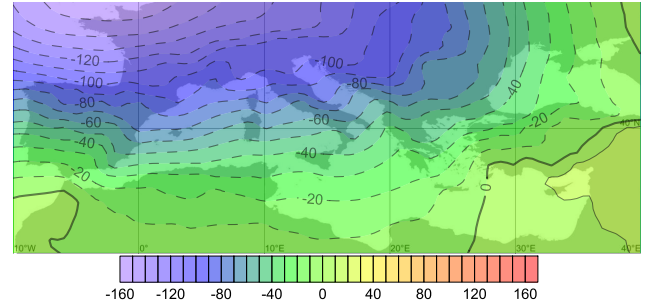
(α)



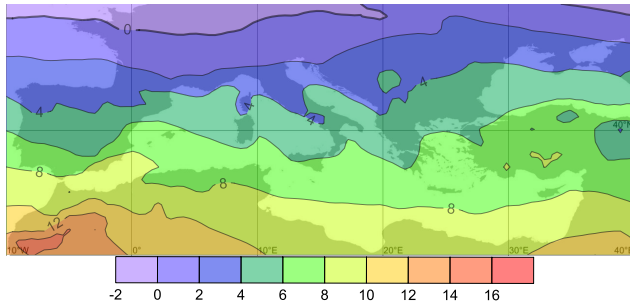
(β)



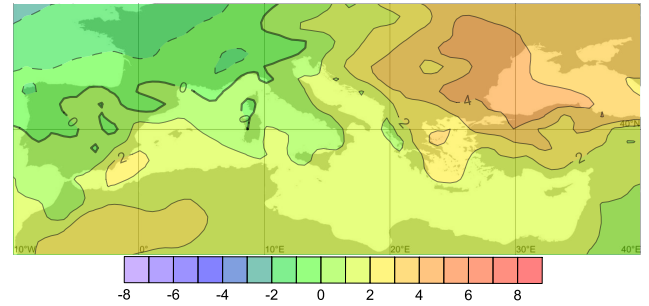
(γ)



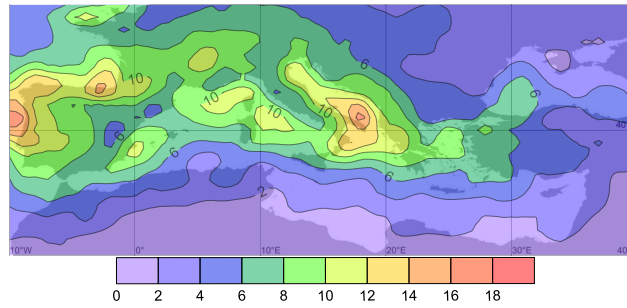
(δ)



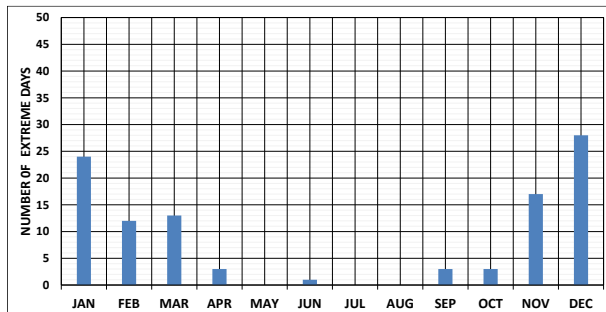
(ε)



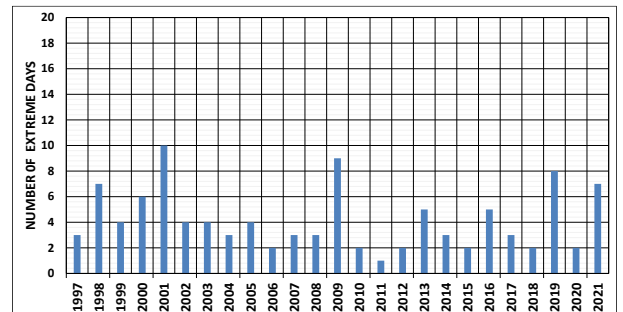
(στ)



(ζ)



(η)



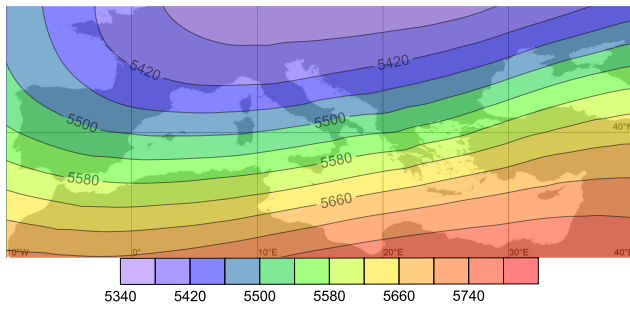
(θ)

Σχήμα 3.40 CL5 Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (mm/day) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (στ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και η διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 5.

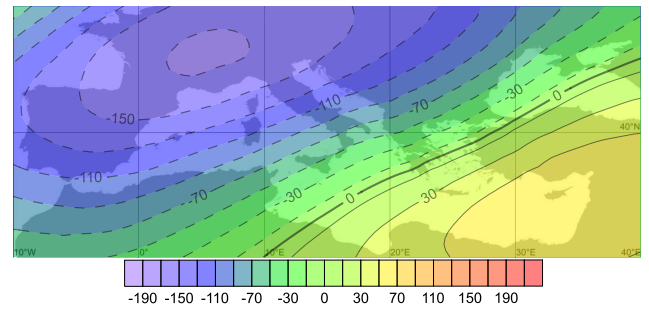
Ανάλυση έκτου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Cluster 6):

- Σύμφωνα με το Σχήμα 3.41 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 6 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό με το κέντρο του να είναι δυτικά της Ιταλίας.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί αυτό το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι αρνητικές. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και της μεγάλης trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία εκτείνεται σε όλη περίπου την Ευρώπη (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους του υετού είναι κυρίως στα νότια Βαλκάνια, την Τουρκία και τη Μαύρη Θάλασσα. Σε αυτές τις περιοχές υπάρχει η μεταφορά στροβιλισμού, η μεταφορά υγρασίας, η θερμή μεταφορά αλλά και η υψηλή αστάθεια λόγω και της θερμής θάλασσας, τα οποία συμβάλουν σημαντικά στην εκδήλωση υετού.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας κατανομής των ακραίων ημερών του υετού ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται την ψυχρή περίοδο του έτους και συγκεκριμένα από Οκτώβριο έως Απρίλιο. Συμπερασματικά ίσως να μπορεί να χαρακτηριστεί ως χειμερινός. Οι περισσότερες εμφανίσεις του cluster 6 είναι τον μήνα Φεβρουάριο. Ο αμέσως επόμενος μήνας με τις υψηλότερες εμφανίσεις είναι ο Δεκέμβριος.
- Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa ότι στην περιοχή με τις υψηλές τιμές υετού έχουμε θετικές αποχές θερμοκρασίας, με την βόρεια Ευρώπη να έχει χαμηλές θερμοκρασίες.
- Τέλος από το ιστόγραμμα της διαχρονικής διακύμανσης των ημερών ακραίου υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμφανίζει μία στατιστικά σημαντική πτωτική τάση.

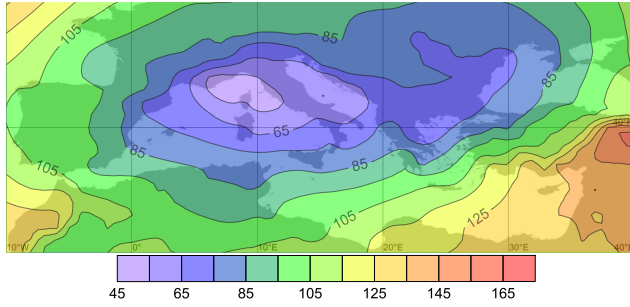
CLUSTER 6



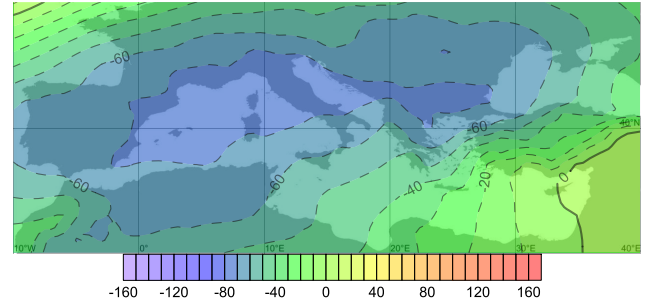
(α)



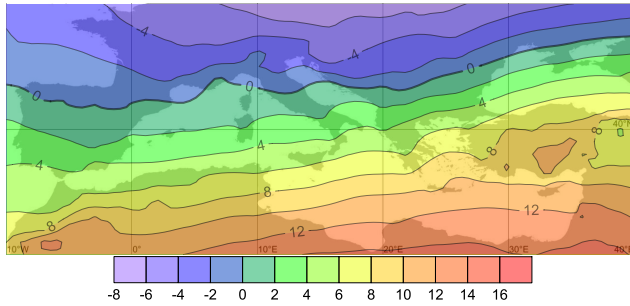
(β)



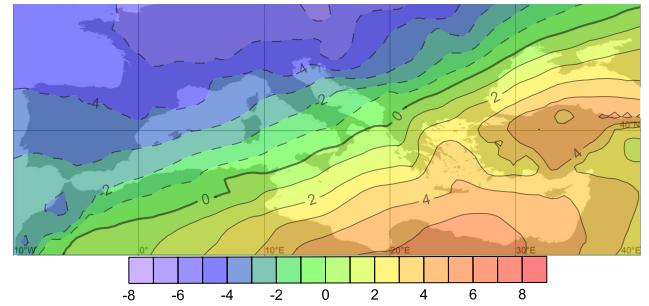
(γ)



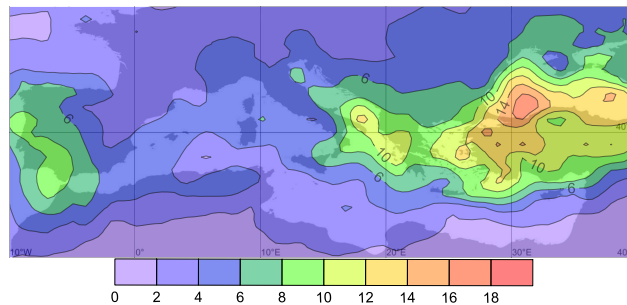
(δ)



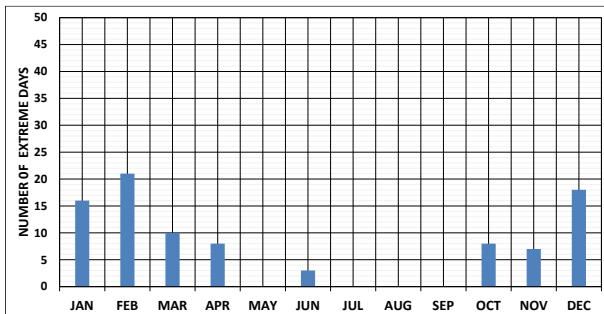
(ε)



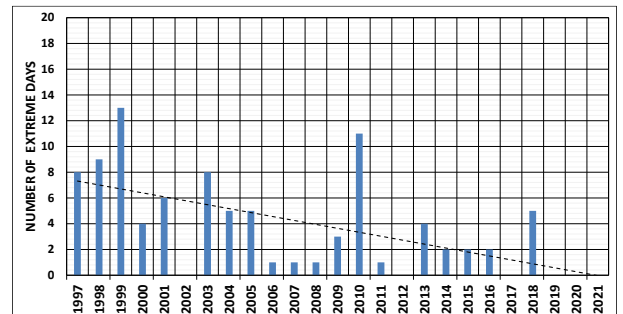
(σ)



(ζ)



(η)



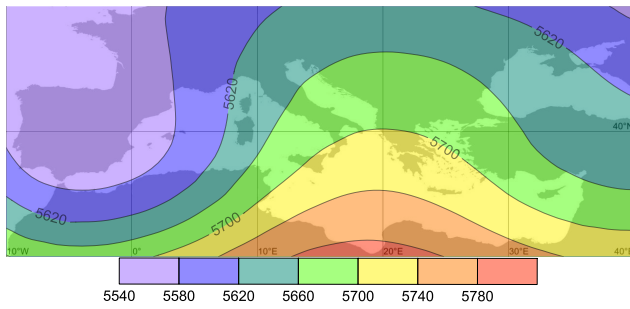
(θ)

Σχήμα 3.41 CL6 Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (mm/day) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (στ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και η διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 7.

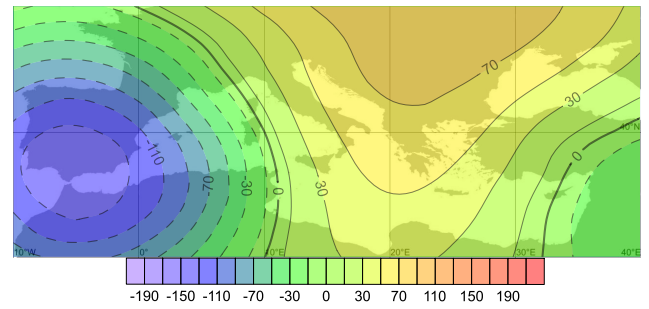
Ανάλυση έβδομου τύπου ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Cluster 7):

- Μέσω του Σχήματος 3.42 και πιο συγκεκριμένα από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία του cluster 7 χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό πάνω από τη θαλάσσια περιοχή ανατολικά της Ιβηρικής.
- Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχεί αυτό το ισχυρό βαρομετρικό σύστημα οι αποχές είναι υψηλές αρνητικές. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα και της μεγάλης κλίμακας trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, πάνω από τις περιοχές που εμφανίζεται το χαμηλό (χάρτης του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa).
- Η περιοχή των υψηλών τιμών του ύψους του υετού είναι στη δυτική Μεσόγειο, μεταξύ Ιβηρικής και Ιταλίας.
- Από το ιστόγραμμα της ενδο-ετήσιας διακύμανσης των ημερών ακραίου υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται σχεδόν σε όλους τους μήνες του έτους, λιγότερα στους θερινούς, και κυρίως το μήνα Νοέμβριο, οπότε δε δύναται να χαρακτηριστεί είτε ως θερινός είτε ως χειμερινός
- Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα παρατηρούμε μέσω του μέσου χάρτη της θερμοκρασίας στα 850hPa ότι στην περιοχή με τις υψηλές τιμές υετού έχουμε μικρές θετικές αποχές θερμοκρασίας.
- Τέλος, από το ιστόγραμμα της διαχρονικής διακύμανσης των ημερών ακραίου υετού, προκύπτει ότι ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας δεν εμφανίζει καμία στατιστικά σημαντική τάση.

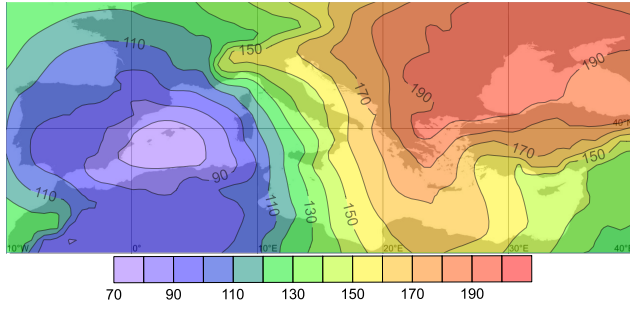
CLUSTER 7



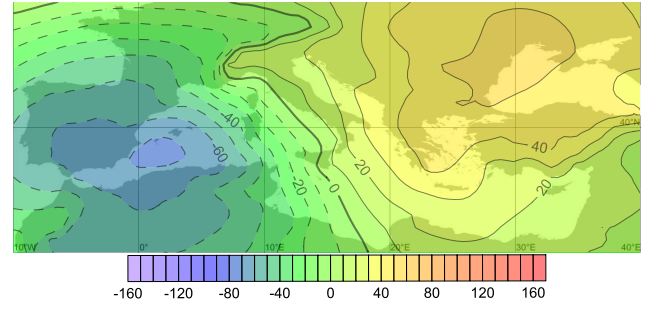
(α)



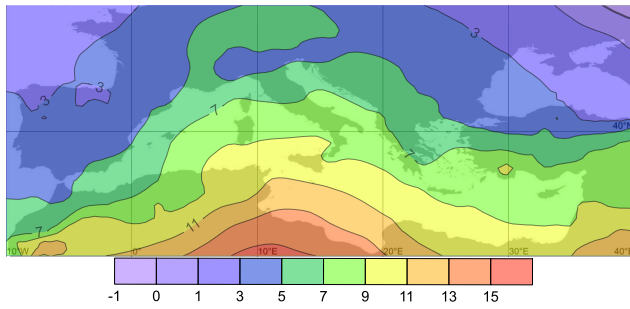
(β)



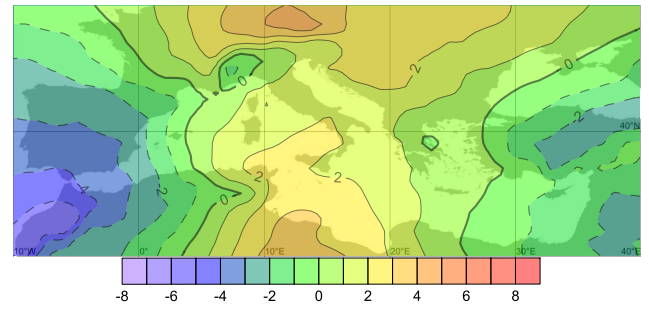
(γ)



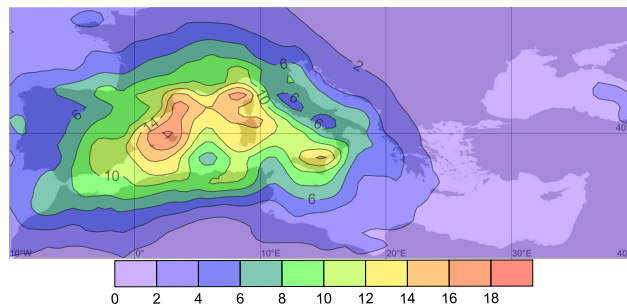
(δ)



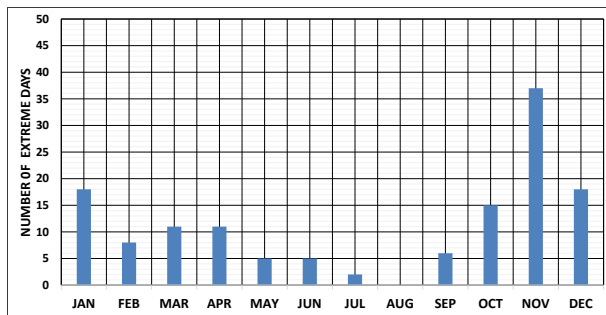
(ε)



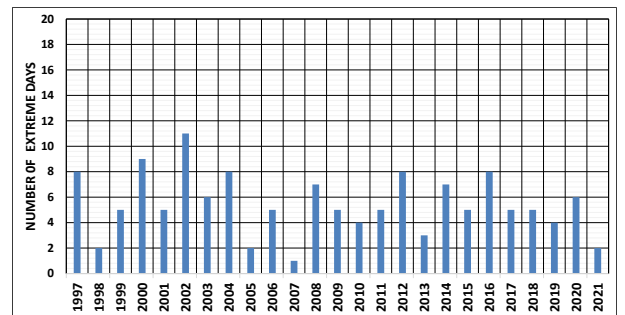
(στ)



(ζ)



(η)



(θ)

Σχήμα 3.42 CL7 Χάρτες χωρικής κατανομής των γεωδυναμικών υψών (*gpm*) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (α) και 1000hPa (γ), της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (ε), του ύψους νετού (*mm/day*) (ζ), των αποχών της θερμοκρασίας (°C) στα 850hPa (στ) και των αποχών των γεωδυναμικών υψών (*gpm*) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa (β) και 1000hPa (δ) στην λεκάνη της Μεσογείου. Επίσης παρουσιάζεται η ενδο-ετήσια (η) και η διαχρονική (θ) διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου νετού που εμφανίζονται στο cluster 7.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να συμβάλει στη μελέτη της μέσης ενδο-ετήσιας διακύμανσης και της μέσης χωρικής κατανομής του ύψους του νετού στην περιοχή της Μεσογείου. Ταυτόχρονα, η εργασία είχε ως στόχο στη μελέτη των γραμμικών τάσεων των διαχρονικών διακυμάνσεων του ύψους του νετού, καθώς και των ακραίων τιμών του ύψους νετού. Τέλος, επιχειρήθηκε η σύνδεση των ημερών ακραίου νετού με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν η στατιστική μέθοδος Factor Analysis, το τεστ Mann-Kendall, η Cluster Analysis και αρκετοί κώδικες στην Python για επεξεργασία των δεδομένων.

Από την Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) προέκυψαν 7 factors για τη μέση ενδο-ετήσια διακύμανση του ύψους του νετού και 3 factors για τη μέση χωρική κατανομή του ύψους του νετού. Στη χωρική κατανομή τάσεων νετού ανά δίμηνο, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις και στα 6 δίμηνα, που προέκυψαν από την εφαρμογή του τεστ Mann-Kendall, με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Συγκεκριμένα, μερικές περιπτώσεις στατιστικών σημαντικών τάσεων που βρέθηκαν για την περίοδο 1997-2021 είναι οι εξής:

1. Μείωση του ύψους νετού στην κεντρική Ευρώπη το δίμηνο Μαρτίου-Απριλίου.
2. Αύξηση του ύψους νετού στα ανατολικά Βαλκάνια το δίμηνο Μαΐου-Ιουνίου.
3. Μείωση του ύψους νετού στη δυτική Ιβηρική το δίμηνο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου
4. Μείωση του ύψους νετού στην περιοχή δυτικά της Κρήτης το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου.

Στην διαχρονική διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων μη μηδενικού νετού ως προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων παρατηρήσαμε μία μικρή αυξητική τάση για την περίοδο 1997-2021.

Στην στατιστική ανάλυση του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου νετού παρατηρήσαμε τα εξής:

1. Στη χωρική κατανομή του κατωφλίου (1%) των περιπτώσεων ακραίου νετού, παρατηρήθηκαν τιμές από 13mm/day έως 64mm/day.
2. Στη διαχρονική διακύμανση της μέσης τιμής του ύψους του νετού ανά ακραία περίπτωση, δεν παρατηρήθηκε κάποια στατιστικά σημαντική τάση. Στην αντίστοιχη ενδο-ετήσια διακύμανση παρατηρήθηκε ελάχιστο τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.
3. Στη διαχρονική διακύμανση του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου ύψους νετού, παρατηρήθηκε μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης για την περίοδο 1997-2021.
4. Στη διαχρονική διακύμανση του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου ύψους νετού ως προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού νετού, παρατηρήθηκε μία τάση μείωσης για την περίοδο 1997-2021.
5. Στην ενδο-ετήσια διακύμανση του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου ύψους του νετού και του ποσοστού του αριθμού των περιπτώσεων ακραίου ύψους νετού ως προς το συνολικό αριθμό περιπτώσεων μη μηδενικού νετού παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες τιμές στους 3 πρώτους και τους 3 τελευταίους μήνες του έτους με τη μέγιστη τιμή να παρατηρείται το μήνα Δεκέμβριο. Από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο είχαμε μικρότερες τιμές, με το εξής αξιοσημείωτο, ότι τον μήνα Ιούλιο είχαμε μεγαλύτερη τιμή από αυτή των γειτονικών μηνών.

Στην στατιστική ανάλυση του αριθμού των ημερών (χωρικά εκτεταμένων ημερήσιων περιστατικών) ακραίου υετού παρατηρήσαμε τα εξής:

1. Προέκυψε μία στατιστικά σημαντική τάση μείωσης στην διαχρονική διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού.
2. Αντίστοιχα στη διαχρονική διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού σε μηνιαία βάση, παρατηρούμε μία τάση μείωσης μόνο στους μήνες Απρίλιο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο.
3. Στην ενδο-ετήσια διακύμανση του αριθμού των ημερών ακραίου υετού έχουμε μικρότερες τιμές από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο, με το εξής αξιοσημείωτο ο Ιούλιος να έχει τη μεγαλύτερη τιμή από αυτή των γειτονικών τιμών.

Κατά την περάτωση της εργασίας μελετήθηκε με τη βοήθεια της Ανάλυσης κατά Συντάδες, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία η οποία ευνοεί την ύπαρξη ημερών ακραίου υετού. Προέκυψαν 7 ομάδες κάθε μια εκ των οποίων είχε τα δικά της χαρακτηριστικά. Φαίνεται πως η εμφάνιση των ακραίων ημερών σε κάθε μια ομάδα έχει άμεση συσχέτιση με την ύπαρξη βαρομετρικών συστημάτων. Επίσης, η κάθε ομάδα εμφανίζεται σε συγκεκριμένους μήνες μέσα στο έτος, δηλώνοντας μια εποχικότητα. Αυτό ίσως μπορεί να μας οδηγεί στο να γίνει αναφορά για θερινό ή χειμερινό τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Κλείνοντας, η μεθοδολογία καθώς και η επεξεργασία-ανάλυση του ύψους του υετού που έγινε στην παρούσα εργασία μπορεί να ακολουθηθεί και σε παγκόσμιο επίπεδο, ώστε να προκύψουν αντίστοιχα συμπεράσματα και για άλλες περιοχές του πλανήτη. Επίσης, η χρησιμοποίηση δεδομένων για μεγαλύτερη χρονική περίοδο, αν και δυσκολεύει αρκετά την ανάλυσή τους, ίσως οδηγήσει σε λιγότερους factors στην Παραγοντική Ανάλυση αλλά και πιθανόν σε διαφοροποίηση των τάσεων. Επιπροσθέτως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα κριτήρια για τον ορισμό των "περιπτώσεων ακραίου υετού" όπως και των "ημερών ακραίου υετού". Κάτι τέτοιο θα οδηγήσει στο να υπάρξουν διάφορες εκδοχές αποτελεσμάτων ανάλογα με το πόσο ακραίος θέλουμε να είναι ο υετός και πόσο χωρικά εκτεταμένα θέλουμε να είναι τα περιστατικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bartzokas A., & Metaxas D. A. (1993): Covariability and climatic changes of the lower-troposphere temperatures over the northern hemisphere. *Il Nuovo Cimento C*, **16**: 359-373.
2. Bartzokas A., Lolis C.J., Metaxas D.A. (2003): A study on the intra-annual variation and the spatial distribution of precipitation amount and duration over Greece on a 10-day basis. *International Journal of Climatology* **21**: 1645-1668.
3. Bolton D. (1980) The Computation of Equivalent Potential Temperature
4. Byrant F., Yarnold P. et al. (1999): "Statistical Methodology: VIII. Using Confirmatory Factor Analysis (CFA) in Emergency Medicine Research." *Academic Emergency Medicine* **6**(1): 54-66.
5. Calinski R. B. and Harabasz J. (1974): A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics* **3**: 1-27.
6. Cattell R.B. (1966): "The scree test for the number of factors." *Multivariate Behavioral Research*. **1**(2): 245-276.
7. Fabrigar L. R., Wegener D. T. et al. (1999): "Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research." *Psychological Methods* **4**: 272-299.
8. Frayley C. and Raftery A. (1998). How many clusters? Which clustering method? - answers via model based cluster analysis. *Technical Report no. 329, Department of Statistics, University of Washington*.
9. Førland E.J. and Hanssen-Bauer I. (2000): Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false. *Climatic Change*, **46**, 485-509.
10. Folland C.K., Karl T.R., Christy J.R., Clark R.A., Gruza G.V., Jouzel J., Mann M.E., Oerlemans J., Salinger M.J. and Wang S.W. (2001): *Observed Climate Variability and Change, in Chapter 2 of climate change 2002: the Scientific Basis, , Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change edited by GT Houghton, Y Ding, DJ Griggs, M Noguer, PJ van de Linden, X Dai, K Maskell and CA Johnson, Eds, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2001 pp. 881.*
11. Giorgi F. (2002): Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century, Part I: Observations. *Climate Dynamics* **18**:675-691.
12. Goosens C. (1985): Principal component analysis of Mediterranean rainfall. *International Journal of Climatology* **5**: 379-388.
13. Hartigan J.A. (1975): *Clustering Algorithms*. Wiley.
14. Jolliffe I.T. (1986): *Principal component analysis*. Springer, New York, NY.
15. Jolliffe I.T. (1990): *Principal Component Analysis: A Beginner's Guide - Introduction and application*. *Weather* **45**: 375-382.
16. Jolliffe I.T. (1993): *Principal Component Analysis: A Beginner's Guide - Pitfalls, myths and extensions*. *Weather* **48**: 246-253.
17. Kaufman, L. and Rousseeuw, P. (1990): *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. *New York: Wiley*.
18. Kozuchowski K., Marciniak K. (1988): Variability of mean monthly temperatures and semi-annual precipitation totals in Europe in relation to hemisphere circulation patterns. *International Journal of Climatology* **8**: 191-199.
19. Kozuchowski K., Wibig J., Maheras P. (1992): Connections between air temperature and precipitation and the geopotential height of the 500 hPa level in a meridional cross-section in Europe. *Int J Climatol* **12**:343-352

20. Krzanowski W. J. and Lai Y. T. (1985): A criterion for determining the number of clusters in a data set. *Biometrics* **44**: 23–34.
21. Kummerow C., W. S. Olsen and L. Giglio (1996): A simplified scheme for obtaining precipitation and vertical hydrometeor profiles from passive microwave sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 34, 1213–1232.
22. Ledesma, R. D., Valero-Mora P. (2007): "Determining the Number of Factors to Retain in EFA: an easy-to-use computer program for carrying out Parallel Analysis." *Practical Assessment, Research & Evaluation* **12**(2): 1-11.
23. Linn R. L. (1968): "A Monte Carlo approach to the number of factors problem." *Psychometrika* **33**: 37-71.
24. Lolis C. J. (2010): Inter-annual variability of winter convective precipitation in south-eastern Europe and its connection to middle tropospheric circulation
25. Lolis C. J. (2012): High-resolution precipitation over the southern Balkans
26. Lolis C. J., Bartzokas A., Lagouvardos K., Metaxas D.A. (2012): Intra-annual variation of atmospheric static stability in the Mediterranean region: a 60-year climatology
27. Lolis C.J., Türkeş M. (2016): Atmospheric circulation characteristics favouring extreme precipitation in Turkey.
28. Lolis C. J. (2017): A climatology of convective available potential energy in the Mediterranean region
29. Lolis C.J., Bartzokas A, Katsoulis B.D. (2004): Relation between sensible and latent heat fluxes in the Mediterranean and precipitation in the Greek area during winter. *International Journal of Climatology* **24**: 1803-1816.
30. Maheras P. (1985): A Factorial Analysis of Mediterranean Precipitation. *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology* **36**: 1-14.
31. Manly B.F.J. (1986): Multivariate statistical methods: a primer. Chapman & Hall, London.
32. Manly BFJ, Navarro Alberto Jorge A. (2017) Multivariate Statistical Methods: A Primer, Fourth Edition, *Chapman & Hall, London*, pp 121.
33. METEOROLOGY TODAY 2018: AN INTRODUCTION TO WEATHER, CLIMATE AND THE ENVIRONMENT by meteorologists C. Donald Ahrens and Robert Henson
34. Richman M.B. (1986): Rotation of Principal Components. *Journal of Climatology* **6**: 293-335.
35. Rogers J.C. (1990): Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variability (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies. *Journal of Climate* **3**: 1364-1379.
36. George J. Huffman, Robert F. Adler, Mark M. Morrissey, David T. Bolvin, Scott Curtis, Robert Joyce, Brad McGavock and Joel Susskind (2001). Global Precipitation at One-Degree Daily Resolution from Multisatellite Observations.
37. Husar R. B. and Falke S. R. (1996): "Uncertainty in the spatial interpolation of PM10 monitoring data in Southern California," <http://capita.wustl.edu/CAPITAJcapitareports/cainterp/cainterp.doc>.
38. Sharma S. (1996): Applied Multivariate Techniques, John Wiley, New York, 493pp.
39. Spearman C. (1904): "General intelligence", objectively determined and measured." *American Journal of Psychology* **15**: 201-293.
40. Catherine A. Sugar and Gareth M. James (2003): *Finding the number of clusters in a data set: An information theoretic approach*. Marshall School of Business, University of Southern California
41. Thompson B. (2004): Exploratory and confirmatory factor analysis: understanding concepts and applications. Washington, DC, American Psychological Association.
42. Tibshirani R., Walther G., and Hastie T. (2001): Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* **63**: 411–423.
43. Türkeş M., Sümer U.M, Kihc G. (2002): Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500hPa geopotential heights. *Climate Research* **21**:59-81

44. Xoplaki E., Luterbacher J., Burkard R., (1999): Influence of large-scale atmospheric circulation on the variability of seasonal precipitation in Thessaloniki, 1958–1997. *In: Special edition to mark the 70th year since the establishment of the Dept of Meteorology and Climatology of Aristotelian University of Thessaloniki. Meteorological Climatological Institute of Thessaloniki, Thessaloniki*, p 93–102 (in Greek)
45. Nikolaos Hatzianastassiou, Christos D. Papadimas, Christos J. Lolis, Aristides Bartzokas, Vincenzo Levizzani, John D. Pnevmatikos and Basil D. Katsoulis (2016): Spatial and temporal variability of precipitation over the Mediterranean Basin based on 32-year satellite Global Precipitation Climatology Project data, part I: evaluation and climatological patterns. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol.* **36**: 4741–4754
46. Nikolaos Hatzianastassiou, Christos D. Papadimas, Christos J. Lolis, Aristides Bartzokas, Vincenzo Levizzani, John D. Pnevmatikos and Basil D. Katsoulis (2016): Spatial and temporal variability of precipitation over the Mediterranean Basin based on 32-year satellite Global Precipitation Climatology Project data, part II: inter-annual variability and trends. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol.* **36**: 4755–4766
47. Xoplaki E., Luterbacher J., Burkard R., Patrikas I., Maheras P. (2000): Connecting between the large-scale 500hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime. *Climate Research* **14**:129-146.
48. Zhengquan Li, Kuo Wang*, Hao Ma and Yaoliang Wu (2018): An Adjusted Inverse Distance Weighted Spatial Interpolation Method.
49. Zwick W. R. and W. F. Velicer (1986). "Comparison of five rules for determining the number of components to retain." *Psychological Bulletin* **99**: 432-442.

ΕΛΛΗΝΟΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εισαγωγή στη Δυναμική Μετεωρολογία, Μεταξάς Δ.- Μπαρτζώκας Α., εκδόσεις Ιων-2012, σελ. 26, 58-65.
2. Λώλης Χ. (2002), Συμβολή στη μελέτη της αλληλεπίδρασης κατώτερης τροπόσφαιρας – επιφάνειας θάλασσας στις περιοχές της Μεσογείου και του βορείου Ατλαντικού, Διδακτορική Διατριβή.
3. Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Κατσούλης Β.Δ., 2005, σελ. 86-100.
4. Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση, Δημήτρης Καρλής ΑΘΗΝΑ- ΜΑΙΟΣ 2003, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ, σελ. 162-165, 176.
5. Σημειώσεις Μετεωρολογίας - Π.Μ.Σ Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον, Λώλης Χ., 2022.
6. Σημειώσεις Κλιματολογίας - Π.Μ.Σ Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον, Χατζηαναστασίου Ν., 2022.
7. Σημειώσεις Φυσικής της Ατμόσφαιρας-Π.Μ.Σ Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον, Χατζηαναστασίου Ν., 2022.
8. Σημειώσεις Μετεωρολογίας, Πνευματικός Ι., 2003.
9. Φυσική Κλιματολογία, Σαχσαμάνογλου ΧΣ-Μπλούτσος ΑΑ, εκδόσεις Ζήτη-1998, σελ. 117.
10. Ο Καιρός & το Κλίμα - Εισαγωγή στη Μετεωρολογία & την Κλιματολογία, Edward Aguado, James E. Burt ,Εκδόσεις Ιων-2020, σελ. 152, 210.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Κώδικας που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή του τεστ Mann-Kendall (95% επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας) ανά στήλη

```
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.stats import norm

results_df = pd.DataFrame(columns=['Column', 'ZMK', 'p-value', 'Trend']) # Δημιουργία ενός κενού DataFrame για τα αποτελέσματα

df = pd.read_excel('διαδρομή φακέλου εισαγωγής δεδομένων.xlsx', index_col=0) # Εισαγωγή δεδομένων από excel

# Εφαρμογή του Mann-Kendall τεστ για κάθε στήλη (εκτός από την πρώτη)
for column_name in df.columns[0:]: # Ξεκινάμε από τη δεύτερη στήλη
    data = df[column_name].values
    n = len(data)
    S = 0 # Υπολογισμός S
    for i in range(n - 1):
        for j in range(i + 1, n):
            S += np.sign(data[j] - data[i])

    Var_S = (n * (n - 1) * (2 * n + 5)) / 18 # Υπολογισμός του Var(S)

    ZMK = 0 # Υπολογισμός ZMK (Mann-Kendall test)
    if S > 0:
        ZMK = (S - 1) / np.sqrt(Var_S)
    elif S < 0:
        ZMK = (S + 1) / np.sqrt(Var_S)

    p_value = 2 * (1 - norm.cdf(np.abs(ZMK))) # Υπολογισμός p-value

    trend = '+' if ZMK > 0 and p_value < 0.05 else '-' if ZMK < 0 and p_value < 0.05 else '' # Καθορισμός της τάσης (Trend)

    temp_df = pd.DataFrame({'Column': [column_name], 'ZMK': [ZMK], 'p-value': [p_value], 'Trend': [trend]})
# Δημιουργία ενός προσωρινού DataFrame για τα αποτελέσματα με την προσθήκη της τάσης

    if results_df.empty: # Σύνδεση του προσωρινού DataFrame με το κύριο DataFrame
        results_df = temp_df.copy()
    else:
        results_df = pd.concat([results_df, temp_df], ignore_index=True, sort=False)

# Εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε ένα αρχείο Excel
results_df.to_excel('διαδρομή φακέλου εξαγωγής αποτελεσμάτων.xlsx', index=False)
```

B. Κώδικας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μέσης τιμής του ύψους του υετού ανά πενθήμερο (εξάήμερο στο δίσεκτο)

```
import pandas as pd
from openpyxl import Workbook
from datetime import datetime, timedelta

df=pd.read_excel('διαδρομή φακέλου εισαγωγής δεδομένων.xlsx')
start_date = datetime(1997, 1, 1) # Αρχική και τελική ημερομηνία
end_date = datetime(2021, 12, 31)

wb = Workbook() # Δημιούργησε ένα Workbook για το αρχείο Excel
ws = wb.active

labels = ['Από', 'Έως', 'Πενθήμερο/Έτος'] + [f'Μέση Τιμή {i}' for i in range(2, 1073)] # Ετικέτες για τις στήλες
ws.append(labels)

mean_values = []

current_date = start_date # Δημιουργία πενθήμερων περιόδων και μέση τιμή τους
penultimate_index = 1
while current_date <= end_date:
    subset = df[(df['Ημερομηνία'] >= current_date) & (df['Ημερομηνία'] <= current_date + timedelta(days=4))]
    mean = subset.iloc[:, 1:].mean().tolist()

    is_leap_year = current_date.year % 4 == 0 and (current_date.year % 100 != 0 or current_date.year % 400 == 0) # Έλεγχος αν η τρέχουσα ημερομηνία ανήκει σε δίσεκτο έτος

    if is_leap_year and (current_date.month == 2 and current_date.day == 25):

        penultimate_day = datetime(current_date.year, 3, 1) # Στα δίσεκτα έτη, την περίοδο από τις 25 Φεβρουαρίου
        # μέχρι την 1η Μαρτίου θα είναι 6ημερο
        mean = [(x*5/6) for x in mean]
    else:
        penultimate_day = current_date + timedelta(days=4) # Στα υπόλοιπα έτη, η περίοδος των πενθήμερων
        # ξεκινά την επόμενη ημέρα

    penultimate_label = f'{penultimate_index}/{current_date.year}' # Προσθήκη της επιπλέον στήλης
    # "Πενθήμερο/Έτος" με την επιθυμητή μορφή
    ws.append([current_date, penultimate_day, penultimate_label] + mean)

    penultimate_index = 1 if penultimate_index == 73 else penultimate_index + 1 # Αυξήστε τον αριθμό του
    # πενθημέρου για τον επόμενο κύκλο

    current_date = penultimate_day + timedelta(days=1) # Προχωρούμε στην επόμενη περίοδο

wb.save('διαδρομή φακέλου εξαγωγής αποτελεσμάτων.xlsx')
```

Γ. Κώδικας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μέσης τιμής του ίδιου πενθημέρου σε όλη την χρονοσειρά

```
import pandas as pd

df = pd.read_excel('διαδρομή φακέλου εισαγωγής δεδομένων.xlsx', header=None)
print(df)
df['Έτος'] = pd.to_datetime(df[0], errors='coerce').dt.year # Προσθέστε μια στήλη έτους στο DataFrame

# Ορίστε τις περιόδους
periods = [('01-01', '01-05'), ('01-06', '01-10'), ('01-11', '01-15'), ('01-16', '01-20'), ('01-21', '01-25'), ('01-26', '01-30'), ('01-31', '02-04'), ('02-05', '02-09'), ('02-10', '02-14'), ('02-15', '02-19'), ('02-20', '02-24'), ('02-25', '03-01'), ('03-02', '03-06'), ('03-07', '03-11'), ('03-12', '03-16'), ('03-17', '03-21'), ('03-22', '03-26'), ('03-27', '03-31'), ('04-01', '04-05'), ('04-06', '04-10'), ('04-11', '04-15'), ('04-16', '04-20'), ('04-21', '04-25'), ('04-26', '04-30'), ('05-01', '05-05'), ('05-06', '05-10'), ('05-11', '05-15'), ('05-16', '05-20'), ('05-21', '05-25'), ('05-26', '05-30'), ('05-31', '06-04'), ('06-05', '06-09'), ('06-10', '06-14'), ('06-15', '06-19'), ('06-20', '06-24'), ('06-25', '06-29'), ('06-30', '07-04'), ('07-05', '07-09'), ('07-10', '07-14'), ('07-15', '07-19'), ('07-20', '07-24'), ('07-25', '07-29'), ('07-30', '08-03'), ('08-04', '08-08'), ('08-09', '08-13'), ('08-14', '08-18'), ('08-19', '08-23'), ('08-24', '08-28'), ('08-29', '09-02'), ('09-03', '09-07'), ('09-08', '09-12'), ('09-13', '09-17'), ('09-18', '09-22'), ('09-23', '09-27'), ('09-28', '10-02'), ('10-03', '10-07'), ('10-08', '10-12'), ('10-13', '10-17'), ('10-18', '10-22'), ('10-23', '10-27'), ('10-28', '11-01'), ('11-02', '11-06'), ('11-07', '11-11'), ('11-12', '11-16'), ('11-17', '11-21'), ('11-22', '11-26'), ('11-27', '12-01'), ('12-02', '12-06'), ('12-07', '12-11'), ('12-12', '12-16'), ('12-17', '12-21'), ('12-22', '12-26'), ('12-27', '12-31')]

mean_values_per_period = []

for start_date, end_date in periods: # Επανάληψη για κάθε περίοδο
    mean_values_per_column = []

    for column in range(2, 1073):
        selected_rows = df.loc[(df['Έτος'].between(1997, 2021)) & (df[0].astype(str).str.endswith(start_date)) & (df[1].astype(str).str.endswith(end_date))]
        mean_value = selected_rows[column].mean()
        mean_values_per_column.append(mean_value)

    mean_values_per_period.append(mean_values_per_column)

for i, mean_values in enumerate(mean_values_per_period): # Εκτύπωση των μέσων τιμών ανά στήλη για κάθε περίοδο
    print(f'\nΠερίοδος {periods[i]}:')
    for j, mean_value in enumerate(mean_values, start=3):
        print(f'Η μέση τιμή για την στήλη {j} από {periods[i][0]} έως {periods[i][1]} για τα έτη 1997 έως 2021 είναι: {mean_value}')

result_df = pd.DataFrame(mean_values_per_period, columns=[f'Στήλη {i}' for i in range(3, 1074)]) # Δημιουργία DataFrame με τις μέσες τιμές

result_df['Περίοδος Έναρξης'] = [period[0] for period in periods] # Προσθήκη στηλών για τις περιόδους
result_df['Περίοδος Λήξης'] = [period[1] for period in periods]

result_df.to_excel('διαδρομή φακέλου εξαγωγής αποτελεσμάτων.xlsx', index=False)
```

Δ. Κώδικας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μέσης τιμής του του ύψους του νετού ανά δίμηνο

```
import calendar
import pandas as pd
from openpyxl import Workbook
from datetime import datetime, timedelta

df = pd.read_excel('διαδρομή φακέλου εισαγωγής δεδομένων.xlsx')

start_date = datetime(1997, 1, 1) # Αρχική και τελική ημερομηνία
end_date = datetime(2021, 12, 31)

wb = Workbook() # Δημιουργία ενός Workbook για το αρχείο Excel
ws = wb.active
labels = ['Από', 'Έως', 'Μέση Τιμή'] + [f'Μέση Τιμή {i}' for i in range(1, 1073)] + ['Τύπος Διαστήματος']
ws.append(labels)

# Χρονικά διαστήματα
time_intervals = [
    (1, 1, 2, 28), # Ιανουάριος-Φεβρουάριος
    (3, 1, 4, 30), # Μάρτιος-Απρίλιος
    (5, 1, 6, 30), # Μάιος-Ιούνιος
    (7, 1, 8, 31), # Ιούλιος-Αύγουστος
    (9, 1, 10, 31), # Σεπτέμβριος-Οκτώβριος
    (11, 1, 12, 31) # Νοέμβριος-Δεκέμβριος
]

# Διάστημα
for year in range(start_date.year, end_date.year + 1):
    for interval in time_intervals:
        start_month, start_day, end_month, end_day = interval

        # Υπολογισμός της ημερομηνίας που θα τελειώνει το διάστημα
        if calendar.isleap(year) and end_month == 2: # Δίσεκτο έτος, Φεβρουάριος
            end_of_interval = start_date.replace(year=year, month=end_month, day=29)
        else:
            end_of_interval = start_date.replace(year=year, month=end_month, day=end_day)

        end_of_interval = min(end_of_interval, end_date)

        subset_interval = df[(df['Ημερομηνία'] >= start_date) & (df['Ημερομηνία'] <= end_of_interval)]

        mean_values_interval = subset_interval.iloc[:, 1:].mean().tolist()

        ws.append([start_date, end_of_interval] + mean_values_interval + [f'Μέση Τιμή ({start_month}/{start_day} - {end_month}/{end_day})'])

        start_date = end_of_interval + timedelta(days=1) # Προχωρούμε στο επόμενο διάστημα

wb.save('διαδρομή φακέλου εξαγωγής αποτελεσμάτων.xlsx')
```

Ε. Κώδικας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αποχής μίας μεταβλητής

```
import pandas as pd

# Διαβάζουμε τα δεδομένα από τα δύο αρχεία Excel
df1 = pd.read_excel('εισαγωγή αρχείου της μεταβλητής.xlsx')
df2 = pd.read_excel('εισαγωγή αρχείου μέσης τιμής της μεταβλητής.xlsx')

df1['time'] = pd.to_datetime(df1['time']) # Τροποποιούμε τη στήλη με τις ημερομηνίες σε κάθε DataFrame
def subtract_values(row, df1): # Ορίζουμε μια συνάρτηση για την αφαίρεση των τιμών από το df1 βάσει του df2
    month = int(row['Month'])
    day = int(row['Day'])
    mask = (df1['time'].dt.month == month) & (df1['time'].dt.day == day)
    if not df1.loc[mask].empty:
        df1.loc[mask, df1.columns[1:]] -= row[df1.columns[1:]]

df2.apply(subtract_values, axis=1, df1=df1) # Εφαρμόζουμε τη συνάρτηση σε κάθε γραμμή του df2

# Αποθηκεύουμε το ενημερωμένο DataFrame df1 σε ένα νέο Excel αρχείο
df1.to_excel('xlsx', index=False)
```

ΣΤ. Πολλαπλασιασμός συγκεκριμένων τιμών του excel με μία μόνο τιμή

```
import pandas as pd

file_path = '.xlsx'
df = pd.read_excel(file_path, header=0)
multiplier = 86400 # Ο παράγοντας πολλαπλασιασμού

df.iloc[:, 1:] *= multiplier # Πολλαπλασιασμός όλων των κελιών εκτός από την πρώτη στήλη

df.to_excel('xlsx', index=False)
```

Ζ. Αφαίρεση συγκεκριμένων τιμών του excel με μία μόνο τιμή

```
import pandas as pd

# Διαβάστε το Excel αρχείο από την 5η γραμμή και κάτω
file_path = '/Users/nikosfakos/Desktop/cluster_analysis/temp850hpa.xlsx'
df = pd.read_excel(file_path, header=0, skiprows=3)

subtractor = 273.15 # Ο αριθμός που θα αφαιρεθεί από κάθε κελί
df.iloc[:, 1:] -= subtractor # Αφαίρεση τιμής από όλα τα κελιά εκτός από την πρώτη στήλη

df.to_excel('xlsx', index=False)
```

Η. Διάρθρωση συγκεκριμένων τιμών του excel με μία μόνο τιμή

```
import pandas as pd

file_path = '.xlsx'
df = pd.read_excel(file_path, header=0, skiprows=3)
divider = 9.81 # Ο αριθμός που θα διαιρεθεί κάθε κελί

df.iloc[:, 1:] /= divider # Διάρθρωση κάθε τιμής του DataFrame με τον αριθμό 9.81 εκτός από την 1η στήλη
df.to_excel('xlsx', index=False)
```


Θ. Κώδικας που χρησιμοποιείται για να κρατήσουμε μόνο τις ακραίες μέρες(γραμμές)

```
import pandas as pd
file_path = '.xlsx'
df = pd.read_excel(file_path)
df_filtered = df[df.iloc[:, -1] == 'ΑΚΡΑΙΑ'] # Μόνο τις γραμμές όπου το τελευταίο κελί γράφει "ΑΚΡΑΙΑ"
df_filtered.to_excel('.xlsx', index=False)
```

Ι. Κώδικας που χρησιμοποιείται για τη γραμμική παρεμβολή (Μέσω PyCharm CE)

Main.py

```
from interpolation import perform_interpolation, perform_interpolation_2
import data_manipulation_xls
from data_manipulation_csv import general_interpolation, extract_nan_values,
export_nan_locations_with_empty_column, extract_csv_data
import data_manipulation_netcdf
```

```
GPCPNF_FILE = './GPCP.xlsx'
OUTPUT_NAN_VALUES = './nan_values.csv'
OUTPUT_NAN_VALUES_POSITIONS = './nan_locations.csv'
INPUT_EXCEL_FILE = './output_noaa17.xlsx'
OUTPUT_EXCEL_FILE = './output_excel_from_conversion.xlsx'
OUTPUT_INTERPOLATION_EXCEL = './output_interpolation.xlsx'
OUTPUT_INTERPOLATION_CSV = './output_interpolation_1.csv'
LON_LAT_EXCEL = 'lat_lon.xlsx'
GPCPNF_NEW = './GPCP_1.xlsx'
```

```
if __name__ == '__main__':
    #export_nan_values_to_csv(GPCPNF_FILE, OUTPUT_NAN_VALUES)
    #export_nan_values_to_csv(GPCPNF_FILE, OUTPUT_NAN_VALUES_POSITIONS)
    general_interpolation(INPUT_EXCEL_FILE,
                           GPCPNF_FILE,
                           GPCPNF_NEW,
                           OUTPUT_NAN_VALUES_POSITIONS,
                           OUTPUT_INTERPOLATION_CSV,
                           OUTPUT_INTERPOLATION_EXCEL,
                           LON_LAT_EXCEL)
    #perform_interpolation(INPUT_EXCEL_FILE, OUTPUT_INTERPOLATION_EXCEL)
```

data_manipulation_xls.py

```
import pandas as pd
```

```
# Function to display the structure of an Excel file
```

```
def display_excel_structure(excel_file_path, sheet_name):
    excel_file = pd.ExcelFile(excel_file_path)
    selected_sheet = excel_file.parse(sheet_name)
    print(selected_sheet)
```

""""The function reads the input Excel file, processes the data by combining selected columns into rows, and then exports the transformed data to a new Excel file.

It initializes an empty DataFrame to store the results and iterates through every 14th row, selecting specific columns and transforming them into rows. The selected data is then concatenated into the result DataFrame. Finally, the results are exported to the specified output Excel file.""""

```
def convert_columns_to_rows(input_excel_file, output_excel_file):
    df = pd.read_excel(input_excel_file, header=None)
    result_df = pd.DataFrame()

    for i in range(1, len(df), 14):
        data = df.iloc[i:i + 13, 1:]
        combined_data = data.T.values.flatten()
        temp_df = pd.DataFrame(combined_data).T
        result_df = pd.concat([result_df, temp_df], ignore_index=True)

    result_df.to_excel(output_excel_file, index=False, header=False)
    print("The output from converting the excel file columns to rows:\n")
    print(df.columns)
    print(df.head())
```

data_manipulation_netcdf.py

```
import xarray as xr
```

```
# Function to read an nc file
```

```
def read_nc_file(nc_file):
    dataset = xr.open_dataset(nc_file)
    print("The dataset after reading the nc file is:\n")
    print(dataset)
```

data_manipulation_csv.py

```
from collections import defaultdict
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.spatial import cKDTree
```

```
NUM_NEIGHBORS = 4
```

```
"""
```

This function reads an Excel file, finds the rows with NaN values in the DataFrame, and exports these rows to a CSV file. The function takes the paths of the input Excel file and the output CSV file as parameters.

```
"""
```

```
def export_nan_values_to_csv(excel_file, output_csv):
```

```
    # Read the Excel file
```

```
    df = pd.read_excel(excel_file)
```

```
    # Find the NaN values in the DataFrame
```

```
    nan_values = df[df.isna()]
```

```
    # Export the NaN values to a CSV file
```

```
    nan_values.to_csv(output_csv, index=False)
```

```
"""
```

Reads an Excel file, locates the NaN values in the DataFrame, identifies their positions, and exports this information to a CSV file.

The steps performed in the function are as follows:

1. Read the Excel file into a DataFrame.
2. Identify the NaN values in the DataFrame.
3. Create a list of dictionaries containing the positions and metadata of the NaN values.

4. Convert the list of dictionaries into a DataFrame.
5. Export the DataFrame to a CSV file.

"""

```
def export_nan_locations_to_csv(excel_file, output_csv):
    # Read the Excel file
    df = pd.read_excel(excel_file)

    # Find the NaN values in the DataFrame
    nan_values = df.isna()

    # Create an empty list to store the locations of NaN values
    nan_locations = []

    # Iterate through the rows of the DataFrame to find NaN values and their locations
    for index, row in nan_values.iterrows():
        if index != 1: # Ignore row 1
            for col in nan_values.columns:
                if nan_values.at[index, col]:
                    # Get the first cell of the corresponding row
                    first_row_value = df.iat[index, 0]
                    # Get the first cell of the corresponding column
                    first_column_value = df.iat[0, df.columns.get_loc(col)]
                    nan_locations.append({'lat': col, 'row': index, 'date': first_row_value, 'lon': first_column_value})

    # Create a DataFrame from the list of locations
    nan_locations_df = pd.DataFrame(nan_locations)

    # Set the index label
    nan_locations_df.index.name = 'α/α'

    # Export the NaN value locations to a CSV file
    nan_locations_df.to_csv(output_csv)

# Function to export NaN locations to CSV with an additional empty column

def export_nan_locations_with_empty_column(excel_file, output_csv):
    export_nan_locations_to_csv(excel_file, output_csv)
    df = pd.read_csv(output_csv)
    df['interpolated'] = None
    df.to_csv(output_csv, index=False)

# Function to display column names in a CSV

def display_column_names(csv_file):
    df = pd.read_csv(csv_file)
    print("The column names:\n")
    print(df.columns)

def extract_nan_values(input_file, output_csv_file):
    # Read the XLSX file into a pandas DataFrame
    df = pd.read_excel(input_file)
```

```

nan_values = []
for index, row in df.iterrows():
    for col in df.columns:
        if pd.isna(row[col]):
            nan_values.append((index, col, row[df.columns[0]]))

# Create a DataFrame from the extracted NaN values
nan_df = pd.DataFrame(nan_values, columns=['Row', 'Column', 'First_Cell_Value'])

# Save the extracted data to a CSV file
nan_df.to_csv(output_csv_file, index=False)

def extract_csv_data(csv_file_path):
    # Read the CSV file
    df = pd.read_csv(csv_file_path)

    # Extract the required data
    positions_data = []
    for index, row in df.iterrows():
        longitude = row["lon"]
        latitude = row["lat"]
        index_row = row["Γραμμή"]
        positions_data.append((int(longitude), int(latitude), index_row))

    return positions_data

def extract_min_max_latitude(positions_data):
    index_latitude_longitude_dict = defaultdict(lambda: defaultdict(list))

    # Group longitude values by index and latitude
    for position in positions_data:
        index = position[2]
        latitude = position[1]
        longitude = position[0]
        index_latitude_longitude_dict[index][latitude].append(longitude)

    # Compute the minimum and maximum longitude for each index and latitude
    min_max_latitude = {}
    for index, latitudes in index_latitude_longitude_dict.items():
        for latitude, longitudes in latitudes.items():
            min_latitude = min(longitudes)
            max_latitude = max(longitudes)
            if index not in min_max_latitude:
                min_max_latitude[index] = {}
            min_max_latitude[index][latitude] = (min_latitude, max_latitude)

    print(min_max_latitude)
    return min_max_latitude

def perform_interpolation(min_max_latitudes, df, output_file, df1, df2):
    interpolated_data = []

```

```

for index, longitudes in min_max_latitudes.items():
    for longitude, latitudes in longitudes.items():
        min_lat = latitudes[0]
        max_lat = latitudes[1]
        # Extract the grid based on the minimum and maximum latitude values
        grid_x = df.iloc[0, 1:].values
        grid_y = df.iloc[1, 1:].values

        gpcp_lat = df2.iloc[0, 1:].values
        gpcp_lon = df2.iloc[1, 1:].values

        # Set the range of longitude
        start_lat = min_lat
        end_lat = max_lat

        # Create a values list based on the longitude range
        # num_values = int(end_lat - start_lat + 1)
        # values = list(range(1, num_values + 1))
        # data_points = [(longitude, lat, value) for lat in range(start_lat, end_lat + 1) for value in values]

        data_points = [(longitude, lat) for lat in range(start_lat, end_lat + 1)]
        # Interpolate values using the IDW method
        interpolated_values = []
        for lon, lat in data_points:
            tree = cKDTree(np.column_stack((grid_x, grid_y)))
            d, idx = tree.query([lon, lat], k=NUM_NEIGHBORS)
            weights = 1 / (d + 1e-6) # Small added value to avoid division by zero
            selected_data = df[df.index == index]
            interpolated_value = np.sum(weights * selected_data.iloc[:, idx].values) / np.sum(weights)
            interpolated_values.append((lon, lat, interpolated_value))

        # Find the column indices based on latitude and longitude
        lon_idx = np.where(gpcp_lat == lon)
        lat_idx = np.where(gpcp_lon == lat)

        # Find the common index
        common_idx = np.intersect1d(lat_idx, lon_idx)

        # if df.loc[index, df.columns[idx]].isnull().values[0]:
        #     df.loc[index, df.columns[idx]] = interpolated_value

        # Check if the value is missing
        original_value = df1.loc[index, df1.columns[common_idx + 1]] # Adjusted for latitude column
        # if pd.isna(original_value) == -99999:
        #     # Replace the missing value in the original DataFrame with the interpolated value
        #     df1.loc[index, df1.columns[common_idx + 1]] = interpolated_value # Adjusted for latitude column

        # Append information to the interpolated_values list
        interpolated_data.append((lon, lat, interpolated_value))
        # else:
        #     # Append information to the interpolated_values list without replacement
        #     interpolated_data.append((lon, lat, original_value))

# Output the interpolated values for the current index, longitude, and latitude range

```

```

        print(f'Interpolated values for index {index}, longitude {longitude}, and latitudes {min_lat}-{max_lat}:')
        print(interpolated_values)
        print()
        # Store the interpolated values for the current index, longitude, and latitude range
        interpolated_data.extend(interpolated_values)

    # Create a DataFrame from the interpolated data
    interpolated_df = pd.DataFrame(interpolated_data, columns=["Longitude", "Latitude", "Interpolated_Value"])

    # Save the DataFrame as a CSV file
    interpolated_df.to_csv(output_file, index=False)
    print(f'Interpolated values saved to {output_file}')

    return [df, df1]

def general_interpolation(excel_file, missing_values_excel, new_gpcpnf, csv_file, output_csv, output_excel, lan_lon_excel):
    nan_data_positions = extract_csv_data(csv_file)
    min_max_latitudes = extract_min_max_latitude(nan_data_positions)

    # Read data from the Excel file
    df = pd.read_excel(excel_file)
    df1 = pd.read_excel(missing_values_excel)
    df2 = pd.read_excel(lan_lon_excel)
    [df2, df1] = perform_interpolation(min_max_latitudes, df, output_csv, df1, df2)
    df1.to_excel(new_gpcpnf, index=True)
    df2.to_excel(output_excel, index=True)

```

Κ. Κώδικας που χρησιμοποιείται για να ομαδοποιήσουμε ανά μήνα και έτος τις περιπτώσεις ακραίου νετού.

```
import pandas as pd
```

```
df = pd.read_excel('xlsx')
```

```
# Μετράμε τον αριθμό των μη μηδενικών τιμών ανά γραμμή, αφαιρώντας τη στήλη 'Ημερομηνία'
```

```
df['Non_Zero_Count'] = (df.drop(columns=['Ημερομηνία']) != 0).sum(axis=1)
```

```
df['Ημερομηνία'] = pd.to_datetime(df['Ημερομηνία']) # Μετατρέπουμε τη στήλη 'Ημερομηνία' σε ημερομηνία
```

```
df['Year'] = df['Ημερομηνία'].dt.year # Δημιουργούμε νέες στήλες για το έτος και τον μήνα
```

```
df['Month'] = df['Ημερομηνία'].dt.month
```

```
# Ομαδοποιούμε τα δεδομένα ανά έτος, μήνα και μετράμε τον αριθμό των μη μηδενικών τιμών
```

```
result = df.groupby(['Year', 'Month'])['Non_Zero_Count'].sum()
```

```
result.to_excel('xlsx')
```

Λ. Κώδικας που χρησιμοποιείται πρώτα για την διατήρηση μόνο των περιπτώσεων ακραίου νετού (ΜΕΡΟΣ 2.) και έπειτα για τον υπολογισμό του αθροίσματος του ανά ημερομηνία για τις ακραίες περιπτώσεις νετού (ΜΕΡΟΣ 2.).

ΜΕΡΟΣ 1.

```
import pandas as pd

df = pd.read_excel('.xlsx') # αρχείο Excel

def apply_threshold(series): # Λειτουργία για την εφαρμογή του φίλτρου
    threshold = series.iloc[-1] # Το κατώφλι είναι η τελευταία τιμή στη στήλη
    return series.apply(lambda x: x if x > threshold else 0)

df.iloc[:, 1:] = df.iloc[:, 1:].apply(apply_threshold, axis=0)

df.to_excel('.xlsx', index=False)
```

ΜΕΡΟΣ 2.

```
import pandas as pd

df = pd.read_excel('.xlsx')

df_without_dates = df.drop(columns=['Ημερομηνία']) # Αφαιρείτε τη στήλη 'Ημερομηνία'

sum_values_per_row = df_without_dates.sum(axis=1) # Υπολογισμός αθροίσματος ανά γραμμή

df['Sum'] = sum_values_per_row

df.to_excel('.xlsx', index=False)
```