



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

ΚΟΥΡΤΕΣΙΩΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΜ:2018420

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	6
1.1 Δομή της Ατμόσφαιρας.....	6
1.2 Σύσταση της Ατμόσφαιρας.....	6
1.3 Θερμοκρασία.....	7
1.3.1 Θερμοκρασία στην Ατμόσφαιρα.....	8
1.3.2 Θερμική δομή της Ατμόσφαιρας.....	8
1.3.3 Κλιματικό φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	10
1.4 Υγρασία.....	13
1.4.1 Εκφράσεις Υγρασίας.....	14
1.4.2 Τάση υδρατμών(e_a) και μέγιστη τάση των υδρατμών(e_s).....	14
1.4.3 Απόλυτη Υγρασία (e).....	14
1.4.4 Αναλογία μίγματος (W).....	14
1.4.5 Ειδική υγρασία (q).....	15
1.4.6 Σχετική υγρασία (RH).....	15
1.4.7 Θερμοκρασία δρόσου (T_d)	15
1.5 Εξίσωση Clausius-Clapeyron.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	18
2.1 Περιγραφή της Κλιματικής Αλλαγής.....	18
2.2 Ορολογία της IPCC.....	20

2.3 Κατανόηση της αύξησης 1.5°C.....	21
2.4 Πρόβλεψη της Κλιματικής Αλλαγής	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	24
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	24
3.1 Περιοχή μελέτης.....	24
3.2 Δεδομένα.....	25
3.2.1 Δεδομένα Reanalysis.....	26
3.2.2 ERA5.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	29
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	29
4.1 Εισαγωγή.....	29
4.2 Στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall.....	29
4.3 Εκτιμητής κλίσης του Sen.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	32
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	32
5.1 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην Ευρώπη.....	32
5.2 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην Ευρώπη.....	39
5.3 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας στην Ευρώπη.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	47
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	47
6.1 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά έτος.....	47
6.2 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά εποχή.....	48
6.3 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην Τροπόσφαιρα ανά έτος.....	51
6.4 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην Τροπόσφαιρα ανά εποχή.....	55

6.5 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην Στρατόσφαιρα ανά έτος.....	61
6.6 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην Στρατόσφαιρα ανά εποχή.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	69
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	69
7.1 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά έτος.....	69
7.2 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά εποχή.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	76
ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	76
8.1 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά έτος.....	76
8.2 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά εποχή.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....	88
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	88
9.1 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας.....	88
9.2 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας.....	89
9.3 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας.....	89
9.4 Μελλοντική χρήση των δεδομένων reanalysis για την εκτίμηση διαφόρων κλιματικών παραμέτρων.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας του Τμήματος Φυσικής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η εργασία μελετάει την μεταβολή βασικών κλιματικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας με χρήση δεδομένων reanalysis. Η μελέτη των κλιματικών τάσεων καθ' ύψος για τις παραμέτρους της θερμοκρασίας, της ειδικής υγρασίας και της σχετικής υγρασίας γίνεται με χρήση της πιο σύγχρονης έκδοσης reanalysis (ERA5), φυσικά μεγέθη τα οποία είναι καθοριστικά για την μελέτη του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα κ. Χρήστο Τζάνη, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α, για το άψογο κλίμα συνεργασίας και καθοδήγησης σε όλη τη διάρκεια της εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά όλη την Ομάδα Κλίματος και Κλιματικής Αλλαγής του κ. Τζάνη και ιδιαίτερα, τον διδάκτορα Κωνσταντίνο Φιλιππόπουλο, ο οποίος με την εμπειρία του παρείχε υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Αναστάσιο Αλιμήση και Ιωάννη Κουτσογιάννη για την πολύτιμες συμβουλές και καθοδηγήσεις τους όποτε αυτές χρειάστηκαν.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Καρτάλη, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α. και την κα. Μαργαρίτα Ασημακοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α., που μαζί με τον κ. Χρήστο Τζάνη συγκρότησαν την τριμελή επιτροπή της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και το προσωπικό μου περιβάλλον για τη στήριξη και την κατανόηση που μου παρείχαν όλη αυτή την περίοδο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κλιματική αλλαγή και τα αποτελέσματα αυτής αποτελούν τα τελευταία χρόνια ένα σύγχρονο ζήτημα το οποίο χρήζει μελέτης και προσοχής από την επιστημονική κοινότητα. Οι προεκτάσεις του είναι συνδεδεμένες με διάφορες πτυχές της ανθρώπινης καθημερινότητας καθώς επηρεάζει όλα τα επιμέρους οικοσυστήματα του πλανήτη μας. Οι επιρροές της κλιματικής αλλαγής είναι εμφανείς σε τομείς όπως η ανθρώπινη υγεία, η οικονομία, οι διαθέσιμοι πόροι οι οποίοι επηρεάζονται άμεσα ή και έμμεσα από τα αποτελέσματα αυτής όπως η άνοδος της θερμοκρασίας, η πιο συχνή εκδήλωση έκτακτων καιρικών φαινομένων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αλλαγή στις χρήσεις γης και η αλλαγή στην ωκεάνια χημεία (Mora et al.,2018).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η ενίσχυση αυτού ένα ακόμα αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής. Η άνοδος της θερμοκρασίας είναι ένα από τα αποτελέσματα της ενίσχυσης του φαινομένου, και επηρεάζει άμεσα τις ανθρώπινες κοινωνίες και τα διάφορα φυσικά οικοσυστήματα. Τα τελευταία στοιχεία δείχνουν ότι οι συγκεντρώσεις των αέριων που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό αυξάνονται σε σχέση με τα επίπεδα που βρισκόνταν στην προ-βιομηχανική περίοδο. Οι υδρατμοί είναι το κύριο θερμοκηπικό αέριο και η μεταβολή τους διαδραματίζει σημαντικό ρολό στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα.

Η παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στην μελέτη των κλιματικών τάσεων αυτών των τριών βασικών κλιματικών παραμέτρων, δηλαδή θερμοκρασία, ειδική και σχετική υγρασία για την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας. Σκόπος είναι η έρευνα των πιθανών κλιματικών τάσεων πάνω από την εξεταζόμενη περιοχή για τα τελευταία 40 χρόνια με την χρήση χρονοσειρών από δεδομένα reanalysis. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι η χρήση του στατιστικού κριτηρίου Mann-Kendall για την στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων και η μέθοδος του Sen για την εύρεση των τάσεων. Μέσω της χωρικής κατανομής των τάσεων τους, σε διαφορετικά επίπεδα ατμοσφαιρικής πίεσης, και εποχές, είναι δυνατόν να εντοπιστούν στατιστικά σημαντικές χωρικές και χρονικές αλλαγές στην τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα πάνω από την εξεταζόμενη περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Βασικές Έννοιες και Αρχές της Γήινης Ατμόσφαιρας

1.1 Δομή της Ατμόσφαιρας

Η Ατμόσφαιρα είναι ένα κολλοειδές μέσο, απαρτίζεται δηλαδή από στερεά, υγρά και αέρια, το οποίο περιβάλλει την Γη. Συγκρατείται σε αυτή με την βαρύτητα. Όπως είναι λογικό έχει την μεγαλύτερη πυκνότητα της στο έδαφος και βαθμιαία καθώς αυξάνεται η απόστασή της από την επιφάνεια της Γης, γίνεται πιο αραιή μέχρι να μην είναι δυνατόν να διαχωριστεί από το διαπλανητικό αέριο τελικά. Συνεπώς θεωρητικά δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί με ακρίβεια η οροφή της Ατμόσφαιρας. Καθώς απομακρύνεται κανείς από την επιφάνεια της Γης διασχίζει περιοχές με διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες.

Το 90% της μάζας της Ατμόσφαιρας βρίσκεται στα πρώτα 20 km περίπου και το 99.9% της μάζας της στα πρώτα 50 km περίπου. Η σύγκριση αυτών των αποστάσεων με την μέση ακτίνα της Γης, η οποία είναι περίπου 6370 km, δείχνει ότι η ατμόσφαιρα είναι ένα πολύ λεπτό σχετικά στρώμα γύρω από την Γη.

Η κατακόρυφη διάσταση της ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται από μια φυσική παράμετρο η οποία ονομάζεται υψομετρική κλίμακα. Σε πρώτη προσέγγιση η ατμόσφαιρα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ρευστό σε υδροστατική ισορροπία. Αυτό σημαίνει, ότι κάθε απειροστό τμήμα της με μοναδιαία διατομή ικανοποιεί την εξίσωση της υδροστατικής ισορροπίας. Εκφράζει δηλαδή ότι η άνωση, η ανοδική δύναμη που οφείλεται στην κατακόρυφη βαθμίδα της πίεσης, είναι ίση με το βάρος της. Επειδή ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπεριφέρεται ως μίγμα ιδανικών αερίων επιτρέπεται να εφαρμοσθούν οι εξισώσεις των ιδανικών αερίων. Συνέπεια αυτού είναι ο ορισμός της υψομετρικής κλίμακας της ατμόσφαιρας που πρακτικά δείχνει το ύψος στο οποίο ελαττώνεται η πίεση κατά παράγοντα $0.37 \left(\frac{1}{e}\right)$.

1.2 Σύσταση της Ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα της Γης, στα κατώτερα στρώματα της αποτελείται από τα εξής: 1) Μείγμα διαφόρων αερίων που αποτελούν αυτό που ονομάζουμε ξηρό αέρα, 2) Νερό σε όλες τις δυνατές μορφές, δηλαδή στερεού, υγρού ή αερίου ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, 3) Διάφορα στερεά ή υγρά σωματίδια τα οποία ονομάζονται aerosols.

Κάτω από τα 100 km ύψους οι μηχανισμοί ανάμειξης είναι αρκετά ενεργοί, οπότε η ατμόσφαιρα διατηρείται καλά αναμεμιγμένη, ενώ πάνω από τα 100 km τέτοιοι μηχανισμοί δεν υπάρχουν. Άρα η σύσταση του αέρα κάτω από τα 100 km είναι σταθερή, εκτός από τα διάφορα ιχνοστοιχεία, ενώ πάνω από τα 100 km αλλάζει. Η περιοχή κάτω από τα 100 km ονομάζεται ομοιόσφαιρα, και πάνω από τα 100 km ετερόσφαιρα.

Τα σπουδαιότερα αέρια που αποτελούν τον ξηρό ατμοσφαιρικό αέρα, δηλαδή αυτόν στον οποίον δεν υπάρχουν υδρατμοί, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα ο οποίος αποτυπώνει και την μέση συγκέντρωση των αερίων αυτών.

Συστατικά	Χημικός Τύπος	Συγκέντρωση
Άζωτο	N ₂	78.08 %
Οξυγόνο	O ₂	20.95 %
Αργό	Ar	0.93 %
Διοξείδιο του Άνθρακα	CO ₂	330 ppm
Νέον	Ne	18 ppm
Ήλιο	He	5 ppm
Κρυπτό	Kr	1 ppm
Υδρογόνο	H ₂	0.5 ppm
Ξένο	Xe	0.1 ppm
Όζον	O ₃	0-12 ppm

Πίνακας 1.1 : Μέση σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας (ξηρός αέρας) στην περιοχή της ομοιόσφαιρας. Πηγή: (Γενική Μετεωρολογία Χ.Σ.Σαχσαμάνογλου,Τ.Ι.Μακρογιάννης, 1998)

Με τον όρο σωματίδια ή aerosols ορίζουμε όλα τα μικροσκοπικά στερεά και υγρά σωματίδια, ανθρώπινης αλλά και φυσικής προέλευσης τα οποία παραμένουν αιωρούμενα για κάποιο χρονικό διάστημα. Το μέγεθος τους ευρύνεται από περίπου μοριακές διαστάσεις (1nm σε διάμετρο) μέχρι μερικές εκατοντάδες μικρόμετρα(μm). Το σχήμα τους μπορεί να είναι τελείως σφαιρικό ή εξαιρετικά πολύπλοκο, ενώ το χρώμα τους μπορεί να είναι από άσπρο μέχρι και μαύρο. Η αναφορά τους είναι επιβεβλημένη επειδή τα σωματίδια υπάρχουν παντού, είναι πολύπλοκα και αντιδρούν με τον περιβάλλοντα χώρο μας, ενώ πλέον γνωρίζουμε τις επιπτώσεις που επιφέρουν στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και την καθοριστική συνεισφορά τους στο γήινο κλίμα (Tzani and Varotsos, 2008) Από τα παραπάνω, γίνεται επομένως αντιληπτή η σημασία της μελέτης τους τόσο με γραμμικές όσο και με μη γραμμικές μεθοδολογίες (Alimissis et al., 2018; Tzani et al., 2019)

1.3 Θερμοκρασία

Κύρια πηγή θερμότητας για την ατμόσφαιρα και την Γη είναι ο Ήλιος, η ακτινοβολία του οποίου ρυθμίζει την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (κυρίως των κατώτερων στρωμάτων της), του εδάφους και των νερών. Αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα φυσικά μεγέθη που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και την συντήρηση των ζωντανών οργανισμών. Επίσης ένας μεγάλος αριθμός φυσικών διεργασιών όπως η εξάτμιση, η τήξη και η πήξη του νερού είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Όπως είναι φυσικό, η θερμοκρασία της ατμοσφαιρικής μάζας δεν παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή. Η στιγμιαία κατανομή της, λόγω διαφόρων παραγόντων, μεταβάλλεται διαρκώς. Ορισμένες από τις μεταβολές αυτές είναι περιοδικές, ενώ άλλες είναι τυχαίες. Γενικότερα οι θερμοκρασιακές συνθήκες σε έναν τόπο εξαρτώνται από τα παρακάτω: 1) Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, 2) Ανακλαστικότητα της επιφάνειας του εδάφους και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της, 3) Το ισοζύγιο ακτινοβολιών

Γης – Ατμόσφαιρας - Διαστήματος, 4) Εναλλαγές θερμότητας και τις αλλαγές φάσεις του νερού που περιέχεται στην Ατμόσφαιρα, 5) Θαλάσσια ρεύματα, 6) Μεταφορά θερμότητας με κατακόρυφες ή αναταρακτικές κινήσεις.

1.3.1 Θερμοκρασία στην Ατμόσφαιρα

Στα πρώτα εκατοστά πάνω από το έδαφος η θερμοβαθμίδα (η μεταβολή της θερμοκρασίας καθ' ύψος) είναι πολύ μεγάλη. Στην συνέχεια ελαττώνεται για να μηδενιστεί σε ύψος περίπου 2 μέτρων από το έδαφος. Από θερμική άποψη, η δομή του στρώματος αέρα μεταξύ του εδάφους και του ύψους των 2 μέτρων παρουσιάζει έναν ημερήσιο τύπο, όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη αυτήν του αέρα, με αποτέλεσμα την θέρμανση του υπερκείμενου αέρα από το έδαφος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μια γρήγορη ελάττωση της θερμοκρασίας καθ' ύψος, που μπορεί να φτάσει σε περιπτώσεις νηνεμίας τον ρυθμό των $1^{\circ}\text{C}/\text{cm}$. Αντίστοιχα κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου λόγω νυχτερινής ψύξης του εδάφους υπάρχει μια αντίστροφη κατάσταση, δηλαδή μια αύξηση της θερμοκρασίας καθ' ύψος. Σε περιπτώσεις νύχτας, χωρίς σύννεφα και με νηνεμία η διαφορά της θερμοκρασίας εδάφους με την θερμοκρασία στα 2 μέτρα μπορεί να φτάσει ακόμα και τους 10°C . Άρα στο στρώμα αυτό του αέρα εμφανίζεται ένα θερμικό εύρος μεγαλύτερο από εκείνο που παρατηρείται στα 2 μέτρα πάνω από το έδαφος.

Για αυτούς τους λόγους έχει οριστεί η θερμοκρασία του αέρα να μετρείται σε ύψος 2 μέτρων από το έδαφος. Εξάλλου με τον όρο θερμοκρασία του αέρα εννοούμε τις μεταβολές θερμότητας οι οποίες καταγράφονται από τα θερμόμετρα. Η μετάδοση θερμότητας όμως γίνεται μέσω μεταφοράς, ακτινοβολίας και μοριακής αγωγιμότητας. Για να είναι όμως συγκρίσιμες οι διάφορες μετρήσεις έχει οριστεί να μετράται μόνο η μεταβολή θερμότητας μέσω μεταφοράς. Για αυτό τον λόγο τα θερμόμετρα πρέπει να βρίσκονται σε σκιά, ώστε να μην προσβάλλονται από την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτές οι συνθήκες ισχύουν για τις επιτόπιες μετρήσεις που γίνονται σε μετεωρολογικούς σταθμούς και οφείλουν όλοι οι σταθμοί να είναι εναρμονισμένοι σε αυτές.

1.3.2 Θερμική Δομή της Ατμόσφαιρας

Η θερμοκρασία του αέρα από το έδαφος μέχρι κάποιο ύψος, το οποίο είναι περίπου στα 12 με 15 km, ελαττώνεται συνεχώς με ρυθμό από 5 έως $7^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Ο ρυθμός αυτός μεταβάλλεται με τον χρόνο και τον τόπο και πολλές φορές είναι δυνατόν να αλλάζει και πρόσημο (θερμική αναστροφή). Η περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας περιέχει τα 4/5 της μάζας της και ονομάζεται Τροπόσφαιρα. Στην περιοχή αυτή λαμβάνουν χώρα και τα καιρικά φαινόμενα, τα οποία επιδρούν στον άνθρωπο.

Σε κάποιο σημείο η θερμοκρασία παύει να ελαττώνεται περισσότερο ή λιγότερο απότομα και παραμένει σταθερή ή αρχίζει να αυξάνεται λίγο. Η περιοχή αυτή ονομάζεται Τροπόπαυση. Το ύψος αυτής εξαρτάται από τον τόπο και τον χρόνο (μεγαλύτερο στον Ισημερινό σε σχέση με τους πόλους), και κυμαίνεται ανάμεσα στα ύψη των 7 km έως και 17 km. Πιο αναλυτικά και λόγω κινήσεων της Ατμόσφαιρας γνωρίζουμε ότι, στους τροπικούς το ύψος της Τροπόπαυσης

βρίσκεται περίπου στα 16 km, στο γεωγραφικό πλάτος των 30° πέφτει στα 12 km και στην περιοχή των πόλων είναι περίπου στο ύψος των 8 km. Να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, σε αυτή την περιοχή, κυμαίνεται από -50 °C έως -55 °C.

Η επόμενη περιοχή χαρακτηρίζεται από βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας που φθάνει στους 0 °C περίπου στο ύψος των 50 km. Η περιοχή αυτή ονομάζεται Στρατόσφαιρα και το ανώτερο όριο αυτής η Στρατόπαυση. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το ύψος στην περιοχή αυτή, καθώς και το ύψος και η θερμοκρασία της στρατόπαυσης είναι συνάρτηση του τόπου και του χρόνου.

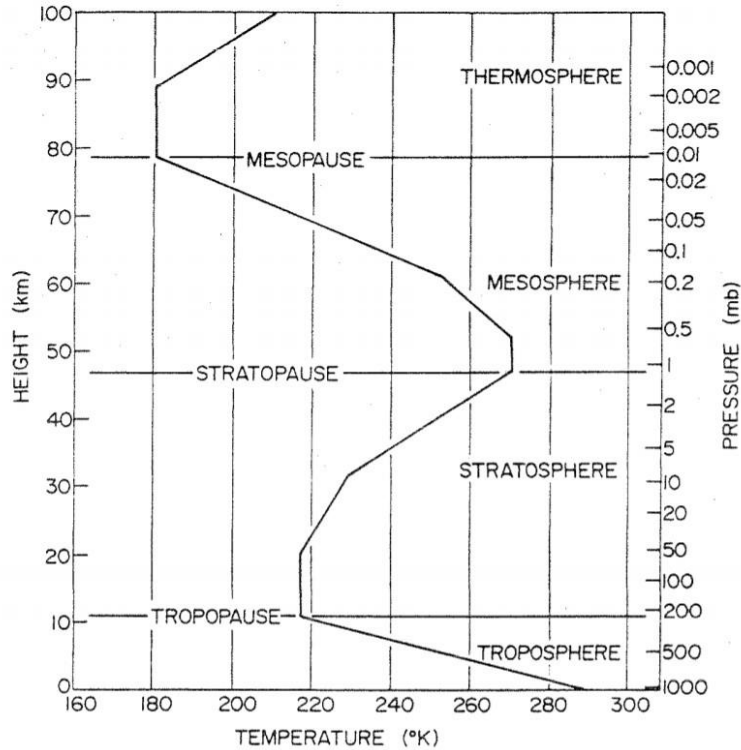
Στην ομοιόσφαιρα, δηλαδή στην περιοχή κάτω των 100 km, ένα πολύ σπουδαίο ιχνοστοιχείο είναι το όζον (Tzanis, 2009), το οποίο σχηματίζεται φωτοχημικά στην στρατόσφαιρα και έχει την μεγαλύτερη συγκέντρωση του στην περιοχή των 20-30 km. Το στρώμα του όζοντος, που απορροφά τα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι υπεύθυνο για το μέγιστο της θερμοκρασίας στο ύψος των 50 km. Υπάρχει και ένα άλλο βασικό συστατικό στα κατώτερα μέρη της ατμόσφαιρας το οποίο είναι οι υδρατμοί. Από την συμπύκνωση τους δημιουργούνται διάφορα είδη νεφών στην περιοχή της μέσης ατμόσφαιρας.

Πάνω από την Στρατόπαυση, υπάρχει μια άλλη περιοχή, που χαρακτηρίζεται από την πτώση της θερμοκρασίας σε μια τιμή της τάξης των -100 °C, στο ύψος των 85 km περίπου. Η περιοχή αυτή ονομάζεται Μεσόσφαιρα και το ανώτερο όριο της Μεσόπαυση.

Τέλος στην επόμενη περιοχή η θερμοκρασία αυξάνεται σταθερά με το ύψος και η περιοχή αυτή ονομάζεται Θερμόσφαιρα. Να σημειωθεί ότι στην περιοχή αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται στην αρχή, στην συνέχεια όμως η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

Η μέση κατακόρυφη δομή της θερμοκρασίας στην μέση ατμόσφαιρα δύναται να εξηγηθεί πρακτικά με τους όρους της απορρόφησης και της εκπομπής της ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, η υπέρυθη εκπομπή των υδρατμών και των νεφών είναι η κύρια αιτία για το ελάχιστο της θερμοκρασίας στην τροπόπαυση, ενώ το μέγιστο της θερμοκρασίας στην στρατόπαυση οφείλεται στην απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το όζον το οποίο επικρατεί στην συγκεκριμένη περιοχή. Τέλος το ελάχιστο της θερμοκρασίας στην μεσόπαυση οφείλεται στην μεγάλη μείωση στην συγκέντρωση του όζοντος στο επίπεδο αυτό, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή ελάττωση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

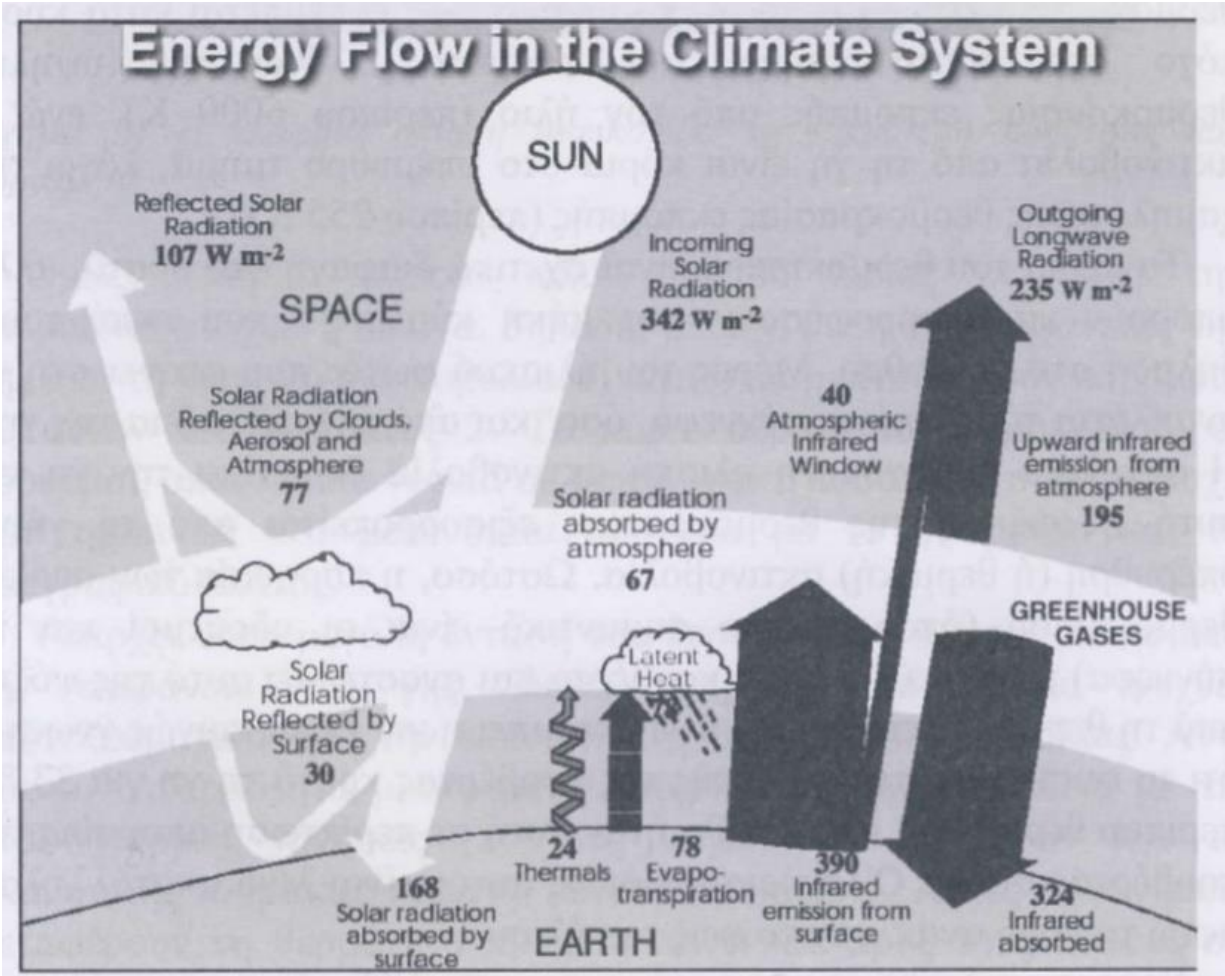
Παρακάτω δίνεται σχηματικά το κατακόρυφο προφίλ της ατμόσφαιρας για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη σε μια μέση κατάσταση.



Σχήμα 1.1: Θερμοκρασιακό προφίλ της Ατμόσφαιρας καθ' ύψος. Πηγή:(Physics of Climate, Jose P. Peixoto and Abraham H. Oort, 1992).

1.3.3 Κλιματικό φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Στην παρακάτω παράγραφο θα παρουσιαστεί το κλιματικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αρχικά είναι σύνηθες να αναφέρεται η άποψη ότι «η υπερθέρμανση του πλανήτη οφείλεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου». Αυτή η έκφραση εμπεριέχει πολλές προσεγγίσεις οι οποίες είναι εξαιρετικά υπεραπλουστευμένες. Περιλαμβάνει την απλή «κουβέρτα» σαν εικόνα του φαινομένου, και το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1.2: Ισοζύγιο ηλιακής και γήινης ακτινοβολίας. Πηγή: (Ειδικά Κεφάλαια Ατμοσφαιρικής Φυσικής και Χημείας, Βαρώτσος Κ., 2011)

Παρακάτω παρουσιάζεται μια πιο εμπειριστατωμένη άποψη για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η οποία μας δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα της παραπάνω προσομοίωσης ώστε να είναι συμβατά με τις εκτιμήσεις στις εκθέσεις της IPCC, τις οποίες θα εξετάσουμε στο παρακάτω κεφάλαιο, ότι δηλαδή είναι πιθανό το μεγαλύτερο ποσοστό της πρόσφατης υπερθέρμανσης, να οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα (IPCC,2013).

Η αρχική ιδέα ξεκινά από το γεγονός ότι το ηλιακό φως εκπέμπεται κατά κύριο λόγο στο ορατό τμήμα του φάσματος, λόγω υψηλής θερμοκρασίας εκπομπής (περίπου 6000K), ενώ η ακτινοβολία από την Γη είναι κύρια στο υπέρυθρο τμήμα, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας εκπομπής (περίπου 255K). Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι σχετικά διαφανή στο ορατό, αλλά έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν στα μήκη κύματος που εκπέμπουν, δηλαδή στο υπέρυθρο.

Μέρος του ηλιακού φωτός που φτάνει στην Γη ανακλάται τόσο από τα σύννεφα, όσο και από την επιφάνεια της Γης. Η συνολικά εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει την Γη και αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας εξισορροπείται από την γήινη υπέρυθρη (ή θερμική) ακτινοβολία. Ωστόσο, η παρουσία των αερίων θερμοκηπίου (να σημειωθεί πως τα σημαντικότερα είναι οι υδρατμοί(H_2O), διοξείδιο του άνθρακα(CO_2), μεθάνιο(CH_4) (Tzanis et al., 2020).) χρησιμεύουν ως μια «κουβέρτα» και αυτό αναστέλλει την ψύξη από την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει η Γη. Είναι κοινώς γνωστό ότι η «κουβέρτα» αυτή κρατά την θερμοκρασία της Γης για $33^{\circ}C$ θερμότερη από ότι θα ήταν σε περίπτωση απουσίας της. Επίσης σήμερα ο διπλασιασμός των εκπομπών CO_2 χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για την εκτίμηση της ευαισθησίας του κλίματος. Είναι γενικά αποδεκτό, ότι ο διπλασιασμός του CO_2 μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας της τάξεως του $1^{\circ}C$ (IPCC,2013).

Όμως σε αυτή την υπεραπλουστευμένη εικόνα υπάρχει ένα πολύ μεγάλο λάθος, δηλαδή της ψύξης της επιφάνειας της Γης από την θερμική ακτινοβολία. Το κύριο αέριο του θερμοκηπίου, οι υδρατμοί, απαντώνται σε μεγαλύτερες ποσότητες στην περιοχή των τροπικών και μειώνονται απότομα με το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος.

Η θερμότητα μεταφέρεται μακριά από την επιφάνεια με τις ατμοσφαιρικές κινήσεις όπως τους πύργους νεφών των τροπικών και τα πλανητικής κλίμακας κύματα των υποτροπικών. Αυτές οι κινήσεις μεταφέρουν την θερμότητα προς τα πάνω και προς τους πόλους σε επίπεδα στα οποία είναι δυνατό για την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από αυτά να διαφύγει στο διάστημα. Αυτό το επίπεδο ορίζεται ως το *χαρακτηριστικό επίπεδο εκπομπών*, το οποίο ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα των υδρατμών σε μια δεδομένη τοποθεσία. Η εκπομπή από το επίπεδο αυτό είναι ανάλογη με την $4^{\text{η}}$ δύναμη της θερμοκρασίας στο επίπεδο αυτό.

Λόγω κινήσεων της ατμόσφαιρας, η θερμοκρασία μειώνεται μέχρι ένα ύψος, την Τροπόπαυση, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Το ύψος της Τροπόπαυσης ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Στους τροπικούς, το ύψος της Τροπόπαυσης βρίσκεται περίπου στα 16 km, στο γεωγραφικό πλάτος των 30° πέφτει στα 12 km και στην περιοχή των πόλων είναι περίπου στα 8 km.

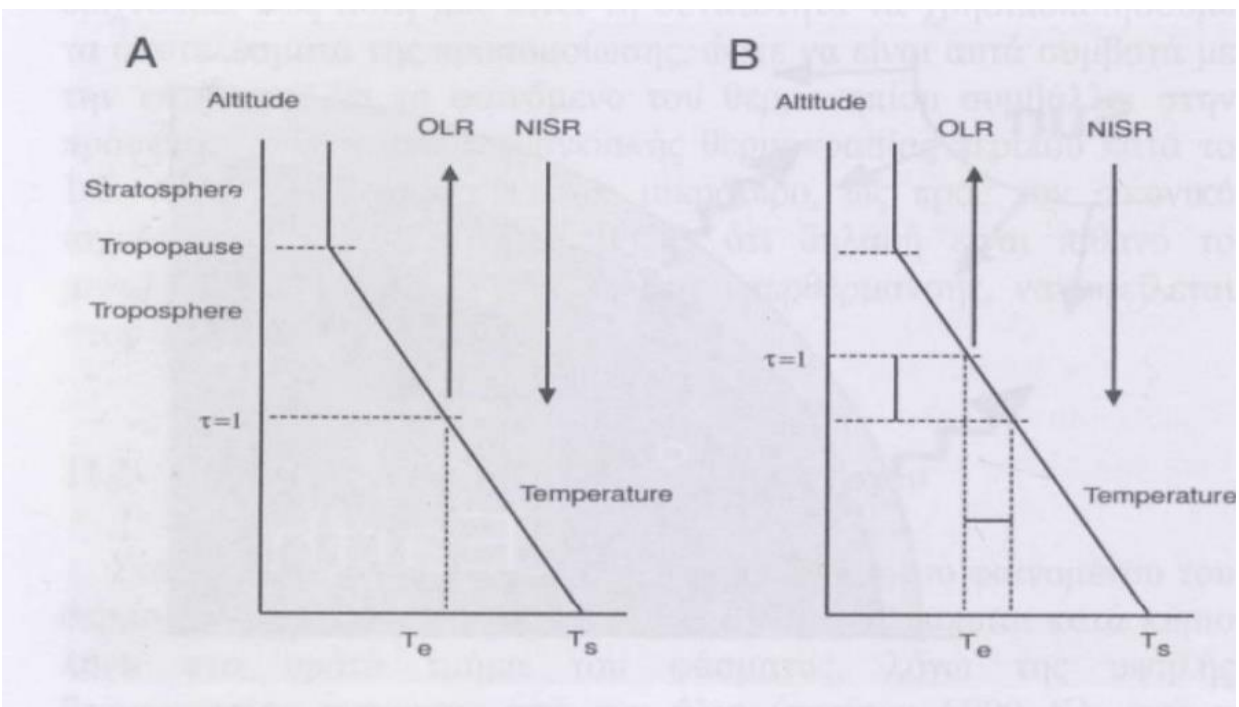
Το χαρακτηριστικό επίπεδο εκπομπών αναφέρεται ως $\tau=1$. Το τ είναι ένα αδιάστατο μέτρο της υπέρυθρης απορρόφησης που μετριέται από την κορυφή της ατμόσφαιρας κοιτάζοντας προς τα κάτω. Το ατμοσφαιρικό επίπεδο όπου $\tau=1$ είναι οπτικού βάθους ένα. Όταν η γη βρίσκεται σε ισορροπία ακτινοβολίας με το διάστημα, η καθαρά εισερχόμενη ακτινοβολία εξισορροπείται με την εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία από το χαρακτηριστικό επίπεδο εκπομπής, $\tau=1$.

Όταν όμως προστεθούν στην Ατμόσφαιρα τα αέρια του θερμοκηπίου, το υψόμετρο του επιπέδου στο οποίο ισχύει $\tau=1$ αυξάνεται, και επειδή η θερμοκρασία μειώνεται με το ύψος, το νέο χαρακτηριστικό επίπεδο εκπομπής είναι ψυχρότερο από το προηγούμενο. Επειδή το νέο χαρακτηριστικό επίπεδο είναι ψυχρότερο και η εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία δεν εξισορροπεί πλέον την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, το τ και η γη δεν είναι

πλέον σε θερμική ισορροπία με το διάστημα. Αυτή η ανισορροπία είναι αυτό που αναφέρεται ως ακτινοβολική επίδραση(radiative forcing).

Για να αποκατασταθεί πάλι η ισορροπία, η θερμοκρασία στο νέο επίπεδο $\tau=1$ πρέπει να αυξηθεί, ώστε να γίνει ίση με την θερμοκρασία που υπήρχε στο αρχικό επίπεδο $\tau=1$. Στην πράξη το επίπεδο $\tau=1$ είναι συνήθως στην γειτονία των 7-8 χιλιομέτρων στους τροπικούς και σε χαμηλότερα ύψη στα μεγαλύτερα των υποτροπικών γεωγραφικά πλάτη. Η αύξηση της θερμοκρασίας στο επίπεδο χαρακτηριστικό επίπεδο $\tau=1$ είναι η θεμελιώδης θέρμανση του πλανήτη που συνδέεται με το κλιματικό φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Παρακάτω δίνεται σχηματικά μια απλοποιημένη εικόνα της αρχής του φαινομένου του θερμοκηπίου ώστε να γίνει πιο κατανοητή η έννοια του χαρακτηριστικού επιπέδου εκπομπής $\tau=1$.



Σχήμα 1.2: Σχηματική αποτύπωση απλοποιημένης εικόνας της αρχής του φαινομένου του θερμοκηπίου. Πηγή(Ειδικά Κεφάλαια Ατμοσφαιρικής Φυσικής και Χημείας, Βαρώτσος Κ. ,2011)

1.4 Υγρασία

Η Ατμόσφαιρα περιέχει νερό και στις 3 μορφές του, δηλαδή υγρή, στερεή και αέρια. Το 90 % τουλάχιστον της ποσότητας αυτής βρίσκεται συγκεντρωμένο στο κατώτερο μέρος της Ατμόσφαιρας μέχρι ύψους περίπου 8-10 χιλιομέτρων. Αποτελεί περίπου το 0,3% -0,4% της μάζας του στρώματος αυτού. Γενικά οι υδρατμοί αποτελούν πολύ μικρό μέρος της όλης Ατμόσφαιρας (περίπου 0,4% κατ' όγκο), όμως διαδραματίζουν σημαντικότερο ρόλο στα καιρικά

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

φαινόμενα, στο ενεργειακό ισοζύγιο Γης - Ατμόσφαιρας και ειδικότερα στην κλίμα της Γης καθώς αποτελούν το πλέον σημαντικό θερμοκηπικό αέριο.

Εξάλλου το νερό που διακινείται στην ατμόσφαιρα, κατά μέσο όρο μέσα σε ένα έτος, και φτάνει πάλι στην Γη με την μορφή διαφόρων κατακρημνισμάτων, ανέρχεται σε $4 \cdot 10^{14}$ τόνους, ποσότητα εξαιρετικά μεγάλη. Όλη η ποσότητα του διακινούμενου νερού εισέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής. Γίνεται αντιληπτό ότι τεράστιες ποσότητες ενέργειας μεταφέρονται και απελευθερώνονται στην Ατμόσφαιρα μέσα σε αυτόν τον κύκλο του νερού. Αν και οι υδρατμοί είναι ελαφρότεροι του αέρα εντούτοις η περιεκτικότητα της Ατμόσφαιρας σε υδρατμούς ελαττώνεται με το ύψος. Η μείωση αυτή της περιεκτικότητας στην τροπόσφαιρα οφείλεται στην ελάττωση της θερμοκρασίας με το ύψος που συνεπάγεται και μείωση της δυνατότητας της Ατμόσφαιρας να συγκρατεί υδρατμούς.

1.4.1 Εκφράσεις Υγρασίας

Γενικά ονομάζεται η υγρασία το ποσό των υδρατμών που περιέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να εκφραστεί η υγρασία, καθένας από τους οποίους είναι κατάλληλος σε διαφορετικές μελέτες της Ατμόσφαιρας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ότι στις μελέτες ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχει ενδιαφέρον για την απόλυτη υγρασία, στην βιολογία γενικότερα για την σχετική υγρασία κλπ.

1.4.2 Τάση υδρατμών(e_a) και μέγιστη τάση των υδρατμών(e_s)

Σε μια ορισμένη θερμοκρασία ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να συγκρατήσει μια μέγιστη ποσότητα υδρατμών. Όταν η προσφερόμενη ποσότητα, συνέπεια της εξάτμισης υδρατμών υπερβεί την συγκεκριμένη μέγιστη ποσότητα, τότε οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και μεταβαίνουν από την αέρια φάση στην υγρή φάση. Το όριο αυτό καλείται σημείο δρόσου. Οι υδρατμοί σαν ένα από τα αέρια της ατμόσφαιρας παρουσιάζουν κάποια μερική πίεση η οποία ονομάζεται τάση υδρατμών(e_a). Στο σημείο δρόσου η τάση υδρατμών λαμβάνει την μέγιστη τιμή της η οποία ονομάζεται μέγιστη τάση υδρατμών ή τάση κεκορεσμένων υδρατμών(e_s). Η τάση κεκορεσμένων υδρατμών αυξανόμενης της θερμοκρασίας αυξάνει εκθετικά, και είναι 7% μεγαλύτερη για κάθε 1°C αύξησης στην αέρια μάζα.

1.4.3 Απόλυτη Υγρασία (e)

Αν μέσα σε ένα όγκο V ατμοσφαιρικού αέρα περιέχεται μάζα υδρατμών M_v , τότε ορίζεται απόλυτη υγρασία το πηλίκο της μάζας των υδρατμών προς τον όγκο του αέρα που τους περιέχει και συμβολίζεται με e .

$$e = \frac{M_v}{V}$$

Η απόλυτη υγρασία εκφράζεται σε μονάδες πυκνότητας.

1.4.4 Αναλογία μίγματος (W)

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

Αν συμβολίσουμε με M_d την μάζα του ξηρού αέρα στον ίδιο όγκο V τότε ορίζεται ως αναλογία μίγματος και συμβολίζεται με W το πηλίκο της μάζας των υδρατμών που περιέχονται στον υγρό αέρα, προς την μάζα του ξηρού αέρα που επίσης περιέχεται σε αυτόν.

$$W = \frac{M_v}{M_d}$$

Από τον ορισμό είναι φανερό ότι η αναλογία μίγματος είναι ένας αδιάστατος αριθμός.

1.4.5 Ειδική υγρασία (q)

Το πηλίκο της μάζας των υδρατμών M_v προς την μάζα του υγρού αέρα που τους περιέχει ορίζεται ως ειδική υγρασία και συμβολίζεται με q .

$$q = \frac{M_v}{(M_v + M_d)}$$

Αν και αδιάστατος αριθμός εκφράζεται σε gr/Kgr. Δεδομένου ότι η ειδική υγρασία διαφέρει ελάχιστα από την αναλογία μίγματος διότι $M_v \ll M_d$ σε πρακτικές εφαρμογές μπορεί και να θεωρηθούν ίσες.

1.4.6 Σχετική υγρασία (RH)

Η σχετική υγρασία ορίζεται ως ο λόγος της αναλογίας μίγματος υγρού αέρα W προς την αναλογία μίγματος κόρου στην ίδια θερμοκρασία και πίεση W_s . Είναι ο εξής λόγος:

$$RH = \frac{W}{W_s}$$

Η σχετική υγρασία είναι καθαρός αριθμός και εκφράζεται επί τις εκατό(%). Αποτελεί ένα μέτρο υπολογισμού κατά πόσο απέχει ο εξεταζόμενος αέρας από την κατάσταση κόρου. Η πορεία της σχετικής υγρασίας είναι αντιστρόφως ανάλογη εκείνης της θερμοκρασίας, εφόσον η ελάττωση της συνεπάγεται και ελάττωση της μάζας των υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει σε κατάσταση κόρου ο αέρας. Στην κατάσταση κόρου είναι προφανές ότι η σχετική υγρασία είναι ίση με 100%. Υπάρχουν όμως και φορές όπου η ατμόσφαιρα γίνεται υπέρκορη με υδρατμούς και τότε $RH > 100\%$. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από αδιαβατική εκτόνωση με την ψύξη λόγω ακτινοβολίας και με ανάμειξη κεκορεσμένων αερίων μαζών διαφορετικών θερμοκρασιών. Η σχετική υγρασία είναι μια εξαιρετικά μεταβλητή παράμετρος διότι επηρεάζεται από τις μεταβολές τόσο της θερμοκρασίας όσο και της ατμοσφαιρικής πίεσης.

1.4.7 Θερμοκρασία δρόσου (T_d)

Ένας άλλος τρόπος έκφρασης της υγρασίας είναι μέσω της θερμοκρασίας δρόσου, που συμβολίζεται με T_d . Θερμοκρασία δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψυχθεί μια αέρια μάζα, υπό σταθερή πίεση και χωρίς προσθήκη ή αφαίρεση υδρατμών, ώστε να κορεστεί. Αν δηλαδή η τάση των υδρατμών σε ένα όγκο ατμοσφαιρικού αέρα είναι e_a τότε

υπάρχει κάποια θερμοκρασία για την οποία η αντίστοιχη μέγιστη τάση υδρατμών e_s ισούται με e_a . Αυτή είναι η θερμοκρασία ή σημείο δρόσου. Είναι φανερό ότι όταν η θερμοκρασία του αέρα και το σημείο δρόσου συμπίπτουν τότε η σχετική υγρασία είναι 100%.

1.5 Εξίσωση Clausius-Clapeyron

Έστω ότι έχουμε ένα κλειστό κύλινδρο που περιέχει και συνυπάρχουν ένα υγρό στοιχείο και το αέριο του, και τίποτα άλλο μέσα σε αυτόν. Κατά την διάρκεια της παρατήρησης μερικά από τα μόρια του υγρού θα εξατμίζονται στο αέριο, και ταυτόχρονα μερικά από τα μόρια του αερίου θα συμπυκνώνονται στο υγρό. Αυτή η κατάσταση κάποια στιγμή θα ισορροπήσει. Όταν ποσότητα μορίων φεύγει από την υγρή φάση και πηγαίνει στην αέρια, η πίεση του αερίου θα αυξηθεί, και συνεπώς ο αριθμός των μορίων που συμπυκνώνονται από την αέρια στην υγρή φάση θα αυξηθεί μειώνοντας την περίσσεια πίεση μέχρι η ισορροπία να επανέλθει.

Είναι σημαντικό λοιπόν να προβλέπεται η σχέση μεταξύ πίεσης και θερμοκρασίας για καμπύλες ισορροπίας φάσης. Τα χημικά δυναμικά (γραμμομοριακές ελεύθερες ενέργειες Gibbs) των 2 φάσεων είναι πανομοιότυπα. Αν αλλάξει η θερμοκρασία ή η πίεση, αλλά όχι και τα 2, θα χαθεί αναπόφευκτα η κατάσταση της ισορροπίας και η μια ή η άλλη φάση σταθεροποιείται.

Για τις μεταβολές της ελεύθερης ενέργειας των φάσεων A και B ενός καθαρού στοιχείου μπορούμε να γράψουμε τις παρακάτω εξισώσεις:

$$dG_A = -S_A dT + V_A dp \quad (1)$$

$$dG_B = -S_B dT + V_B dp \quad (2)$$

Για να διατηρηθεί η ισορροπία για ένα δεδομένο ζεύγος ποσοτικών αλλαγών dp και dT , χρειαζόμαστε οι 2 φάσεις να έχουν τις ίδιες μεταβολές ελεύθερης ενέργειας. Άρα εξισώνοντας τις (1) και (2) προκύπτει:

$$-S_A dT + V_A dp = -S_B dT + V_B dp$$

$$\Delta S dT = \Delta V dp$$

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta S}{\Delta V} \quad (3)$$

Όπου ΔS και ΔV είναι οι μεταβολές εντροπίας και όγκου που συνδέονται με την αλλαγή φάσης $A \rightarrow B$. Αυτή είναι η εξίσωση Clapeyron.

Να σημειωθεί ότι επειδή η μεταβολή ελεύθερης ενέργειας $\Delta G = 0$, και $\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$, όπου ΔH είναι η μεταβολή της ενθαλπίας, η εξίσωση Clapeyron μπορεί να γραφεί στη μορφή:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H}{T \Delta V} \quad (4)$$

Υπάρχει μια πολύ χρήσιμη προσέγγιση, που περιγράφει την σχέση μεταξύ πίεσης και της θερμοκρασίας κατά μήκος της καμπύλης ισορροπίας υγρού - αερίου. Το πρώτο στάδιο είναι η διαπίστωση, ότι ο γραμμομοριακός όγκος ενός αερίου είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον του υγρού. Αυτό μας οδηγεί στα εξής:

$$\Delta V = V_g - V_l = V_g$$
$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H}{TV_g} \quad (5)$$

Θεωρώντας ότι το αέριο είναι ιδανικό η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H p}{RT^2}$$
$$\frac{dp}{p} = \frac{\Delta H}{RT^2} dT$$

Στην συνέχεια ολοκληρώνοντας την σχέση από T_1 έως T_2 μας δίνει τα ακόλουθα:

$$\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \frac{-\Delta H_{vap}}{R(T_2^{-1} - T_1^{-1})} \quad (6)$$

Η σχέση αυτή είναι η εξίσωση των Clausius -Clapeyron. Αν γνωρίζουμε την ενθαλπία της εξάτμισης κατά την κανονική θερμοκρασία βρασμού, η εξίσωση αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό της τάσης ατμών σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία. Αν συνδυάσουμε την εξίσωση αυτή με τον κανόνα του Trouton τότε:

$$\Delta H_{vap} = 88T_b \text{ Jmol}^{-1}$$

Έτσι η γνώση του σημείου βρασμού είναι αρκετή, ώστε να προβλέψουμε την τάση ατμών σε οποιαδήποτε θερμοκρασία. Η εξίσωση αυτή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της ενθαλπίας εξάτμισης από μετρήσεις τάσης ατμών σε 2 ή περισσότερες θερμοκρασίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Κλιματική Αλλαγή

2.1 Περιγραφή της Κλιματικής Αλλαγής

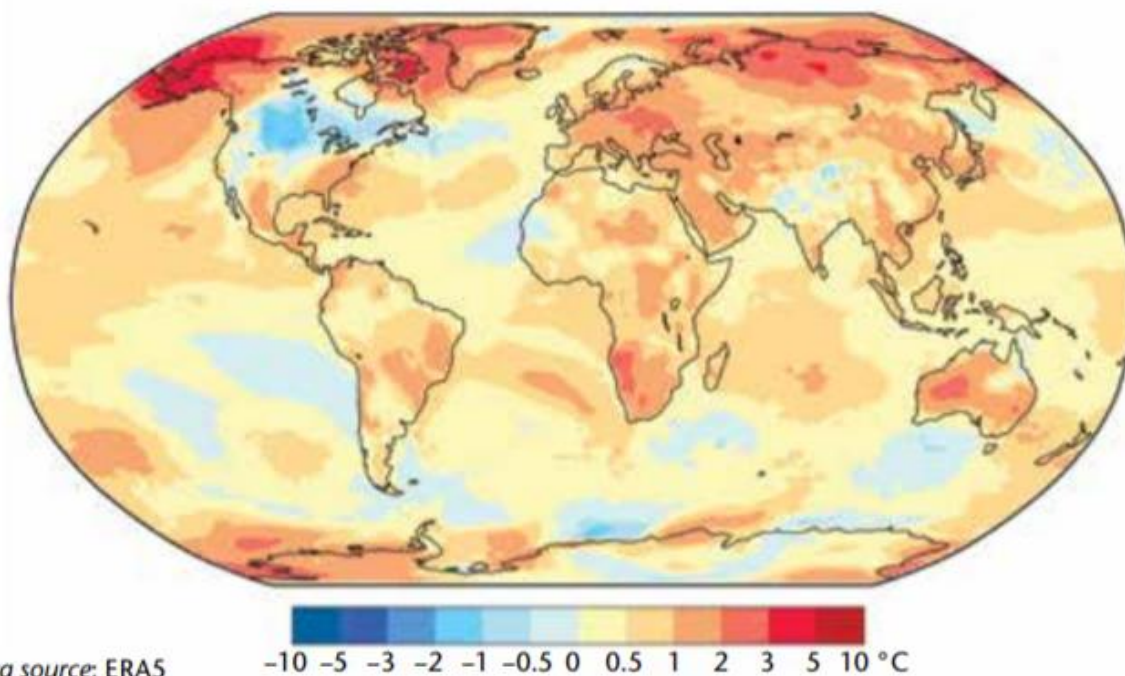
Ο όρος Κλιματική αλλαγή είναι σύνηθες να ταυτίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης. Αυτό σαν γεγονός όμως δεν περιγράφει ακριβώς τι είναι η Κλιματική Αλλαγή για την επιστημονική κοινότητα καθώς είναι ένα από τα πολλά αποτελέσματα αυτής. Η έννοια του όρου είναι ευρύτερη και περιλαμβάνει πολλά περισσότερα στοιχεία.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (International Panel for Climate Change) αναφέρεται στον ορισμό της κλιματικής αλλαγής ως εξής: « Η Κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε κάθε αλλαγή του Κλίματος είτε αυτή οφείλεται σε φυσική μεταβλητότητα, είτε οφείλεται σε ανθρωπογενή δραστηριότητα».

Η κλιματική αλλαγή έχει πολλαπλές και διάφορες εκφάνσεις. Η πλέον συνυφασμένη με την κλιματική αλλαγή, έκφανση που έχει παρατηρηθεί είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου συχνά αναφέρεται σαν το αίτιο που έχει να κάνει με την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη μας, σε σχέση με τα επίπεδα που είχε η θερμοκρασία στα προ-βιομηχανική περίοδο και πιο συγκεκριμένα την περίοδο αναφοράς 1850-1900.

Παρακάτω θα δοθούν κάποια γεγονότα για να αντιληφθούμε καλύτερα τις προεκτάσεις που λαμβάνει η κλιματική αλλαγή την σημερινή εποχή καθώς και τα αποτελέσματα αυτής όπως έχουν αποτυπωθεί από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (International Panel for Climate Change) εκδίδει αναφορές (reports) στις οποίες περιγράφει αναλυτικά τα αποτελέσματα τα οποία καταγράφονται από την επιστημονική κοινότητα. Αυτές οι αναφορές γίνονται συνήθως με προτροπή των κυβερνήσεων για να παρατηρηθεί αν γίνεται σωστά η τήρηση των διαφόρων μέτρων που παίρνονται από αυτές με σκοπό την τήρηση διαφόρων πρωτοκόλλων που έχουν υπογραφεί, αλλά επί προσθέτως και για την ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης γύρω από το θέμα της κλιματικής αλλαγής. Επίσης γίνεται και μια πρόβλεψη από την IPCC για το μέλλον, αξιολογώντας τα δεδομένα τα οποία έχει στην διάθεση της, δίνοντας πιθανά αποτελέσματα για διάφορα σενάρια τα οποία είναι πιθανό να συμβούν μελλοντικά.

Τα τελευταία 5 χρόνια 2015-2019, αποτελούν τα πέντε θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί. Επίσης οι τελευταίοι 5ετής(2015-2019) και 10ετής(2010-2019) μέσοι όροι είναι οι θερμότεροι που έχουν καταγραφεί. Από την δεκαετία του 1980 κάθε επόμενη δεκαετία διαδοχικά ήταν πιο ζεστή από οποιαδήποτε προηγούμενη από το 1850. Παρακάτω θα δοθεί σχηματικά η απόκλιση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης για το έτος 2019 σε σχέση με το μέσο όρο της περιόδου 1980-2010(WMO, 2020).



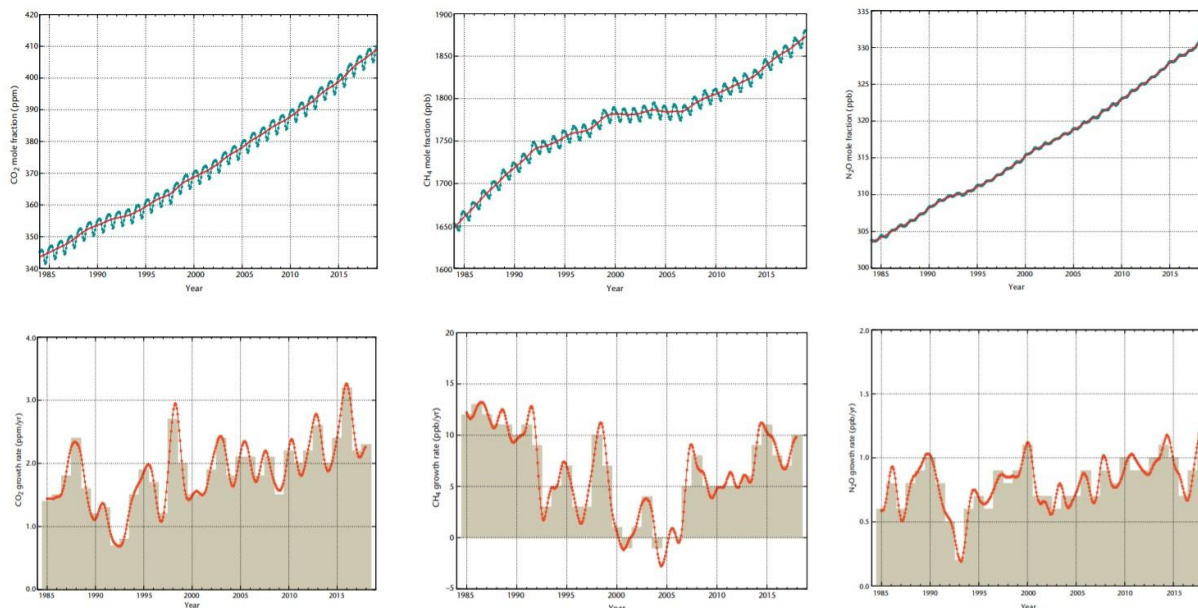
Σχήμα 2.1: Απόκλιση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια για το έτος 2019 σε σχέση με τον μέσο όρο της περιόδου 1980-2010. Πηγή: ECMWF ERA5 data, Copernicus Climate Change Service

Τα αυξημένα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, είναι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων αυτών υποδεικνύουν μια ισορροπία ανάμεσα στις πηγές (συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών που οφείλονται στις ανθρώπινες δραστηριότητες) και στις καταβόθρες (παραδείγματος χάρη η πρόσληψη τους από τον ωκεανό). Το 2018 οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου έφτασαν σε νέα υψηλά επίπεδα με τις μέσες παγκόσμιες τιμές των γραμμομοριακών κλασμάτων να κυμαίνονται για το CO₂ στα 407.8±0.1ppm, για το μεθάνιο (CH₄) στα 1869±2 ppb, και για το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) στα 331,1±0.1ppb (WMO, 2020). Οι ετήσιες αυξήσεις των τριών κύριων αερίων του θερμοκηπίου ήταν μεγαλύτερες από τις αυξήσεις του προηγούμενου έτους και των μέσων ρυθμών ανάπτυξης των τελευταίων 10 ετών. Τα παγκόσμια κατά μέσο όρο κλάσματα γραμμομορίων για το 2018 αποτελούν, αντίστοιχα, 147%, 259% και 123% των προβιομηχανικών (1750) επιπέδων.

Τα παγκόσμια στοιχεία για το 2019 δεν θα είναι διαθέσιμα μέχρι τα τέλη του 2020, αλλά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από συγκεκριμένες τοποθεσίες, συμπεριλαμβανομένων των Mauna Loa (Χαβάη) και Cape Grim (Τασμανία) δείχνουν ότι τα επίπεδα CO₂, CH₄ και N₂O συνέχισαν να αυξάνονται το 2019.

Η έκθεση της IPCC Global Warming of 1.5°C (IPCC,2018), διαπίστωσε ότι ο περιορισμός της θέρμανσης στους 1,5°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα συνεπάγεται την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών CO₂ παγκοσμίως περίπου το 2050 και ταυτόχρονες ραγδαίες μειώσεις των εκπομπών των υπολοίπων αερίων που επιδρούν, ιδιαίτερα του μεθανίου.

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



Σχήμα 2.2: Άνω σειρά: Παγκόσμια μέση τιμή γραμμομοριακού κλάσματος (μέτρο συγκέντρωσης), από το 1984 έως το 2018, του CO₂ σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) (αριστερά), του CH₄ σε μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) (μεσαία) και του N₂O σε μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) (δεξιά). Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο μηνιαίο γραμμομοριακό κλάσμα όπου έχουν αφαιρεθεί οι εποχιακές διακυμάνσεις. Οι μπλε κουκκίδες και η γραμμή απεικονίζουν τους μηνιαίους μέσους όρους. Κάτω σειρά: Οι ρυθμοί ανάπτυξης αντιπροσωπεύουν αυξήσεις των διαδοχικών ετήσιων μέσων τιμών των γραμμομοριακών κλασμάτων για το CO₂ σε μέρη ανά εκατομμύριο ετησίως (αριστερά), του CH₄ σε μέρη ανά δισεκατομμύριο ετησίως (μεσαία) και N₂O σε μέρη ανά δισεκατομμύριο ετησίως (δεξιά). (Πηγή: WMO Global Atmosphere Watch, 2020)

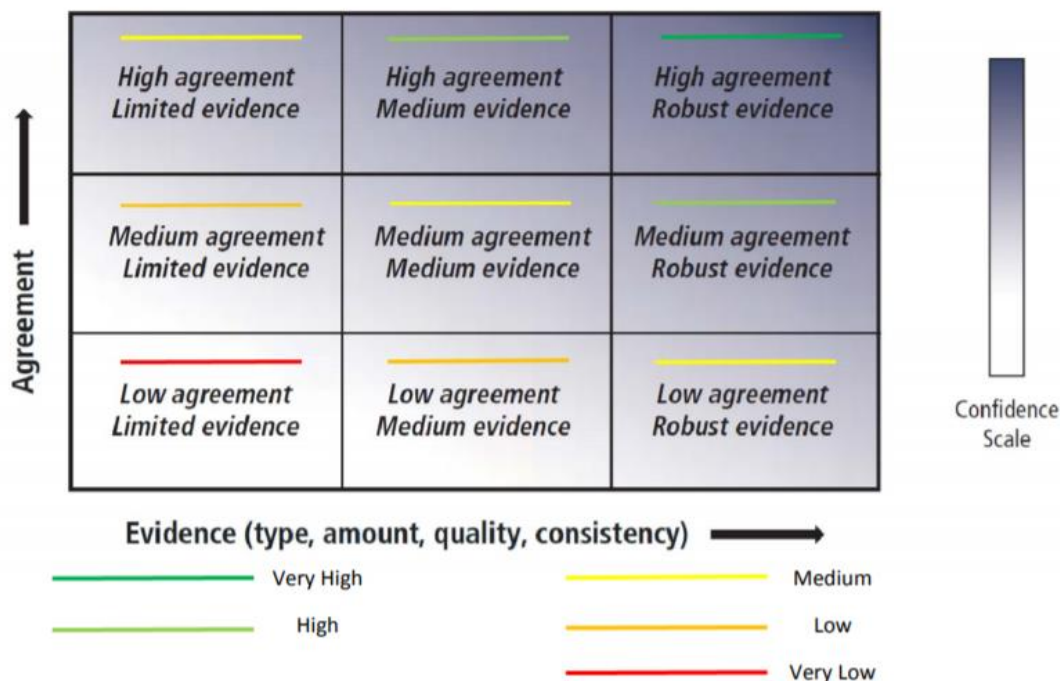
2.2 Ορολογία της IPCC

Σύμφωνα με το τελευταίο special report της επιτροπής, το οποίο δόθηκε στην δημοσιότητα το 2018, η αύξηση της θερμοκρασίας σημειώνεται ότι βρίσκεται στο επίπεδο των 1.5°C σε σχέση με την προ-βιομηχανική περίοδο. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται και σε φυσικές μεταβολές και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Πρέπει όμως να γίνει διαχωρισμός και ποσοτικοποίηση για τις δύο αυτές παραμέτρους.

Αρχικά να παρατηρηθεί το γεγονός ότι στις αναφορές της η επιτροπή τα χρησιμοποιεί πολύ συχνά τον όρο «εμπιστοσύνη», ο οποίος έχει ειδική σημασία και σχετίζεται με το επίπεδο βεβαιότητας με το οποίο μπορεί να εκφράσει την άποψη αυτή. Όταν η επιτροπή αναφέρει τον όρο «εμπιστοσύνη», αναφέρεται στον βαθμό εμπιστοσύνης στο να είναι σωστοί. Επειδή στην περίπτωση της IPCC, όπου οι επιστήμονες αναλύουν το παγκόσμιο κλίμα, ζητήματα όπως η έλλειψη δεδομένων παρατήρησης σε ορισμένες περιοχές, όπως η Αφρική, θα επηρεάσουν την εμπιστοσύνη των επιστημόνων στα ευρήματά τους. Τα επίπεδα εμπιστοσύνης της έκθεσης που παρουσιάζει η επιτροπή βασίζονται στα στοιχεία, τα οποία ταξινομούνται ως εξής: ισχυρά, μεσαία και περιορισμένα. Επίσης η επιτροπή βασίζεται και στον βαθμό επιστημονικής συμφωνίας ο οποίος ταξινομείται ως εξής: υψηλός, μεσαίος και χαμηλός. Ο συνδυασμός των

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

στοιχείων και του βαθμού επιστημονικής συμφωνίας οδηγούν σε πέντε επίπεδα εμπιστοσύνης (πολύ υψηλό, υψηλό, μεσαίο, χαμηλό και πολύ χαμηλό), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.3: Τα επίπεδα εμπιστοσύνης είναι ένας συνδυασμός της επιστημονικής συμφωνίας και των επιστημονικών στοιχείων τα οποία παρέχονται. Τα 5 επίπεδα εδώ δίνονται με διαφορετικά χρώματα (IPCC,2013)

Είναι προφανές ότι σε περιπτώσεις που υπάρχουν ισχυρά επιστημονικά στοιχεία και η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί με αυτά τότε το επίπεδο εμπιστοσύνης είναι πολύ υψηλό. Αντίστοιχα όταν είτε τα στοιχεία δεν είναι τόσο ισχυρά είτε στην επιστημονική κοινότητα υπάρχουν διχογνωμίες γύρω από το ζήτημα το επίπεδο εμπιστοσύνης αρχίζει να πέφτει σε υψηλό ή και μεσαίο. Τέλος όταν τα στοιχεία χαρακτηρίζονται σαν ελλιπή και η επιστημονική κοινότητα θέτει αρκετά ερωτήματα γύρω από ένα ζήτημα τότε αυτό λαμβάνει το επίπεδο της πολύ χαμηλής εμπιστοσύνης. Είναι εμφανές ότι η προσπάθεια αυτή γίνεται για να δώσει η επιτροπή ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα που αναφέρονται στις αναφορές της.

2.3 Κατανόηση της αύξησης 1.5°C

Σε αυτήν την παράγραφο θα δοθούν ορισμένα αποτελέσματα και επιπτώσεις όπως αυτά αποτυπώνονται στην πρόσφατη αναφορά της IPCC (IPCC,2018). Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε καλύτερα τι σημασία έχει για τον πλανήτη μας η αύξηση της θερμοκρασίας και τι αλλαγές έχει επιφέρει ή γίνεται πρόβλεψη πως θα επιφέρει στο μέλλον στα ανθρώπινα και φυσικά οικοσυστήματα που τον περιβάλλουν. Το πραγματικό ερώτημα είναι κατά πόσο η ανθρώπινη δραστηριότητα προκαλεί την τρέχουσα αύξηση θερμοκρασίας και αν ναι, τότε είναι ο άνθρωπος ικανός να κάνει κάτι για να το αποτρέψει αυτό.

- ❖ Οι ανθρώπινες δραστηριότητες υπολογίζεται ότι έχουν προκαλέσει αύξηση 1.0°C σε σχέση με την προ-βιομηχανική περίοδο με το εύρος αυτής της αύξησης να κυμαίνεται από 0.8°C έως 1.2°C . Η αύξηση υπολογίζεται να φτάσει την τιμή 1.5°C για τα έτη από 2030 έως 2052, στην περίπτωση που συνεχίσει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό (υψηλή εμπιστοσύνη).
- ❖ Σε πολλές χερσαίες περιοχές η θέρμανση είναι μεγαλύτερη από τον ετήσιο παγκόσμιο μέσο όρο που παρατηρείται. Πιο συγκεκριμένα στην Αρκτική είναι μέχρι και 3 φορές πάνω από τον μέσο όρο. Γενικότερα η θέρμανση είναι μεγαλύτερη σε χερσαίες περιοχές παρά στον ωκεανό (υψηλή εμπιστοσύνη).
- ❖ Η θέρμανση που προκλήθηκε από ανθρωπογενείς εκπομπές από την προ-βιομηχανική περίοδο έως σήμερα θα συνεχιστεί για αιώνες έως και χιλιετίες. Επίσης θα συνεχίσει να προκαλεί περαιτέρω μακροπρόθεσμες αλλαγές στο κλιματικό σύστημα, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, με συναφείς επιπτώσεις (υψηλή εμπιστοσύνη). Όμως μόνο αυτές οι εκπομπές είναι απίθανο να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στο επίπεδο των $1,5^{\circ}\text{C}$ (μέτρια εμπιστοσύνη). Οι ανθρωπογενείς εκπομπές (συμπεριλαμβάνονται σε αυτές τα αέρια του θερμοκηπίου, τα αερολύματα και τα πρόδρομα μόρια τους) έως σήμερα είναι απίθανο να προκαλούν περαιτέρω θέρμανση άνω των $0,5^{\circ}\text{C}$ για τις επόμενες δύο έως τρεις δεκαετίες (υψηλή εμπιστοσύνη) ή σε κλίμακα χρόνου ενός αιώνα (μέτρια εμπιστοσύνη). Η επίτευξη και η διατήρηση μηδενικών παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών CO_2 (εκπομπές υποβάθρου) και η μείωση των μη- CO_2 ακτινοβολικών δράσεων υποβάθρου θα σταματήσει την ανθρωπογενή υπερθέρμανση του πλανήτη σε μια χρονική κλίμακα πολλών δεκαετιών από σήμερα (υψηλή εμπιστοσύνη).
- ❖ Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με το κλίμα για τα φυσικά και ανθρώπινα συστήματα είναι υψηλότεροι λόγω της υπερθέρμανση του πλανήτη $1,5^{\circ}\text{C}$, προς το παρόν, αλλά χαμηλότεροι από την θέρμανση της τάξεως των 2°C (υψηλή εμπιστοσύνη). Αυτοί οι κίνδυνοι εξαρτώνται από το μέγεθος και το ρυθμό της υπερθέρμανσης, της γεωγραφικής θέσης, των επιπέδων ανάπτυξης και της ευπάθειας για κάθε τόπο, καθώς και στις επιλογές και εφαρμογή των επιλογών προσαρμογής και μετριασμού σε κάθε τόπο (υψηλή εμπιστοσύνη). Οι επιπτώσεις από την παγκόσμια θέρμανση στα φυσικά και ανθρώπινα συστήματα έχουν ήδη παρατηρηθεί (υψηλή εμπιστοσύνη). Πολλά χερσαία, αλλά και ωκεάνια, οικοσυστήματα έχουν μεταβληθεί καθώς και οι υπηρεσίες που παρέχουν αυτά (υψηλή εμπιστοσύνη).
- ❖ Οι μελλοντικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με το κλίμα εξαρτώνται από το ρυθμό, και τη διάρκεια της θέρμανσης. Συνολικά, είναι μεγαλύτεροι οι κίνδυνοι εάν η παγκόσμια θέρμανση υπερβαίνει τους $1,5^{\circ}\text{C}$, πριν επιστρέψει σε αυτό το επίπεδο έως τις 2100, συγκριτικά με την υπόθεση για την οποία η παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη θα σταθεροποιηθεί σταδιακά στους $1,5^{\circ}\text{C}$, ειδικά εάν η μέγιστη θερμοκρασία είναι υψηλή (υψηλή εμπιστοσύνη). Ορισμένες επιπτώσεις μπορεί να είναι μακροχρόνιες ή ακόμα και μη αναστρέψιμες, όπως η απώλεια ορισμένων οικοσυστημάτων (υψηλή εμπιστοσύνη).

Όλα αυτές οι παρατηρήσεις μπορούν να συνοψιστούν σε ορισμένα διαγράμματα τα οποία σχεδιάζει η επιτροπή με σκοπό να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η επίδραση της κάθε παραμέτρου.

2.4 Πρόβλεψη της Κλιματικής Αλλαγής

Σε αυτή την παράγραφο θα δοθούν τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από διάφορα κλιματικά μοντέλα καθώς και από την αξιολόγηση των στοιχείων που έχει στην κατοχή της η επιτροπή. Στην συνέχεια θα γίνει καταγραφή των πιθανών επιπτώσεων καθώς και των κινδύνων που θα επιφέρουν αυτές στο μέλλον.

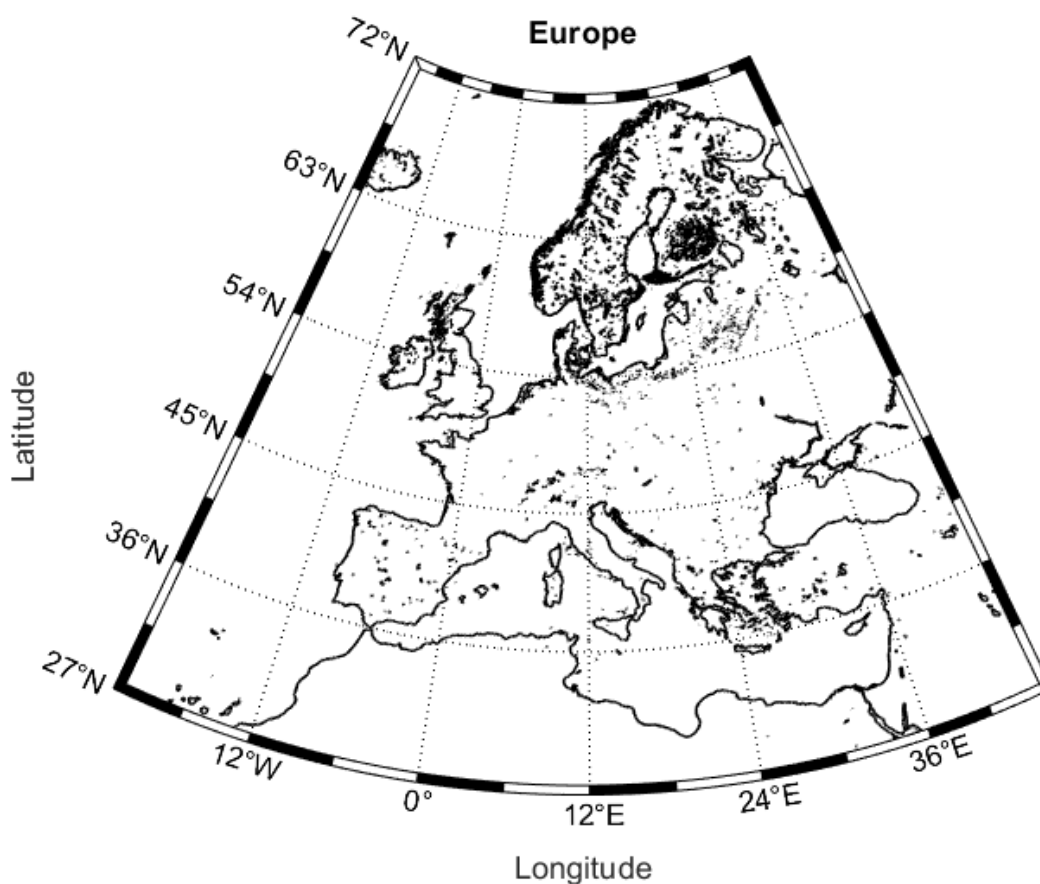
- ❖ Τα κλιματικά μοντέλα προβάλλουν έντονες διαφορές στα περιφερειακά χαρακτηριστικά του κλίματος μεταξύ της σημερινής κατάστασης και της υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά $1,5^{\circ}\text{C}$, και μεταξύ $1,5^{\circ}\text{C}$ και 2°C . Αυτές οι διαφορές περιλαμβάνουν : αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στις περισσότερες περιοχές ξηράς και ωκεάνιες (υψηλή εμπιστοσύνη), περισσότερα επεισόδια καύσωνα στις κατοικημένες περιοχές (υψηλή εμπιστοσύνη), υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης σε ορισμένες περιοχές (μέτρια εμπιστοσύνη), καθώς και την πιθανότητα ξηρασίας και έλλειψης βροχόπτωσης σε ορισμένες περιοχές (μέτρια εμπιστοσύνη). Να σημειωθεί ότι ο χαρακτηρισμός «έντονες» που αναφέρεται στις διαφορές χρησιμοποιείται για να δείξει ότι τουλάχιστον τα δύο τρίτα των κλιματικών μοντέλων εμφανίζουν την ίδια ένδειξη αλλαγής στην κλίμακα του σημείου πλέγματος και ότι οι διαφορές σε μεγάλες περιοχές είναι στατιστικά σημαντική.
- ❖ Στοιχεία από αλλαγές που αποδίδονται σε ορισμένες ακραίες κλιματικές και καιρικές συνθήκες για θέρμανση περίπου $0,5^{\circ}\text{C}$ υποστηρίζουν την εκτίμηση ότι ένα επιπλέον $0,5^{\circ}\text{C}$ θέρμανσης σε σχέση με το παρόν σχετίζεται με περαιτέρω αλλαγές σε αυτές τις ακραίες συνθήκες (μέτρια εμπιστοσύνη).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Περιοχή Μελέτης και Δεδομένα

3.1 Περιοχή μελέτης

Στην παρούσα εργασία αρχικά η περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης, η οποία περιοχή έχει σαν άκρα τις εξής συντεταγμένες: $22^{\circ}\text{E}-45^{\circ}\text{W}$, $27^{\circ}\text{N}-72^{\circ}\text{N}$. Η επιλογή της περιοχής έγινε λόγω του γεγονότος ότι η ίδια περιοχή χρησιμοποιείται από το World Climate Research Programme (WCRP) για το κλιματικό μοντέλο CORDEX το οποίο αφορά την Ευρώπη. Παρακάτω δίνεται σχηματικά η περιοχή την οποία περικλείουν οι παραπάνω συντεταγμένες.

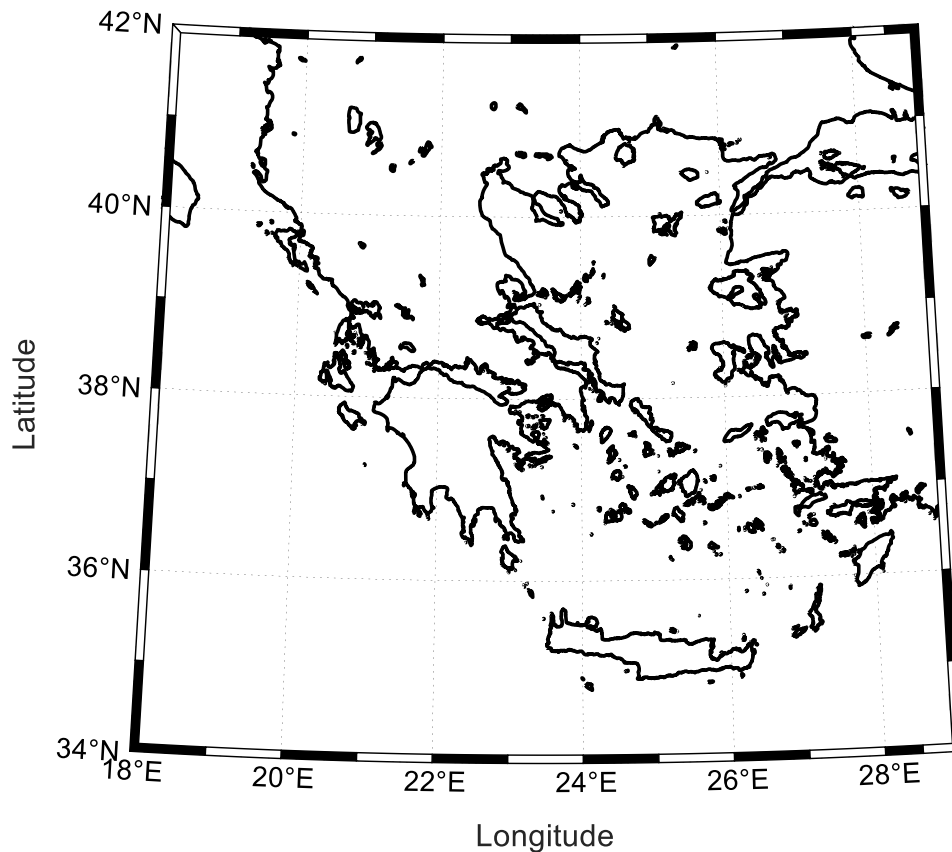


Σχήμα 3.1: Η περιοχή μελέτης που αφορά την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης

Στην συνέχεια η ανάλυση θα επικεντρωθεί στην νοτιοανατολική περιοχή του πεδίου όπου βρίσκεται η Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα για την περιοχή της νοτιοανατολικής Ευρώπης οι συντεταγμένες είναι: $18^{\circ}\text{W}-29^{\circ}\text{W}$, $34^{\circ}\text{N}-42^{\circ}\text{N}$. Η επιλογή αυτή έγινε με σκοπό να συμπεριληφθούν και οι θαλάσσιες περιοχές στα δυτικά της Ελλάδας και στην νοτιοανατολική περιοχή των Δωδεκανήσων καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στο κλίμα. Συσχετίζονται άμεσα με

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

όλο το υπόλοιπο πεδίο και πρέπει να αναλύσουμε τις τάσεις που επικρατούν πάνω από αυτές τις θαλάσσιες περιοχές.



Σχήμα 3.2: Η Ελλάδα στην ευρύτερη περιοχή της νοτιοανατολικής Ευρώπης

3.2 Δεδομένα

Στην συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιηθούν δεδομένα τα οποία θα πάρουμε από την βάση δεδομένων Copernicus Climate Change η οποία έχει δημιουργηθεί από το ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasts). Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν με χρήση της μεθόδου της επανάλυσης (reanalysis). Τα δεδομένα περιέχουν τις μέσες μηνιαίες τιμές για κάθε σημείο του πλέγματος για την χρονική περίοδο από τον Ιανουάριο του 1979 έως και τον Δεκέμβριο του 2018. Πιο συγκεκριμένα εξήχθησαν δεδομένα θερμοκρασίας, ειδικής και σχετικής υγρασίας στα ακόλουθα ισοβαρικά επίπεδα: Στην επιφάνεια, για την περιοχή της τροπόσφαιρας τα ακόλουθα στα ισοβαρικά επίπεδα των 1000hPa, 850hPa, 700hPa, 600hPa, 500hPa, 400hPa, 300hPa, 250hPa, 200hPa, καθώς και στην περιοχή της στρατόσφαιρας στα ισοβαρικά επίπεδα των 100hPa, 70hPa, 50hPa, 30hPa, 20hPa, 10hPa, 7hPa, 5hPa, 3hPa. Τα δεδομένα ήταν σε αρχεία της μορφής NetCDF και για την επεξεργασία τους αναπτύχθηκε κατάλληλος κώδικας σε πρόγραμμα MATLAB.

3.2.1 Δεδομένα reanalysis

Η μέθοδος της επανανάλυσης (reanalysis) είναι μια επιστημονική μέθοδος για την ανάπτυξη αποτελεσμάτων για το πως αλλάζουν οι καιρικές συνθήκες και το κλίμα με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτή την μέθοδο, οι παρατηρήσεις και ένα αριθμητικό μοντέλο που προσομοιώνει μια ή και περισσότερες μεταβλητές του συστήματος της Γης - Ατμόσφαιρας, συνδυάζονται αντικειμενικά για να δημιουργήσουν μια συνθετική εκτίμηση της κατάστασης του συστήματος. Η μέθοδος της επανανάλυσης εκτείνεται συνήθως για αρκετές δεκαετίες ή και περισσότερο, όσο αφορά το χρονικό βήμα, και σαν χωρικό βήμα καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη, από την επιφάνεια της Γης μέχρι και την στρατόσφαιρα.

Τα δεδομένα reanalysis χρησιμοποιούνται εκτενώς στην έρευνα και τις υπηρεσίες για το κλίμα, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης και σύγκρισης των τρεχουσών κλιματικών συνθηκών με εκείνες του παρελθόντος. Επίσης μπορεί να γίνει εντοπισμός των αιτιών των κλιματικών μεταβολών και αλλαγών καθώς και προετοιμασία των κλιματικών προβλέψεων. Σε κάποιες περιπτώσεις μεταβλητές όπως παραδείγματος χάρη η βροχόπτωση ή η εξατμισοδιαπνοή ή συνιστώσες του ανέμου για τις οποίες δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα σε κάποια χωρική κλίμακα ή ακόμα είναι δυνατόν να μην υπάρχουν δεδομένα για τελείως απομακρυσμένες περιοχές τότε για τον υπολογισμό των τιμών τους χρησιμοποιείται ένα αριθμητικό μοντέλο. Άρα τα δεδομένα reanalysis είναι ουσιαστικά μια εκτίμηση της πραγματικής κατάστασης της Ατμόσφαιρας, η οποία προκύπτει χρησιμοποιώντας τα δεδομένα παρατήρησης, είτε επιτόπια είτε δορυφορικά.

Οι πληροφορίες και τα δεδομένα που προέρχονται από την μέθοδο της επανανάλυσης χρησιμοποιούνται επίσης όλο και περισσότερο σε εμπορικές και επιχειρηματικές εφαρμογές και σε τομείς όπως η ενέργεια, η γεωργία, οι υδάτινοι πόροι.

3.2.2 ERA5

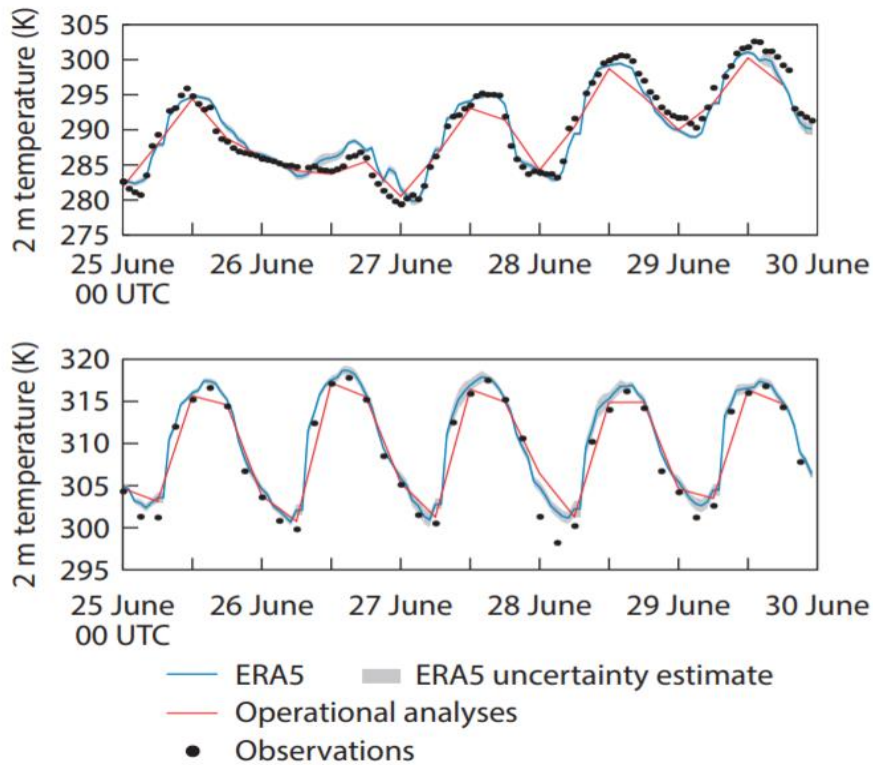
Μετά από πολλά χρόνια έρευνας και μεγάλη τεχνική προετοιμασία, η παραγωγή ενός νέου κλιματικού προγράμματος reanalysis απο τον ECMWF για την αντικατάσταση του ERA-Interim (D. P. Dee et al., 2011) έχει ξεκινήσει. Το ERA5 (Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al., 2020) θα είναι η πέμπτη γενιά των ατμοσφαιρικών reanalysis του ECMWF για το παγκόσμιο κλίμα, που ξεκίνησε με τα reanalysis FGGE που παράγονται από το 1980, ακολουθούμενα από το ERA-15, ERA-40 και πιο πρόσφατα από το ERA-Interim. Τα reanalysis παρέχουν μια αριθμητική περιγραφή του πρόσφατου κλίματος όπου παράγεται από τον συνδυασμό μοντέλων με παρατηρήσεις. Τα αποτελέσματα ήταν ανεκτίμητα για πολλούς χρήστες στα κράτη μέλη και σε όλο τον κόσμο και ήταν πάντα στενά συνδεδεμένα με την υπεροχή των προϊόντων πρόβλεψης του Κέντρου ECMWF. Το reanalysis είναι πλέον μια βασική συμβολή του ECMWF στην εφαρμογή της χρηματοδοτούμενης από την ΕΕ υπηρεσίας Copernicus Climate Change. Αυτό αντικατοπτρίζεται από το γεγονός ότι η ERA5 είναι η πρώτη ανάλυση που παράγεται ως λειτουργική υπηρεσία και όχι ως ερευνητικό έργο.

Μόλις ολοκληρωθεί η νέα ανάλυση ERA5 θα εκτείνεται στη σύγχρονη περίοδο παρατήρησης από το 1979 και μετά, με τις καθημερινές ενημερώσεις να συνεχίζονται προς τα εμπρός στο χρόνο. Δηλαδή τα αποτελέσματα θα ανανεώνονται συνεχώς καθώς θα προχωράει ο χρόνος. Το ERA5 θα αντικαταστήσει τελικά το ERA-Interim, το οποίο είναι όλο και πιο δύσκολο να διατηρηθεί. Τα δεδομένα του ERA5 θα έχουν πολύ υψηλότερη ανάλυση από το ERA-Interim.

Το χρονικό βήμα της ανάλυσης θα είναι ωριαίο και θα είναι διαθέσιμο σε οριζόντια ανάλυση 31 km σε 139 επίπεδα, από την επιφάνεια έως 0,01 hPa (περίπου 80 km). Όλα τα προϊόντα δεδομένων ERA5 θα περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τις αβεβαιότητες, οι οποίες θα παρέχονται για κάθε παράμετρο σε 3ωρα διαστήματα και σε οριζόντια ανάλυση της τάξεως των 62 km. Πολλές νέες παράμετροι, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου στα 100 μέτρα, θα είναι διαθέσιμες ως αποτελέσματα της ανάλυσης. Μια βάση δεδομένων που θα περιέχει όλες τις παρατηρήσεις οι οποίες εισάγονται, μαζί με λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο χρήσης τους, θα είναι διαθέσιμη και προσβάσιμη στους χρήστες. Συνολικά, ολόκληρη η παραγωγή ERA5 θα παράγει περίπου 5 petabytes δεδομένων.

Η έρευνα που διεξήχθη στο ECMWF από την έναρξη του ERA-Interim στα τέλη του 2006 μέχρι και σήμερα, μας δίνει μεγάλη εμπιστοσύνη για την ποιότητα της ανάλυσης ERA5. Το σύστημα αφομοίωσης δεδομένων ERA5 χρησιμοποιεί την τρέχουσα έκδοση του Ολοκληρωμένου Συστήματος Πρόβλεψης (IFS Cycle 41r2), με πολλές πρόσθετες δυνατότητες που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για τα reanalysis προϊόντα. Οι πολλές αλλαγές και βελτιώσεις που ενσωματώνονται στο IFS αντιπροσωπεύουν μια δεκαετία έρευνας και ανάπτυξης στη μοντελοποίηση και την αφομοίωση δεδομένων που έχει λάβει χώρα στο ECMWF. Η ανάλυση του ERA5 θα επωφεληθεί επίσης από την έρευνα που διεξάγεται στα έργα ERA-CLIM και ERA-CLIM2 που χρηματοδοτούνται από την ΕΕ που πραγματοποιήθηκαν από το ECMWF και τους υπόλοιπους εταίρους. Αυτά οδήγησαν σε βελτιωμένα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο αφομοίωσης που αντικατοπτρίζουν καλύτερα τις παρατηρούμενες αλλαγές στις κλιματολογικές μεταβλητές, καθώς και πολλές νέες ή επανεπεξεργασμένες παρατηρήσεις για την αφομοίωση δεδομένων.

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



Σχήμα 3.3: Τα διαγράμματα δείχνουν ωριαία δεδομένα από τις 25 έως τις 30 Ιουνίου 2014 από τις επιχειρησιακές αναλύσεις της ECMWF και την ανάλυση του ERA5 για την μεταβλητή της θερμοκρασίας 2 μέτρων σε σύγκριση με τις επιτόπιες παρατηρήσεις στο Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej κοντά στην Κρακοβία στην Πολωνία (πάνω) και σε μια τοποθεσία στην έρημο της Σαχάρας (κάτω). Πηγή: ECMWF Newsletter No. 147 – Spring 2016

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μεθοδολογία και Επεξεργασία δεδομένων

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός της συγκεκριμένης άσκησης είναι ο εντοπισμός των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας, της ειδικής υγρασίας και της σχετικής υγρασίας στην επιφάνεια, στις περιοχές της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας. Ο εντοπισμός των τάσεων αυτών θα γίνει για την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης αρχικά, και στην συνέχεια θα επικεντρωθεί στην περιοχή του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου. Για τις περιοχές αυτές έχουν εξαχθεί τα αντίστοιχα δεδομένα reanalysis που είναι απαραίτητα για την μελέτη αυτή. Τα δεδομένα reanalysis χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους μελέτες και θεωρούνται κατάλληλα για την ανίχνευση και μελέτη των κλιματικών τάσεων (Bengtsson et al., 2004). Στην παρούσα εργασία τα δεδομένα έχουν εξαχθεί από το πρόγραμμα ERA5.

Οι μέθοδοι για την ανίχνευση σημαντικών τάσεων στις κλιματολογικές χρονοσειρές μπορούν να ταξινομηθούν ως παραμετρικές και μη παραμετρικές μέθοδοι. Οι παραμετρικοί μέθοδοι απαιτούν τα δεδομένα να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και κανονικοποιημένα, ενώ οι μη παραμετρικές μέθοδοι απαιτούν απλώς τα δεδομένα να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Σε αυτή την εργασία το μέγεθος καθώς και η στατιστική σημαντικότητα των κλιματικών τάσεων για τις χρονοσειρές που θα χρησιμοποιηθούν θα διερευνηθούν χρησιμοποιώντας την μέθοδο του Sen σε συνδυασμό με το κριτήριο σημαντικότητας Mann-Kendall. Αυτές είναι δύο μη παραμετρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση κλιματικών τάσεων. Παρόλο που υπάρχουν αρκετές ακόμα μέθοδοι για την μελέτη των κλιματικών τάσεων οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως τελευταία σε κλιματικές έρευνες.

4.2 Έλεγχος Mann-Kendall

Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall συνήθως εφαρμόζεται όταν υπάρχει η πεποίθηση ότι τα δεδομένα τα οποία αποτελούν μια χρονοσειρά στην οποία υπάρχει τάση είτε αυτή είναι αύξουσα είτε αυτή είναι φθίνουσα. Γίνεται η υπόθεση ότι οι παρατηρήσεις προκύπτουν από μια συνεχή μονότονη, είτε αύξουσα είτε φθίνουσα, συνάρτηση του χρόνου $f(t_i)$ ακολουθώντας το μοντέλο:

$$X = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Όπου τα ε_i είναι τα κατάλοιπα τα οποία προέρχονται από την ίδια κατανομή με μέσο 0. Ο έλεγχος είναι μεταξύ της ισχύς της μηδενικής υπόθεσης H_0 και της εναλλακτικής H_1 όπως παρακάτω:

H_0 : οι παρατηρήσεις είναι τυχαία κατανεμημένες

H_1 : υπάρχει τάση στα δεδομένα(είτε αύξουσα είτε φθίνουσα)

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

Ο στατιστικός έλεγχος Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) υπολογίζει την στατιστική συνάρτηση S όπως προκύπτει από την παρακάτω:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Όπου n είναι ο αριθμός των σημείων, x_i και x_j είναι οι τιμές της χρονοσειράς, και η συνάρτηση $\text{sgn}(x_j - x_i)$ δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0, & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Η διακύμανση υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

Όπου n είναι ο αριθμός των σημείων, m είναι ο αριθμός των «δέσμιων» ομάδων, και το t_i υποδηλώνει τον αριθμό των δεσμών για κάθε i . Κάθε δέσμια ομάδα είναι ένα σύνολο από δεδομένα που έχουν τις ίδιες τιμές. Στις περιπτώσεις όπου έχουμε δειγματικό αριθμό $n > 10$ το στατιστικό τεστ Z_s υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Θετικές τιμές του Z_s υποδεικνύουν αυξητική τάση στα δεδομένα, ενώ αρνητικές τιμές του Z_s υποδεικνύουν φθίνουσα τάση στα δεδομένα.

Οι έλεγχοι γίνονται σε συγκεκριμένα επίπεδα εμπιστοσύνης (α). Όταν ισχύει ότι $|Z_s| > Z_{1-\alpha/2}$, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται άρα υπάρχει τάση στην χρονοσειρά. Σε αυτή την εργασία θα χρησιμοποιηθούν 2 επίπεδα εμπιστοσύνης, $\alpha=0.01$ και $\alpha=0.05$. Στο 5% επίπεδο σημαντικότητας η μηδενική υπόθεση ότι δεν υπάρχει τάση στα δεδομένα απορρίπτεται όταν $|Z_s| > 1.96$. Στο 1% επίπεδο σημαντικότητας η μηδενική υπόθεση ότι δεν υπάρχει τάση στα δεδομένα απορρίπτεται όταν $|Z_s| > 2.576$.

Ο έλεγχος Mann-Kendall χρησιμοποιείται συχνά σε εργασίες για να ποσοτικοποιηθεί η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων σε μετεωρολογικές και κλιματικές χρονοσειρές. (Modarres and Silva, 2007; Tabari and Marofi, 2011; Tabari et al., 2011b)

4.3 Εκτιμητής κλίσης του Sen

Η μέθοδος του Sen (Sen, 1968), συνήθως εφαρμόζεται σε περιπτώσεις δεδομένων χρονοσειράς στην οποία μπορεί να γίνει η υπόθεση της ύπαρξης γραμμικής τάσης. Έτσι γίνεται η θεώρηση ότι τα δεδομένα ακολουθούν την παρακάτω εξίσωση και προκύπτουν από την συνάρτηση f η οποία έχει ως ανεξάρτητη μεταβλητή τον χρόνο t :

$$f(t) = Qt + B_i \quad (6)$$

Η μεταβλητή Q εκφράζει την κλίση της τάσης και η B είναι η σταθερά της εξίσωσης. Ο Sen ανέπτυξε την μη παραμετρική διαδικασία για τον υπολογισμό της κλίσης της τάσης μέσα σε ένα δείγμα από N ζεύγη δεδομένων μέσα από τον τύπο:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \text{ for } i = 1, \dots, N \quad (7)$$

Όπου x_j και x_k είναι οι τιμές τις χρονικές στιγμές αντίστοιχα. Αν υπάρχει μόνο μια τιμή για κάθε χρονική στιγμή τότε η ποσότητα: $N = \frac{n(n-1)}{2}$ όπου n είναι ο αριθμός των χρονικών στιγμών. Αν υπάρχουν παραπάνω από μια παρατηρήσεις για κάθε χρονική στιγμή τότε $N < \frac{n(n-1)}{2}$ όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

Οι N τιμές του Q_i κατατάσσονται από την μικρότερη στη μεγαλύτερη και ο μέσος όρος της κλίσης ή του εκτιμητή κλίσης του Sen υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[N+1/2]}, & \text{if } N \text{ is odd} \\ \frac{Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}}{2}, & \text{if } N \text{ is even} \end{cases}$$

Το πρόσημο του Q_{med} αντικατοπτρίζει την πορεία της τάσης των δεδομένων, ενώ η τιμή του δείχνει την τιμή της τάσης. Ο εκτιμητής της κλίσης του Sen έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε υδρομετεωρολογικές χρονοσειρές. (Tabari and Marofi, 2011; Tabari et al., 2011a, Gocic and Trajkovic, 2012).

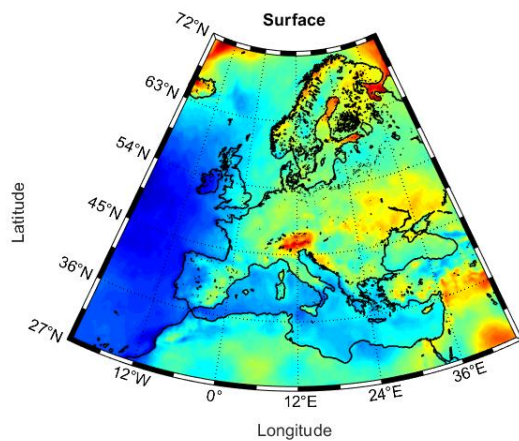
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Κλιματικές τάσεις στην Ευρώπη

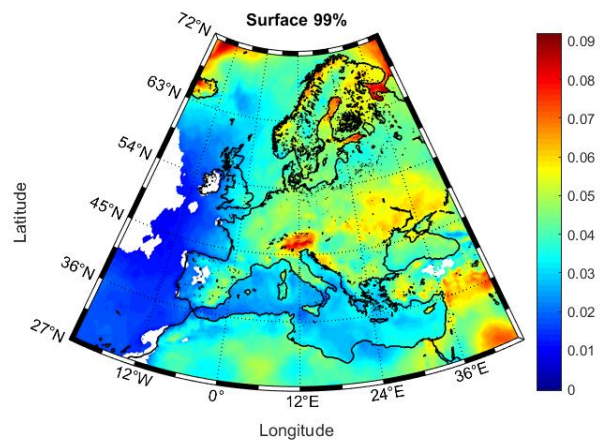
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ανάλυση των χρονοσειρών που εξετάστηκαν για την περιοχή της Ευρώπης. Θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων των κλιματικών τάσεων για τις μεταβλητές της θερμοκρασίας (στην επιφάνεια και στην ατμόσφαιρα) καθώς και, της ειδικής και σχετικής υγρασίας μέσα στην ατμόσφαιρα. Στην συνέχεια θα γίνει μια ανάλυση των χαρτών με τα αποτελέσματα και καταγραφή των κλιματικών τάσεων για τα διάφορα ισοβαρικά επίπεδα.

5.1 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην Ευρώπη

Σε αυτή την παράγραφο, θα δοθούν αποτυπωμένα σε χάρτες τα αποτελέσματα για τις κλιματικές τάσεις της θερμοκρασίας όπου μονάδα μέτρησης είναι ($^{\circ}\text{C}/\text{year}$). Στα reanalysis δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από την βάση Copernicus, εφαρμόστηκε η μέθοδος του Sen και στην συνέχεια το στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall για τα 2 επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας. Στους χάρτες αποτυπώνεται η τάση κάθε σημείου με τον κατάλληλο χρωματισμό. Ξεκινώντας από την επιφάνεια και συνεχίζοντας προς τα ανώτερα ισοβαρικά επίπεδα τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

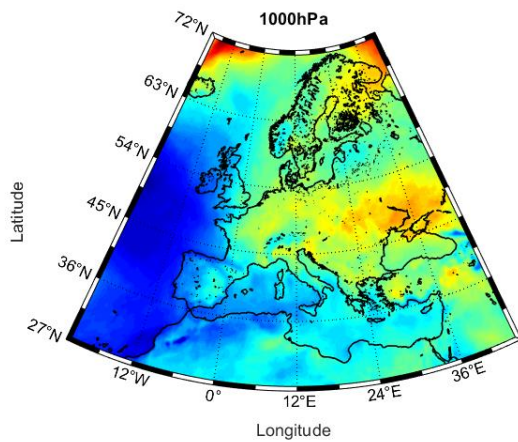


Σχήμα 1: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά έτος

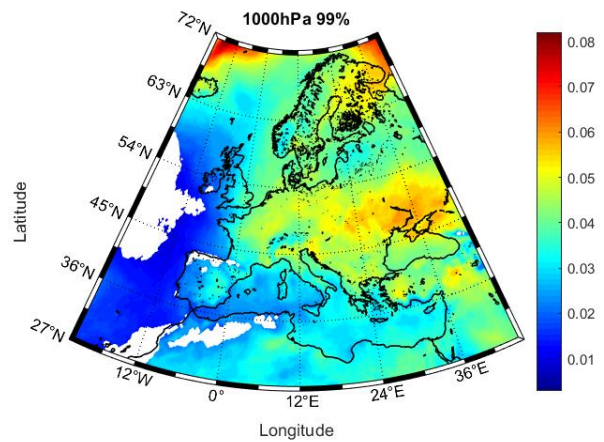


Σχήμα 2: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά έτος (99%)

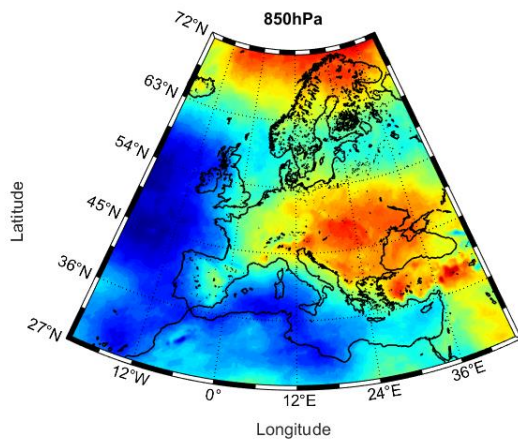
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



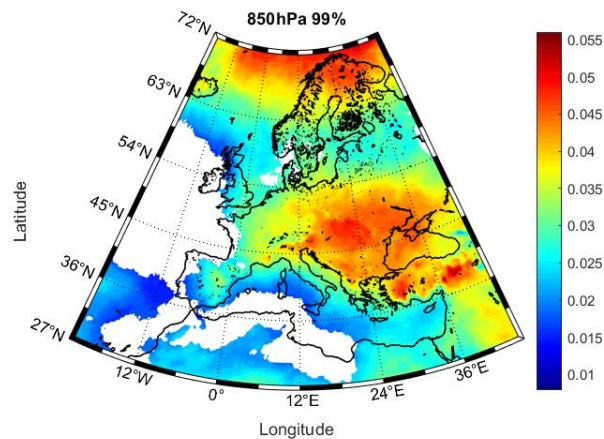
Σχήμα 3: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 1000hPa ανά έτος



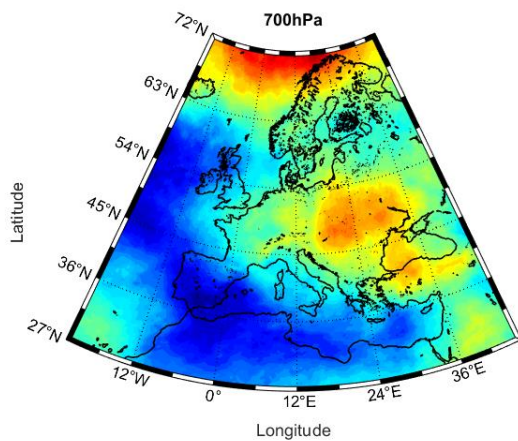
Σχήμα 4: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 1000hPa ανά έτος (99%)



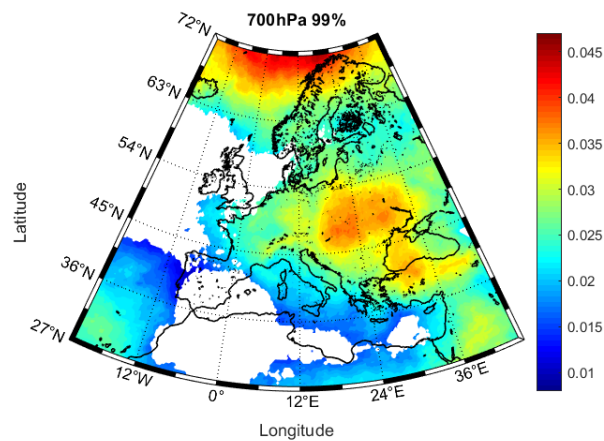
Σχήμα 5: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 850hPa ανά έτος



Σχήμα 6: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 850hPa ανά έτος (99%)

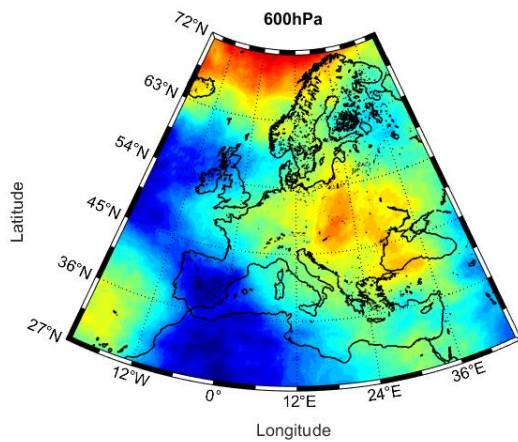


Σχήμα 7: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 700hPa ανά έτος

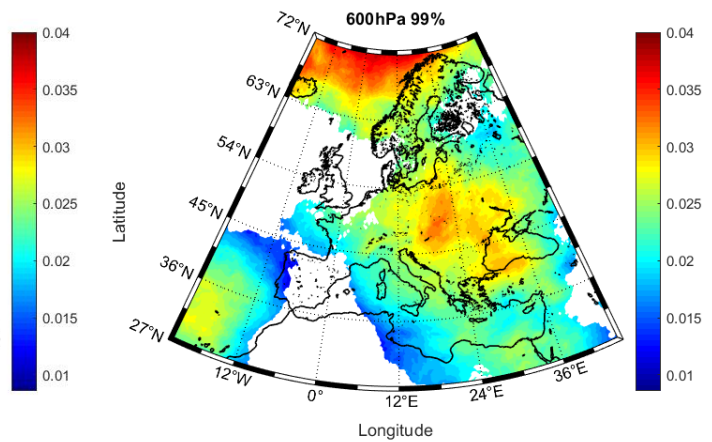


Σχήμα 8: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 700hPa ανά έτος (99%)

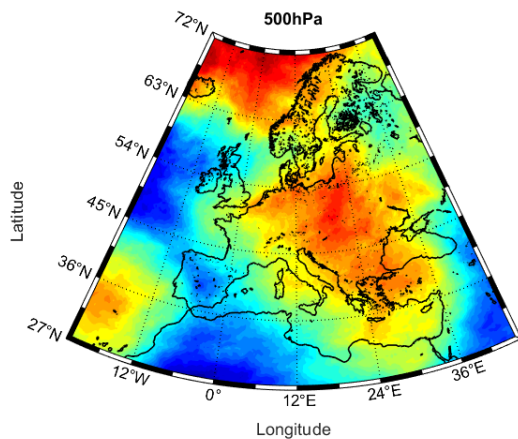
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



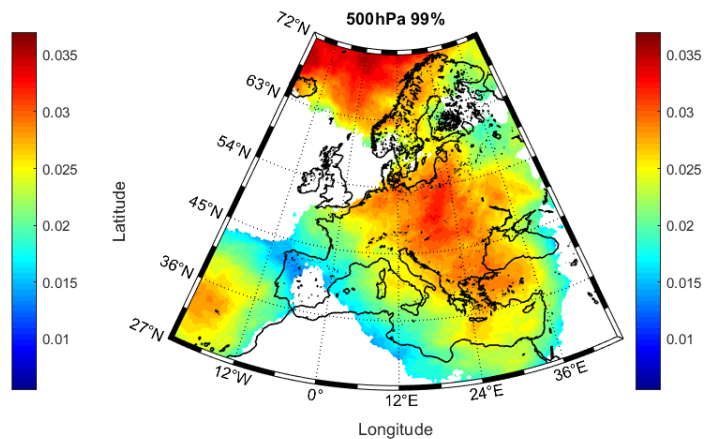
Σχήμα 9: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 600hPa ανά έτος



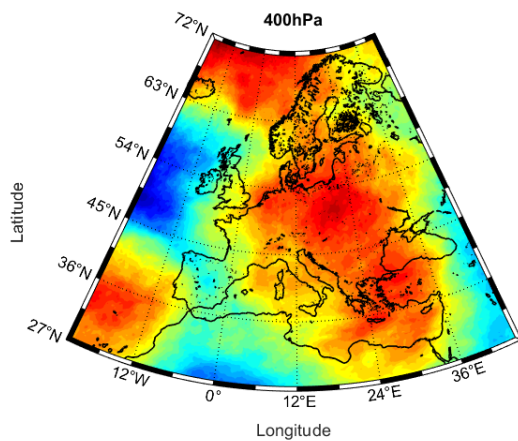
Σχήμα 10: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 600hPa ανά έτος (99%)



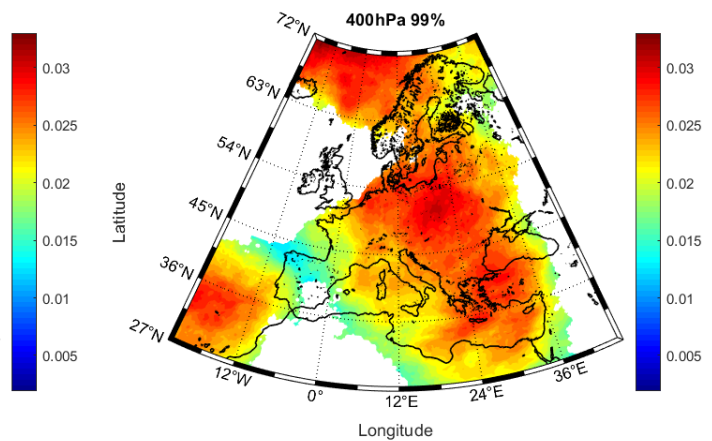
Σχήμα 11: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 500hPa ανά έτος



Σχήμα 12: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 500hPa ανά έτος (99%)

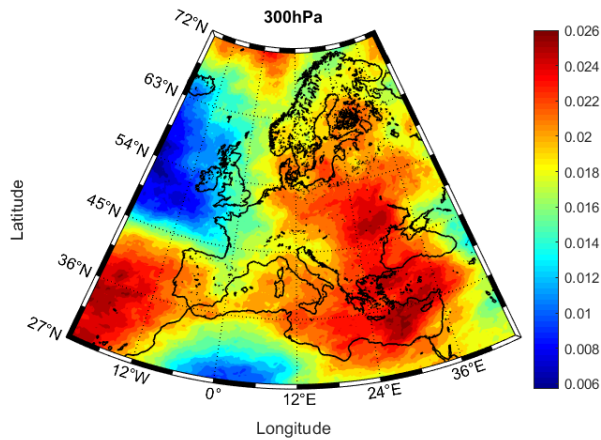


Σχήμα 13: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 400hPa ανά έτος

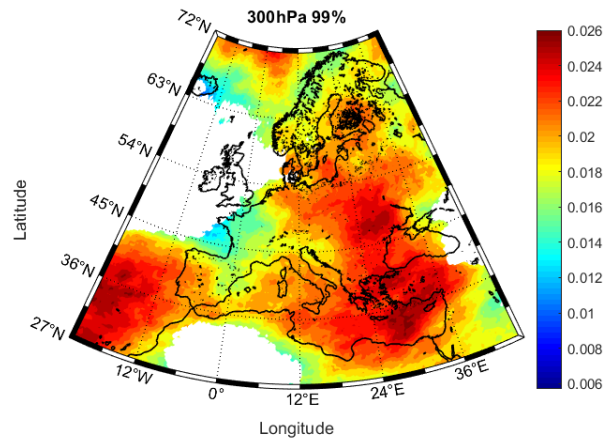


Σχήμα 14: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 400hPa ανά έτος (99%)

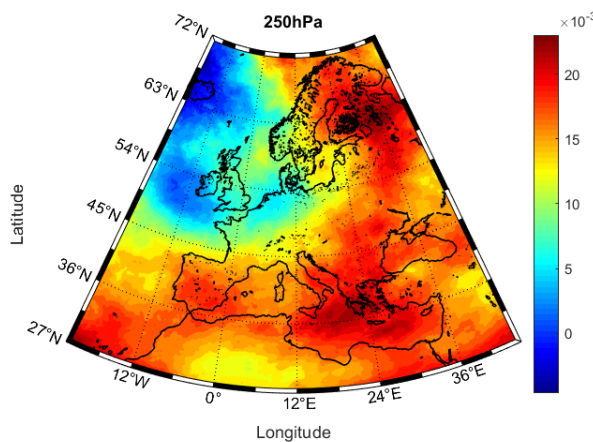
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



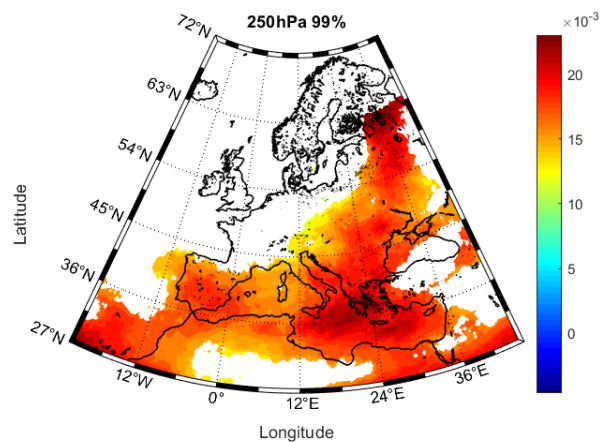
Σχήμα 15: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 300hPa ανά έτος



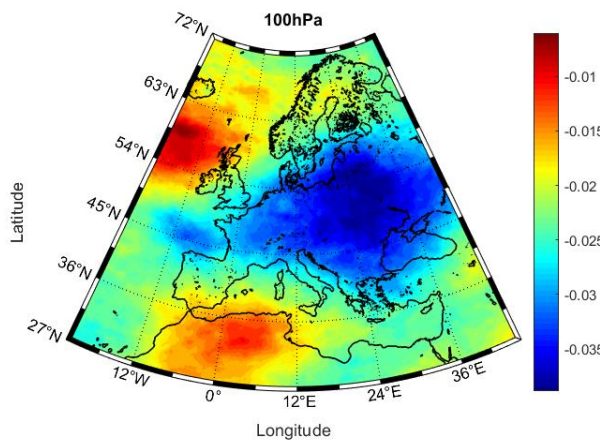
Σχήμα 16: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 300hPa ανά έτος (99%)



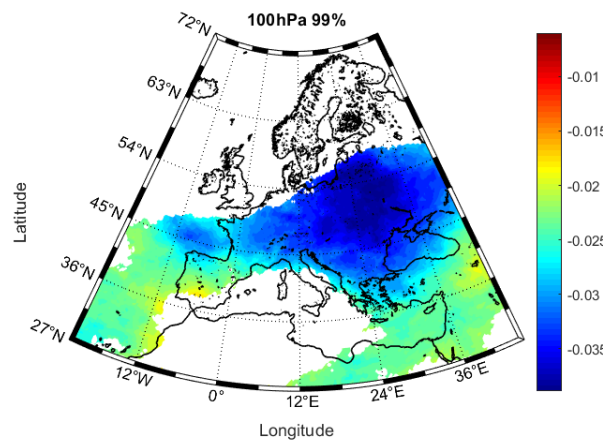
Σχήμα 16: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 250hPa ανά έτος



Σχήμα 17: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 250hPa ανά έτος (99%)

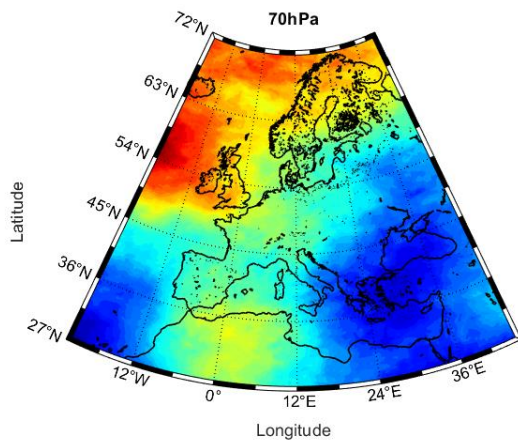


Σχήμα 17: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 100hPa ανά έτος

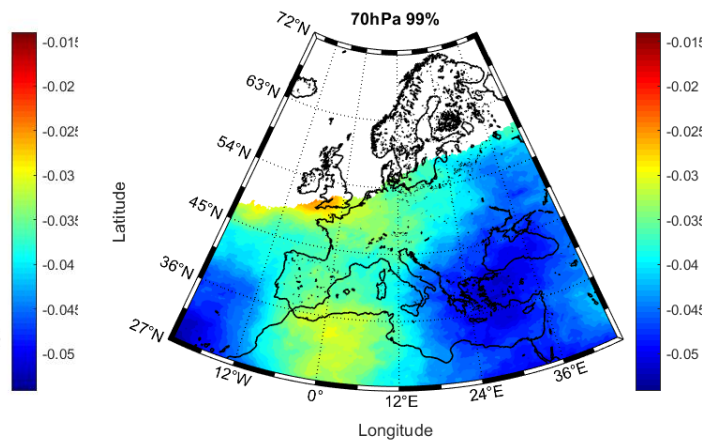


Σχήμα 18: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 100hPa ανά έτος (99%)

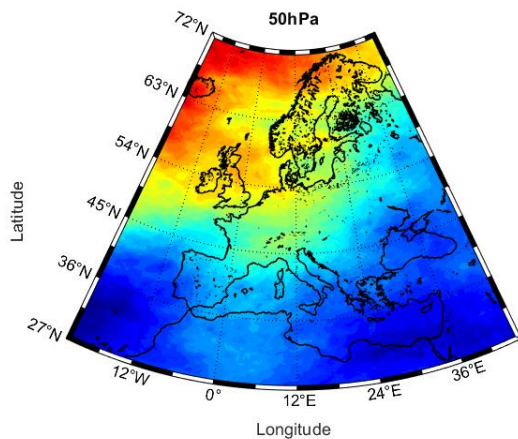
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



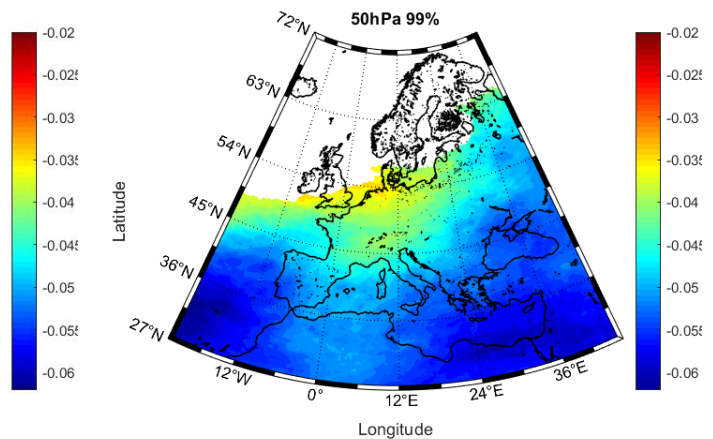
Σχήμα 19: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 70hPa ανά έτος



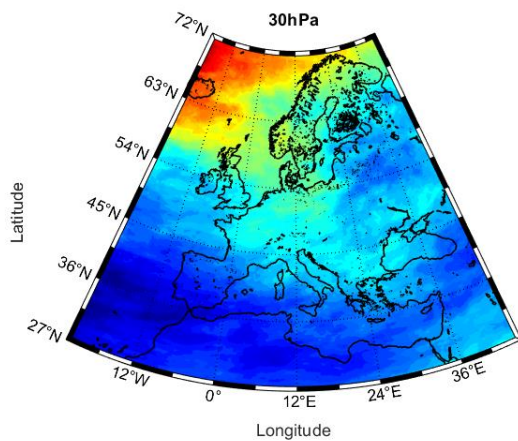
Σχήμα 20: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 70hPa ανά έτος (99%)



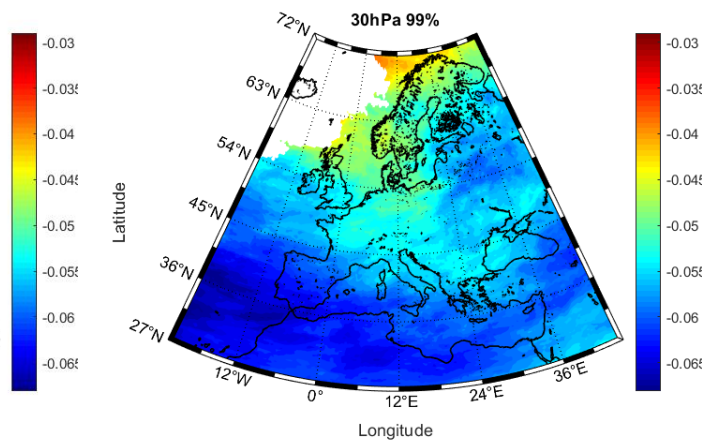
Σχήμα 21: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 50hPa ανά έτος



Σχήμα 22: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 50hPa ανά έτος (99%)

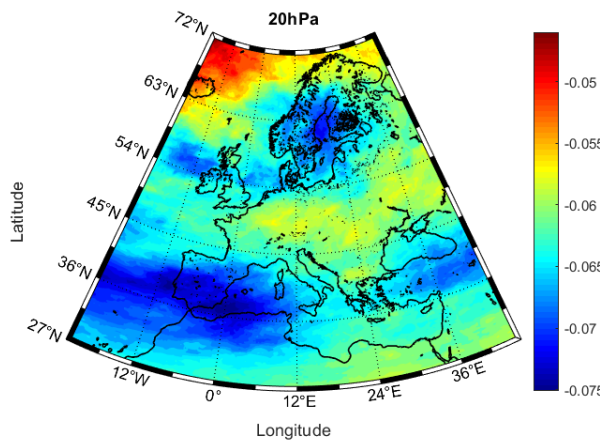


Σχήμα 23: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 30hPa ανά έτος

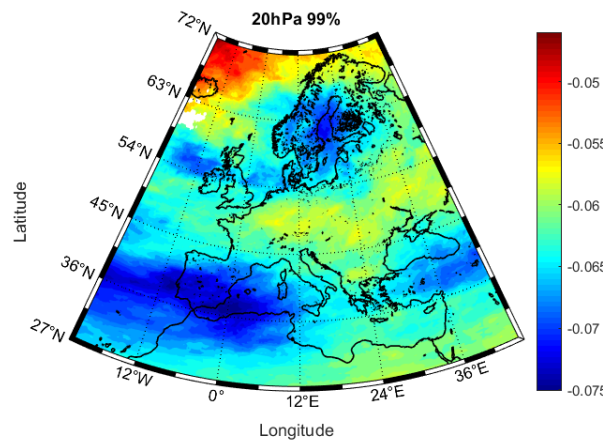


Σχήμα 24: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 30hPa ανά έτος (99%)

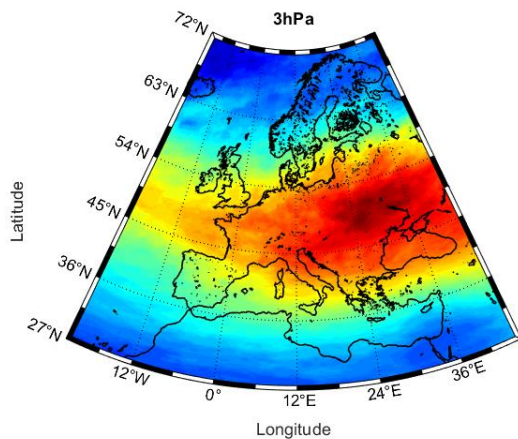
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



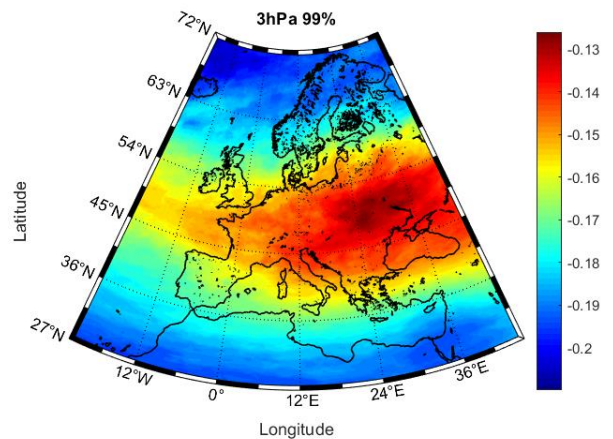
Σχήμα 25: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 20hPa ανά έτος



Σχήμα 26: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 20hPa ανά έτος (99%)



Σχήμα 27: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 3hPa ανά έτος



Σχήμα 28: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στα 3hPa ανά έτος (99%)

Τα αποτελέσματα στην επιφάνεια παρουσιάζονται στο σχήμα 1. Πρώτο συμπέρασμα είναι οι θετικές κλιματικές τάσεις για όλη την περιοχή. Η δυτική περιοχή και πιο συγκεκριμένα η θαλάσσια περιοχή του Ατλαντικού εμφανίζει τις μικρότερες αυξητικές τάσεις. Ενδιάμεσες τιμές εμφανίζουν οι υπόλοιπες ηπειρωτικές περιοχές της Ευρώπης. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή των Άλπεων, στις βόρειες θάλασσες και στην βορειοδυτική περιοχή του πεδίου κοντά στην Ισλανδία και βόρεια αυτής. Οι τάσεις σε αυτές τις περιοχές κυμαίνονται από 0.08°C/year έως 0.09°C/year. Επίσης είναι εμφανές ότι η βόρεια Ευρώπη παρουσιάζει μεγαλύτερες τάσεις σε σχέση με την νότια Ευρώπη. Να σημειωθεί ακόμα ότι η θάλασσα της Μεσογείου εμφανίζει μεγαλύτερες τάσεις από τον Ατλαντικό και μικρότερες τάσεις από τις θάλασσες που βρίσκονται στην βόρεια Ευρώπη όπως η Βαλτική ή η Βόρεια. Στο σχήμα 2 δίνεται ο αντίστοιχος χάρτης όπου τα αποτελέσματα εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα στο 99%.

Στην συνέχεια κοιτώντας τα αποτελέσματα για τις κλιματικές τάσεις στην ατμόσφαιρα στα διάφορα ισοβαρικά επίπεδα είναι εμφανής η ακόλουθη κατάσταση. Οι μεγαλύτερες θετικές κλιματικές τάσεις παρουσιάζονται στο επίπεδο των 1000hPa. Οι κλιματικές τάσεις εμφανίζουν μια μείωση στις θετικές κλιματικές τάσεις καθώς ανεβαίνουμε καθ' ύψος στην Τροπόσφαιρα μέχρι το ισοβαρικό επίπεδο των 250hPa όπου τείνουν προς το μηδέν. Στην συνέχεια μέσα στην Στρατόσφαιρα οι κλιματικές τάσεις γίνονται αρνητικές άρα αυτό οδηγεί σε ψύξη στα ύψη αυτά της Στρατόσφαιρας. Οι αρνητικές κλιματικές τάσεις παρουσιάζονται όλο και μεγαλύτερες καθώς ανεβαίνουμε καθ' ύψος μέσα στην Στρατόσφαιρα φτάνοντας στην μέγιστη αρνητική τιμή τους στο ύψος των 3hPa.

Αναλυτικότερα στην Τροπόσφαιρα, ξεκινώντας από το ισοβαρικό επίπεδο των 1000hPa οι θαλάσσιες περιοχές εμφανίζουν μικρότερες αυξητικές τάσεις σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές. Ο Ατλαντικός ωκεανός παρουσιάζει πιο μικρές αυξητικές τάσεις σε σχέση με την Μεσόγειο και τις υπόλοιπες βόρειες θαλάσσιες περιοχές. Στο ηπειρωτικό μέρος της Ευρώπης οι βόρειες και βορειοανατολικές περιοχές παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις για την θερμοκρασία. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο παρουσιάζονται στην βορειοδυτική περιοχή του πεδίου βόρεια της Ισλανδίας και κυμαίνονται γύρω από $0.08^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa οι θαλάσσιες περιοχές εμφανίζουν μικρότερες αυξητικές τάσεις σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές. Στην περιοχή του Ατλαντικού παρουσιάζονται οι μικρότερες αυξητικές τάσεις, ενώ η περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζει τιμές ελαφρώς μεγαλύτερες. Σε αυτό το επίπεδο η περιοχή της κεντρικής Ευρώπης, η περιοχή της Μικράς Ασίας και οι βόρειες περιοχές κοντά στον Βόρειο Πόλο εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις, με μέγιστες τιμές περίπου στους $0.55^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa η περιοχή του Ατλαντικού, η περιοχή της Μεσογείου, η νοτιοδυτική Ευρώπη και ειδικότερα η Ιβηρική χερσόνησος παρουσιάζουν τις μικρότερες αυξητικές τάσεις. Μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στην ηπειρωτική Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην κεντρική Ευρώπη είναι οι μεγαλύτερες που αφορούν το ηπειρωτικό κομμάτι του πεδίου. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στην βόρεια περιοχή του πεδίου κοντά στο Βόρειο Πόλο, παίρνοντας τιμές περίπου $0.045^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa η περιοχή του Ατλαντικού, η νοτιοδυτική Ευρώπη και ειδικότερα η Ιβηρική χερσόνησος παρουσιάζουν τις μικρότερες αυξητικές τάσεις. Η Μεσόγειος και η υπόλοιπη ηπειρωτική Ευρώπη παρουσιάζουν ελαφρώς μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις. Η περιοχή της κεντρικής Ευρώπης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις για αυτή την περιοχή. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο παρουσιάζονται στην βόρεια περιοχή του πεδίου κοντά στο Βόρειο Πόλο, παίρνοντας τιμές περίπου $0.04^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στην περιοχή της μέσης Τροπόσφαιρα και ειδικότερα στο ύψος των 500-400hPa οι περιοχές του Ατλαντικού, η νοτιοδυτική Ευρώπη και ειδικότερα η Ιβηρική χερσόνησος και η περιοχή της Βόρειας Αφρικής παρουσιάζουν τις μικρότερες αυξητικές τάσεις. Μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

παρουσιάζουν οι περιοχές της Μεσογείου, του νότιου Ατλαντικού καθώς και η υπόλοιπη ηπειρωτική Ευρώπη. Οι μεγαλύτερες τιμές για τις αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται σε αυτά τα επίπεδα στις περιοχές της κεντρικής Ευρώπης και στην βόρεια περιοχή του πεδίου κοντά στο Βόρειο Πόλο.

Στην ανώτερη Τροπόσφαιρα και ειδικότερα στο ύψος των 300-250hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στο βόρειο Ατλαντικό. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στις περιοχές του νότιου Ατλαντικού, στην θάλασσα της Μεσογείου, στην νοτιοανατολική Ευρώπη και στην ανατολική κεντρική Ευρώπη. Οι μεγαλύτερες τιμές που παρουσιάζουν οι κλιματικές τάσεις κυμαίνονται από $0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.025^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στην Στρατόσφαιρα οι τάσεις αντιστρέφονται και πλέον γίνονται αρνητικές από τα 100 hPa και προς τα πάνω. Στην κατώτερη Στρατόσφαιρα και πιο συγκεκριμένα στα ισοβαρικά επίπεδα των 100-70hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται στην βορειοδυτική περιοχή του πεδίου και στην περιοχή της βόρειας Αφρικής. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται στην κεντρική Ευρώπη στα 100hPa και στην περιοχή της νοτιοανατολικής Ευρώπης στα 70hPa. Οι τιμές των κλιματικών τάσεων είναι έως $-0.04^{\circ}\text{C}/\text{year}$ στα 100hPa και έως $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{year}$ στα 70hPa αντίστοιχα.

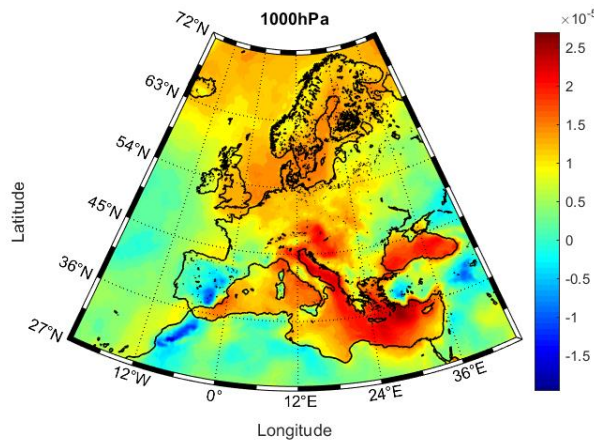
Στην μέση Στρατόσφαιρα και ειδικότερα στα ύψη των 50hPa 30hPa και 20hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται στην βορειοδυτική περιοχή του πεδίου. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις καταγράφονται γενικά στην νότια περιοχή του πεδίου και πιο συγκεκριμένα για τα 50hPa στην θαλάσσια περιοχή του νότιου Ατλαντικού και την ανατολική Μεσόγειο, στα 30hPa θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά του πεδίου, δηλαδή τον νότιο Ατλαντικό, και στα 20hPa στην περιοχή της νοτιοδυτικής Ευρώπης, δηλαδή την Ιβηρική χερσόνησο, και στην περιοχή του νότιου Ατλαντικού.

Τέλος στην ανώτερη Στρατόσφαιρα και πιο συγκεκριμένα στο ισοβαρικό επίπεδο των 3hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις παρουσιάζονται στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης όπου οι τιμές κυμαίνονται από $-0.13^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.15^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Οι μεγαλύτερες τιμές για τις αρνητικές κλιματικές τάσεις παρουσιάζονται στη βόρεια περιοχή του πεδίου κοντά στον Βόρειο Πόλο και ξεπερνούν σε ορισμένα σημεία ακόμα και τους $-0.2^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

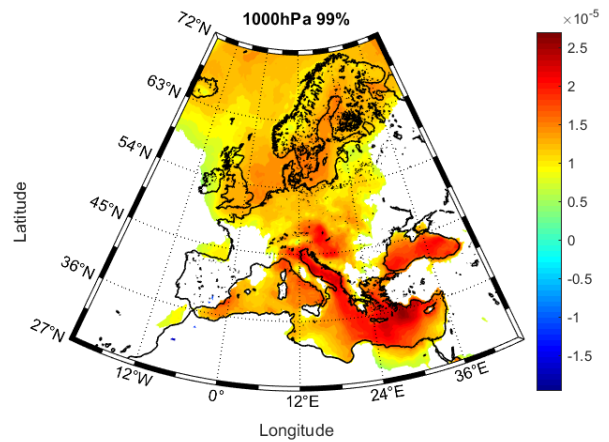
5.2 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην Ευρώπη

Σε αυτή την παράγραφο, θα δοθούν αποτυπωμένα σε χάρτες τα αποτελέσματα για τις κλιματικές τάσεις της ειδικής υγρασίας μετρημένα σε $(\text{kg kg}^{-1}/\text{year})$. Στα reanalysis δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από την βάση Copernicus, εφαρμόστηκε η μέθοδος του Sen και στην συνέχεια το στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall για τα δύο επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας. Στους χάρτες αποτυπώνεται η τάση κάθε σημείου με τον κατάλληλο χρωματισμό. Ξεκινώντας από την επιφάνεια και συνεχίζοντας προς τα ανώτερα ισοβαρικά επίπεδα τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

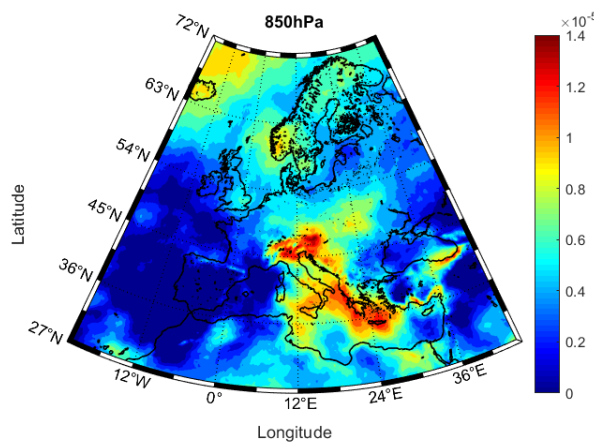
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



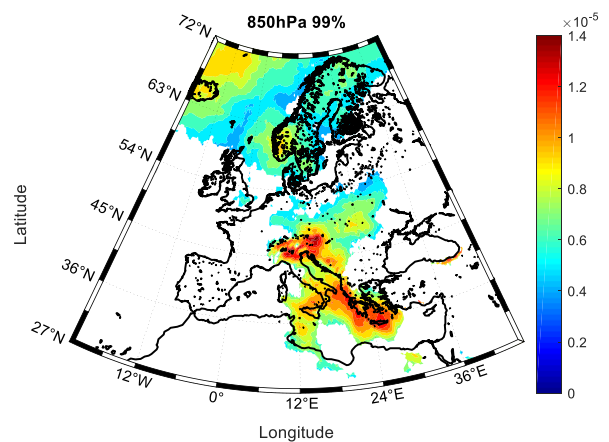
Σχήμα 29: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 1000hPa ανά έτος



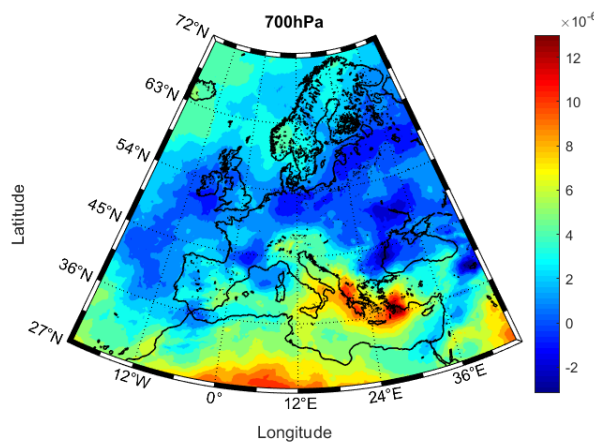
Σχήμα 30: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 1000hPa ανά έτος (99%)



Σχήμα 31: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 850hPa ανά έτος

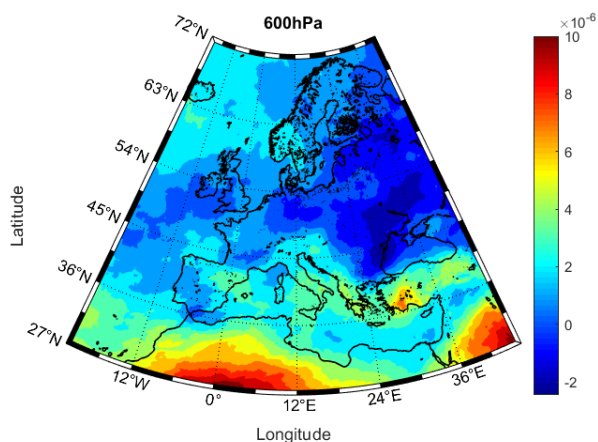


Σχήμα 32: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 850hPa ανά έτος (99%)

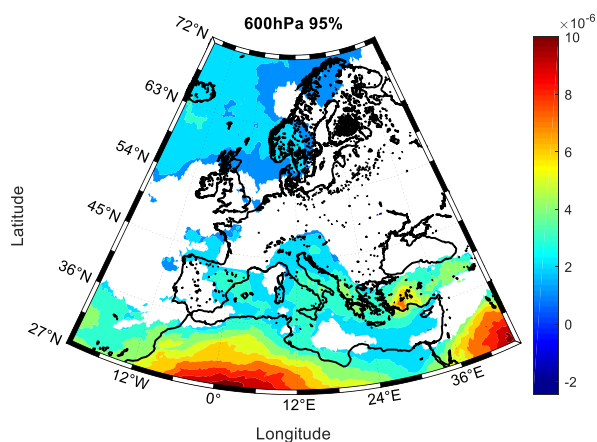


Σχήμα 33: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 700hPa ανά έτος

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



Σχήμα 34: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 600hPa ανά έτος



Σχήμα 35: Κατανομή της κλιματικής τάσης της ειδικής υγρασίας στα 600hPa ανά έτος (95%)

Τα αποτελέσματα δίνονται σε χάρτες μέχρι και το ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa, διότι σε υψηλότερα ισοβαρικά επίπεδα οι τάσεις τείνουν να γίνουν μηδενικές. Επίσης πρέπει να σχολιαστεί το επίπεδο εμπιστοσύνης στο οποίο αποδίδονται τα αποτελέσματα, για την Τροπόσφαιρα χαμηλά, δηλαδή στα 1000hPa και 850hPa αποδίδονται στο 99% στα 700hPa δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα και στα 600hPa υπάρχει και ένας χάρτης στο επίπεδο 95%. Είναι εμφανές ότι οι μεγαλύτερες τάσεις εμφανίζονται χαμηλά στην Τροπόσφαιρα και βαθμιαία τείνουν να γίνουν μηδενικές μέχρι την μέση Τροπόσφαιρα. Επίσης παρατηρείται ότι καταγράφονται σε όλα σχεδόν τα επίπεδα και θετικές και αρνητικές τάσεις, με τις θετικές όμως να είναι αυτές που κυριαρχούν και σε μέγεθος αλλά και σε έκταση.

Αναλυτικότερα, στο ισοβαρικό επίπεδο των 1000hPa αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται στον Ατλαντικό, στην νοτιοδυτική περιοχή του πεδίου αλλά και σε ορισμένες περιοχές στα ανατολικά του πεδίου. Να σημειωθεί ότι οι αρνητικές τάσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Θετικές τάσεις παρουσιάζουν τα σημεία της Μεσογείου και της υπόλοιπης ηπειρωτικής Ευρώπης. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις καταγράφονται στην ανατολική Μεσόγειο κοντά στην Ελλάδα και στην Αδριατική θάλασσα.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa μηδενικές τάσεις παρουσιάζονται στην νοτιοδυτική περιοχή του πεδίου συμπεριλαμβανομένης και της Ιβηρικής χερσονήσου καθώς και σε ορισμένες περιοχές στα ανατολικά του πεδίου. Θετικές τάσεις καταγράφονται στην ηπειρωτική κεντρική και βόρεια Ευρώπη καθώς και στις βόρειες θαλάσσιες περιοχές. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρατηρούνται στην νοτιοανατολική Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ελλάδος και της βόρειας Ιταλίας.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa αρνητικές τάσεις παρατηρούνται σε ελάχιστα σημεία στην βορειοανατολική Ευρώπη και στην Τουρκία όπου οι τάσεις είναι σχεδόν μηδενικές. Θετικές τάσεις παρουσιάζονται σε όλο το υπόλοιπο πεδίο είτε είναι θαλάσσια η περιοχή είτε ηπειρωτική

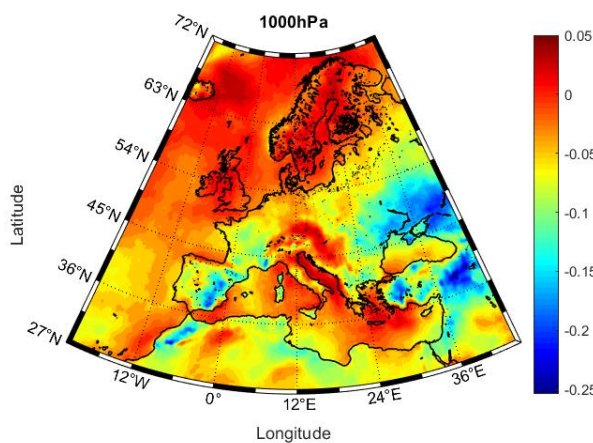
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

και οι μεγαλύτερες τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Ελλάδας και σε ένα μικρό κομμάτι στην βόρεια Αφρική. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό το επίπεδο τα αποτελέσματα δεν είναι στατιστικά σημαντικά σε κάποιο από τα 2 επίπεδα που έχουμε επιλέξει να τα εξετάζουμε.

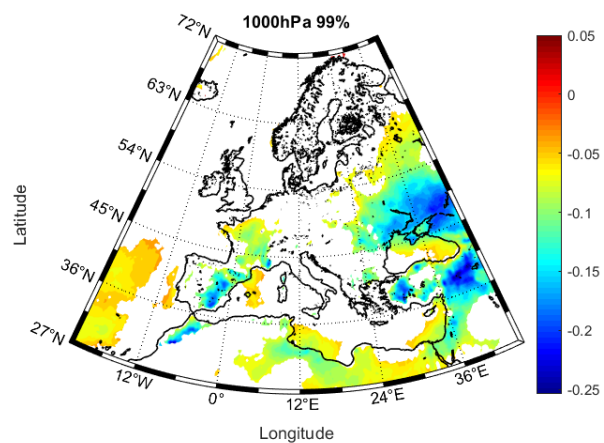
Τέλος στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa οι τάσεις είναι πολύ μικρές και τείνουν να γίνουν μηδενικές. Όμως πρέπει να σημειωθεί ότι εμφανίζονται αρνητικές τάσεις σε ορισμένα σημεία στην ανατολική Ευρώπη. Οι υπόλοιπες περιοχές είτε θαλάσσιες είτε ηπειρωτικές εμφανίζουν θετικές τάσεις αλλά σχεδόν μηδενικές και οι μεγαλύτερες τάσεις σε αυτό το επίπεδο παρουσιάζονται στο νότιο τμήμα του πεδίου και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της βόρειας Αφρικής.

5.3 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας στην Ευρώπη

Σε αυτή την παράγραφο, θα δοθούν αποτυπωμένα σε χάρτες τα αποτελέσματα για τις κλιματικές τάσεις της σχετικής υγρασίας μετρημένα σε (%/year). Στα reanalysis δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν από την βάση Copernicus, εφαρμόστηκε η μέθοδος του Sen και στην συνέχεια το στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall για τα δύο επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας. Στους χάρτες αποτυπώνεται η τάση κάθε σημείου με τον κατάλληλο χρωματισμό. Ξεκινώντας από την επιφάνεια και συνεχίζοντας προς τα ανώτερα ισοβαρικά επίπεδα τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

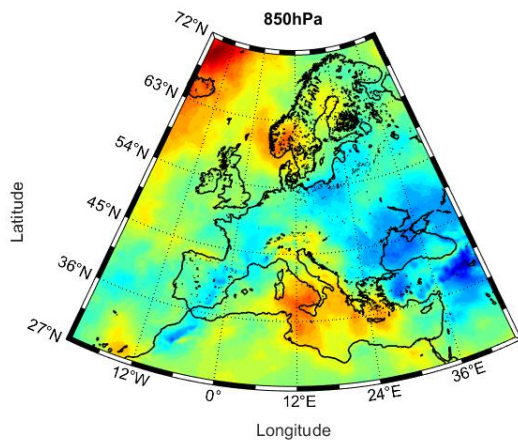


Σχήμα 36: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa ανά έτος

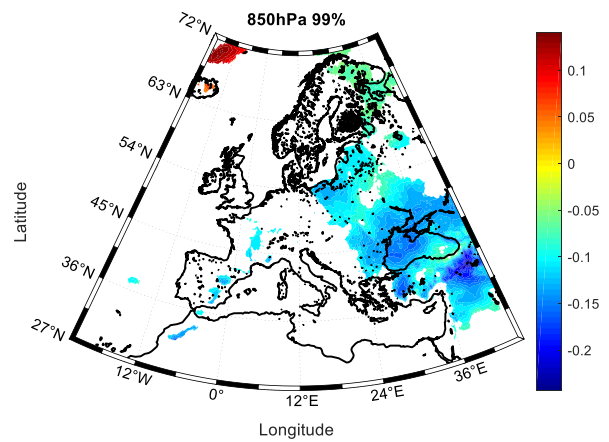


Σχήμα 37: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa ανά έτος (99%)

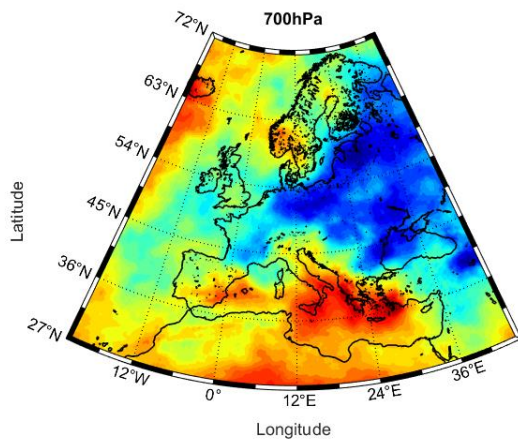
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



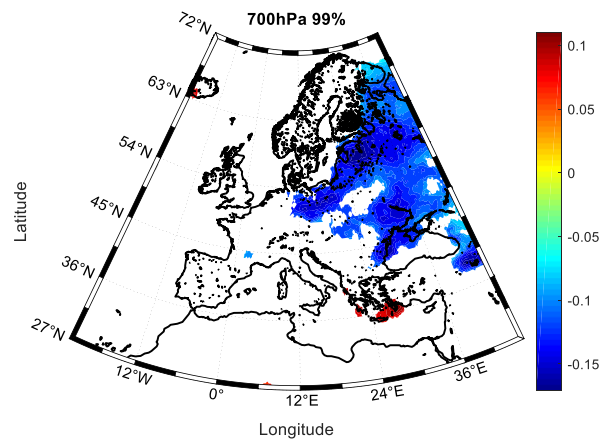
Σχήμα 38: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 850hPa ανά έτος



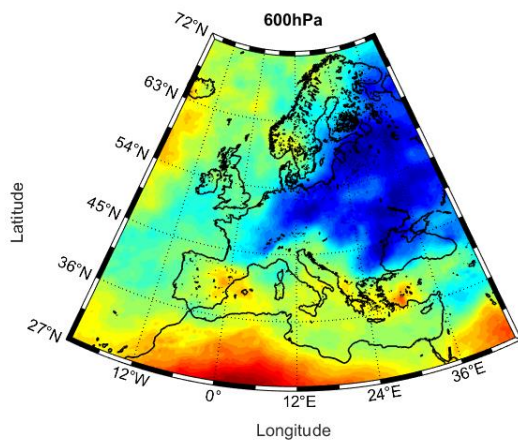
Σχήμα 39: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 850hPa ανά έτος (99%)



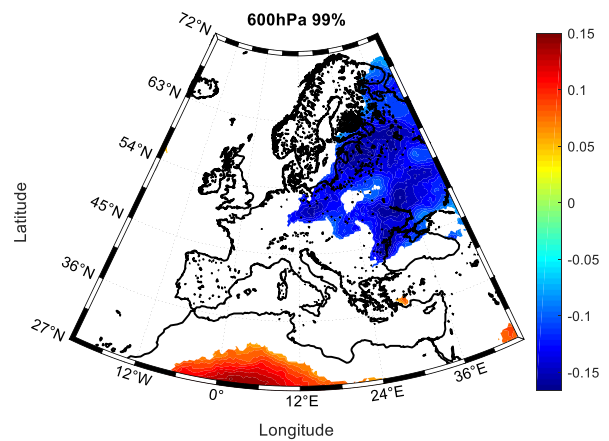
Σχήμα 40: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 700hPa ανά έτος



Σχήμα 41: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 700hPa ανά έτος (99%)

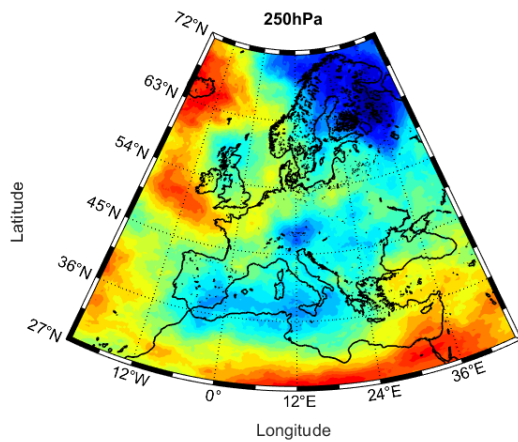


Σχήμα 42: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 600hPa ανά έτος

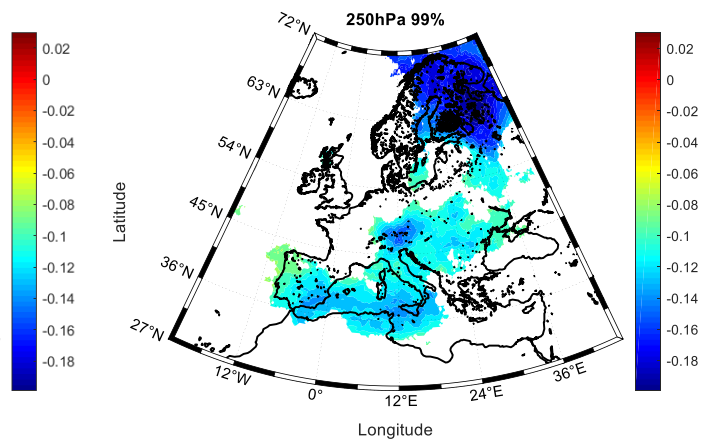


Σχήμα 43: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 600hPa ανά έτος (99%)

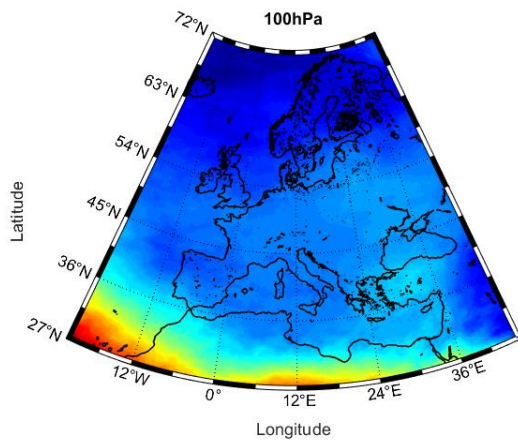
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



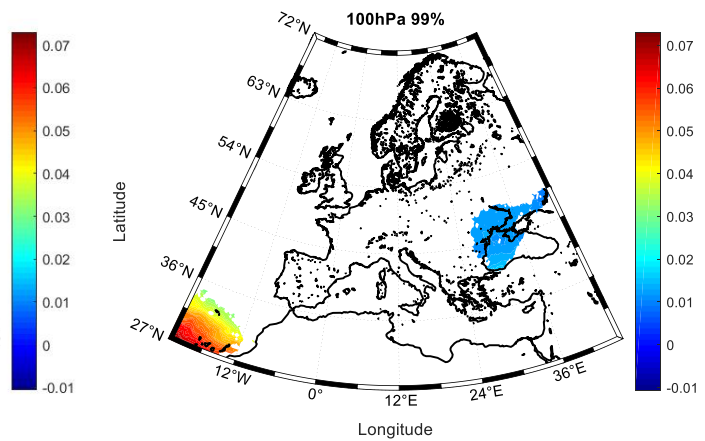
Σχήμα 43: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 250hPa ανά έτος



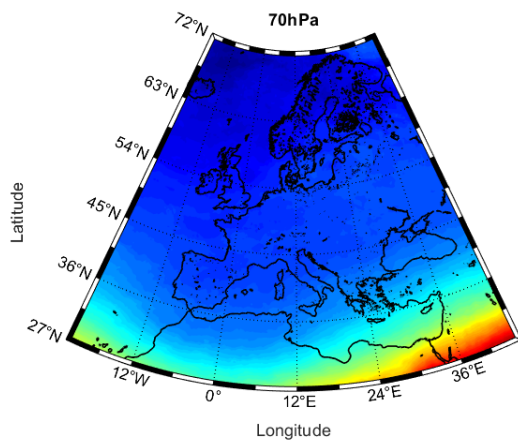
Σχήμα 44: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 250hPa ανά έτος (99%)



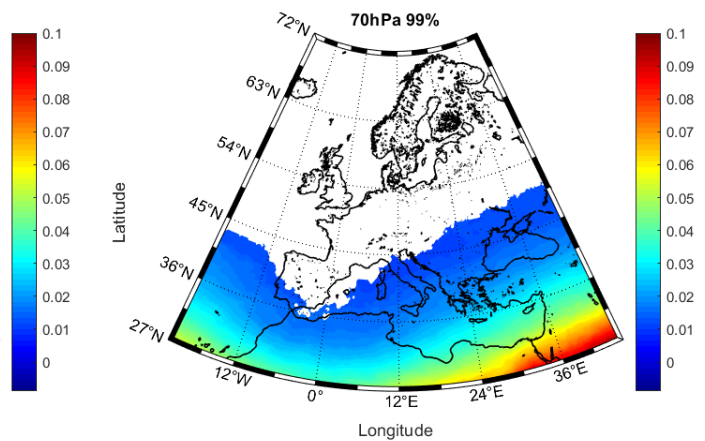
Σχήμα 45: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 100hPa ανά έτος



Σχήμα 46: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 100hPa ανά έτος (99%)



Σχήμα 47: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 70hPa ανά έτος



Σχήμα 48: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 70hPa ανά έτος (99%)

Κοιτώντας τους χάρτες με τα αποτελέσματα πρώτη διαπίστωση είναι ότι υπάρχουν θετικές και αρνητικές τάσεις για τις χρονοσειρές της σχετικής υγρασίας σε όλα τα εξεταζόμενα επίπεδα. Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί το γεγονός ότι πολλά σημεία δεν εμφανίζουν αποτελέσματα τα οποία να είναι στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

Χαμηλά στην Τροπόσφαιρα και πιο συγκεκριμένα στα 1000hPa σημειώνονται αρνητικές τάσεις στην περιοχή της ανατολικής Ευρώπης, στην Μικρά Ασία και σε ορισμένα σημεία της Ιβηρικής χερσονήσου. Στις υπόλοιπες θαλάσσιες και ηπειρωτικές περιοχές τείνουν να γίνουν μηδενικές οι τάσεις και είναι ελαφρώς αρνητικές. Θετικές τιμές για τις τάσεις παρουσιάζονται στην θαλάσσια περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου, στην περιοχή των Άλπεων και στο βόρειο κομμάτι του πεδίου, δηλαδή τις Σκανδιναβικές χώρες και τις βόρειες θάλασσες. Να σημειωθεί ότι οι θετικές τάσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Μικράς Ασίας. Σε όλη την ηπειρωτική Ευρώπη οι τάσεις είναι αρνητικές αλλά πολύ μικρές. Στις θαλάσσιες περιοχές της Μεσογείου και του Ατλαντικού είναι σχεδόν μηδενικές οι τάσεις. Θετικές τάσεις εμφανίζονται στην θαλάσσια περιοχή της κεντρικής Μεσογείου στην Ιταλία, και στην βορειοδυτική θαλάσσια περιοχή βόρεια της Ισλανδίας εμφανίζονται οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στην κεντρική και βορειοανατολική Ευρώπη οι οποίες βαθμιαία μειώνονται για όλη την υπόλοιπη Ευρώπη. Οι τάσεις γίνονται θετικές για την περιοχή της Μεσογείου, της βόρειας Αφρικής και την δυτική περιοχή του πεδίου στον Ατλαντικό. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Ελλάδας.

Στην μέση Τροπόσφαιρα, και συγκεκριμένα στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης. Ελαφρώς θετικές τιμές παρουσιάζει η νότια Ευρώπη, και οι θαλάσσιες περιοχές του Ατλαντικού και της Μεσογείου. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται στην περιοχή της βορείου Αφρικής.

Στην ανώτερη Τροπόσφαιρα οι αρνητικές τάσεις κυριαρχούν. Συγκεκριμένα στα 250hPa οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται στη βόρεια Ευρώπη και γενικότερα σε όλη την ηπειρωτική Ευρώπη οι τάσεις είναι αρνητικές. Θετικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Ισλανδίας και στην βόρεια Αφρική. Οι μεγαλύτερες παρουσιάζονται στην Ισλανδία και την Αίγυπτο.

Στην Στρατόσφαιρα οι τάσεις παίρνουν και θετικές και αρνητικές τιμές αλλά μικρές. Στα 100hPa στο βόρειο κομμάτι του πεδίου είναι ελάχιστα αρνητικές. Για όλη σχεδόν την Ευρώπη εμφανίζονται μικρές θετικές τάσεις και οι μεγαλύτερες παρουσιάζονται στην νοτιοδυτική περιοχή του πεδίου.

Τέλος για το ισοβαρικό επίπεδο των 70hPa είναι σχεδόν σε όλο το πεδίο μηδενικές οι τάσεις και ελαφρώς θετικές εκτός από ένα μικρό βόρειο μέρος όπου εμφανίζονται και ορισμένες

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

αρνητικές τιμές. Στο νότιο μέρος του πεδίου εμφανίζονται θετικές τιμές και οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στην νοτιοανατολική περιοχή του πεδίου

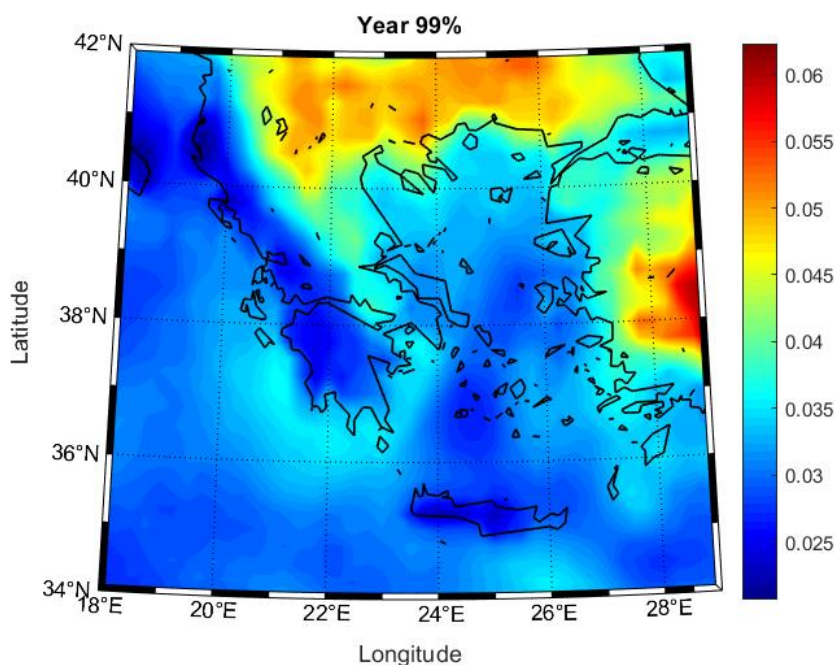
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Κλιματικές τάσεις στην Ελλάδα

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας πάνω από την περιοχή του Ελλαδικού χώρου, καθώς και για όλη την γεωγραφική περιοχή που περικλείεται από τις εξής συντεταγμένες: 18°E-29°E και 34°N-42°N. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και εδώ θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων των κλιματικών τάσεων πάνω σε χάρτες για την επιφάνεια και διάφορα ισοβαρικά επίπεδα μέσα στην ατμόσφαιρα.

6.1 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά έτος

Για την επιφάνεια οι κλιματικές τάσεις της θερμοκρασίας προέκυψαν από την μέθοδο του Sen, για την περίοδο των 40 ετών, δηλαδή από τον Ιανουάριο του 1979 έως και τον Δεκέμβριο του 2018. Η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων ελέγχθηκε στα επίπεδα των 95% και 99% με το στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε χάρτες.



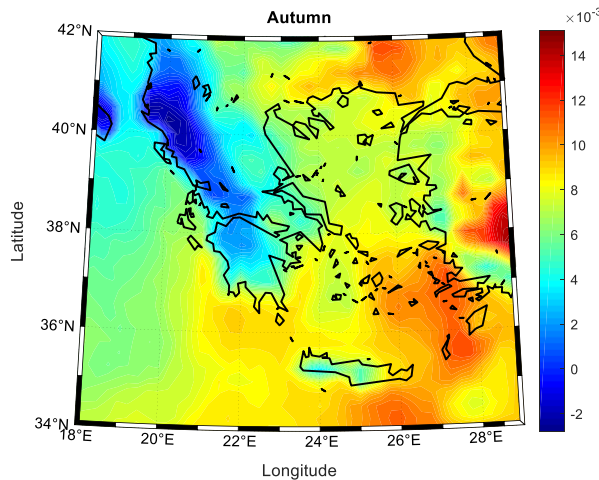
Σχήμα 1: Κατανομή της κλιματικής τάσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά έτος

Στο πρώτο σχήμα βλέπουμε την κατανομή της τάσης στην επιφάνεια ανά έτος. Αρχικά παρατηρούμε ότι υπάρχει αυξητική τάση σε όλο το πεδίο των αποτελεσμάτων. Επίσης η στατιστική σημαντικότητα είναι στο επίπεδο του 99% για όλο το πεδίο. Πιο συγκεκριμένα οι μικρότερες αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στην περιοχή της δυτικής ηπειρωτικής Ελλάδας, της Κρήτης και του κεντρικού Αιγαίου με τιμές από 0.02°C/year έως 0.03 °C/year. Λίγο πιο αυξημένες τιμές για τις αυξητικές τάσεις παρουσιάζουν οι περιοχές της Θεσσαλίας, οι θαλάσσιες

περιοχές νότια της Πελοποννήσου, και στο Νοτιοανατολικό και στο Βόρειο Αιγαίο, όπου οι τιμές των κλιματικών τάσεων κυμαίνονται από $0.035^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.045^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας και πιο συγκεκριμένα στην Μακεδονία, στην Θράκη όπου οι τιμές κυμαίνονται από $0.045^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.055^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος στην ανατολική περιοχή του πεδίου παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες τιμές καθώς οι τάσεις ξεπερνούν ακόμα και τις τιμές των $0.06^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

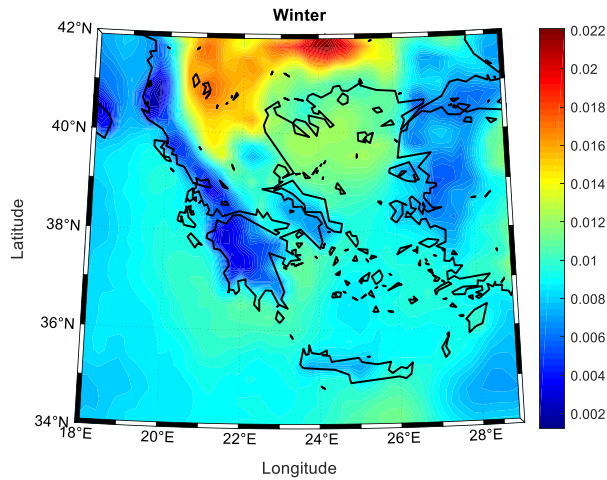
6.2 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην επιφάνεια ανά εποχή

Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία στα δεδομένα των χρονοσειρών και κατάλληλος διαχωρισμός σε εποχές. Έπειτα χρησιμοποιώντας το εποχικό κριτήριο Mann-Kendall με τις κατάλληλες προσαρμογές, θα εξαχθούν τα αντίστοιχα εποχικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα θα δίνονται σε 2 χάρτες όπου ο πρώτος απεικονίζει τις τάσεις σε όλα τα σημεία του πεδίου και ο δεύτερος απεικονίζει μόνο τα σημεία των οποίων τα αποτελέσματα είναι στο επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε μερικές περιπτώσεις τα σημεία αυτά είναι σχετικά λίγα για την περιοχή αυτή και για αυτό επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τρόπος απόδοσης των αποτελεσμάτων. Τα εποχικά αποτελέσματα δίνονται παρακάτω.

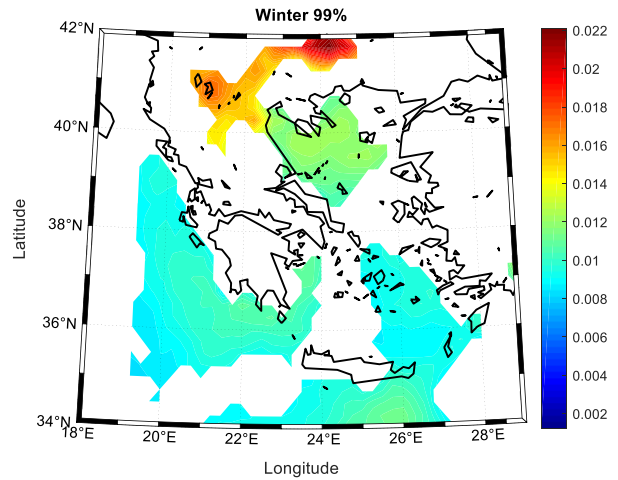


Σχήμα 2: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου

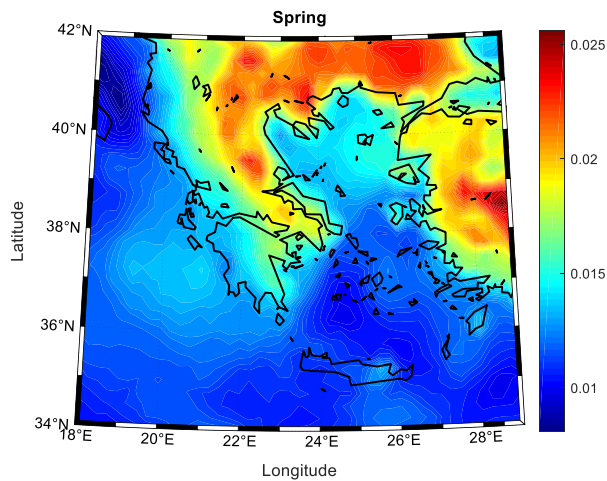
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



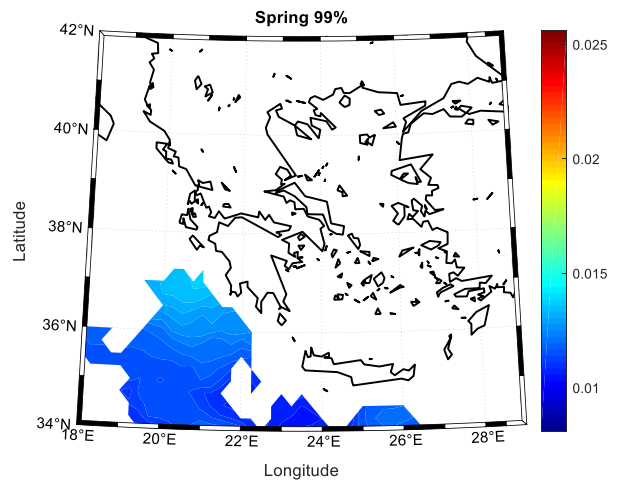
Σχήμα 3: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα



Σχήμα 4: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα (στα σημεία με 99% στατιστική σημαντικότητα)

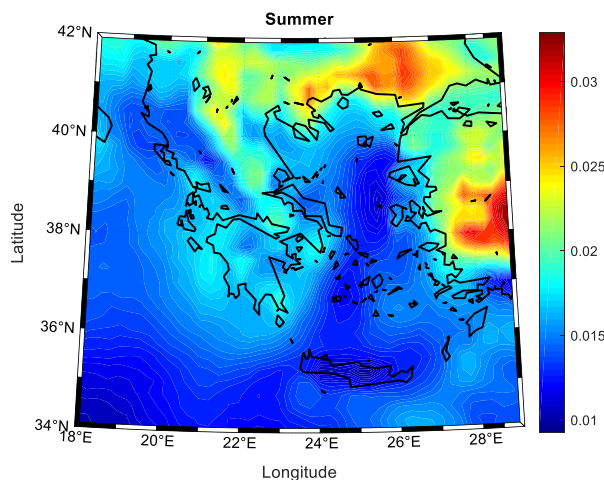


Σχήμα 5: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης

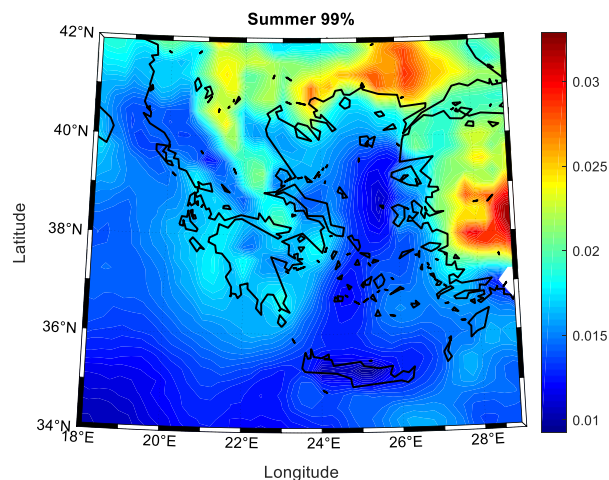


Σχήμα 6: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης (στα σημεία με 99% στατιστική σημαντικότητα)

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



Σχήμα 7: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού



Σχήμα 8: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού (στα σημεία με 99% στατιστική σημαντικότητα)

Ξεκινώντας από την εποχική κατανομή των τάσεων της θερμοκρασίας για το φθινόπωρο παρατηρούνται κυρίως θετικές και ελάχιστες αρνητικές τιμές τάσεων. Αρνητικές τιμές εμφανίζονται στην περιοχή της Βορειοδυτικής Ελλάδας που φτάνουν μέχρι την τιμή των $-0.002^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Θετικές τιμές εμφανίζονται σε όλη την υπόλοιπη ηπειρωτική και θαλάσσια περιοχή και οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στην περιοχή της Δυτικής Τουρκίας, με την μέγιστη τιμή να φτάνει περίπου $0.015^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Να σημειωθεί ότι βάσει του κριτηρίου Mann-Kendall οι τιμές είναι στατιστικά μη σημαντικές για όλο το πεδίο των αποτελεσμάτων για την εποχή αυτή.

Στην εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για τον χειμώνα οι κλιματικές τάσεις εμφανίζονται να έχουν θετικές τιμές σε όλο το πεδίο. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στην περιοχή της δυτικής ηπειρωτικής Ελλάδας και της Πελοποννήσου και κυμαίνονται από $0.002^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.004^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Ελαφρώς αυξημένες τιμές υπάρχουν σε όλη την υπόλοιπη θαλάσσια περιοχή και σε ένα μεγάλο κομμάτι της κεντρικής Ελλάδας όπου οι αυξητικές κλιματικές τάσεις παίρνουν τιμές από $0.01^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.015^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Στο Βόρειο κομμάτι του πεδίου παρατηρούμε τις μεγαλύτερες τιμές όπου φτάνουν και ξεπερνούν την τιμή των $0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τα σημεία με αυξητικές τάσεις στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο 99% φαίνονται στον αντίστοιχο χάρτη και είναι σημεία που καλύπτουν τις θαλάσσιες περιοχές, και ελάχιστα ηπειρωτικά τα οποία όμως είναι εκείνα με τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις στην επιφάνεια για την περίοδο αυτή.

Στην εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την άνοιξη οι κλιματικές τάσεις παρουσιάζουν μόνο θετικές τιμές για όλο το πεδίο. Οι μικρότερες αυξητικές τάσεις αφορούν τις θαλάσσιες περιοχές του Αιγαίου και της Αδριατικής θάλασσας όπου οι τιμές κυμαίνονται από $0.01^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.015^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Όλη η περιοχή της ηπειρωτικής Ελλάδας εμφανίζει ελαφρώς αυξημένες τάσεις όπου οι τιμές κυμαίνονται από $0.015^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως

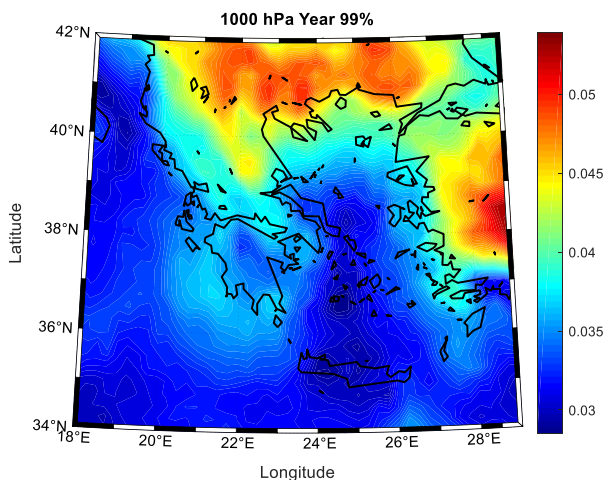
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

0.02°C/year και οι μεγαλύτερες τιμές των αυξητικών τάσεων εμφανίζονται στην Βόρεια Ελλάδα και την Δυτική Τουρκία όπου φτάνουν έως και 0.025°C/year. Στους χάρτες φαίνονται και τα σημεία για τα οποία η στατιστική σημαντικότητα βρίσκεται στο επίπεδο 99% τα οποία είναι κυρίως η θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά της Ελλάδος.

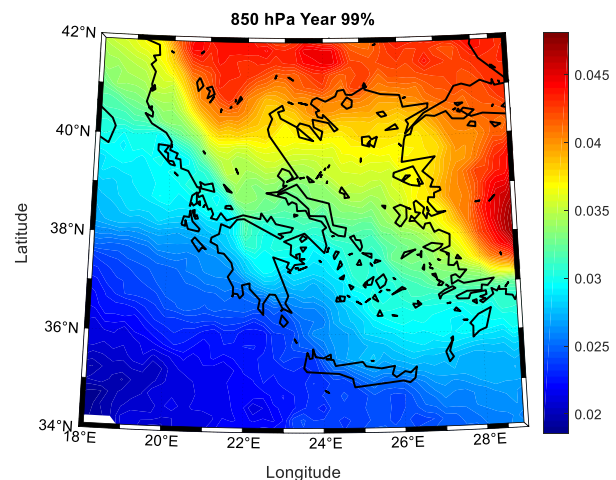
Στην εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για το καλοκαίρι παρουσιάζονται θετικές τιμές για όλο το πεδίο. Πιο συγκεκριμένα οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται στις θαλάσσιες περιοχές και την περιοχή της Κρήτης όπου οι τιμές των τάσεων κυμαίνονται από 0.01°C/year έως 0.015°C/year. Για τις υπόλοιπες ηπειρωτικές περιοχές είναι ελαφρώς αυξημένες οι τιμές των κλιματικών τάσεων και πιο συγκεκριμένα από 0.015°C/year έως 0.025°C/year. Οι μεγαλύτερες τιμές για την εποχή αυτή τις εμφανίζονται στη βόρεια ηπειρωτική Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στη περιοχή της Θράκης και στο δυτικό κομμάτι της ηπειρωτικής Τουρκίας όπου οι τάσεις λαμβάνουν τιμές πάνω από 0.03°C/year. Όπως είναι εμφανές όλο το πεδίο παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων στο 99% .

6.3 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα ανά έτος

Όπως στην επιφάνεια έτσι και στην τροπόσφαιρα με χρήση δεδομένων από τις χρονοσειρές Reanalysis ERA5 για την περίοδο 1979-2018, χρησιμοποιώντας την μέθοδο του Sen και εφαρμόζοντας το στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall, γίνεται υπολογισμός των κλιματικών τάσεων για την θερμοκρασία σε διάφορα ισοβαρικά επίπεδα μέσα στην τροπόσφαιρα. Παρακάτω δίνονται οι χάρτες των αποτελεσμάτων που αφορούν τα ισοβαρικά επίπεδα των 1000hPa, 850hPa, 700hPa, 600hPa, 500hPa, 400hPa, 300hPa, 250hPa.

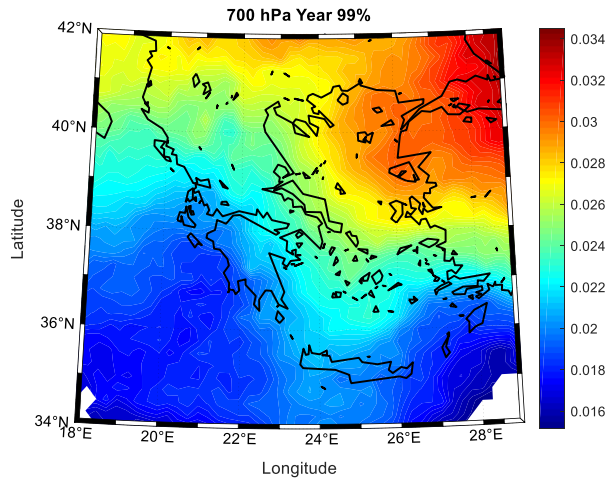


Σχήμα 9: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 1000hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

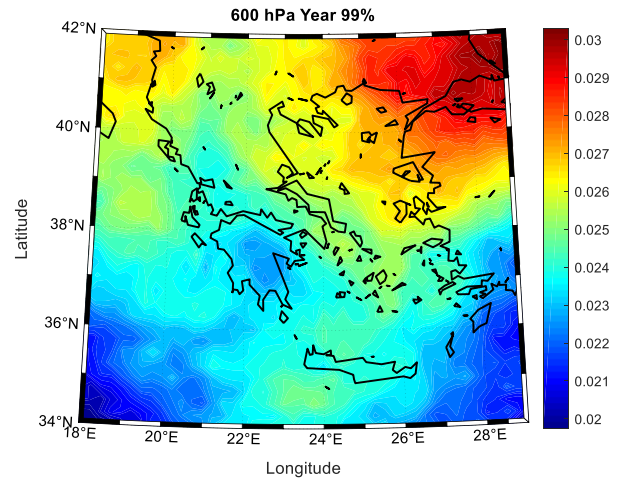


Σχήμα 10: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 850hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

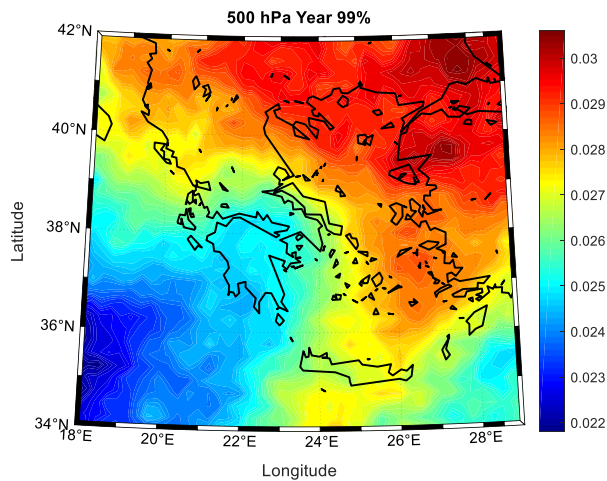
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



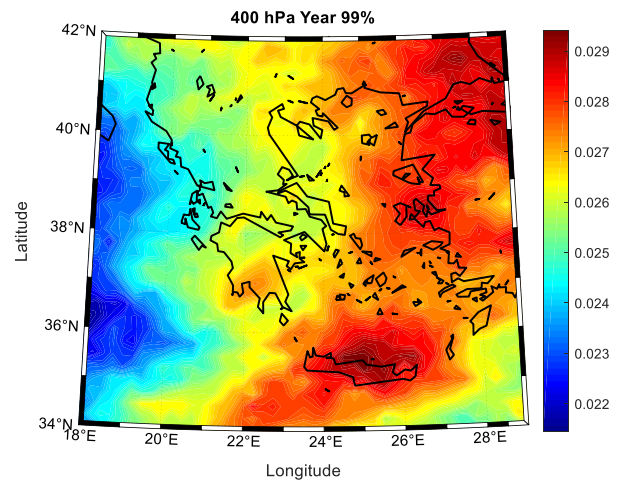
Σχήμα 11: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 700hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%



Σχήμα 12: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 600hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

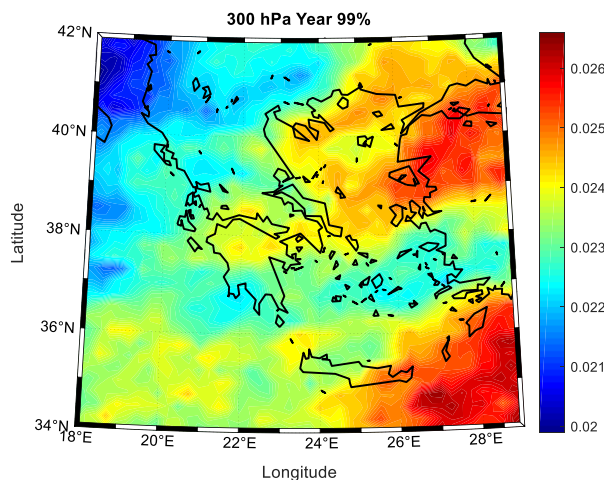


Σχήμα 13: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 500hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

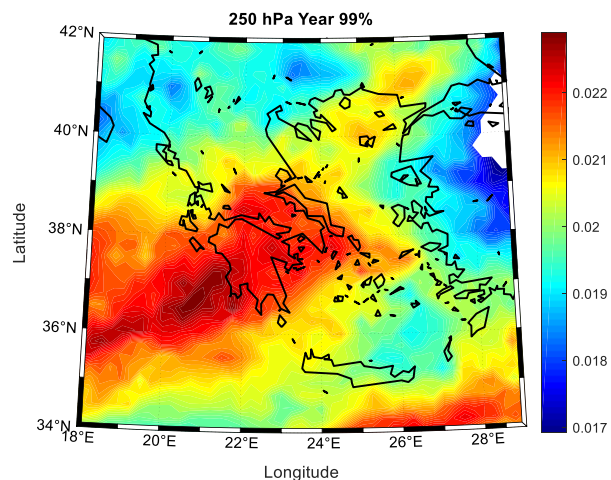


Σχήμα 14: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 400hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



Σχήμα 15: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 300hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%



Σχήμα 16: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 250hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

Αναλύοντας τα αποτελέσματα για τα διάφορα ισοβαρικά επίπεδα στην τροπόσφαιρα η πρώτη παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι υπάρχει θετική τάση σε κάθε επίπεδο και για όλο το πεδίο. Γενικότερα είναι εμφανές ότι οι θαλάσσιες περιοχές εμφανίζουν στην τροπόσφαιρα μικρότερες αυξητικές τάσεις σε σχέση με τις ηπειρωτικές. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι τα σημεία σχεδόν σε κάθε επίπεδο και για όλο το πεδίο παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Υπάρχουν και σημεία σε διάφορα επίπεδα των οποίων τα αποτελέσματα δεν είναι στατιστικά σημαντικά σε αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης και για αυτό τον λόγο στο χάρτη απεικονίζονται σαν λευκά, αλλά αυτά είναι ελάχιστα. Ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να παρατηρήσει κανείς είναι η πτώση της αυξητικής τάσης καθώς ανεβαίνουμε σε ύψος στην τροπόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε τα όρια στα 1000hPa οι αυξητικές τάσεις ξεκινούν από 0.03°C/year έως 0.05°C/year και βαθμιαία μειώνονται μέχρι να φτάσουμε στο ύψος των 250hPa όπου οι αυξητικές τάσεις κυμαίνονται από 0.017°C/year έως 0.023°C/year.

Αναλυτικότερα, στο ισοβαρικό επίπεδο των 1000hPa οι θαλάσσιες περιοχές του Αιγαίου, του Ιονίου και της Κρήτης εμφανίζουν τις μικρότερες αυξητικές τάσεις με τιμές από 0.03°C/year έως 0.035°C/year. Αυξημένες τιμές παρουσιάζει το ηπειρωτικό κομμάτι της Ελλάδας από την περιοχή της Θεσσαλίας και νοτιότερα καθώς και τα παράλια της Τουρκίας με τις τιμές να κυμαίνονται από 0.04°C/year έως 0.045°C/year. Τέλος η περιοχή της βόρειας Ελλάδας και η δυτική Τουρκία εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές κλιματικών τάσεων σε αυτό το επίπεδο και κυμαίνονται από 0.045°C/year έως 0.055°C/year.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa η θαλάσσια περιοχή νότια της Πελοποννήσου εμφανίζει τις μικρότερες αυξητικές τάσεις με τιμές κοντά στους 0.02°C/year. Αυξάνονται οι τιμές των τάσεων για τις περιοχές της Κρήτης, του Αιγαίου, της ηπειρωτικής Ελλάδας μέχρι την Θεσσαλία και την δυτική Ελλάδα όπου οι τιμές των αυξητικών τάσεων φτάνουν στους 0.03°C/year. Στην περιοχή της Μακεδονίας και τα παράλια της Τουρκίας οι αυξητικές τάσεις φτάνουν στους 0.04°C/year.

Τέλος στην βόρειο ηπειρωτικό κομμάτι του πεδίου καθώς και την ηπειρωτική δυτική Τουρκία εμφανίζονται οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο όπου φτάνουν λίγο πάνω από τους $0.045^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa οι θαλάσσιες περιοχές νότια της Ελλάδος εμφανίζουν τις μικρότερες αυξητικές τάσεις με τις τιμές να κυμαίνονται από $0.016^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.018^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Το Αιγαίο και το ηπειρωτικό κομμάτι της κεντρικής Ελλάδας εμφανίζουν τιμές από $0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.024^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η βόρεια Ελλάδα και το βόρειο Αιγαίο εμφανίζουν τιμές για τις κλιματικές τάσεις περίπου στους $0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$ και τέλος τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις τις εμφανίζει η περιοχή βορειοανατολικά του πεδίου, κοντά στην Κωνσταντινούπολη, όπου φτάνει τους $0.034^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa οι νότιες θαλάσσιες περιοχές εμφανίζουν τις μικρότερες αυξητικές κλιματικές τάσεις με τις τιμές να κυμαίνονται από $0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.025^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η νότια Ελλάδα, η Κρήτη, το κεντρικό Αιγαίο καθώς και η περιοχή της κεντρικής Ελλάδας εμφανίζουν ελαφρώς αυξημένες τιμές των κλιματικών τάσεων και είναι περίπου στους $0.025^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η βόρεια Ελλάδα καθώς και το βόρειο Αιγαίο εμφανίζουν ακόμα πιο αυξημένες τιμές για τις κλιματικές τάσεις οι οποίες κυμαίνονται γύρω από την τιμή των $0.027^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος η ανατολική Θράκη καθώς και όλο το βορειοανατολικό κομμάτι του πεδίου εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο με τιμές κοντά στους $0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 500hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εντοπίζονται στο νοτιοδυτικό κομμάτι του πεδίου όπου είναι η θαλάσσια περιοχή νότια της Ελλάδος με τις τάσεις να είναι στους $0.022^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η νότια και κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα εμφανίζει λίγο πιο αυξημένες τιμές τάσεων στους $0.025^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η περιοχή της Κρήτης, το Αιγαίο καθώς και η περιοχή της βόρειας Ελλάδας εμφανίζουν ακόμα πιο αυξημένες τιμές τάσεων που κυμαίνονται από $0.027^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.029^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος οι μεγαλύτερες τιμές για τις αυξητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο είναι στην βορειοανατολική περιοχή του πεδίου και φτάνουν τους $0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 400hPa η θαλάσσια περιοχή δυτικά της Ελλάδας εμφανίζει τις μικρότερες αυξητικές τάσεις με τις τιμές των τάσεων σε εκείνη την περιοχή να είναι περίπου στους $0.022^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η ηπειρωτική Ελλάδα και η περιοχή του Ιονίου εμφανίζουν αυξητικές τάσεις με τιμές από $0.024^{\circ}\text{C}/\text{year}$ μέχρι $0.027^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η βορειοανατολική Ελλάδα και η περιοχή του βορείου Αιγαίου εμφανίζουν μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις περίπου στους $0.028^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος η Κρήτη και η βορειοανατολική περιοχή του πεδίου εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις φτάνοντας τους $0.029^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

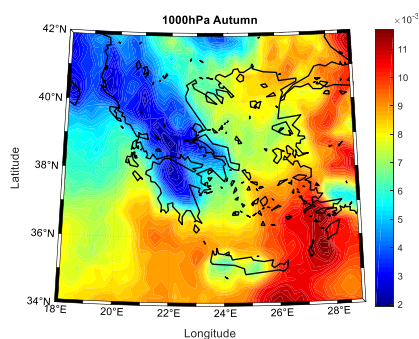
Στο ισοβαρικό επίπεδο των 300hPa η βορειοδυτική περιοχή του πεδίου μελέτης εμφανίζει τις μικρότερες αυξητικές τάσεις με τις τιμές των τάσεων να κυμαίνονται γύρω από τους $0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Στην υπόλοιπη περιοχή της ηπειρωτικής Ελλάδας και της θαλάσσιας περιοχής οι τιμές των τάσεων είναι από $0.022^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $0.024^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις στο επίπεδο αυτό εμφανίζονται στην νοτιοανατολική περιοχή του πεδίου και έχουν τιμές λίγο πάνω από $0.026^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 250hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται στη βορειοανατολική περιοχή του πεδίου μελέτης και έχουν τιμές λίγο πάνω από $0.017^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η βόρεια Ελλάδα εμφανίζει αυξητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο με τιμές γύρω από τους $0.019^{\circ}\text{C}/\text{year}$, και τέλος η περιοχή της Πελοποννήσου και η θαλάσσια νοτιοδυτικά αυτής εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο με τιμές λίγο πάνω από τους $0.022^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

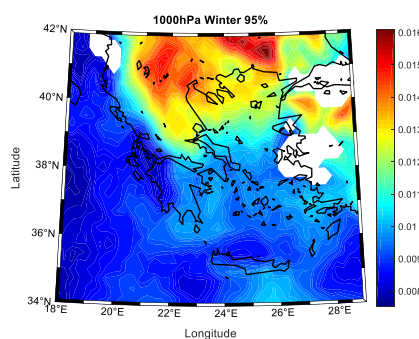
6.4 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα ανά εποχή

Σε αυτή την παράγραφο θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τις τάσεις θερμοκρασίας ανά εποχή για τα ισοβαρικά επίπεδα της Τροπόσφαιρας. Σε κάθε επίπεδο θα παρουσιαστεί ένας χάρτης αποτελεσμάτων για κάθε περίοδο, στο αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας.

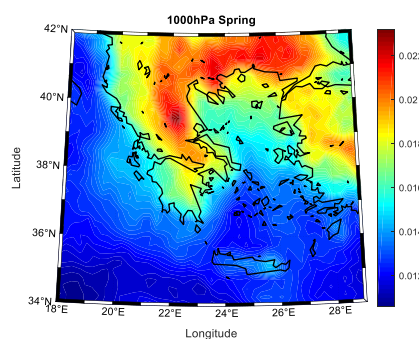
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



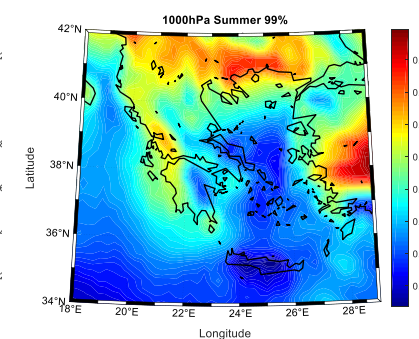
Σχήμα 17: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 1000 hPa



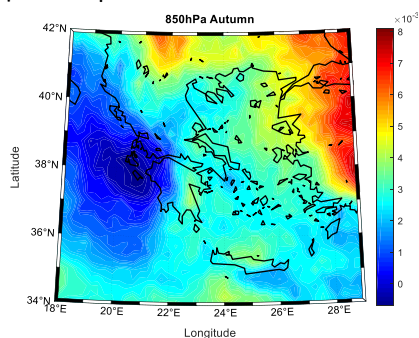
Σχήμα 18: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 1000 hPa (95%)



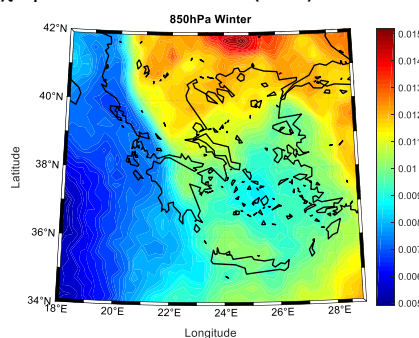
Σχήμα 19: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 1000 hPa



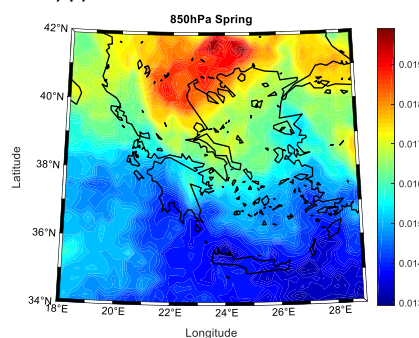
Σχήμα 20: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 1000 hPa (99%)



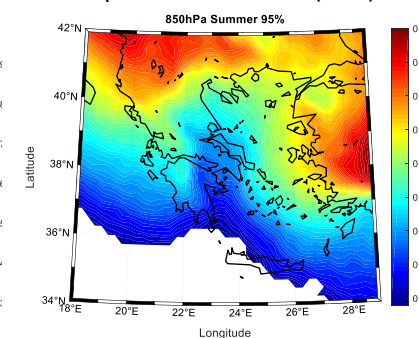
Σχήμα 21: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 850 hPa



Σχήμα 22: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 850 hPa

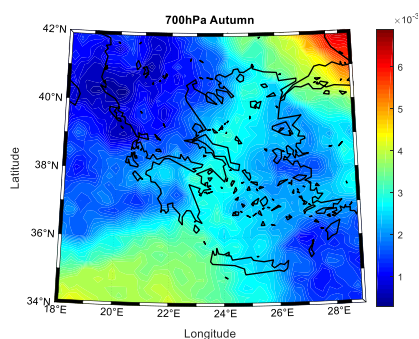


Σχήμα 23: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 850 hPa

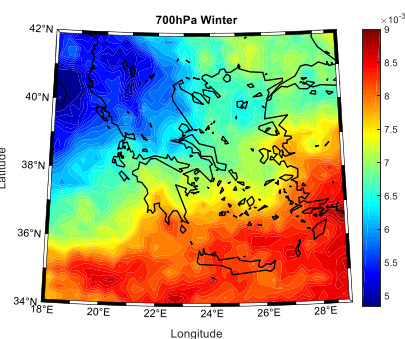


Σχήμα 24: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 850 hPa (95%)

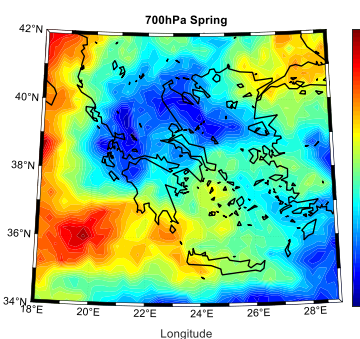
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



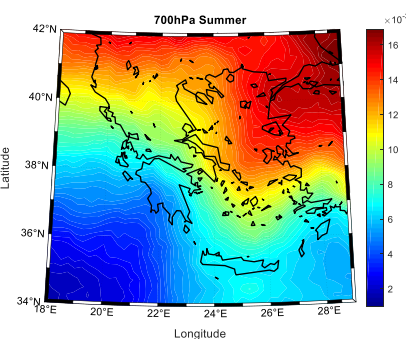
Σχήμα 25: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 700 hPa



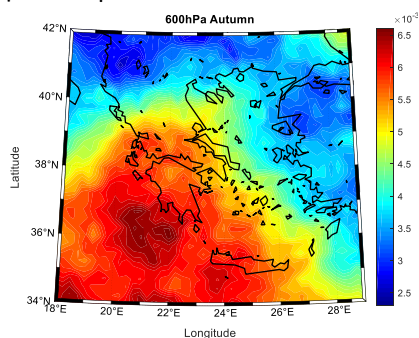
Σχήμα 26: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 700 hPa



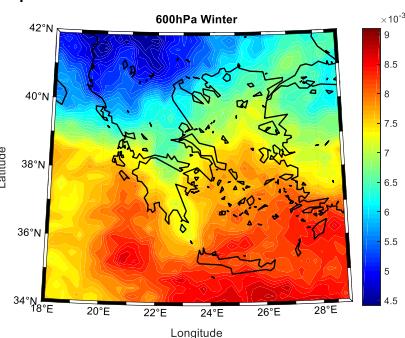
Σχήμα 27: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 700 hPa



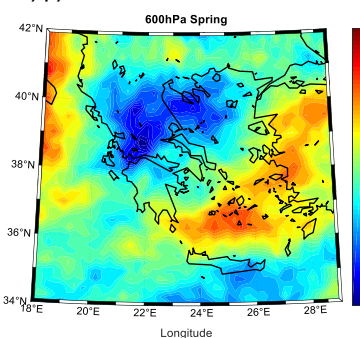
Σχήμα 28: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 700 hPa



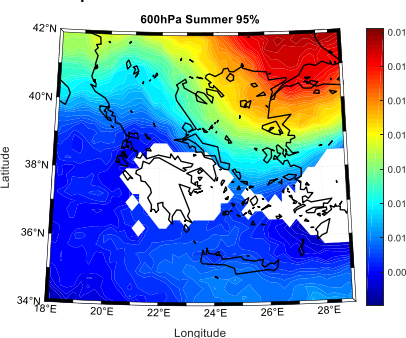
Σχήμα 29: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 600 hPa



Σχήμα 30: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 600 hPa

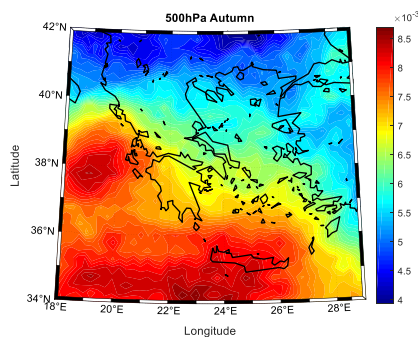


Σχήμα 31: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 600 hPa

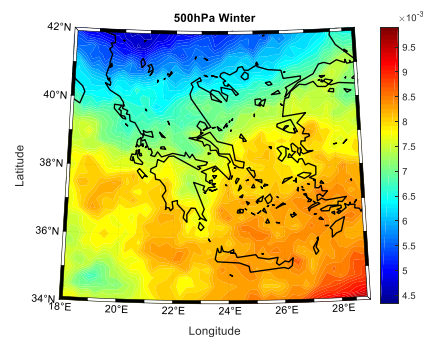


Σχήμα 32: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 600 hPa (95%)

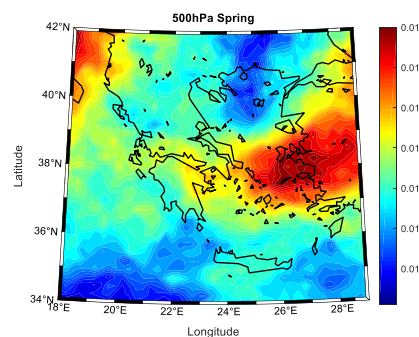
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



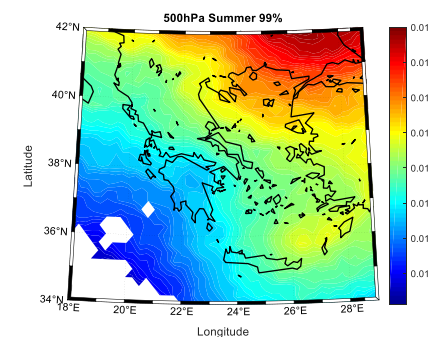
Σχήμα 33: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 500 hPa



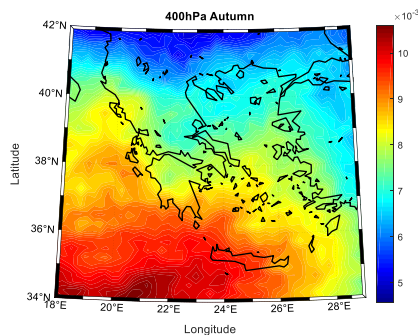
Σχήμα 34: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 500 hPa



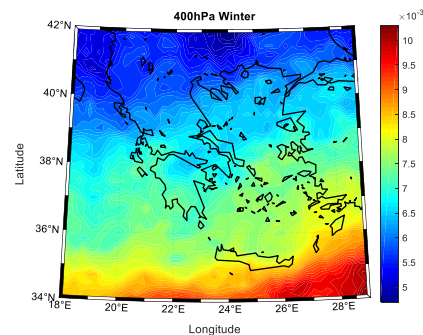
Σχήμα 35: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 500 hPa



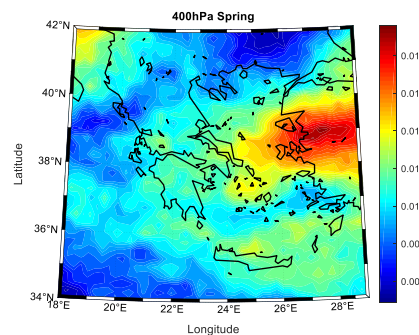
Σχήμα 36: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 500 hPa (99%)



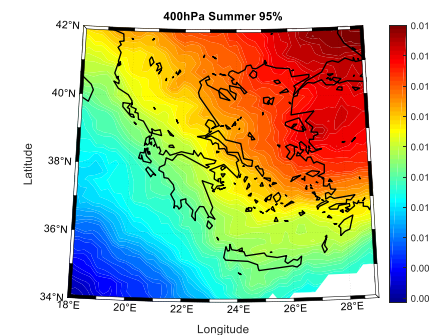
Σχήμα 37: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 400 hPa



Σχήμα 38: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 400 hPa

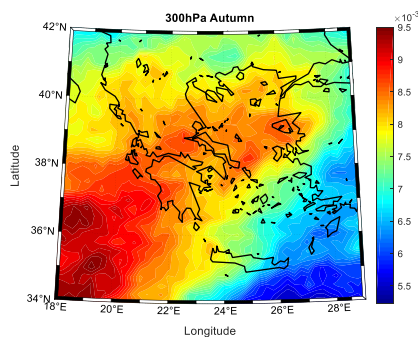


Σχήμα 39: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 400 hPa

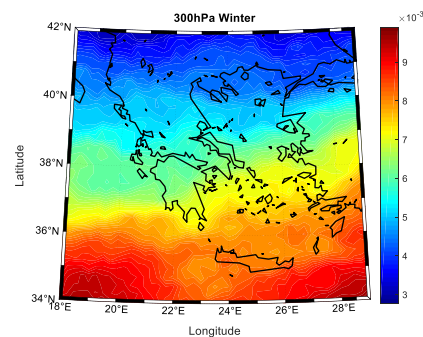


Σχήμα 40: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 400 hPa (95%)

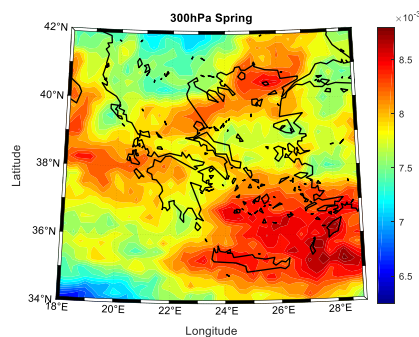
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



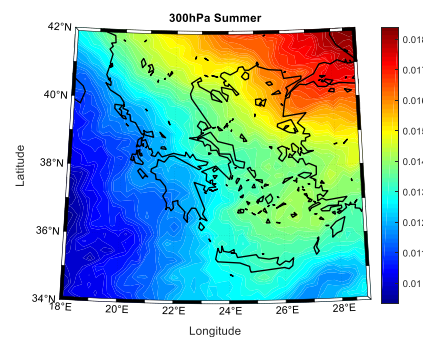
Σχήμα 41: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 300 hPa



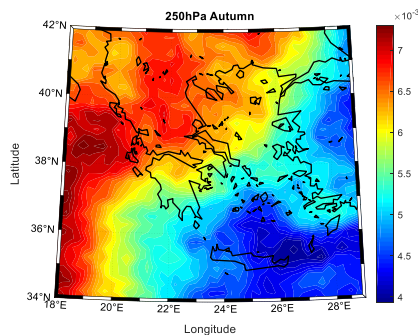
Σχήμα 42: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 300 hPa



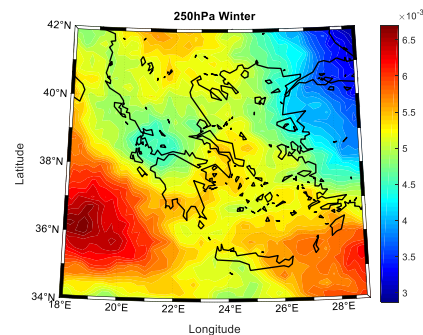
Σχήμα 43: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 300 hPa



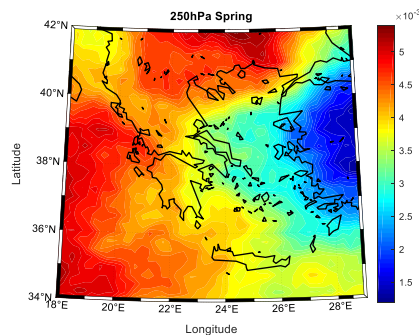
Σχήμα 44: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 300 hPa



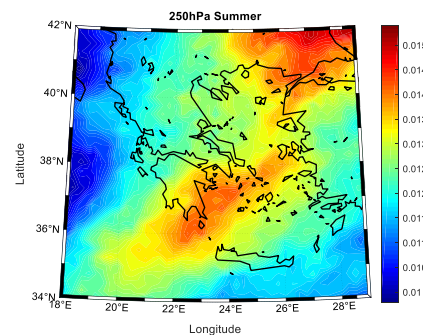
Σχήμα 45: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 250 hPa



Σχήμα 46: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 250 hPa



Σχήμα 47: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 250 hPa



Σχήμα 48: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 250 hPa

Κοιτώντας τους χάρτες με τα αποτελέσματα προκύπτουν μερικά συμπεράσματα. Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι τάσεις που υπολογίστηκαν για όλες τις περιόδους και σε όλα τα επίπεδα μέσα στην Τροπόσφαιρα είναι θετικές. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με την εργασία των Tzanis et al. (2019) . Είναι εμφανές ότι οι μικρότερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις την περίοδο του καλοκαιριού. Επίσης κοιτώντας τα αποτελέσματα είναι εμφανής η πτώση των αυξητικών τάσεων καθώς εξετάζονται ανώτερα ισοβαρικά επίπεδα. Η στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων για τις περιόδους του φθινοπώρου, του χειμώνα και της άνοιξης είναι χαμηλή, ενώ για την περίοδο του καλοκαιριού τα αποτελέσματα εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα είτε στο 95% είτε στο 99% για διαφορετικά ισοβαρικά επίπεδα.

Αναλυτικότερα στο ισοβαρικό επίπεδο των 1000hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού και είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού και είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού και είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 500hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού και είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο εμπιστοσύνης 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 400hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού και είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 300hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του χειμώνα, τις περιόδους του φθινοπώρου και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι

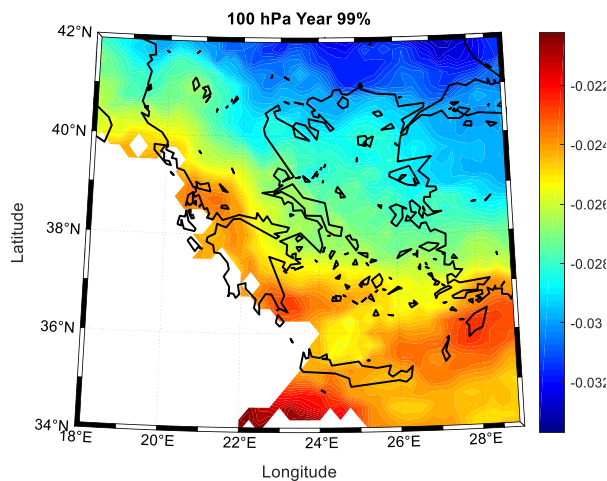
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

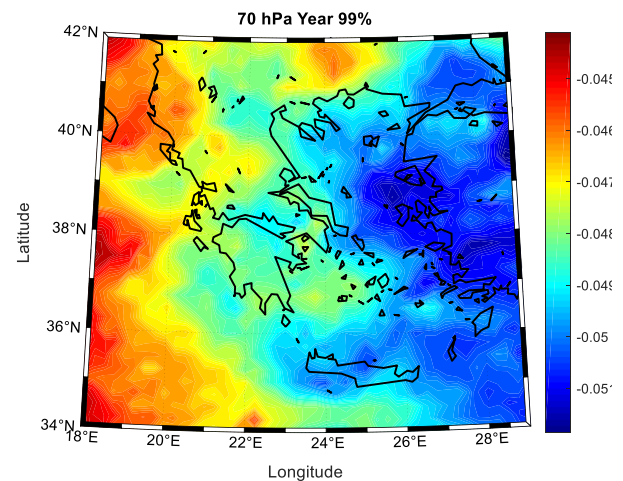
Στο ισοβαρικό επίπεδο των 250hPa οι μικρότερες αυξητικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο της άνοιξης, τις περιόδους του φθινοπώρου και του χειμώνα παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αυξητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αυξητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

6.5 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην στρατόσφαιρα ανά έτος

Ακριβώς η ίδια μεθοδολογία η οποία εφαρμόστηκε για την τροπόσφαιρα, χρησιμοποιήθηκε για να υπολογιστούν οι αντίστοιχες κλιματικές τάσεις από τα δεδομένα Reanalysis ERA5 για την περίοδο 1979-2018 για την στρατόσφαιρα. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω στους χάρτες για τα ισοβαρικά επίπεδα των 100hPa, 70hPa, 50hPa, 30hPa, 20hPa, και 3hPa.

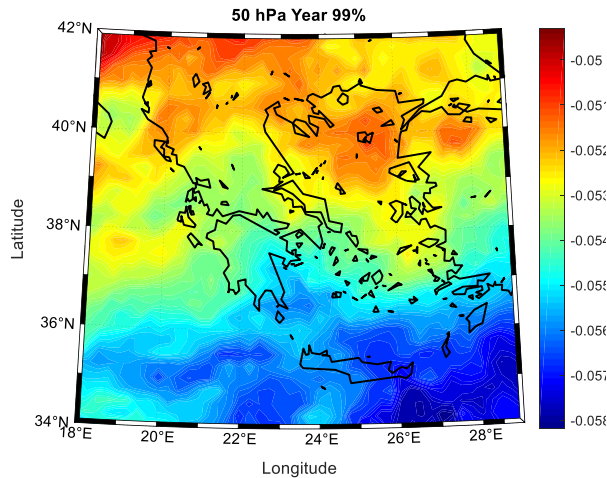


Σχήμα 49: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 100hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

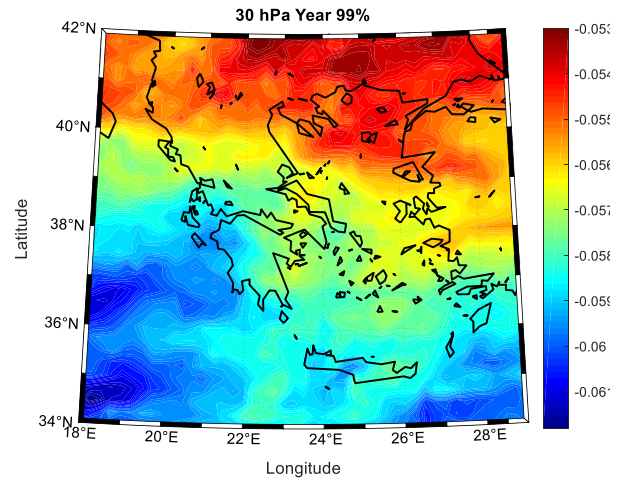


Σχήμα 50: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 70hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

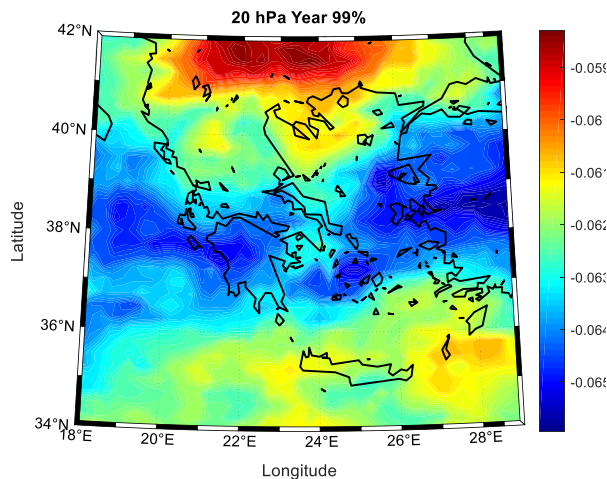
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



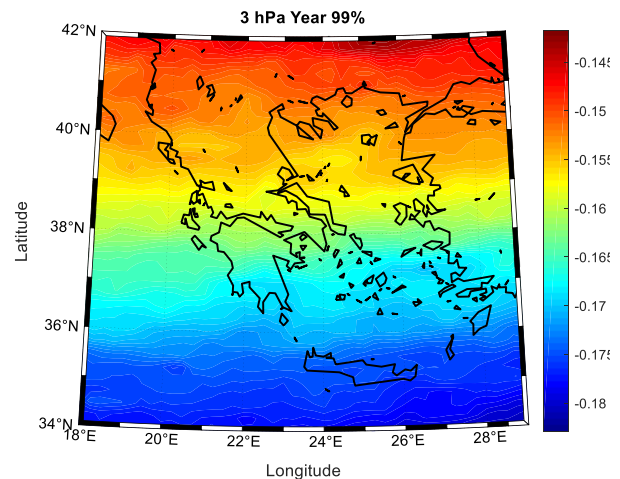
Σχήμα 51: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 50hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%



Σχήμα 52: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 30hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%



Σχήμα 53: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 20hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%



Σχήμα 54: Κατανομή της κλιματικής τάσης θερμοκρασίας στα 3hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 99%

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα για τα διάφορα ισοβαρικά επίπεδα στην Στρατόσφαιρα η πρώτη παρατήρηση που μπορεί να γίνει είναι ότι υπάρχει αρνητική τάση σε κάθε επίπεδο και για όλο το πεδίο. Είναι σημαντικό και πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα σημεία σχεδόν σε κάθε επίπεδο και για όλο το πεδίο παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, εκτός από το επίπεδο των 100hPa όπου μια μεγάλη θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου και όλη η περιοχή του Ιονίου, οι οποίες δεν είναι στατιστικά σημαντικές σε αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης. Ένα άλλο στοιχείο που είναι εμφανές είναι η αύξηση της μειωτικής τάσης καθώς ανεβαίνουμε σε ύψος στην Στρατόσφαιρα μέχρι να πιάσει την μέγιστη τιμή στο ισοβαρικό επίπεδο των 3hPa. Πιο συγκεκριμένα τα όρια των κλιματικών τάσεων στο επίπεδο των 100hPa κυμαίνονται από $-0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.34^{\circ}\text{C}/\text{year}$, τα οποία αυξάνονται μέχρι το επίπεδο των 3hPa όπου τα όρια κυμαίνονται από $-0.145^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.18^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Αναλυτικότερα, στο ισοβαρικό επιπέδο των 100hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις είναι στην θαλάσσια περιοχή νοτιοδυτικά του πεδίου αλλά είναι και οι τιμές αυτές οι οποίες δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο 99% και δεν απεικονίζονται σε αυτό το χάρτη. Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι οι τιμές των τάσεων ξεκινούν από $-0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$ σε εκείνη την περιοχή. Στην συνέχεια η θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου, η ηπειρωτική Ελλάδα και η Κρήτη εμφανίζουν ακόμα πιο μεγάλες αρνητικές τάσεις από $-0.024^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.028^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στην βόρεια Ελλάδα και στο βορειοανατολικό κομμάτι του πεδίου με μέγιστες τιμές από $-0.032^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.034^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επιπέδο των 70hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις είναι στην δυτική περιοχή του πεδίου, η οποία είναι θαλάσσια περιοχή και οι τάσεις παρουσιάζουν τιμές από $-0.044^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.046^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Στην συνέχεια η ηπειρωτική Ελλάδα γενικότερα και η Κρήτη παρουσιάζουν τιμές από $-0.047^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.049^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος οι πιο μεγάλες αρνητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο εμφανίζονται στα παράλια της Τουρκίας και γενικότερα στο ανατολικό κομμάτι του πεδίου με τις τιμές να κυμαίνονται από $-0.051^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.052^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επιπέδο των 50hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται σε όλο το βόρειο κομμάτι του πεδίου και οι τιμές τους κυμαίνονται από $-0.05^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.053^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Στο κεντρικό κομμάτι του πεδίου οι τιμές των αρνητικών τάσεων κυμαίνονται από $-0.054^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.056^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος στο νότιο κομμάτι του πεδίου και πιο συγκεκριμένα στο νοτιοανατολικό κομμάτι του πεδίου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις με τις τιμές των τάσεων κυμαίνονται από $-0.056^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.058^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επιπέδο των 30hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται σε όλο το βόρειο κομμάτι του πεδίου με τις τιμές να κυμαίνονται από $-0.053^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.056^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Στο κεντρικό κομμάτι του πεδίου και η περιοχή της Κρήτης εμφανίζουν ελαφρώς αυξημένες αρνητικές τάσεις με τις τιμές να κυμαίνονται από $-0.057^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.059^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος στη νοτιοανατολική και νοτιοδυτική περιοχή του πεδίου εμφανίζονται οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις και οι τιμές κυμαίνονται από $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.062^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επιπέδο των 20hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στο βόρειο και κεντρικό κομμάτι του πεδίου, και πιο συγκεκριμένα την περιοχή της Μακεδονίας, όπου οι τιμές τους κυμαίνονται από $-0.058^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Η περιοχή της κεντρικής ηπειρωτικής Ελλάδας και οι περιοχές στα νότια του πεδίου εμφανίζουν αρνητικές τάσεις με τιμές από $-0.061^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.063^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Τέλος η περιοχή της Πελοποννήσου, η θαλάσσια περιοχή δυτικά της, το κεντρικό Αιγαίο, τα παράλια της Τουρκίας καθώς και το ηπειρωτικό της κομμάτι εμφανίζουν τις μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις σε αυτό το επίπεδο με τις τιμές να κυμαίνονται από $-0.064^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.066^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Στο ανώτερο ισοβαρικό επιπέδο των 3hPa οι μικρότερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται σε όλο το βόρειο κομμάτι του πεδίου με τιμές από $-0.14^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.15^{\circ}\text{C}/\text{year}$. Στην συνέχεια σε όλο το κεντρικό κομμάτι του πεδίου οι τιμές των αρνητικών τάσεων κυμαίνονται από $-0.155^{\circ}\text{C}/\text{year}$

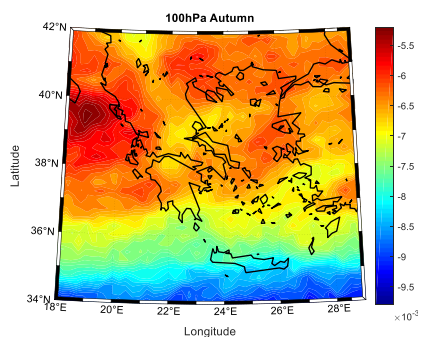
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

έως $-0.17^{\circ}\text{C}/\text{year}$ και τέλος τις μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις τις παρουσιάζει όλη η νότια περιοχή του πεδίου με τις τιμές να κυμαίνονται από $-0.175^{\circ}\text{C}/\text{year}$ έως $-0.185^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

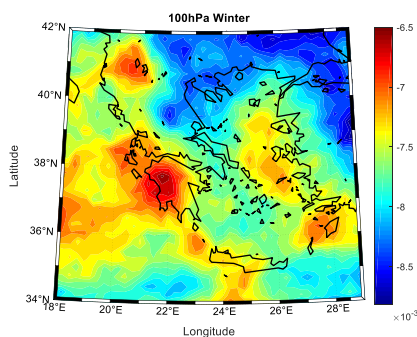
6.6 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας στην στρατόσφαιρα ανά εποχή

Σε αυτή την παράγραφο θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων για τις τάσεις θερμοκρασίας ανά εποχή για τα ισοβαρικά επίπεδα της Στρατόσφαιρας. Σε κάθε επίπεδο θα παρουσιαστεί ένας χάρτης αποτελεσμάτων για κάθε περίοδο, στο αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας.

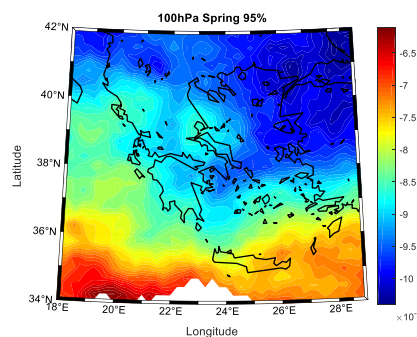
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



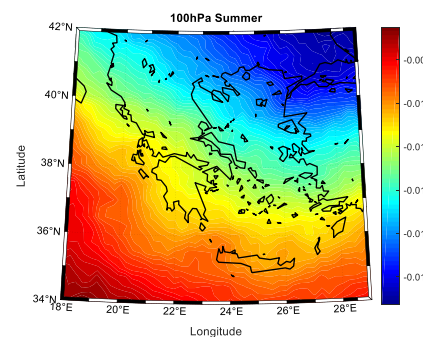
Σχήμα 55: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 100 hPa



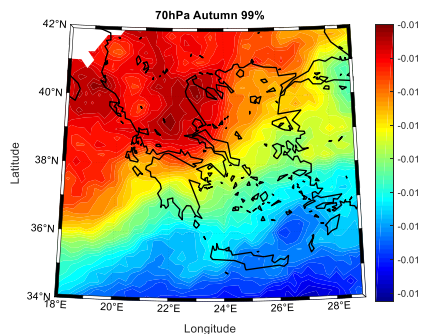
Σχήμα 56: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 100 hPa



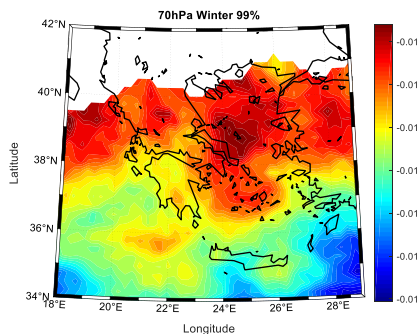
Σχήμα 57: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 100 hPa (95%)



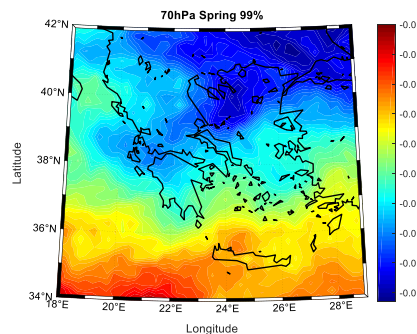
Σχήμα 58: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 100 hPa



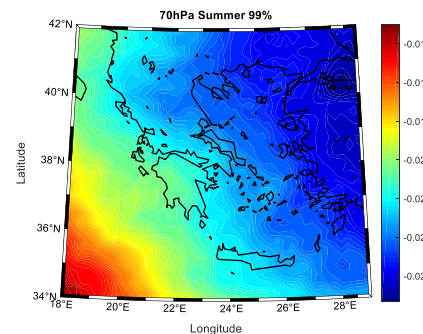
Σχήμα 59: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 70 hPa (99%)



Σχήμα 60: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 70 hPa (99%)

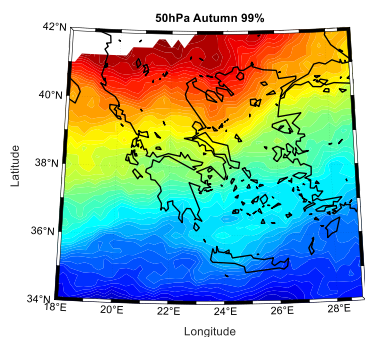


Σχήμα 61: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 70 hPa (99%)

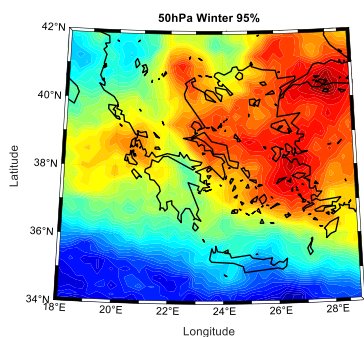


Σχήμα 62: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 70 hPa (99%)

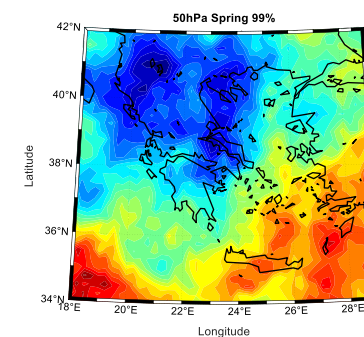
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



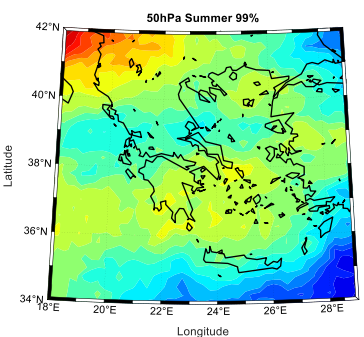
Σχήμα 63: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 50 hPa (99%)



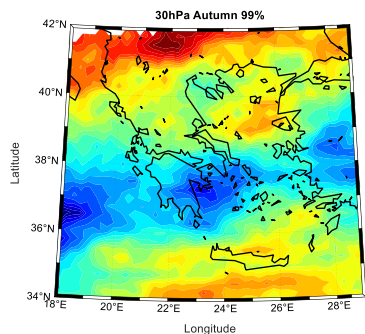
Σχήμα 64: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 50 hPa (95%)



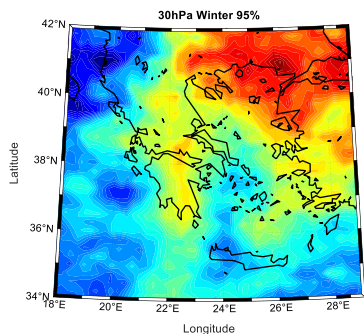
Σχήμα 65: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 50 hPa (99%)



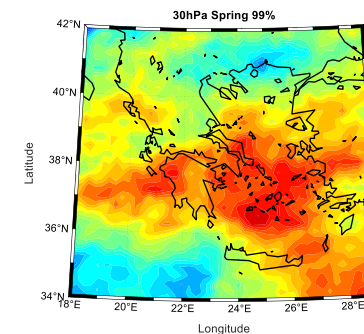
Σχήμα 66: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 50 hPa (99%)



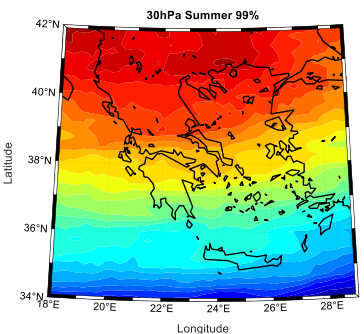
Σχήμα 67: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 30 hPa (99%)



Σχήμα 68: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 30 hPa (95%)

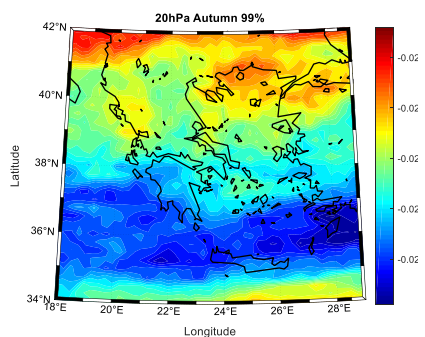


Σχήμα 69: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 30 hPa (99%)

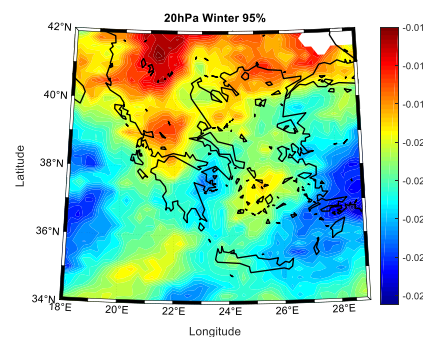


Σχήμα 70: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 30 hPa (99%)

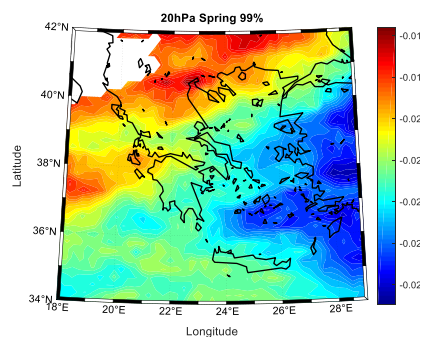
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



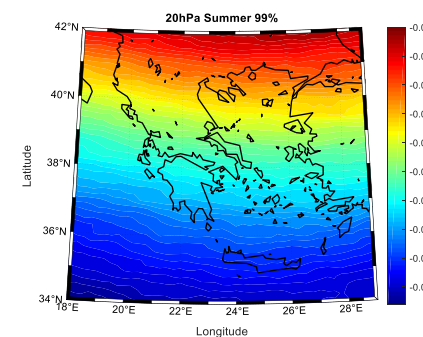
Σχήμα 71: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 20 hPa (99%)



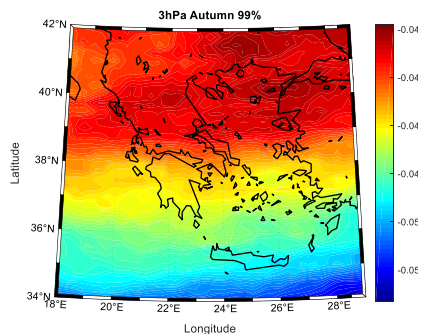
Σχήμα 72: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 20 hPa (95%)



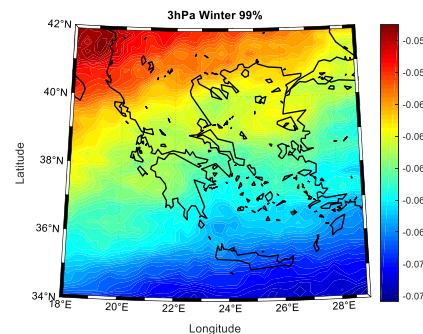
Σχήμα 73: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 20 hPa (99%)



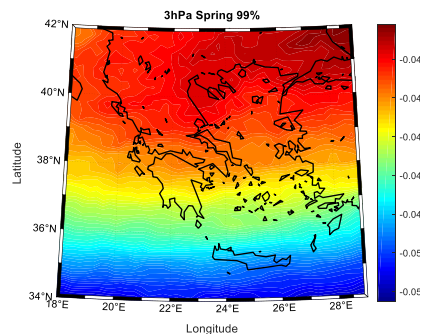
Σχήμα 74: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 20 hPa (99%)



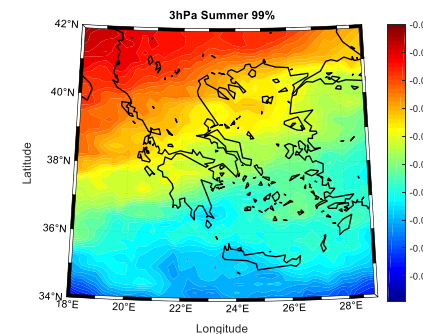
Σχήμα 75: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του φθινοπώρου στα 3 hPa (99%)



Σχήμα 76: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του χειμώνα στα 3 hPa (99%)



Σχήμα 77: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο της άνοιξης στα 3 hPa (99%)



Σχήμα 78: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της θερμοκρασίας για την περίοδο του καλοκαιριού στα 3 hPa (99%)

Κοιτώντας τους χάρτες με τα αποτελέσματα, ανά εποχή προκύπτουν μερικά συμπεράσματα. Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι τάσεις που υπολογίστηκαν για όλες τις περιόδους και σε όλα τα επίπεδα μέσα στην Στρατόσφαιρα είναι αρνητικές.

Αναλυτικότερα στο ισοβαρικό επίπεδο των 100hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης όπου τα αποτελέσματα είναι στατιστικά σημαντικά στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αρνητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 70hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αρνητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού. Να σημειωθεί ότι σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο όλα τα αποτελέσματα για όλες τις περιόδους δίνονται σε επίπεδό στατιστικής σημαντικότητας 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 50hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αρνητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού. Να σημειωθεί ότι σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο τα αποτελέσματα για την περίοδο του χειμώνα δίνονται σε επίπεδό στατιστικής σημαντικότητας 95% και για όλες τις υπόλοιπες περιόδους σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 30hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο της άνοιξης, τις περιόδους του χειμώνα και του καλοκαιριού παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αρνητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου. Να σημειωθεί ότι σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο τα αποτελέσματα για την περίοδο του χειμώνα δίνονται σε επίπεδό στατιστικής σημαντικότητας 95% και για όλες τις υπόλοιπες περιόδους σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 20hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του καλοκαιριού, τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αρνητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του φθινοπώρου. Να σημειωθεί ότι σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο τα αποτελέσματα για την περίοδο του χειμώνα δίνονται σε επίπεδό στατιστικής σημαντικότητας 95% και για όλες τις υπόλοιπες περιόδους σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 99%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 3hPa οι μικρότερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο της άνοιξης, τις περιόδους του καλοκαιριού και του φθινοπώρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές οι αρνητικές κλιματικές τάσεις και οι μεγαλύτερες αρνητικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται την περίοδο του χειμώνα. Να σημειωθεί ότι σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο τα αποτελέσματα για όλες τις περιόδους παρουσιάζονται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 99%.

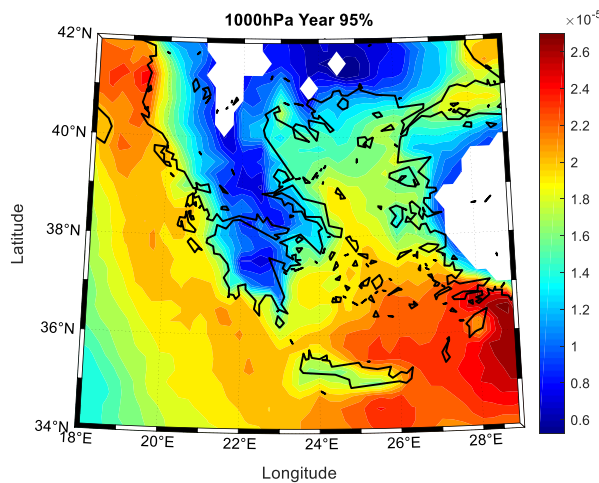
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην Ελλάδα

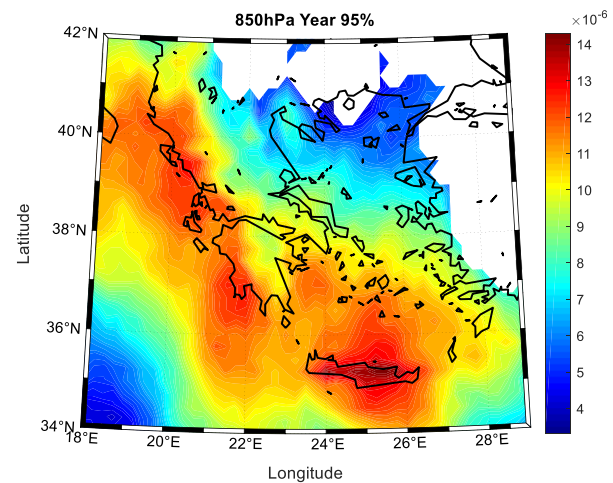
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας πάνω από την περιοχή του Ελλαδικού χώρου, καθώς και για όλη την γεωγραφική περιοχή που περικλείεται από τις εξής συντεταγμένες: 18°E-29°E και 34°N-42°N. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και εδώ θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων των κλιματικών τάσεων πάνω σε χάρτες για διάφορα ισοβαρικά επίπεδα μέσα στην ατμόσφαιρα.

7.1 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά έτος

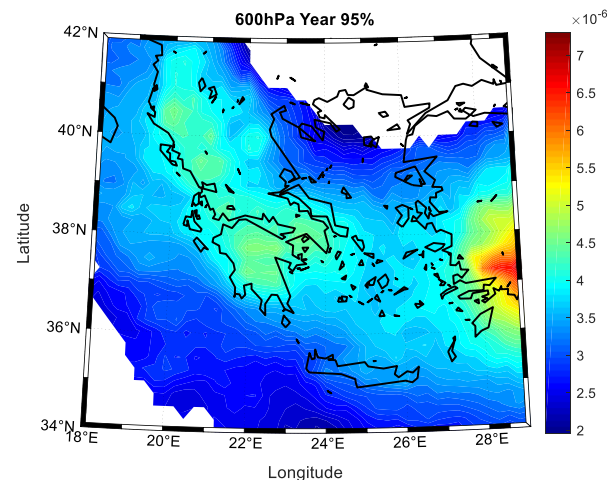
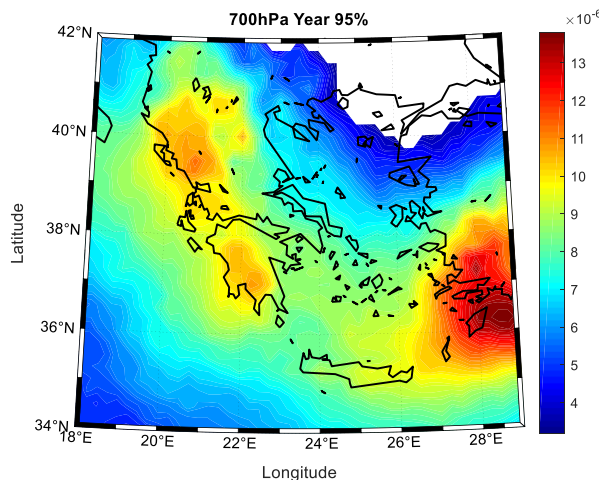
Παρακάτω δίνονται τα αποτελέσματα σε 5 επίπεδα μέχρι την μέση τροπόσφαιρα. Πάνω από το ισοβαρικό επίπεδο των 500hPa οι τάσεις τείνουν να γίνουν μηδενικές.



Σχήμα 1: Κατανομή της κλιματικής τάσης ειδικής υγρασίας στα 1000hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

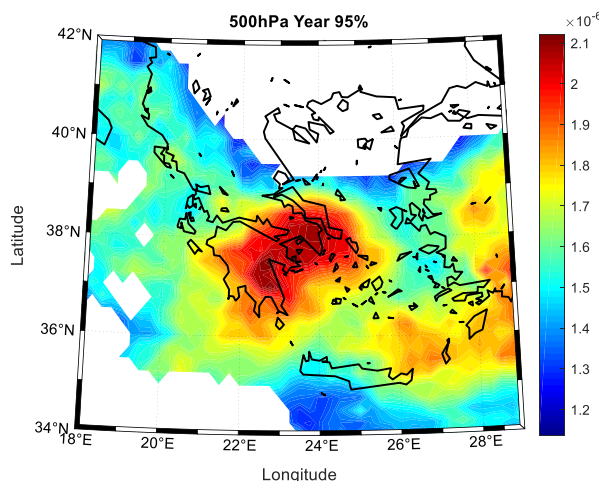


Σχήμα 2: Κατανομή της κλιματικής τάσης ειδικής υγρασίας στα 850hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%



Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

Σχήμα 3: Κατανομή της κλιματικής τάσης ειδικής υγρασίας στα 700hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%



Σχήμα 4: Κατανομή της κλιματικής τάσης ειδικής υγρασίας στα 600hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

Σχήμα 5: Κατανομή της κλιματικής τάσης ειδικής υγρασίας στα 500hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

Αναλύοντας τους χάρτες με τα αποτελέσματα το πρώτο στοιχείο που παρουσιάζεται είναι οι θετικές τάσεις που υπάρχουν σε όλα τα ισοβαρικά επίπεδα εκτός από μερικά σημεία τα οποία παρόλο που δεν είναι στατιστικά σημαντικά στο 99%. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται στην κατώτερη τροπόσφαιρα, δηλαδή στο επίπεδο των 1000hPa, και στην συνέχεια βαθμιαία μειώνονται οι θετικές τάσεις καθώς εξετάζουμε ανώτερα ισοβαρικά επίπεδα μέχρι την μέση τροπόσφαιρα, περίπου στο ύψος των 500 hPa όπου τείνουν από εκείνο το επίπεδο και πιο πάνω να είναι μηδενικές. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα στο 95%.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 1000hPa, οι μικρότερες θετικές τάσεις εμφανίζονται πάνω από το ηπειρωτικό κομμάτι του πεδίου με τις τιμές των τάσεων να φτάνουν έως και $1 \times 10^{-5} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$. Πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές του Ιονίου και του Αιγαίου οι τιμές των τάσεων φτάνουν στα $2 \times 10^{-5} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ και οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις καταγράφονται στην θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά του πεδίου με τις θετικές τάσεις να ξεπερνούν τα $2,6 \times 10^{-5} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa, οι μικρότερες θετικές τάσεις εμφανίζονται στην θαλάσσια περιοχή του βορείου Αιγαίου και στην νοτιοδυτική περιοχή του πεδίου όπου οι τιμές των τάσεων φτάνουν από $6 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $8 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις εμφανίζονται στην θαλάσσια περιοχή του Ιονίου και την περιοχή της Κρήτης με τις τιμές να κυμαίνονται από $13 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $15 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa, οι μικρότερες θετικές τάσεις εμφανίζονται στις περιοχές νοτιοδυτικά και βορειοανατολικά του πεδίου όπου οι τιμές των κλιματικών τάσεων κυμαίνονται από $4 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $7 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

στην θαλάσσια περιοχή νοτιοανατολικά του πεδίου και πιο συγκεκριμένα ανατολικά της Ρόδου με τις τιμές των κλιματικών τάσεων σε εκείνη την περιοχή να κυμαίνονται από $12 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $14 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$.

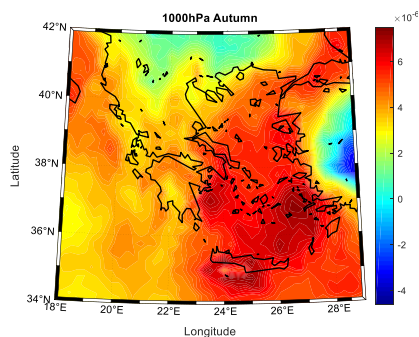
Στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa, οι μικρότερες θετικές τάσεις εμφανίζονται σχεδόν σε όλο το πεδίο με τις τιμές των θετικών κλιματικών τάσεων να κυμαίνονται από $3 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $4.5 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις στο ισοβαρικό αυτό επίπεδο παρουσιάζονται σε μια περιοχή στα νότια παράλια της Τουρκίας όπου οι τιμές κυμαίνονται από $6.5 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $7.5 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 500hPa, οι κλιματικές τάσεις παρουσιάζουν τιμές από $1.5 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ έως $2.1 \times 10^{-6} \text{ kg kg}^{-1}/\text{year}$ σε όλο το πεδίο που εξετάζεται με τις μεγαλύτερες τιμές να παρουσιάζονται πάνω από την περιοχή της Αττικής και της Αργολίδας.

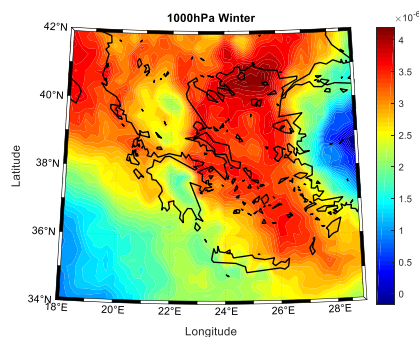
7.2 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά εποχή

Σε αυτήν την ενότητα έγινε επεξεργασία στα δεδομένα των χρονοσειρών και κατάλληλος διαχωρισμός σε εποχές. Έπειτα χρησιμοποιώντας το εποχικό κριτήριο Mann-Kendall με τις κατάλληλες προσαρμογές, θα εξαχθούν τα αντίστοιχα εποχικά αποτελέσματα. Τα εποχικά αποτελέσματα δίνονται παρακάτω.

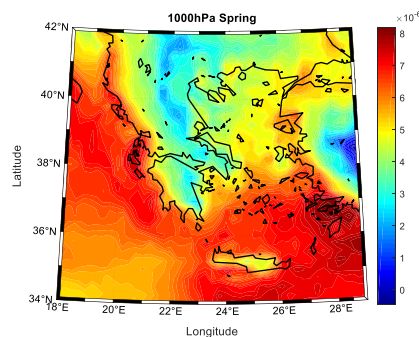
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



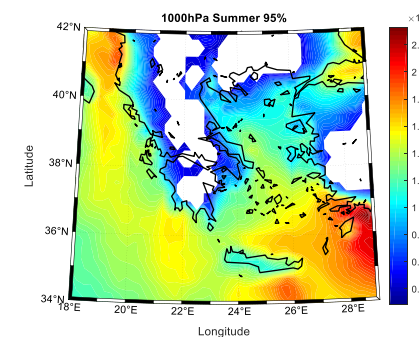
Σχήμα 6: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



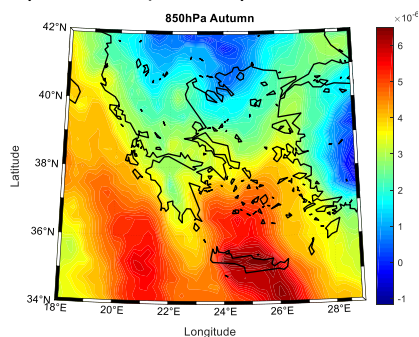
Σχήμα 7: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο του χειμώνα



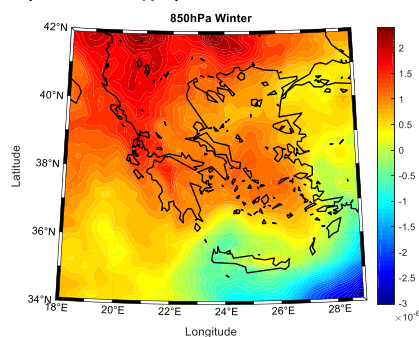
Σχήμα 8: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο της άνοιξης



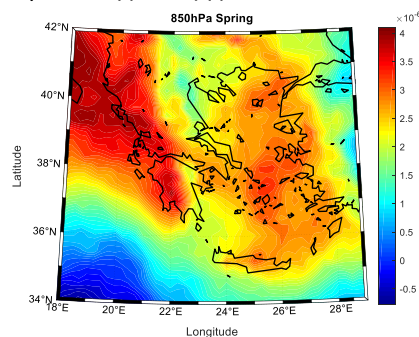
Σχήμα 9: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού (95%)



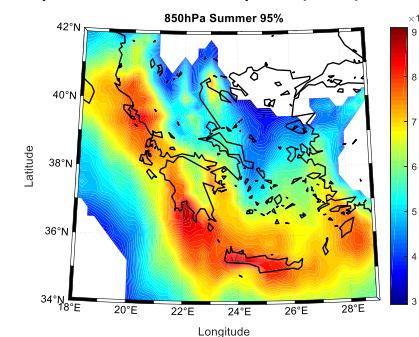
Σχήμα 10: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 11: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο του χειμώνα

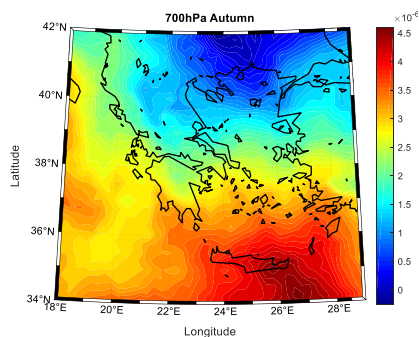


Σχήμα 12: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο της άνοιξης

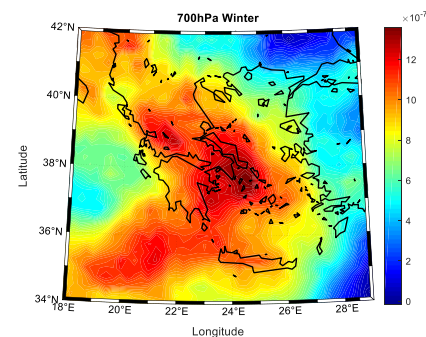


Σχήμα 13: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού (95%)

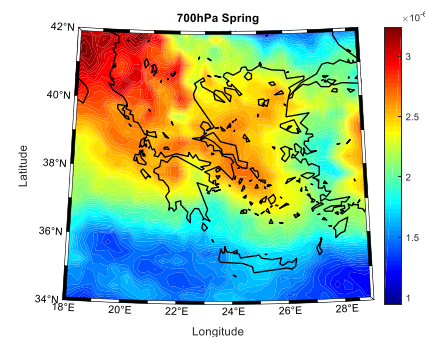
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



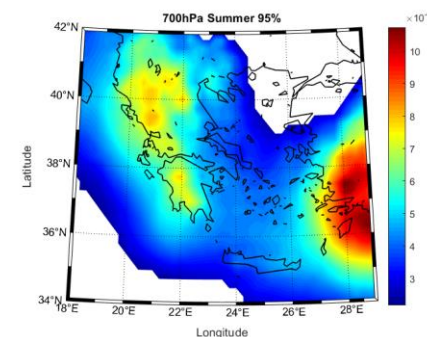
Σχήμα 14: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



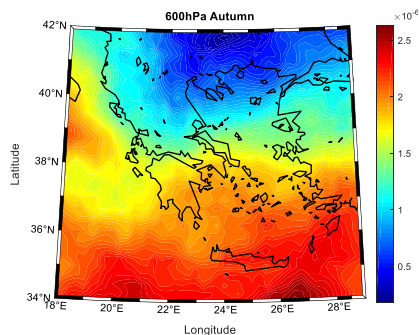
Σχήμα 15: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο του χειμώνα



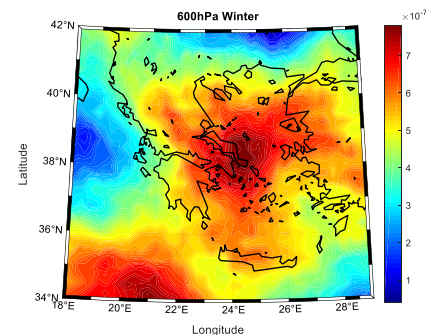
Σχήμα 16: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο της άνοιξης



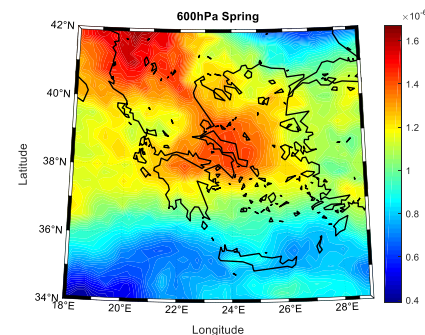
Σχήμα 17: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού (95%)



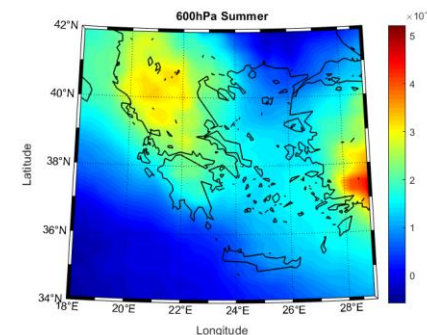
Σχήμα 18: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 19: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο του χειμώνα

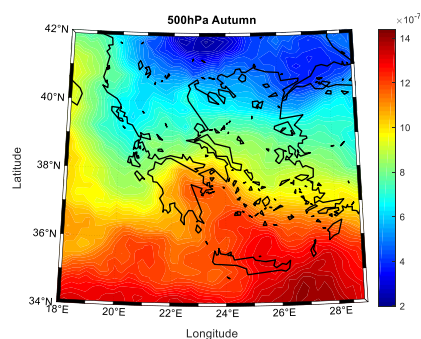


Σχήμα 20: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο της άνοιξης

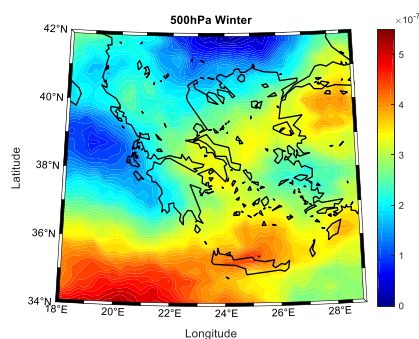


Σχήμα 21: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού

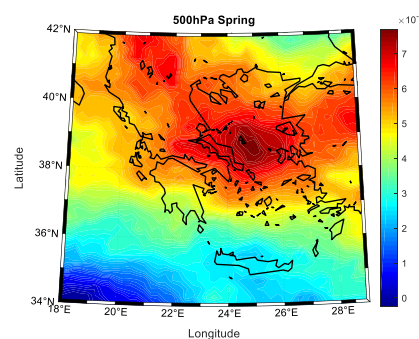
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



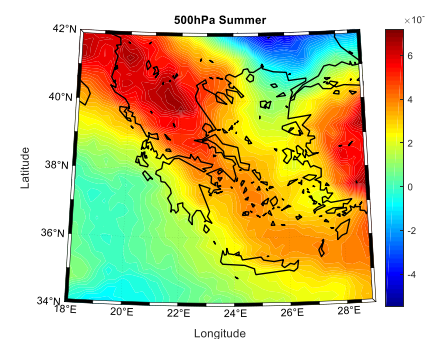
Σχήμα 22: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 500 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 23: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 500 hPa για την περίοδο του χειμώνα



Σχήμα 24: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 500 hPa για την περίοδο της άνοιξης



Σχήμα 25: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας στα 500 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού

Κοιτώντας τους χάρτες με τα αποτελέσματα, ανά εποχή προκύπτουν μερικά συμπεράσματα. Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι κλιματικές τάσεις της ειδικής υγρασίας που υπολογίστηκαν για όλες τις περιόδους και σε όλα τα επίπεδα μέχρι το ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa είναι θετικές. Στα υπόλοιπα ανώτερα επίπεδα γίνονται μηδενικές. Οι τάσεις έχουν την τάση να μειώνονται καθώς ανεβαίνουμε επίπεδα μέσα στην ατμόσφαιρα για όλες τις περιόδους. Επίσης να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα για όλες τις περιόδους παρουσιάζονται σε χάρτες χωρίς να είναι στατιστικά σημαντικά εκτός από την περίοδο του καλοκαιριού στα ισοβαρικά ύψη των 1000hPa, 850hPa και 700hPa όπου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 95%.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα παρουσιάζεται η περίοδος του χειμώνα ως η περίοδος όπου σε κάθε ισοβαρικό επίπεδο έχει την μικρότερη θετική τάση, η περίοδος της άνοιξης και του φθινοπώρου είναι οι περίοδοι όπου οι κλιματικές τάσεις της ειδικής υγρασίας παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, και η περίοδος του καλοκαιριού είναι η περίοδος με τις μεγαλύτερες θετικές τάσεις για την ειδική υγρασία. Μόνο στο ισοβαρικό επίπεδο των 500hPa η περίοδος του φθινοπώρου έχει μεγαλύτερες τάσεις από όλες τις υπόλοιπες περιόδους. Επίσης είναι εμφανές ότι μεγαλύτερες θετικές τάσεις εμφανίζονται πάνω από θαλάσσιες περιοχές σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές του πεδίου.

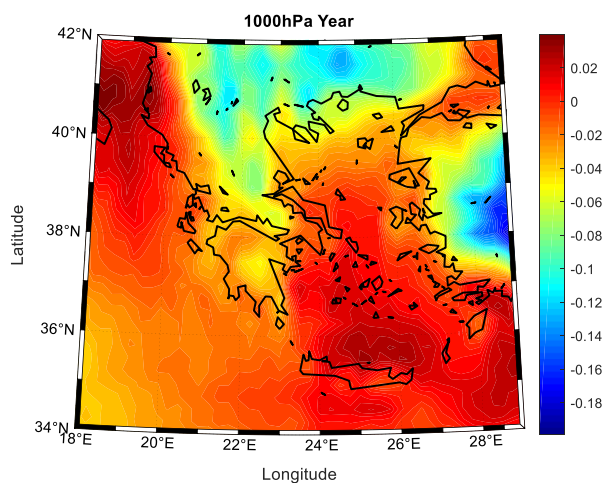
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Κλιματικές τάσεις Σχετικής Υγρασίας στην Ελλάδα

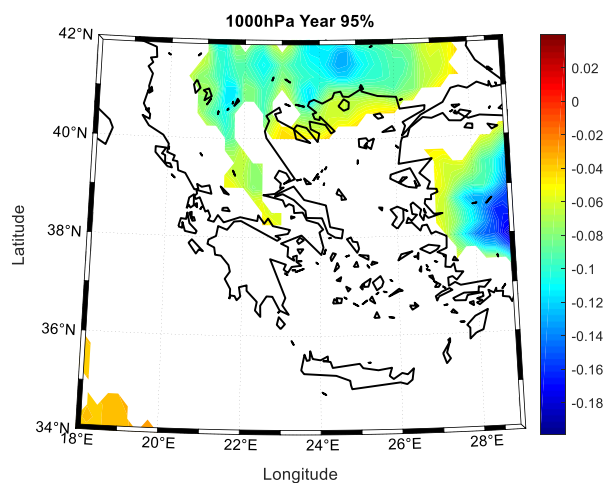
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση των κλιματικών τάσεων της ειδικής υγρασίας πάνω από την περιοχή του Ελλαδικού χώρου, καθώς και για όλη την γεωγραφική περιοχή που περικλείεται από τις εξής συντεταγμένες: 18°E-29°E και 34°N-42°N. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και εδώ θα γίνει παρουσίαση των αποτελεσμάτων των κλιματικών τάσεων πάνω σε χάρτες για διάφορα ισοβαρικά επίπεδα μέσα στην ατμόσφαιρα.

8.1 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά έτος

Με χρήση δεδομένων από τις χρονοσειρές reanalysis ERA5 για την περίοδο 1979-2018, χρησιμοποιώντας την μέθοδο του Sen και εφαρμόζοντας το στατιστικό κριτήριο Mann-Kendall, για τα επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας, γίνεται υπολογισμός των κλιματικών τάσεων για την θερμοκρασία σε διάφορα ισοβαρικά επίπεδα μέσα στην ατμόσφαιρα. Παρακάτω δίνονται οι χάρτες των αποτελεσμάτων που αφορούν τα ισοβαρικά επίπεδα των 1000hPa, 850hPa, 700hPa, 600hPa, 250hPa, 200hPa, 100hPa.

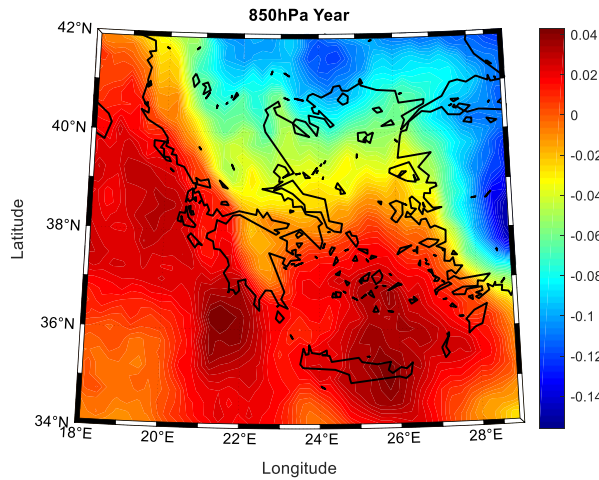


Σχήμα 1: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa.

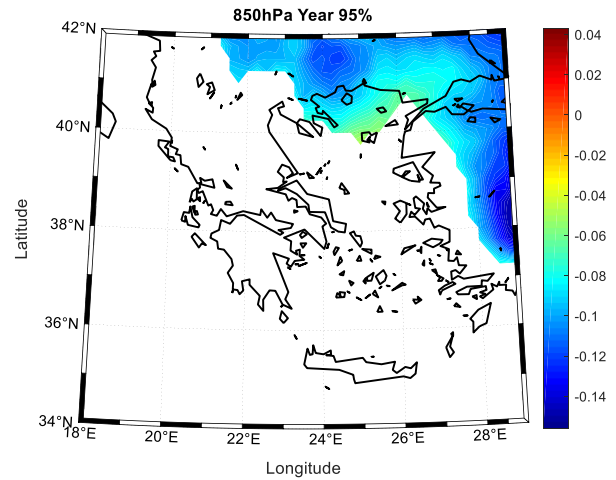


Σχήμα 2: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 1000hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

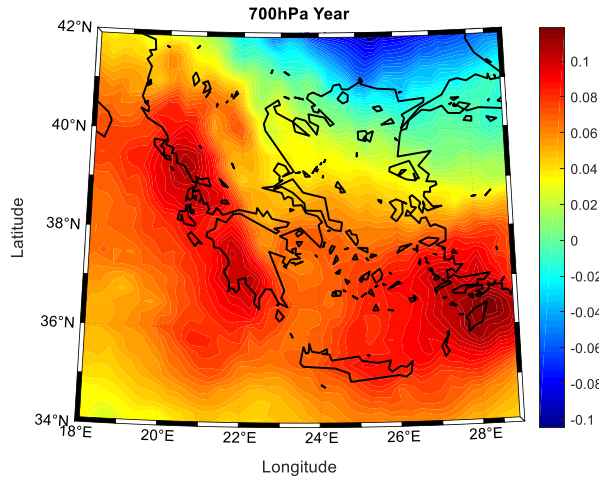
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



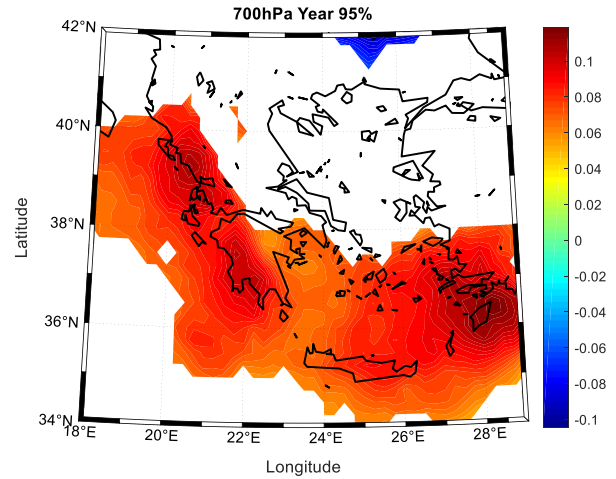
Σχήμα 3: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 850hPa



Σχήμα 4: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 850hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

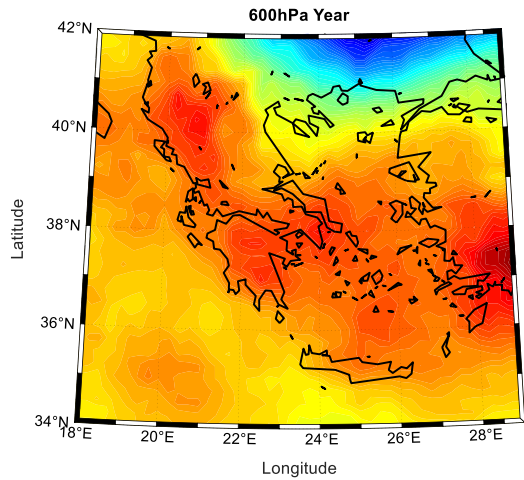


Σχήμα 5: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 700hPa

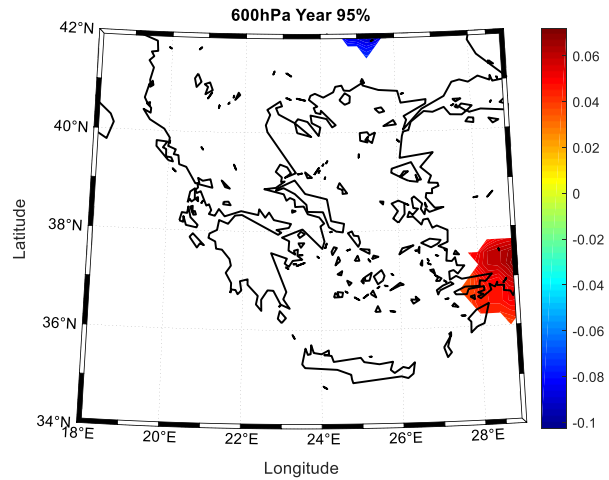


Σχήμα 6: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 700hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

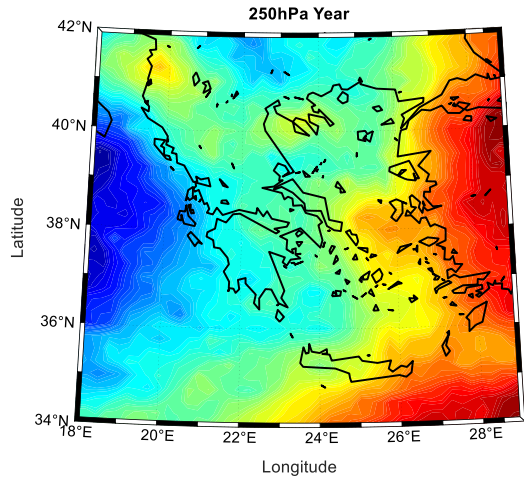
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



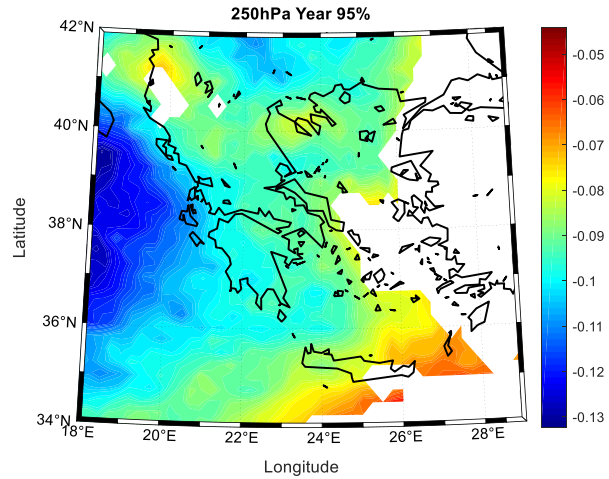
Σχήμα 7: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 600hPa



Σχήμα 8: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 600hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

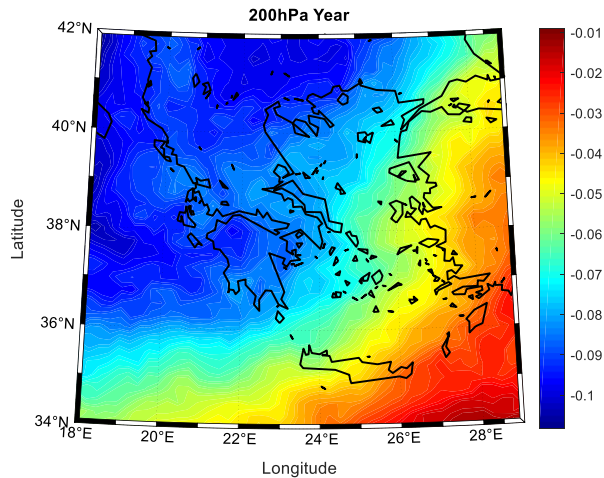


Σχήμα 11: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 250hPa

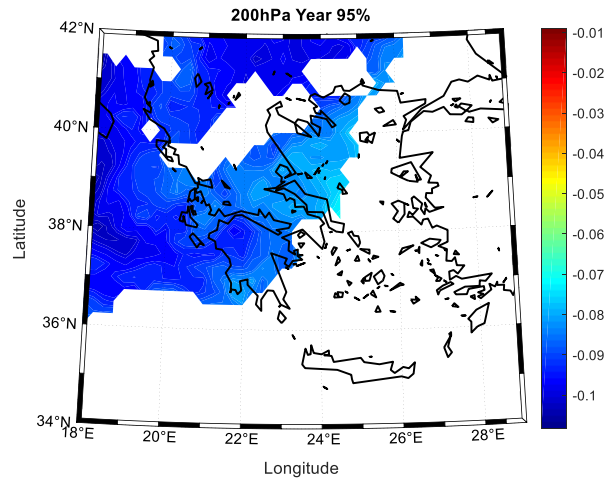


Σχήμα 10: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 250hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

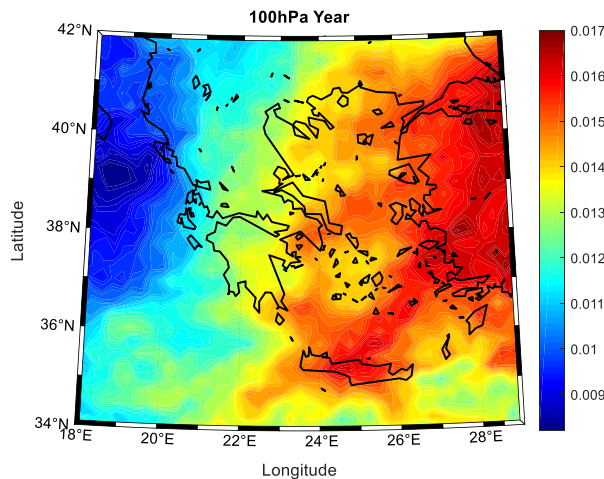
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



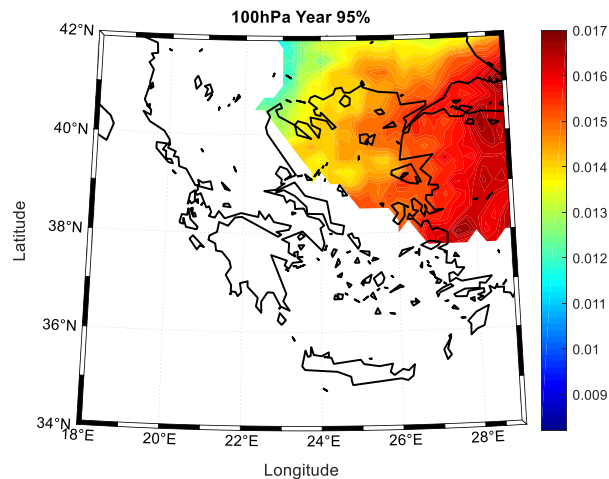
Σχήμα 12: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 200hPa



Σχήμα 13: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 200hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%



Σχήμα 14: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 100hPa



Σχήμα 15: Κατανομή της κλιματικής τάσης της σχετικής υγρασίας στα 100hPa όπου τα σημεία εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα 95%

Κοιτώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν στους χάρτες μπορούν να γίνουν τα πρώτα σχόλια. Αρχικά είναι εμφανές ότι υπάρχουν και θετικές και αρνητικές τάσεις. Χαμηλά στην Τροπόσφαιρα υπερिशύουν οι θετικές τάσεις χωρίς να λείπουν και αρνητικές τιμές και όσο ανεβαίνουμε σε ύψος μέχρι την μέση Τροπόσφαιρα και περίπου τα 600hPa όπου οι τάσεις τείνουν να γίνουν μηδενικές. Στην συνέχεια καθώς φτάνουμε στην ανώτερη Τροπόσφαιρα και τα 250 hPa οι τάσεις γίνονται αρνητικές. Στην Στρατόσφαιρα η κατάσταση αντιστρέφεται και οι τάσεις γίνονται θετικές και καθώς ανεβαίνουμε σε ύψος μειώνονται και τείνουν να γίνουν και πάλι μηδενικές.

Αναλυτικότερα στο ισοβαρικό επίπεδο των 1000hPa, αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή της δυτικής Τουρκίας, στα παράλια της Μικράς Ασίας, και στο ηπειρωτικό μέρος της

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

Ελλάδος, όπου οι τιμές κυμαίνονται από $-0.2\%/year$ έως $-0.04\%/year$. Στις θαλάσσιες περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου εμφανίζονται θετικές τιμές για τις κλιματικές τάσεις. Οι τιμές κυμαίνονται από $0.01\%/year$ έως $0.04\%/year$. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώνονται στη βορειοδυτική θαλάσσια περιοχή του πεδίου κοντά στην Ιταλία.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa αρνητικές τάσεις εμφανίζονται σε όλη την περιοχή της δυτικής Τουρκίας και στο μεγαλύτερο κομμάτι της ηπειρωτικής Ελλάδας με τις τιμές των τάσεων να κυμαίνονται από $-0.15\%/year$ έως $-0.02\%/year$. Τα παράλια της δυτικής Ελλάδας καθώς και οι θαλάσσιες περιοχές του Ιονίου και του Αιγαίου, συμπεριλαμβανομένης και της Κρήτης εμφανίζουν θετικές τάσεις με τιμές έως $0.04\%/year$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στο βορειοανατολικό κομμάτι του πεδίου και ειδικότερα στις περιοχές της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και στην βορειοδυτική Τουρκία, όπου οι τάσεις κυμαίνονται από $-0.1\%/year$ έως και μηδενικές. Θετικές τάσεις σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο παρουσιάζονται στις περιοχές της Δυτικής Ελλάδας και στις θαλάσσιες περιοχές του πεδίου. Ειδικότερα οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται στην περιοχή των Δωδεκανήσων όπου οι τιμές των τάσεων φτάνουν $0.1\%/year$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στο βορειοανατολικό κομμάτι του πεδίου με τις τιμές να κυμαίνονται από $-0.1\%/year$ έως και μηδενικές. Σε όλο το υπόλοιπο πεδίο οι τιμές είναι θετικές και οι μεγαλύτερες τιμές για τις θετικές κλιματικές τάσεις εμφανίζονται στην περιοχή των νοτιοδυτικών παράλιων της Μικράς Ασίας, όπου φτάνουν έως $0.07\%/year$.

Στην συνέχεια θα γίνει ανάλυση για την ανώτερη τροπόσφαιρα και πιο συγκεκριμένα για το ισοβαρικό επίπεδο των 250hPa όπου αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται για όλο το πεδίο. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις εμφανίζονται στην δυτική περιοχή του πεδίου και καθώς κινούμαστε προς τα ανατολικά του πεδίου βαθμιαία αυξάνονται και τείνουν να γίνουν μηδενικές. Οι τιμές των τάσεων κυμαίνονται από $-0.13\%/year$ έως $-0.04\%/year$.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 200hPa αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται σε όλο το πεδίο. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τιμές παρουσιάζονται στην βορειοδυτική περιοχή του πεδίου και βαθμιαία αυξάνονται και τείνουν να γίνουν μηδενικές προς την νοτιοανατολική περιοχή του πεδίου. Οι τιμές των αρνητικών κλιματικών τάσεων σε αυτό το ισοβαρικό επίπεδο κυμαίνονται από $-0.1\%/year$ έως $-0.01\%/year$.

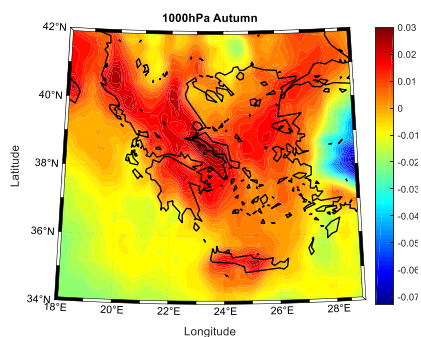
Τέλος στα 100hPa θετικές τάσεις παρουσιάζονται σε όλο το πεδίο. Οι μικρότερες αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στην δυτική περιοχή του πεδίου και βαθμιαία αυξάνονται καθώς πηγαίνουμε προς την ανατολική πλευρά του πεδίου. Οι τιμές των κλιματικών τάσεων κυμαίνονται από $0.009\%/year$ έως $0.017\%/year$.

Στα ανώτερα ισοβαρικά επίπεδα της στρατόσφαιρας οι κλιματικές τάσεις είναι θετικές για όλη την περιοχή του πεδίου και τείνουν προς μηδενικές τιμές καθώς ανεβαίνουμε σε ύψος.

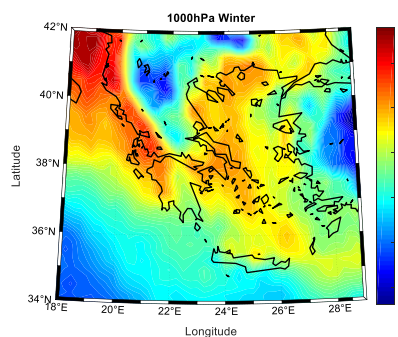
8.2 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα ανά εποχή

Σε αυτήν την ενότητα έγινε επεξεργασία στα δεδομένα των χρονοσειρών και κατάλληλος διαχωρισμός σε εποχές. Έπειτα χρησιμοποιώντας το εποχικό κριτήριο Mann-Kendall με τις κατάλληλες προσαρμογές, θα εξαχθούν τα αντίστοιχα εποχικά αποτελέσματα. Τα εποχικά αποτελέσματα δίνονται παρακάτω.

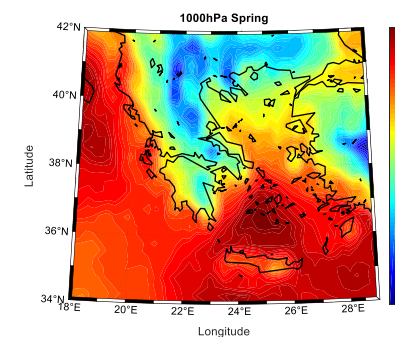
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



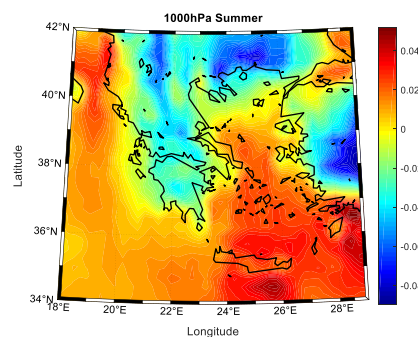
Σχήμα 16: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



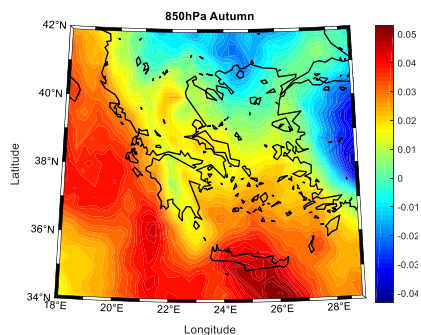
Σχήμα 17: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο του χειμώνα



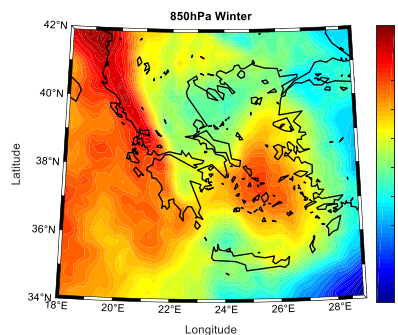
Σχήμα 18: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο της άνοιξης



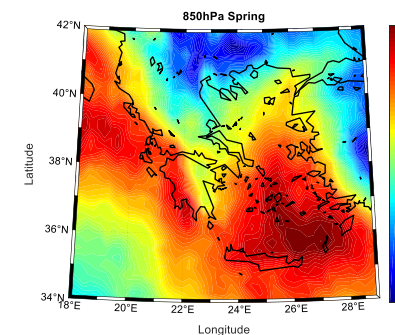
Σχήμα 19: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 1000 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού



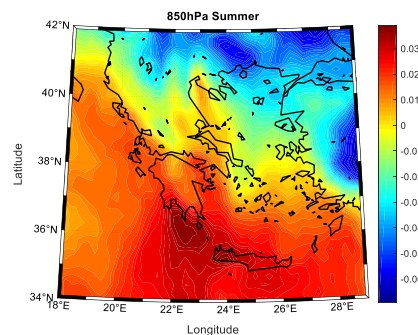
Σχήμα 20: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 21: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο του χειμώνα

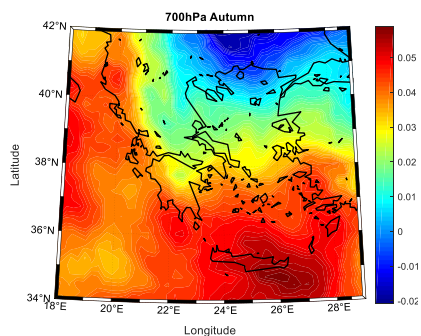


Σχήμα 22: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο της άνοιξης

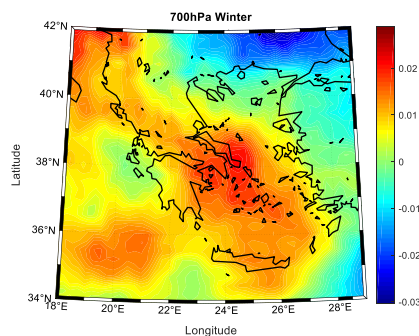


Σχήμα 23: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 850 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού

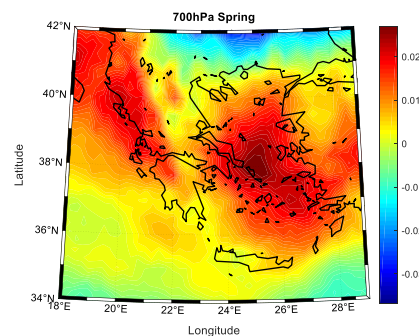
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



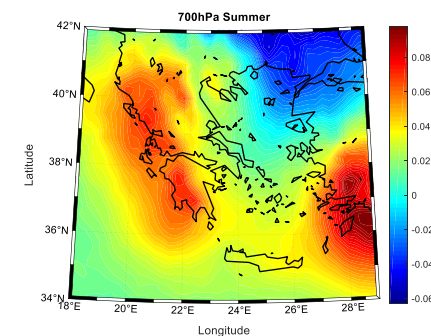
Σχήμα 24: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



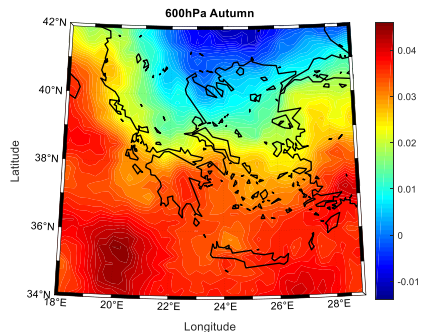
Σχήμα 25: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο του χειμώνα



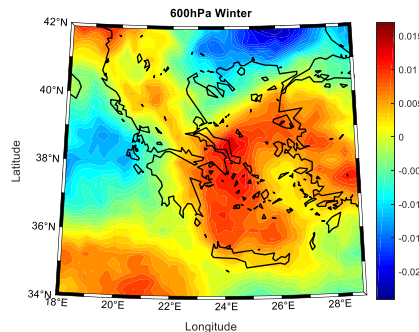
Σχήμα 26: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο της άνοιξης



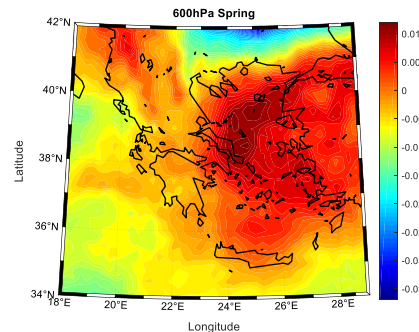
Σχήμα 27: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού



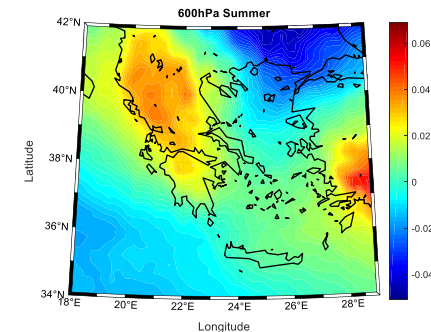
Σχήμα 28: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 29: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο του χειμώνα

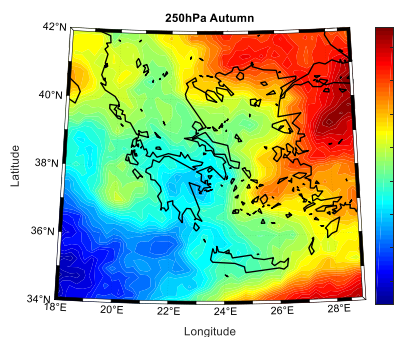


Σχήμα 30: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο της άνοιξης

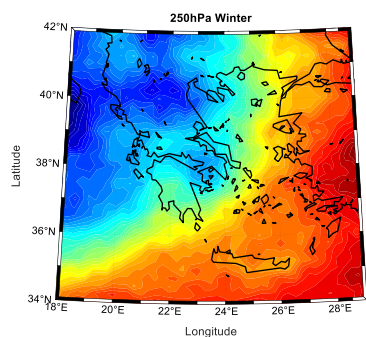


Σχήμα 31: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 600 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού

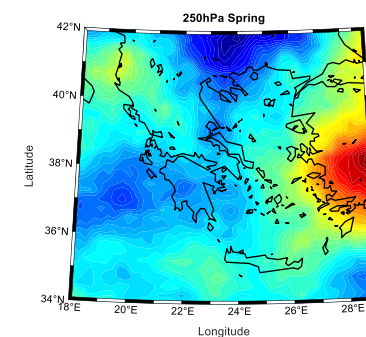
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



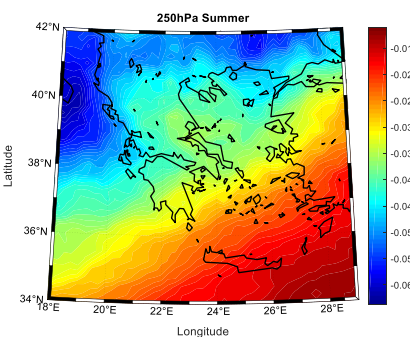
Σχήμα 32: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 250 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



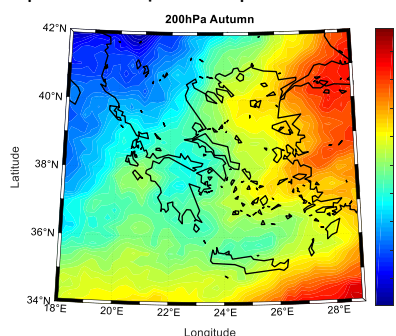
Σχήμα 33: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 250 hPa για την περίοδο του χειμώνα



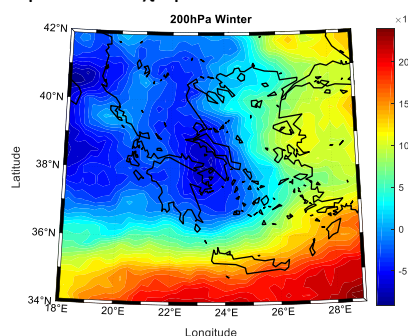
Σχήμα 34: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 250 hPa για την περίοδο της άνοιξης



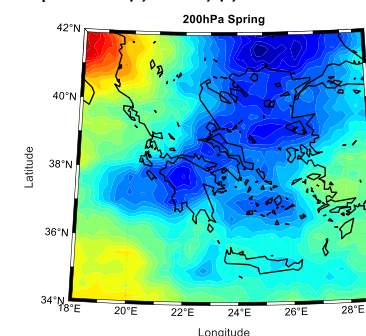
Σχήμα 35: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 250 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού



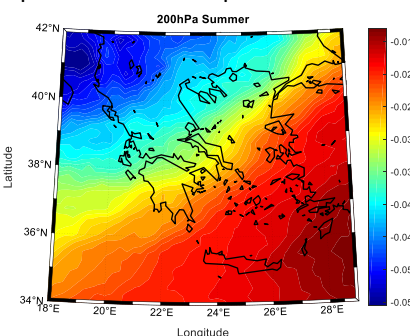
Σχήμα 36: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 200 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 37: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 200 hPa για την περίοδο του χειμώνα

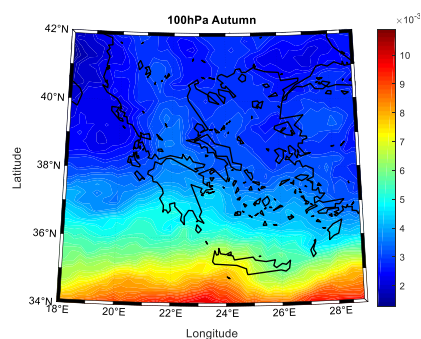


Σχήμα 38: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 200 hPa για την περίοδο της άνοιξης

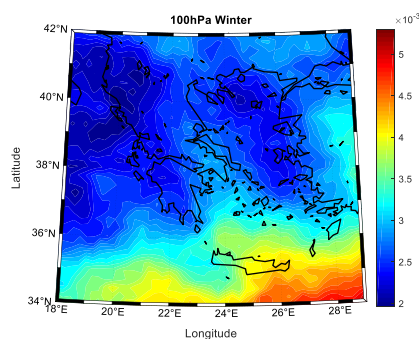


Σχήμα 39: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 200 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού

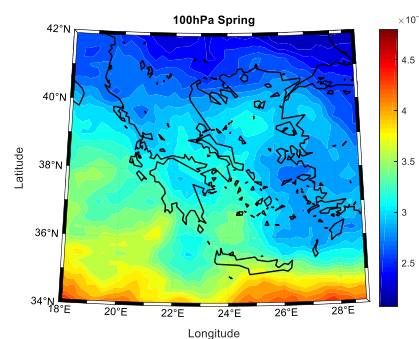
Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας



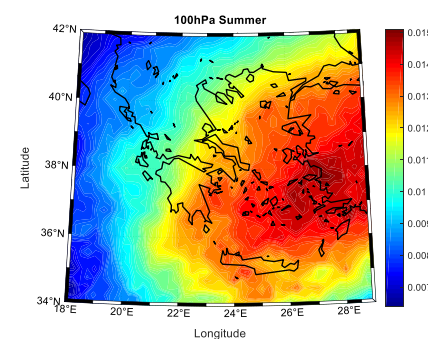
Σχήμα 40: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 100 hPa για την περίοδο του φθινοπώρου



Σχήμα 41: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 100 hPa για την περίοδο του χειμώνα



Σχήμα 42: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 100 hPa για την περίοδο της άνοιξης



Σχήμα 43: Εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων της σχετικής υγρασίας στα 100 hPa για την περίοδο του καλοκαιριού

Αρχικά να σημειωθεί ότι χάρτες δίνονται για τα ισοβαρικά επίπεδα για τα οποία δεν είναι σχεδόν μηδενικές οι τάσεις. Αναλύοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν στους παραπάνω χάρτες η πρώτη διαπίστωση είναι ότι υπάρχουν και θετικές και αρνητικές τάσεις σε όλες τις εποχές. Επίσης σε όλους τα χάρτες τα αποτελέσματα των τάσεων δεν απεικονίζονται σε επίπεδο σημαντικότητας 95% ή 99% γιατί ήταν πολύ λίγα τα σημεία τα οποία ανταποκρινόταν σε αυτά τα επίπεδα.

Αναλυτικότερα στα 1000hPa εμφανίζονται θετικές τάσεις για τις περιόδους του καλοκαιριού, της άνοιξης και του φθινοπώρου κυρίως πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές, αλλά και την ηπειρωτική χώρα για την περίοδο του φθινοπώρου. Την περίοδο του χειμώνα τα σημεία του πεδίου εμφανίζουν περισσότερες φορές αρνητικές τάσεις. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 850hPa παρουσιάζονται θετικές τάσεις για όλες τις περιόδους κυρίως πάνω από θαλάσσιες περιοχές. Αρνητικές τάσεις για όλες τις χρονικές περιόδους παρουσιάζονται κυρίως πάνω από ηπειρωτικές περιοχές, αλλά και πάνω από θαλάσσιες περιοχές για την περίοδο του χειμώνα. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του φθινοπώρου. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του χειμώνα.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 700hPa παρουσιάζονται θετικές τάσεις για όλες τις περιόδους κυρίως πάνω από θαλάσσιες περιοχές αλλά και πάνω από περιοχές όπως η δυτική Ελλάδα, τις περιόδους της άνοιξης και του καλοκαιριού. Αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται κυρίως πάνω από ηπειρωτικές περιοχές στο βόρειο μέρος του εξεταζόμενου πεδίου. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 600hPa παρουσιάζονται θετικές τάσεις για όλες τις περιόδους κυρίως πάνω από θαλάσσιες περιοχές αλλά και πάνω από ηπειρωτικές περιοχές της Ελλάδος και της Τουρκίας. Αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται κυρίως πάνω από ηπειρωτικές περιοχές στο βόρειο μέρος του εξεταζόμενου πεδίου. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 250hPa θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο της άνοιξης στην περιοχή της δυτικής Τουρκίας. Αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται για όλες τις περιόδους σε όλη την περιοχή του εξεταζόμενου πεδίου. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο της άνοιξης. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 200hPa θετικές τάσεις παρουσιάζονται τις περιόδους του χειμώνα και της άνοιξης σε θαλάσσιες κυρίως περιοχές. Αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται σε όλες τις περιόδους και για όλη την περιοχή του πεδίου. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

την περίοδο της άνοιξης. Οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του φθινοπώρου.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 100hPa μόνο θετικές τάσεις παρουσιάζονται για όλες τις περιόδους και σε όλη την περιοχή του εξεταζόμενου πεδίου. Οι μεγαλύτερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του καλοκαιριού. Οι μικρότερες θετικές τάσεις παρουσιάζονται την περίοδο του φθινοπώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κλιματικών τάσεων για τις περιοχές της Ευρώπης αρχικά και εν συνεχεία της Ελλάδας παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Η χρονική περίοδος μελέτης αφορά τα 40 χρόνια από το 1979 έως και το 2018. Τα αποτελέσματα αφορούν τις κλιματικές τάσεις της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους και τις κλιματικές τάσεις της θερμοκρασίας, της ειδικής υγρασίας και της σχετικής υγρασίας μέσα στην ατμόσφαιρα με χρήση των δεδομένων reanalysis από την βάση ERA5.

9.1 Κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας

Για την περιοχή της Ευρώπης, σύμφωνα με τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, στην επιφάνεια επικρατούν θετικές τάσεις θερμοκρασίας σε όλη την υπό εξέταση περιοχή με τις ηπειρωτικές περιοχές να εμφανίζουν μεγαλύτερες τάσεις σε σχέση με τις θαλάσσιες. Εξετάζοντας καθ' ύψος τα αποτελέσματα μέσα στην τροπόσφαιρα οι κλιματικές τάσεις της θερμοκρασίας μειώνονται μέχρι το ύψος της τροπόπαυσης και στην συνέχεια γίνονται αρνητικές για την περιοχή της στρατόσφαιρας. Τα αποτελέσματα είναι στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% για ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του υπό εξέταση πεδίου.

Για την περιοχή της Ελλάδας, στην επιφάνεια επικρατούν θετικές τάσεις σε όλη την περιοχή και τα αποτελέσματα είναι στατιστικά σημαντικά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Οι μικρότερες κλιματικές τάσεις παρατηρούνται στην περιοχή της δυτικής Ελλάδας καθώς και στις θαλάσσιες περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου και οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στην ηπειρωτική περιοχή της Μακεδονίας. Είναι άξιο αναφοράς ότι οι τοπικές κλιματικές τάσεις θερμοκρασίας δεν μπορούν να συσχετιστούν πλήρως με τις αυξημένες συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που έχουν προκληθεί από τον άνθρωπο γενή παράγοντα. Πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι τοπικοί παράγοντες. Για παράδειγμα στην εξέταση μεγάλων πόλεων όπως η Αθήνα έχει διαπιστωθεί ότι η ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας αντιπροσωπεύει περίπου το μισό της έντασης της ετήσιας τάσης της θέρμανσης (Santamouris et al., 2015). Στην εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων παρατηρούνται θετικές τάσεις ιδιαίτερα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές τις περιόδους της άνοιξης και του καλοκαιριού και μικρότερες αλλά και πάλι θετικές τις περιόδους του χειμώνα και του φθινοπώρου. Μια αρκετά ενδιαφέρουσα πτυχή της αύξησης της θερμοκρασίας είναι η συμβολή της στο μέγεθος των φαινομένων ξηρασίας. Η συνδυασμένη επίδραση των κλιματικών τάσεων θέρμανσης μαζί με τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης σε μια περιοχή, θα μπορούσαν να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση των συνθηκών που οδηγούν σε ξηρές συνθήκες στην περιοχή αυτή (Giannopoulou et al., 2014).

Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν καθ' ύψος υποδεικνύουν θετικές κλιματικές τάσεις μέσα στην τροπόσφαιρα οι οποίες είναι βαθμιαία μειούμενες μέχρι να μηδενιστούν περίπου στο ύψος της τροπόπαυσης. Στην συνέχεια αντιστρέφονται σε αρνητικές κλιματικές τάσεις μέσα στην

στρατόσφαιρα οι οποίες βαθμιαία με την σειρά τους αυξάνονται μέχρι να πάρουν τις μεγαλύτερες τιμές τους στο ύψος της στρατόπαυσης. Οι αρνητικές τιμές των τάσεων υποδεικνύουν την ψύξη της στρατόσφαιρας για αυτή την περίοδο φαινόμενο που πιθανόν να οφείλεται στην μείωση του όζοντος σε αυτό το ύψος. Η εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων ακολουθεί το ίδιο μοτίβο καθ' ύψος. Για τις περιόδους της άνοιξης και του καλοκαιριού παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες τιμές για τις τάσεις μέσα στην τροπόσφαιρα όσο αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας. Στην στρατόσφαιρα τις περιόδους του χειμώνα και του φθινοπώρου οι κλιματικές τάσεις λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές που αφορούν την μείωση της θερμοκρασίας σε αυτή την περιοχή.

9.2 Κλιματικές τάσεις ειδικής υγρασίας

Για την περιοχή της Ευρώπης τα αποτελέσματα των κλιματικών τάσεων για την ειδική υγρασία μέσα στην τροπόσφαιρα δείχνουν θετικές τάσεις ιδιαίτερα για την θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου. Ιδιαίτερα στα χαμηλά επίπεδα της τροπόσφαιρας η αύξηση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα επίπεδα της ατμόσφαιρας πιθανώς λόγω των ιδιαίτερα μεγάλων θετικών τάσεων της θερμοκρασίας και της αυξημένης εξάτμισης που λαμβάνει χώρα στην Μεσόγειο. Οι κλιματικές τάσεις είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και της κεντρικής Ευρώπης χαμηλά στην τροπόσφαιρα. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Ελλάδας, οι κλιματικές τάσεις είναι αυξημένες για τις θαλάσσιες περιοχές σε σχέση με τις ηπειρωτικές πιθανώς για τους λόγους που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Τα αποτελέσματα μέσα στην τροπόσφαιρα παρουσιάζονται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η εποχική κατανομή των κλιματικών τάσεων εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές χαμηλά στην τροπόσφαιρα τις περιόδους του καλοκαιριού και της άνοιξης.

9.3 Κλιματικές τάσεις σχετικής υγρασίας

Για την περιοχή της Ευρώπης τα αποτελέσματα των κλιματικών τάσεων που αφορούν την σχετική υγρασία παρουσιάζουν και θετικές και αρνητικές τιμές. Υπάρχει μια γεωγραφική ποικιλία στην κατανομή αυτών των κλιματικών τάσεων με τις θετικές τάσεις να βρίσκονται συνήθως πάνω από θαλάσσιες περιοχές και τις αρνητικές πάνω από ηπειρωτικές.

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και για την περιοχή της Ελλάδας. Εδώ πρέπει να σημειωθεί η σχέση της σχετικής υγρασίας με την θερμοκρασία και την ειδικής υγρασίας με αποτέλεσμα οι τιμές των τάσεων να επηρεάζονται τόσο από την υγρασία όσο και από την θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα για την Ελλάδα ποικίλλουν γεωγραφικά και εποχικά και τα σημεία που παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδα εμπιστοσύνης 95% και 99% είναι σχετικά λίγα.

9.4 Μελλοντική χρήση των δεδομένων reanalysis για την εκτίμηση διαφόρων κλιματικών παραμέτρων

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της μελέτης και κάνοντας μια σύγκριση με άλλες αντίστοιχες μελέτες οι οποίες χρησιμοποιούν δεδομένα από επίγειες παρατηρήσεις για τον υπολογισμό των αντίστοιχων κλιματικών τάσεων παρατηρείται μια συσχέτιση των αποτελεσμάτων. Άρα οι χρονοσειρές που παράγονται με την μέθοδο της επανάλυσης είναι ιδανικές να χρησιμοποιηθούν για ένα τέτοιο σκοπό. Είναι εξαιρετικά χρήσιμο οι χρονοσειρές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην κλιματολογία γενικότερα να μην παρουσιάζουν κενά στις μετρήσεις.

Επίσης η χρήση των δεδομένων reanalysis από την βάση ERA5 σε διάφορα κλιματικά μοντέλα διαφορετικών κλιματικών σεναρίων είναι μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα μελέτη της οποίας τα αποτελέσματα θα ήταν πολύ χρήσιμα για την επιστημονική κοινότητα, στα πεδία της πρόγνωσης και κατανόησης της κλιματικής αλλαγής και του κλίματος γενικότερα. Η παραγωγή και επεξεργασία των δεδομένων αυτών ανοίγει καινούριους δρόμους στην εξέταση του κλίματος και των κλιματικών παραμέτρων του.

Φαινόμενα όπως η ενίσχυση του φυσικού φαινομένου του θερμοκηπίου ή η αύξηση των συνθηκών ξηρασίας ή υγρασίας, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του κλίματος. Άρα η μελέτη των κλιματικών παραμέτρων και των τάσεων που αυτές εμφανίζουν, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην προσπάθεια που κάνει η επιστημονική κοινότητα για την κατανόηση του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής. Είναι γνωστό ότι το κλιματικό σύστημα είναι ένα πολύπλοκο σύστημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alimissis, A., Philippopoulos, K., Tzanis, C.G., Deligiorgi, D. (2018). Spatial estimation of urban air pollution with the use of artificial neural network models. *Atmos. Environ.* 191, 205–213.

Bengtsson, L., Hagemann S., and Hodges K. I. (2004). Can climate trends be calculated from reanalysis data? , *J. Geophys. Res.*, 109, D11111, doi:10.1029/2004JD004536.

Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Holm E.V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thepaut J.-N., Vitart F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 553–597. doi:10.1002/qj.828

Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Sabater J. M., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C., Abdalla S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M., De Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Haimberger L., Healy S., Hogan R. J., Hólm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., de Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S., Thépaut J. N. (2020) The ERA5 global reanalysis. *QJRMeteorol Soc.* 2020;146:1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

IPCC (2013). *Climate change 2013: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge

IPCC, (2018). *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

Kendall, M.G., (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, UK

K. Giannopoulou, I. Livadaa, M. Santamouris, M. Saliari, M. Assimakopoulos, Y. Caouris, (2014). The influence of air temperature and humidity on human thermal comfort over the greater Athens area. *Sustainable Cities and Society* 10, 184–194

Mann, H.B.,(1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245–259

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

M. Gocic , S. Trajkovic, (2012). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change* 100 172–182

Modarres, R., Silva, V.P.R., (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 70, 344–355.

Mora, C., Spirandelli, D., Franklin, E.C., Lynham, J., Kantar, M.B., Miles, W., Smith, C.Z., Freel, K., Moy, J., Louis, L.V., Barba, E.W., Bettinger, K., Frazier, A.G., Colburn, I.X., F., J., Hanasaki, N., Hawkins, E., Hirabayashi, Y., Knorr, W., Little, C.M., Emanuel, K., Sheffield, J., Patz, J.A., Hunter, C.L., (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nat. Clim. Chang.*

M. Santamouris, C. Cartalis, A. Synnefa. (2015) Local urban warming, possible impacts and a resilience plan to climate change for the historical center of Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society* 19, 281–291

Peixoto J. P. and Oort A. H, (1992). *Physics of Climate*

Sen, P.K., (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379–1389.

Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., (2011a). Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change* 79 (1–2), 1–10.

Tabari, H., Hosseinzadeh Talaei, P., (2011b). Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. *Journal of Hydrology* 396 (3–4), 313–320.

Tabari, H., Marofi, S., (2011). Changes of pan evaporation in the west of Iran. *Water Resources Management* 25, 97–111

Tzanis, C. (2009). On the relationship between total ozone and temperature in the troposphere and the lower stratosphere. *International Journal of Remote Sensing*, 30(23), 6075–6084.

Tzanis, C.G.; Koutsogiannis, I.; Philippopoulos, K.; Kalamaras, N. (2020). Multifractal Detrended Cross-Correlation Analysis of Global Methane and Temperature. *Remote Sens.*, 12, 557.

Tzanis, C. G., Alimissis, A., Philippopoulos, K., Deligiorgi, D. (2019). Applying linear and nonlinear models for the estimation of particulate matter variability. *Environmental Pollution*, 246, 89–98.

Tzanis, C.G., Koutsogiannis, I., Philippopoulos, K., Deligiorgi, D. (2019) Recent climate trends over Greece. *Atmos. Res.*, 230, 104623

Tzanis, C., Varotsos, C. A. (2008). Tropospheric aerosol forcing of climate: A case study for the greater area of Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 29(9), 2507–2517.

WMO Global Atmosphere Watch, (2020)

Δυναμική βασικών κλιματικών παραμέτρων στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Ελλάδας

WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019, (2020)

Βαρώτσος Κ.,(2011). Ειδικά Κεφάλαια Ατμοσφαιρικής Φυσικής και Χημείας

Χαλδούπης Χ.,(2015). Εισαγωγή στην Ατμοσφαιρική Φυσική

Χ.Σ.Σαχσαμάνογλου, Τ.Ι.Μακρογιάννης, (1998). Γενική Μετεωρολογία