



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΕΛΠΟΜΕΝΗ Α. ΜΟΥΡΟΥΖΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
'ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'*

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΜΕΛΠΟΜΕΝΗ Α. ΜΟΥΡΟΥΖΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΟΝ
ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
‘Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον’

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 12/06/2019

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αναπλ.Καθηγήτρια Αναγνωστοπούλου Χριστίνα, Επιβλέπουσα
Καθηγητής Δημητρακόπουλος Αλέξανδρος, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
Επ. Καθηγήτρια Χατζάκη Μαρία, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

© Μελπομένη Α. Μουρούζη, Γεωλόγος, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΟΝ
ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ– *Μεταπτυχιακή
Διπλωματική Εργασία*



© Melpomeni A. Mourouzi, Geologist, 2019

All rights reserved.

Climate and forest fires. Assessment of forest fire risk in climate change in Greece using a regional climate model – *MasterThesis*

Citation:

Μουρούζη Α. Μ., 2019. –Κλίμα και δασικές πυρκαγιές. Εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς στον Ελλαδικό χώρο με τη χρήση περιοχικούκλιματικού μοντέλου. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 86σελ.

Mourouzi A. M., 2019. – Climate and forest fires. Assessment of forest fore risk in climate change in Greece using a regional climate model, 86 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Πρόλογος σελ.1
2. Εισαγωγή σελ.2
3. Δεδομένα & Μεθοδολογία σελ.19
4. Επεξεργασία Δεδομένων σελ.28
5. Δημιουργία Χαρτών σελ.62
6. Συμπεράσματα σελ.76
7. Βιβλιογραφία σελ.84



1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα «ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ, ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ» εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τομέα Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Αναγνωστοπούλου Χριστίνα για την καθοδήγηση και την άμεση και ουσιαστική βοήθεια που μου παρείχε. Είμαι, επίσης, ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Δημητρακόπουλο και κ. Χατζάκη για την βοήθεια τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τομέα για τις πολύτιμες γνώσεις που μας μεταλαμπάδευσαν, καθώς και για βοήθεια που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αγάπη και την υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς σε όλο τον Ελλαδικό χώρο χρησιμοποιώντας 2 κλιματικά μοντέλα, καθώς και οι μελλοντικές αλλαγές αυτού μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

2.1 Κλίμα Μεσογείου-Ελλάδας

Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από υγρούς, ήπιους χειμώνες και μεγάλα, θερμά, ξηρά καλοκαίρια. Το μεγαλύτερο μέρος των ετήσιων βροχοπτώσεων σημειώνεται τον χειμώνα και οι μήνες ξηρασίας μπορεί να είναι πολλοί, με την εξαίρεση θερινών καταιγίδων. Λόγω της παρατεταμένης καλοκαιρινής ξηρασίας οι πυρκαγιές είναι, επίσης, χαρακτηριστικό φαινόμενο του μεσογειακού κλίματος.

Αυτός ο τύπος κλίματος εμφανίζεται στη λεκάνη της Μεσογείου, από όπου πήρε και το όνομά του, αλλά και σε ακόμα 4 περιοχές του πλανήτη, σε μεγάλο μέρος της Καλιφόρνια, στην κεντρική Χιλή, σε μέρος της δυτικής και νότιοδυτικής Αυστραλίας και στη νοτιοδυτική Νότιο Αφρική.

Κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη διαμόρφωση των μεσογειακών κλιματικών συνθηκών, είναι η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, το γεωγραφικό πλάτος, το ανάγλυφο και οι θερμοκρασίες επιφανειακών υδάτων των γύρω θαλάσσιων όγκων.

Σε αυτά τα πλαίσια, παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις, το μεσογειακό κλίμα εμφανίζεται σε περιοχές στα δυτικά των ηπείρων σε γεωγραφικό πλάτος 30 με 40 μοίρες και στα δύο ημισφαίρια και σε περιοχές κοντά σε μεγάλους όγκους νερού.

Παρά τα κοινά χαρακτηριστικά, δε λείπουν και οι διαφορές μεταξύ των παραπάνω τύπων μεσογειακού κλίματος, τόσο μεταξύ, όσο και εντός των περιοχών, που αναφέρθηκαν. Σε κάθε περίπτωση, οι τρεις περιοχές του νοτίου ημισφαιρίου εμφανίζουν πιο εύκρατο κλίμα, στη Νότιο Αφρική και την Αυστραλία οι καλοκαιρινές βροχές είναι περισσότερες από τις άλλες περιοχές, στη Χιλή και την Καλιφόρνια, είναι συχνή η καλοκαιρινή, θαλασσινή ομίχλη. Στη λεκάνη της Μεσογείου, από την άλλη πλευρά, ιδιαίτερα στα βόρεια και ανατολικά, το κλίμα είναι πιο κοντά στο ηπειρωτικό και δεν είναι σπάνιοι οι ξαφνικοί παγετοί.

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα περιλαμβάνουν διάφορες δομές βλάστησης: δάση, θαμνώδεις εκτάσεις, εκτάσεις με μικρότερους θάμνους, πόες.

Δάση: Μικτά δάση στην Καλιφόρνια και τη λεκάνη της Μεσογείου. Στη Μεσόγειο, ενδεικτικά στην Ελλάδα, σε μεγαλύτερα υψόμετρα κυριαρχούν οι φυλλοβόλες βελανιδιές

(*Quercus* spp.), τα σφενδάμια (*Acers* spp), οι φλαμουριές (*Tilias* spp), η καστανιά (*Castanea* spp), η καρυδιά (*Juglans* spp), χαμηλότερα δάση κωνοφόρων (πολύ συχνά τα πεύκα (*Pinus* spp)). Το χαρακτηριστικότερο είδος βλάστησης των μεσογειακών οικοσυστημάτων είναι οι θαμνώδεις εκτάσεις. Κυριαρχούν ξυλώδεις, αειθαλείς, σκληρόφυλλοι θάμνοι ή μικρά δέντρα, που έχουν αναπτύξει διάφορες στρατηγικές ανάπτυξης και χρησιμοποίησης των διαθέσιμων υδάτων κατά τη θερινή ξηρή περίοδο. Ονομάζονται μακία βλάστηση στη Μεσόγειο, chaparral στην Καλιφόρνια, matorral στη Χιλή, fynbos στη Νότιο Αφρική, και mallee και kwongan στην Αυστραλία.

Χαρακτηριστική μακία βλάστηση είναι η αγριελιά (*Olea europaea*), η κουμαριά (*Arbutus* spp), η χαρουπιά (*Ceratonia siliqua*), η δάφνη (*Laurus nobilis*), ο σχίνος (*Pistacia lentiscus*), οι άρκευθοι (*Juniperus*), τα φιλλύκια (*Phyllirela latifolia*), η αγριοτσικουδιά (*Pistacia terebinthus*), η αριά (*Quercus ilex*).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του Μεσογειακού οικοσυστήματος είναι οι μικρότεροι θάμνοι. Αυτοί είναι συνήθως χαμηλοί και αραιοί, με μικρά φύλλα και αγκαθωτά κλαδιά. Εμφανίζονται κατά κύριο λόγο κοντά στις ακτές και έχουν προσαρμοστεί στο αλάτι και τον αέρα. Αυτού του είδους η βλάστηση γύρω από τη Μεσόγειο είναι γνωστή ως φρύγανα στην Ελλάδα, garrigue στη Γαλλία, gariga στην Ιταλία, tomillares στην Ισπανία, batha στο Ισραήλ, ενώ στις άλλες περιοχές με μεσογειακό κλίμα καλείται softchaparral στην Καλιφόρνια, strandveld στη Ν. Αφρική, coastal matorral στη Χιλή και sand-heath και kwongan στην Αυστραλία. Χαρακτηριστικά φρύγανα στην Ελλάδα: θυμάρι, ρίγανη, λεβάντα, φασκομηλιά, θρούμπα, γαλατσίδα, ασφάκα, γαλαστοιβή, λαδανιά, λυχναράκι, αφάνα. Ανάμεσα σε αυτό το είδος βλάστησης αναπτύσσονται και πολλά ποώδη είδη.

2.2 Κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς FWI

Πυρκαγιά είναι μια γρήγορη καύση κατά την οποία εκλύεται θερμότητα. Για να εκδηλωθεί μια πυρκαγιά είναι απαραίτητοι 3 παράγοντες (θερμότητα, οξυγόνο, καύσιμη ύλη), το λεγόμενο τρίγωνο της φωτιάς.



Ο κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς ορίστηκε από την Canadian Committee on Forest Fire Management (Merrill and Alexander 1987) ως: "Ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των παραγόντων του περιβάλλοντος της φωτιάς που καθορίζει την ευκολία ανάφλεξης, τον ρυθμό της εξάπλωσης, την δυσκολία αντιμετώπισης και την επίδραση της φωτιάς σε μια δασική περιοχή".

Το Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) είναι το εθνικό σύστημα για την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς στον Καναδά. Το Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System είναι ένα υπο-σύστημα του CFFDRS και είναι στην τωρινή του μορφή από το 1970.

Ο σκοπός του συστήματος FWI είναι να δειχθούν οι επιδράσεις του κλίματος στην καύσιμη ύλη και στις πυρκαγιές. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς (πχ. καύσιμη ύλη, τοπογραφία) αντιμετωπίζονται σε διαφορετικό τμήμα στο CFFDRS.

Η πρόγνωση του κινδύνου έναρξης των πυρκαγιών βασίζεται στην ημερήσια μέτρηση μετεωρολογικών παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν την υγρασία της καύσιμης ύλης με τελικό σκοπό την εκτίμηση της ευφλεκτικότητας της καύσιμης ύλης και συνεπώς την πιθανότητα έναρξης δασικών πυρκαγιών. Υπάρχουν 2 συστήματα πρόγνωσης: το Αμερικανικό και το Καναδικό σύστημα όπου εκτιμούν και την αναμενόμενη δυσκολία αντιμετώπισης των πυρκαγιών. Στην Ελλάδα γενικά χρησιμοποιείται το Καναδικό σύστημα (Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS)).



Σχ. 1 Καναδικό σύστημα πρόγνωσης κινδύνου δασικών πυρκαγιών(Δημητρακόπουλος Α. Π, 2009, Δασικές Πυρκαγιές)

Το Καναδικό Σύστημα Πρόγνωσης CWFIS (Canadian Wildland Fire Information System) περιλαμβάνει 6 συνιστώσες-δείκτες που ευθύνονται για τις συνέπειες της συγγραφής της καύσιμης ύλης και του ανέμου στην συμπεριφορά της φωτιάς.

Τα δεδομένα εισόδου στον υπολογισμό του δείκτη FWI περιλαμβάνουν το υψόμετρο και ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα από διάφορες πηγές. Το Geographic Information Systems (GIS) software χρησιμοποιείται για να παρεμβάλει τα μετεωρολογικά δεδομένα μεταξύ σταθμών για να παράγει πλεγματοειδείς χάρτες καιρού. Μετά υπολογίζονται οι συνιστώσες του συστήματος FWI σύμφωνα με τις εξισώσεις του VanWagner and Pickett (1985) για να παραχθούν οι χάρτες FWI.

Το CWFIS (Canadian Wildland Fire Information System) χρησιμοποιεί μετεωρολογικά δεδομένα από περίπου 900 σταθμούς στον Καναδά και στις βόρειες ΗΠΑ. Οι 700 από αυτούς λειτουργούν από το Canada (EC) ή από άλλες ομοσπονδιακές υπηρεσίες. 16 σταθμοί λειτουργούν υπό το National Weather Service (NWS) των ΗΠΑ και οι υπόλοιποι υπό επαρχιακές κυβερνήσεις του Nova Scotia, Quebec και Saskatchewan.

Τα δεδομένα από EC και NWS προέρχονται μέσω του δορυφόρου Telesat Canada's Anik satellite. Οι παρατηρήσεις καιρού συλλέγονται από Καναδικούς σταθμούς από το Canadian Meteorological Centre στο Montreal και μεταφέρονται στο Telesat Canada στο Toronto για να συνδεθούν με τον δορυφόρο Anik. Τα δεδομένα τα παίρνουν στο Northern Forestry Centre στο Edmonton για επεξεργασία και αποθήκευση.

Το σύστημα FWI απαιτεί παρατηρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου στις 12 GMT καθώς επίσης και 24ωρη βροχόπτωση. Αφού έχουν συλλεχθεί οι μεσημβρινές παρατηρήσεις για όλες τις χρονικές ζώνες, υπολογίζεται η 24ωρη βροχόπτωση από σταθμούς που κάνουν αναφορές (report) κάθε ώρα, 3 φορές τη μέρα, 4 φορές τη μέρα ή ακανόνιστα. Άλλες παρατηρήσεις όπως πχ η ταχύτητα του ανέμου, το σημείο δρόσου και η ατμοσφαιρική πίεση αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων για να χρησιμοποιηθούν μετά στην παρεμβολή. Αν ένας σταθμός δεν στείλει δεδομένα ή έχουν χαθεί τα δεδομένα, οι τιμές που λείπουν εκτιμούνται από κοντινούς σταθμούς με παρεμβολή *inversed distance weighted (IDW)*. Για τη θερμοκρασία και σχετική υγρασία, το IDW διορθώνεται από το υψόμετρο.

2.3 Μελέτες σχετικά με τον κίνδυνο πυρκαγιάς

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές για τη σχέση μεταξύ των κλιματικών συνθηκών και των πυρκαγιών. Τα περισσότερα περιστατικά πυρκαγιών εμφανίζονται το καλοκαίρι λόγω υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλής υγρασίας.

Στην Αμερική, οι M.D Flannigan et al.(2000) έκαναν μια μελέτη σχετικά με τον αντίκτυπο που έχει η κλιματική αλλαγή στα δάση των ΗΠΑ. Χρησιμοποίησαν 2 μοντέλα γενικής κυκλοφορίας, το CanadianGCM και το HadleyGCM για να εκτιμήσουν την δριμύτητα της αντιπυρικής περιόδου στο μέσο του επόμενου αιώνα. Υπολογίστηκε το SSR (Seasonal Severity Rating, ο οποίος είναι δείκτης που δείχνει την δυσκολία αντιμετώπισης πυρκαγιάς και είναι μια απο τις συνιστώσες του Canadian Forest Fire Weather Index System), για να εξεταστούν οι αλλαγές στην δριμύτητα της πυρκαγιάς. Βρήκαν ότι ο καιρός πριν την ανάφλεξη είναι πολύ σημαντικός για τον καθορισμό της υγρασίας της καύσιμης ύλης, η οποία καθορίζει αν η ανάφλεξη θα συμβεί και αν η φωτιά θα μεγαλώσει. Οι καιρικές συνθήκες που επηρεάζουν την υγρασία της καύσιμης ύλης είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η ταχύτητα του ανέμου και η ατμοσφαιρική υγρασία. Το CanadianGCM δείχνει μια αύξηση πάνω από 30% του SSR για την ΝΑ και κεντρο-δυτική ΗΠΑ και Αλάσκα, ενώ το HadleyGCM δείχνει αύξηση κοντά στο 20% στα ΒΑ και μείωση στις βόρειες περιοχές. Όσον αφορά στις μέγιστες τιμές SSR, το Canadian δείχνει αύξηση περίπου 30% στην Αλάσκα και κάτω από 10% για τις Δ. ΗΠΑ, ενώ το Hadley δείχνει αύξηση κάτω από 10% παντού εκτός από την Αλάσκα και την περιοχή από το ανατολικό Τέξας μέχρι το ανατολικό Κάνσας και το ΝΔ Μισούρι. Οι μέγιστες τιμές χρησιμοποιήθηκαν γιατί η φωτιά δημιουργείται κυρίως σε ακραίες καιρικές συνθήκες και όχι σε μέσες. Οι Prince and Rind (1994) δημιούργησαν ένα μοντέλο πυρκαγιών από κεραυνούς και εκτίμησαν την αλλαγή στις φωτιές από κεραυνούς όπως επίσης και στις καμμένες εκτάσεις στις ΗΠΑ με βάση το σενάριο 2XCO₂. Βρήκαν ότι θα υπάρχει μια αύξηση 44% στις φωτιές που προκαλούνται από κεραυνούς και μια αύξηση 78% στις καμμένες εκτάσεις. Οι Wotton and Flannigan (1993) εκτίμησαν ότι το μήκος της πυρικής περιόδου στον Καναδά θα αυξηθεί κατά 22% ή 30 μέρες σε κλίμα 2XCO₂. Μελέτες έδειξαν ότι η επιμονή των ράχων εμποδισμού (blocking ridges) στην ανώτερη τροπόσφαιρα θα αυξηθεί σε κλίμα 2XCO₂ (Lupo et al 1997). Οι ράχες σχετίζονται με ξηρές και θερμές συνθήκες στην επιφάνεια δηλαδή ευνοϊκές για εκδήλωση πυρκαγιών.

Μια άλλη μελέτη έγινε από τον Flannigan et al(1998). Η μέση θερμοκρασία του καλοκαιριού στο βόρειο ημισφαίριο έχει αυξηθεί από το 1850 (μικρή παγετώδης περίοδος), ενώ στη Σουηδία υπήρξε μια αύξηση την περίοδο 1860-1940 και τώρα οι τιμές έχουν φτάσει στις τιμές του 1860. Στον Καναδά, η θέρμανση είναι πολύ εμφανής και οι θερμοκρασίες έχουν αυξηθεί από το 1890 με ρυθμό 1,7°C/αιώνα. Αυτήν την περίοδο, όμως, η συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών έχει μειωθεί. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα μοντέλα αλλά η διαφωνία οφείλεται στο ότι η πυρκαγιά είναι αποτέλεσμα πολλών και περίπλοκων αλληλεπιδράσεων. Σε αυτήν την έρευνα υπολογίστηκε ο FWI και χρησιμοποιήθηκε το CanadianGCM. Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας, ειδικής υγρασίας, βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου στις 12:00 για 9 χρόνια για 2 προσομοιώσεις (1XCO₂, 2XCO₂). Καθορίστηκε η πυρική περίοδος για την Βόρεια Αμερική (1 Απριλίου-30 Σεπτεμβρίου) και για την Βόρεια Ευρώπη (1 Μαΐου- 31 Αυγούστου). Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση ή καμία αλλαγή στην συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών τον 20^ο αιώνα στην

Αμερική και αποδείχτηκε ότι η βροχόπτωση είναι ο κυρίαρχος παράγοντας που επηρεάζει τη συχνότητα. Όσον αφορά τις μέσες τιμές, οι τιμές FWI ήταν μικρές για τον Α. και Δ. Καναδά ενώ υπήρχαν σημαντικές αυξήσεις στην Β. Αμερική. Όσον αφορά τις μέγιστες τιμές, υπήρχαν χαμηλές τιμές FWI στον Α. Καναδά και υψηλές στον Δ. Καναδά. Για την Ευρώπη, αυξημένες μέσες τιμές FWI εντοπίζονται στην Ν Σουηδία και ακραίες τιμές στην ΝΑ Φινλανδία. Στην υπόλοιπη Β.Ευρώπη υπάρχει μείωση. Όσον αφορά στις μέγιστες τιμές, υπάρχει το ίδιο μοτίβο με τις μέσες με τη διαφορά ότι οι τιμές στη Ν Νορβηγία αυξήθηκαν. Συμπερασματικά, ο κίνδυνος πυρκαγιών θα μειωθεί στην Β.Ευρώπη ενώ θα αυξηθεί στην Ν.Σουηδία. Υπάρχουν διαφορές με άλλες μελέτες που λένε ότι θα υπάρχει αύξηση του SSR στον Καναδά, αλλά τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας είναι πιο ακριβής γιατί χρησιμοποιούν ημερήσια και όχι μηνιαία δεδομένα.

Αρχικά, οι Flannigan&Wagner (1991) σύγκριναν εποχιακές τιμές του fire severity rating (SSR) βάσει ενός μελλοντικού σεναρίου $2XCO_2$ (2050) και ενός $1XCO_2$ που προσεγγίζει τις παρούσες συνθήκες στον Καναδά. Χρησιμοποίησαν μηνιαίες ανωμαλίες θερμοκρασίας και βροχοπτώσεις από 3 GCM: Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Goddard Institute for Space Studies (GISS) και Oregon State University (OSU). Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των δασικών πυρκαγιών κατά 50% δηλ. αύξηση κατά 50% των καμμένων εκτάσεων.

Στη συνέχεια, οι Wotton&Flannigan (1993) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μήκος της αντιπυρικής περιόδου στον Καναδά θα αυξηθεί κατά 22% ή 30 μέρες σε σενάριο $2XCO_2$.

Αντίστοιχα, οι Stocks et al. (1998) χρησιμοποίησαν μηνιαία δεδομένα από 4 GCM για να εξετάσουν την κλιματική αλλαγή και τις ενδεχόμενες πυρκαγιές στα δάση του Καναδά και της Ρωσίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη αύξηση των εκτάσεων που παρουσιάζουν αυξημένο κίνδυνο έναρξης πυρκαγιών βάσει ενός σεναρίου $2XCO_2$. Έκαναν, επίσης, μια μηνιαία ανάλυση που έδειξε μια πρώιμη έναρξη της πυρικής περιόδου και σημαντική αύξηση των εκτάσεων που αντιμετωπίζουν υψηλό κίνδυνο πυρκαγιών και στις 2 χώρες ειδικά τον Ιούνιο και Ιούλιο.

Οι Clemens Wastl et al (2012) έκαναν μια μελέτη στις Άλπεις χρησιμοποιώντας ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία και χιονοκάλυψη) από 25 σταθμούς και δεδομένα πυρκαγιών για την περίοδο 1951-2010. Στην περιοχή των Άλπεων, οι περισσότερες πυρκαγιές στην βόρεια περιοχή συμβαίνουν Απρίλιο-Σεπτέμβριο, ενώ στη νότια Δεκέμβριο-Απρίλιο λόγω των καταβατικών ανέμων, της χαμηλής βροχόπτωσης και του ξηρού ανέμου Föhn. Πάνω από το 80% των καμμένων εκτάσεων είναι στις Ν. Άλπεις (Γαλλία, Ιταλία) . Για την μελέτη υπολογίστηκαν 7 δείκτες (2 γερμανικοί-Baumgartner, M-68, ο FWI, ο FFMC, ο Nesterov, ο Angstrom και ο

McArthur). Υπάρχει μια αύξηση στο μέσο ετήσιο κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς τα τελευταία 60 χρόνια, στη Γενεύη δε η αύξηση είναι λίγο μεγαλύτερη. Στις Δ. Άλπεις όλοι οι δείκτες έδειξαν θετική τάση, στις Β. Άλπεις η πλειοψηφία των δεικτών έδειξε ελαφριά αύξηση του μέσου ετήσιου κινδύνου, αλλά ο κίνδυνος δεν ήταν ίδιος για όλους τους σταθμούς. Υπάρχει όμως μια γενική μικρή αύξηση. Για το εσωτερικό, πιο πολλοί σταθμοί είχαν αρνητική τάση, ενώ για τις Ν. Άλπεις, σχεδόν όλοι οι σταθμοί έδειξαν μεγάλη αύξηση κινδύνου. Η μελέτη έδειξε ότι υπάρχει μια αύξηση του κινδύνου για τις Δ. και ειδικά για τις Ν. Άλπεις.

Μια άλλη μελέτη έγινε στην Σλοβενία από τους Tomaz Sturm et al (2012) με δεδομένα από το 1995-2009 σε 20 σταθμούς. Βρέθηκαν για κάθε σταθμό και κάθε μέρα οι CFFWIS και καθορίστηκαν 5 τάξεις (very low, low, moderate, high, very high). Παρατηρήθηκε ότι οι περισσότερες πυρκαγιές συμβαίνουν τον χειμώνα- Φεβρουάριος και Μάρτιος (34%) όπως επίσης και το καλοκαίρι- Ιούλιος και Αύγουστος (31%). Βρέθηκε επίσης, ότι το ISI(δείκτης του αναμενόμενου ρυθμού εξάπλωσης της πυρκαγιάς που συνδιάζει τον FFMC-δείκτης υγρασίας λεπτής καύσιμης ύλης- και την ταχύτητα του ανέμου) συνδέεται πιο ισχυρά με την ύπαρξη πυρκαγιάς από ότι το CFFWIS που σημαίνει ότι η ύπαρξη πυρκαγιάς οφείλεται σε καιρικές συνθήκες δηλ. σχετική υγρασία, άνεμος, θερμοκρασία και όχι συνθήκες ξηρασίας.

Οι Giannakopoulos et al. (2003) σύγκριναν τον FWI με τον FFI και βρήκαν ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ τους είναι πολύ μεγάλος ($R=0,75$) και η συσχέτιση μειώνεται όταν δεν υπάρχει κίνδυνος. Η μελέτη έγινε χρησιμοποιώντας 15 ιταλικούς σταθμούς με δεδομένα από το 1984 έως το 2001 με κατώφλια $FWI=15$ και $FFI=4,5-5$. Και οι δυο δείκτες καθορίζουν το τέλος της πυρικής περιόδου στο τέλος του 1996. Επίσης έγινε και μια έρευνα στην Φινλανδία με δεδομένα από το 1961-1997 στις περιοχές Helsinki, Vantaa, Jyvaskyla και από το 1961-1976 για την περιοχή Sodaskyla. Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια υπερεκτίμηση του high και extremekινδύνου για υγρό καιρό (humid weather) από τον FWI. Και οι 2 δείκτες δείχνουν παρόμοιο κίνδυνο με τη διαφορά ότι ο FWI έχει πιο γρήγορη απόκριση σε περιβαλλοντικές αλλαγές κυρίως σε γεγονότα βροχόπτωσης.

Οι Giannakopoulos et al. (2012) έκαναν μια παρόμοια έρευνα για την περιοχή της Μεσογείου και βρήκαν ανάλογα αποτελέσματα. Συνέκριναν παρατηρήσεις καμμένων εκτάσεων και αριθμού πυρκαγιών από 15 σταθμούς στην Ιταλία από το 1984-2001 με τους δείκτες πυρκαγιάς από μετεωρολογικές παρατηρήσεις στις ίδιες περιοχές. Βρήκαν ότι η συσχέτιση μεταξύ FWI-FFI ήταν μεγάλη και μειωνόταν όταν δεν υπήρχε κίνδυνος αλλά η συσχέτιση των δυο με τον αριθμό πυρκαγιών ήταν μικρός. Οι καμμένες εκτάσεις και οι δείκτες δεν σχετίζονται κανένα έτος και κανένας δείκτης δεν προβλέπει καλά την δημιουργία πυρκαγιάς, αφού ο υψηλός κίνδυνος δεν σχετίζεται πάντα με την εκδήλωση πυρκαγιών. Σε κάποιους σταθμούς βρήκαν ότι ο FFI ανταποκρίνεται καλύτερα από τον FWI.

Άλλη μελέτη στην Μεσόγειο, έγινε από τους Camia and Amatulli (2009) οι οποίοι έκαναν μια βαθμονόμηση του FWI στην Μεσόγειο και βρήκαν ότι το FPMC (δείκτης λεπτής καύσιμης ύλης) σχετίζεται καλά με το περιεχόμενο υγρασίας του φυλλώματος, το DMC σχετίζεται με το περιεχόμενο υγρασίας των χαλαρά συμπιεσμένων οραγνικών επιπέδων μέσου βάθους, το DC είναι χρήσιμος δείκτης εποχιακής ξηρασίας της καύσιμης ύλης και σχετίζεται με το περιεχόμενο υγρασίας των livefuel(καύσιμη ύλη με υγρασία 30-300%) των Μεσογειακών θάμνων. Τέλος, το ISI έχει πολύ καλή σχέση με τον ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς στα δάση πεύκων της Πορτογαλίας. Έγινε ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) για 2 περιόδους, καλοκαίρι-φθινόπωρο και χειμώνας-άνοιξη, και βρέθηκε ότι το ISI έχει μια εμφανή σχέση με το τελικό μέγεθος της πυρκαγιάς σε όλους τους τύπους καύσιμης ύλης και για τις 2 περιόδους με μια πιο ξεκάθαρη τάση στα δάση και όχι στις θαμνώδεις περιοχές (shrublands) και περιοχές με γρασίδι (grasslands).

Οι Moriondo et al (2006) έκαναν μια μελέτη με σκοπό να ερευνήσουν τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στον κίνδυνο πυρκαγιάς για τη Μεσόγειο. Τα κλιματικά δεδομένα από το RCM χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών πυρκαγιάς και επιβεβαιώνουν την αύξηση στον κίνδυνο πυρκαγιάς, στις καμμένες εκτάσεις και στην συχνότητα εκδήλωσης πυρκαγιών. Επειδή το GCM έχει κάποια μειονεκτήματα, χρησιμοποιήθηκε το RCM με οριακές συνθήκες τα outputs των GCM δίνοντας μεγαλύτερη χωρική ανάλυση της τοπογραφίας και μια πιο ρεαλιστική προσομείωση των ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών. Στη μελέτη τους, διάλεξαν 2 μελλοντικά σενάρια, το A2 που χαρακτηρίζεται από μέσες-υψηλές εκπομπές θερμοκηπικών αερίων και το B2 που χαρακτηρίζεται από μέσες-χαμηλές εκπομπές. Επίσης, πήραν 2 χρονοσειρές που αντιπροσωπεύουν την τωρινή περίοδο και το μελλοντικό κλίμα (1961-1990, 2071-2100). Οι συνιστώσες του συστήματος FWI έδειξαν την καλύτερη συσχέτιση με την δραστηριότητα πυρκαγιάς στην Ν. Πορτογαλία, Ν. Ισπανία, Ν. Γαλλία, Ν. Ιταλία, αν και η βλάστηση και το ξερό μεσογειακό κλίμα είναι πολύ διαφορετικά από ότι στον Καναδά. Βρέθηκε ότι υπάρχει μια μη γραμμική σχέση μεταξύ της συχνότητας των δασικών πυρκαγιών και του FWI. Ο ρυθμός συχνότητας ήταν μικρός για $FWI < 15$ ενώ αυξανόταν πιο γρήγορα για $15 < FWI < 45$ και ακόμα πιο γρήγορα για $FWI > 45$. Γι'αυτό χρησιμοποιήθηκε το κατώφλι $FWI = 15$ για την έναρξη και λήξη της πυρικής περιόδου. Το μήκος της πυρικής περιόδου συσχετίζεται θετικά με τις ξηρές και θερμές κλιματικές συνθήκες που καταγράφονται στη Ν. Ευρώπη και, αν κινηθούμε από τις επίπεδες προς τις πιο ορεινές περιοχές, το μήκος βαθμιαία μειώνεται. Βρέθηκαν επίσης και οι μέσες εποχιακές τιμές του FWI που δείχνουν ότι υπάρχει μια αύξηση κατά 23% στο A2 σενάριο και 16% στο B2. Στην Γαλλία, την Πορτογαλία και Ιταλία, οι αυξήσεις αυτές στο A2 σενάριο είναι 29%, 16% και 25% αντίστοιχα ενώ στο B2 21%, 11% ενώ στην Ισπανία 18%. Όσον αφορά στον αριθμό των ετών με κίνδυνο πυρκαγιάς, βρέθηκε ότι υπάρχει μια μεγαλύτερη αύξηση στις βόρειες και ορεινές περιοχές, ενώ στις επίπεδες και νότιες είναι μικρή ή ανύπαρκτη. Και για τα 2 σενάρια, η αρχή και η λήξη της πυρικής περιόδου ήταν νωρίτερη και αργότερη αντίστοιχα σε σχέση με το τωρινό σενάριο. Για όλη τη Μεσόγειο, η αρχή ήταν 27 ημέρες

νωρίτερα στο A2 και 22 στο B2 και μεγαλύτερες αλλαγές στο μήκος ήταν στη Ν. Ισπανία, Ιταλία και Βαλκάνια ενώ για το υψόμετρο, οι μεγαλύτερες αλλαγές ήταν μεταξύ 600-1200μ.

Στην περιοχή της Πορτογαλίας έχουν γίνει αρκετές μελέτες. Μια από αυτές είναι από τους Gortez and Morais, οι οποίοι χρησιμοποίησαν μια προσέγγιση datamining για να προβλέψουν τις καμμένες εκτάσεις. Χρησιμοποίησαν 5 τέτοιες τεχνικές: την SVM (Support Vector Machines) και 4 ρυθμίσεις επιλογής χαρακτηριστικών (χρησιμοποιώντας χωρικές, χρονικές συνιστώσες FWI και χαρακτηριστικά καιρού). Τα δεδομένα πυρκαγιών ήταν από μια βόρεια περιοχή της Βόρειας Πορτογαλίας (Montsinho) από τον Ιανουάριο του 2000 μέχρι τον Δεκέμβριο του 2003. Η πρώτη βάση δεδομένων συλλέχθηκε από έναν επιθεωρητή που ήταν υπεύθυνος για τις εκδηλώσεις πυρκαγιών στο Montsinho και σε καθημερινή βάση, κάθε φορά που εκδηλωνόταν πυρκαγιά, καταγράφονταν η ώρα, η ημερομηνία, η χωροθέτηση σε 9X9 grid, το είδος της βλάστησης, οι 6 συνιστώσες του FWI και η συνολική καμμένη έκταση. Η 2^η βάση δεδομένων συλλέχθηκε από το Braganca Polytechnic Institute, περιλαμβάνοντας παρατηρήσεις καιρού που είχαν καταγραφεί μέσα σε μια περίοδο 30 λεπτών από έναν μετεωρολογικό σταθμό στο κέντρο του πάρκου του Montsinho. Χρησιμοποιήθηκε το MAD(Mean Absolute Deviation) και το RMSE(Root Mean Squared Error). Και στα 2, οι χαμηλότερες τιμές οδήγησαν σε καλύτερα μοντέλα πρόβλεψης. Παρ'όλα αυτά, το RMSE ήταν πιο επιρρεπές σε μεγάλα σφάλματα. Είχαν προταθεί 5 μοντέλα: το MR (Multiple Regression) το οποίο ερμηνεύεται εύκολα, το DT(Decision Trees), το RF(Dandom Forests), το NN(Neural Networks) και το SVM(Support Vector Machines). Το SVM έδινε τα καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης, βρέθηκε η μη σχετικότητα των χωρικών και χρονικών και χρονικών μεταβλητών αφού, αν απομακρυνθούν, το SVM λειτουργεί καλύτερα. Για το SVM, είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται καιρικές συνθήκες από ότι μεταβλητές FWI. Μια πιο λεπτομερής ανάλυση για την ποιότητα των σφαλμάτων δίνεται από τη χρήση καμπύλων REC. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο 3 μοντέλα, το M-SVM (το καλύτερο MAD), το M-RF (η 2^η καλύτερη μετεωρολογική μέθοδος) και το Naive (το καλύτερο RMSE μοντέλο). Από αυτά, η καλύτερη λύση είναι το M-SVM για πρόβλεψη μικρών πυρκαγιών. Για μεγάλες πυρκαγιές, δεν είναι τόσο σημαντικό. Όλες οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν το μοντέλο M-SVM αλλά η θερμοκρασία είναι το κυριότερο και το δεύτερο είναι η συνολική βροχόπτωση.

Μια μελέτη από τους Duraο etal (2010) έχει σκοπό την μοντελοποίηση της χωρικής διασποράς της πιθανότητας εκδήλωσης πυρκαγιών. Υπολογίστηκε το DSR (Daily Severity Rating) που προκύπτει από ένα ντετερμινιστικό μοντέλο του Williams ($DSR=0,0272(FWI)^{1,77}$) το οποίο δείχνει τη δυσκολία ελέγχου της πυρκαγιάς, όπως επίσης και το SSR (Seasonal Severity Rating). Τα δεδομένα ήταν από 15 σταθμούς την περίοδο 2000-2005, το 2003 ήταν το πιο καταστροφικό καλοκαίρι. Η βόρεια Πορτογαλία είναι πιο πυκνοκατοικημένη και έχει πιο δριμείς πυρικές περιόδους. Σ'αυτήν την περιοχή, οι τιμές DSR ήταν μικρές που σημαίνει ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς από μετεωρολογικές συνθήκες είναι μεγαλύτερος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχαν μεγαλύτερες τιμές κατωφλίου στη Ν. Πορτογαλία. Τα

κατώφλια του DSR της πυρικής περιόδου το 2003 ήταν μικρότερα στην Ν. Πορτογαλία από ότι το 2004, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην Β. Πορτογαλία. Οι χαμηλές τιμές κατωφλίου σημαίνουν μεγαλύτερη ευαισθησία στον κίνδυνο από μετεωρολογικές συνθήκες, ενώ οι υψηλές δείχνουν ανθρωπογενείς παράγοντες, τύπος της βλάστησης, τοπογραφία κ.α. Περιοχές με μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών είναι οι βόρειες, ΒΔ και κεντρικές περιοχές. Βρέθηκε ότι η χρήση DSR τοπικών/περιοχικών κατωφλίων είναι πολύ σημαντική προσέγγιση για τον καθορισμό υψηλού/χαμηλού κινδύνου.

Οι A. Carvalho et al (2008), με δεδομένα μέγιστης θερμοκρασίας, θερμοκρασίας ξηρού και υγρού θερμομέτρου, βροχόπτωσης, ανέμου, ημερήσιας και συνολικής καμμένης έκτασης, ημερήσιου αριθμού πυρκαγιών, τύπου βλάστησης και ημερομηνίας ανάφλεξης και εξάλειψης από 11 περιοχές της Πορτογαλίας για μια περίοδο από το 1980-2004, βρήκαν ότι υπάρχουν πολύ σημαντικές σχέσεις μεταξύ των δασικών πυρκαγιών της Πορτογαλίας, του καιρού και του FWI. Η βροχή στην αρχή της αντιπυρικής περιόδου (κυρίως τον Ιούνιο) βοηθά στη μείωση των καμμένων εκτάσεων. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η περιοχή της Guarda, όπως επίσης και το Castelo Branco, το Viseu και το Coimbra εμφανίζουν τις μεγαλύτερες καμμένες εκτάσεις, ενώ το Porto έχει το μεγαλύτερο ποσοστό εκδήλωσης πυρκαγιών τα τελευταία 25 χρόνια. Για την Evora και Beja, το FWI είναι ο καλύτερος δείκτης πρόβλεψης καμμένων εκτάσεων και σχεδόν για όλες τις περιοχές, η μέση και μέγιστη θερμοκρασία είναι ο καλύτερος δείκτης για την πρόβλεψη του αριθμού πυρκαγιών.

Οι Viegas et al (1998) έκαναν μια έρευνα στην Νότια Ευρώπη χρησιμοποιώντας 5 μεθόδους για να αξιολογήσουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Χρησιμοποίησαν στατιστικά δεδομένα για τον ημερήσιο αριθμό πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων από 6 διαφορετικές περιοχές στη Γαλλία, Ιταλία και Πορτογαλία για μια περίοδο 3-9 έτη, για χειμερινές και θερινές πυρκαγιές. Οι 5 μέθοδοι ήταν οι εξής: Ic (FWI), If (Γαλλικός δείκτης), Ii (Ιταλικός δείκτης), Ip (Πορτογαλικός δείκτης- τροποποιημένος Nesterov), Is (Ισπανικός δείκτης). Στην περιοχή της Γαλλίας έγιναν κάποια πειράματα σε διάφορες περιοχές. Μια περιοχή ήταν το A.H.P (Department of Alps of Haute Provence), μια ορεινή περιοχή 100km πάνω από τη θάλασσα, και τα δεδομένα ήταν για μια περίοδο 9 ετών (1981-1990). Μια άλλη περιοχή, παράκτια αυτή τη φορά, ήταν το B.R (Department of Bouches-du-Rhone) όπου το καλοκαίρι υπάρχουν 60% μέρες με πυρκαγιές με μέγιστο 12 πυρκαγιές τη μέρα. Μια άλλη παράκτια περιοχή ήταν το Var (Department of Var) με 73% μέρες με πυρκαγιές και 20 πυρκαγιές τη μέρα και μια τελευταία περιοχή ήταν το E.P (Department of Eastern-Pyrenees) με 70% μέρες με πυρκαγιές και μέγιστο 7 πυρκαγιές τη μέρα. Αυτές οι 3 περιοχές είχαν περίοδο μελέτης 1986-1990. Στην Ιταλία πήραν 2 περιοχές, την Veneto Region, BA της Ιταλίας και περίοδο μελέτης 1988-1990 και την Savona Province με περίοδο μελέτης 1987-1989. Στην Πορτογαλία, η περιοχή που διάλεξαν ήταν η κεντρική περιοχή με δεδομένα από 1982-1992 κατά την θερινή περίοδο (από 1 Ιουνίου μέχρι 30 Σεπτεμβρίου). Όσον αφορά τις χειμερινές πυρκαγιές, οι περισσότερες μέθοδοι δείχνουν μεγάλο ποσοστό ημερών με χαμηλό κίνδυνο, η Ιταλική και

Πορτογαλική μέθοδος δείχνουν σχετικά μεγάλο ποσοστό ημερών με ακραίο κίνδυνο το οποίο δεν είναι ρεαλιστικό. Όλες οι μέθοδοι προβλέπουν αύξηση του ποσοστού ημερών με πυρκαγιές με εξαίρεση την Ιταλική στο Veneto. Όσον αφορά τις θερινές πυρκαγιές, η Γαλλική και Ιταλική μέθοδος προβλέπουν μεγάλο ποσοστό ημερών με ακραίο κίνδυνο. Υπάρχει γενικά μια αύξηση στον αριθμό πυρκαγιών με τον δείκτη πυρκαγιάς. Στην Γαλλία, η αύξηση του μεγέθους των πυρκαγιών δεν είναι τόσο εμφανής λόγω της ισχυρής οργάνωσης καταστολής. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα είναι ότι η καναδική μέθοδος έχει μια ισχυρή επίδοση στις θερινές συνθήκες με εξαίρεση την περιοχή Savona. Ο ισπανικός δείκτης δίνει καλά αποτελέσματα για τις χειμερινές συνθήκες αλλά καθόλου καλά για το καλοκαίρι, έχει καλύτερη απόδοση στον αριθμό πυρκαγιών και στις καμμένες εκτάσεις αλλά έρχεται δεύτερος στον διαχωρισμό ημερών με κίνδυνο σε σχέση με μέρες χωρίς κίνδυνο, ενώ η πορτογαλική μέθοδος είναι καλή το χειμώνα και σχετικά καλή το καλοκαίρι. Για τον διαχωρισμό ημερών με ακραίο κίνδυνο, η γαλλική και ιταλική μέθοδος δίνουν καλύτερα αποτελέσματα, αλλά αυτές οι δυο έχουν επίδραση εξάτμισης με ένα μεγάλο ποσοστό ημερών με πολύ υψηλές τιμές κινδύνου πυρκαγιάς. Για το καλοκαίρι οι δυο καλύτερες μέθοδοι είναι η καναδική και πορτογαλική ενώ το χειμώνα, η πορτογαλική και ισπανική. Καλύτερη συνολική απόδοση έχει η πορτογαλική μέθοδος.

Το 2004, η Pausas έκανε μια μελέτη στη Ισπανία με σκοπό την εύρεση της τάσης του αριθμού πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων και του βαθμού καθορισμού της ενδοετήσιας μεταβλητότητας των πυρκαγιών από κλιματικούς παράγοντες. Χρησιμοποιήθηκαν 350 σταθμοί με μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία και βροχόπτωση) 1950-2000 και καταγραφές πυρκαγιών 1874-1968 και 1968-2000. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια ελαφριά πτωτική τάση της θερινής βροχής και μια καθαρή ένδειξη αύξησης της ετήσιας και θερινής θερμοκρασίας. Επίσης, υπάρχει μια σαφής αύξηση του ετήσιου αριθμού πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα. Παρ'όλα αυτά, τις τελευταίες 3 δεκαετίες ο αριθμός των πυρκαγιών αυξήθηκε αλλά οι καμμένες εκτάσεις δεν είχαν σαφή τάση. Η θερινή βροχόπτωση συνδέεται σημαντικά με τη θερινή καμμένη έκταση για χρονική περίοδο 2 ετών υποδηλώνοντας ότι η υψηλή βροχόπτωση μπορεί να αυξήσει τα φορτία καυσίμων που καίγονται μετά από 2 χρόνια. Η αύξηση στον αριθμό πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων ήταν απότομη και ο μέσος ετήσιος αριθμός και οι καμμένες εκτάσεις το 1974-1998 ήταν περίπου 10 φορές υψηλότερος από την περίοδο 1874-1973. Σε τοπική κλίμακα, το 70% των σταθμών έδειξε πτωτική τάση της θερινής βροχόπτωσης αν και τα περισσότερα δεν είναι στατιστικώς σημαντικά. Η ετήσια και θερινή βροχόπτωση αυξήθηκαν σημαντικά (0,35°C/δεκαετία και 0,27°C/δεκαετία, αντίστοιχα). Η μέση θερινή βροχόπτωση τείνει να μειωθεί τα τελευταία 50 χρόνια και, επειδή η θερινή βροχόπτωση καθορίζει την υγρασία, είναι πολύ σημαντική για την καμμένη έκταση. Επίσης, ένα σημαντικό αποτέλεσμα της έρευνας είναι ότι αν υπάρχουν πολλές πυρκαγιές τη μια χρονιά, θα υπάρχουν πολλές και την επόμενη και μέχρι 3 χρόνια μετά αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με τις καμμένες εκτάσεις.

Οπότε η πιθανότητα μια σεζόν υψηλού κινδύνου μπορεί να προβλεφθεί από την βροχόπτωση προηγούμενων ετών.

Μια άλλη μελέτη στην περιοχή της Ισπανίας έγινε από τον Pinol et al (1998) με σκοπό να βρεθεί αν η αλλαγή του κλίματος επηρεάστηκε από τη συχνότητα και το μέγεθος των δασικών πυρκαγιών. Τα δεδομένα ήταν ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, βροχόπτωση, ελάχιστη ταχύτητα ανέμου από το 1910 μέχρι το 1998 και ελαχιστη σχετική υγρασία από το 1941 μέχρι το 1998. Εκτιμήθηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο του Samari-Hargreaves η οποία δίνει πιο λογικές εκτιμήσεις από την μέθοδο Penman-Monteith. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο τροποποιημένος δείκτης Carrega και ένας που εκτιμά την ευφλεκτικότητα του fine dead fuel (dead fuel θεωρείται η καύσιμη ύλη με υγρασία κάτω από 30%). Και τα δυο χρησιμοποιούν τη σχετική υγρασία οπότε υπολογίστηκαν για την περίοδο 1941-1994. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο αριθμός των θερινών πυρκαγιών αυξήθηκε σημαντικά από το 1968-1994 στην ανατολική ακτή της Ισπανίας σε 21 πυρκαγιές/έτος, ενώ η καμμένη έκταση δεν αυξήθηκε σταθερά. Η μεγαλύτερη έκταση κάηκε από μικρό αριθμό πυρκαγιών. Η μέση ετήσια θερμοκρασία αυξήθηκε 0,10°C/ δεκαετία από το 1910-1994 λόγω αύξησης της μέσης ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας. Η μέση δυνητική εξατμισοδιαπνοή αυξήθηκε 13mm/δεκαετία, αλλά η ετήσια δεν άλλαξε σημαντικά. Συνεπώς, το ετήσιο έλλειμμα νερού αυξήθηκε. Η ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία μειώθηκε. Οι μέσες τιμές των 2 δεικτών το καλοκαίρι αυξήθηκαν από το 1941-1994. Την ίδια περίοδο, ο αριθμός ημερών με πολύ υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς αυξήθηκε σημαντικά. Ο δείκτης ICONA δείχνει αύξηση 1,6 ημέρες/δεκαετία ενώ ο I87mode δείχνει 6,2 ημέρες/δεκαετία και συσχετίζεται πολύ καλύτερα με τον αριθμό πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων από ότι ο πρώτος δείκτης. Φαίνεται ότι ο συνολικός αριθμός πυρκαγιών σχετίζεται περισσότερο έντονα με τις μετεωρολογικές μεταβλητές από ότι με τις καμμένες εκτάσεις.

Μια έρευνα έγινε στην Ιταλία και Ελλάδα από τον Goodetal (2008). Τα δεδομένα της Ιταλίας ήταν ημερήσιες παρατηρήσεις του αριθμού των πυρκαγιών και της καμμένης έκτασης για την Τοσκάνη, μετεωρολογικά δεδομένα από 4 σταθμούς (Pisa, Grosseto, Monte Argentario, Viterbo) για τον Απρίλιο- Νοέμβριο 1894-1995. Τα δεδομένα της Ελλάδας ήταν ημερήσια δεδομένα πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων από το ΕΘΙΑΓΕ Αθηνών και μετεωρολογικά δεδομένα από την ΕΜΥ και το ΑΠΘ για την Θεσσαλονίκη, την Αθήνα και το Ηράκλειο για την περίοδο 1983-1990. Τα μετεωρολογικά δεδομένα ήταν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία, η ημερήσια μέγιστη ταχύτητα ανέμου, η ημερήσια μέση σχετική υγρασία και η 24ωρη βροχόπτωση. Έκαναν κάποια τεστ για να εξετάσουν την ικανότητα του FWI να προβλέπει κίνδυνο πυρκαγιάς και βρέθηκε ότι η ύπαρξη πυρκαγιών για $FWI < 15$ ήταν μικρή και αυξανόταν με την αύξησή του, ενώ για $FWI > 45$ ήταν πολύ υψηλότερη. Για την Θεσσαλονίκη, υπήρχαν σχετικά λίγες μέρες με $FWI > 35$. Για την Ιταλία, τα αποτελέσματα ήταν ίδια δηλ. δεν υπήρχε γραμμική σχέση μεταξύ του FWI και της ύπαρξης πυρκαγιάς. Για τις καμμένες

εκτάσεις, το αποτέλεσμα ήταν ότι μόνο σε λίγες περιοχές αυξανόταν με το FWI. Εξετάστηκαν οι μετεωρολογικοί παράγοντες που προκαλούν υψηλές FWI τιμές. Ο αυξανόμενος κίνδυνος πυρκαγιάς ($FWI < 15$) προβλεπόταν αρκετά καλά χρησιμοποιώντας μόνο το fD που σημαίνει ότι αν υπήρχε αξιόλογη βροχή τις τελευταίες βδομάδες και όσο η πιο πυκνή καύσιμη ύλη δεν ξεραινόταν, τόσο ο κίνδυνος ήταν μικρός. Ο κίνδυνος χωρίστηκε σε short-time scale (αναφέρεται στο πόσο η πρόσφατη μετεωρολογική ιστορία επηρεάζει το FWI εκείνη τη μέρα) και long-timescale (η συνεισφορά στην τιμή FWI για εκείνη τη μέρα από προηγούμενη μετεωρολογική συμπεριφορά για μια προηγούμενη περίοδο εβδομάδων ή μηνών). Το short-timescale βοήθησε στον καθορισμό του μεγέθους των τιμών του FWI μεταξύ 15 και 45 ενώ το long-timescale για $FWI = 15$ και $FWI = 45$. Βρέθηκαν, επίσης, οι μετεωρολογικές συνθήκες που προκαλούν elevated και extreme fD . Elevated είναι όταν το fD είναι 15-50 μέρες, ενώ όταν $fD > 35$ είναι extreme. Οι περισσότερες μέρες με $FWI > 45$ έχουν $fD > 35$. Κάτω από ξηρές συνθήκες ($fD > 35$ και 24ωρη βροχόπτωση $< 0,05 \text{ mm}$), το $FWI > 45$ προβλέπεται κυρίως από την απλή σχέση μεταξύ της ημερήσιας σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου. Αυτό δεν ισχύει για $FWI < 45$ γιατί οι σχέσεις μεταξύ fD και FWI είναι πιο πολύπλοκες.

Οι Koutsias et al (2012) μελέτησαν τα ιστορικά αρχεία των πυρκαγιών και τις μετεωρολογικές παραμέτρους από το 1894-2010 με σκοπό να βρουν τάσεις και σχέσεις μεταξύ των μετεωρολογικών παραμέτρων και την εκδήλωση πυρκαγιών στην Ελλάδα. Τα δεδομένα του αριθμού πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων ήταν από το 1894 και τα προμηθεύτηκαν από το NSSG (Ελληνική Στατιστική Αρχή), HFS (Ελληνική Εταιρεία Προστασίας της Φύσης), HFB (Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας) και από τους Kailidis and Karanikola (2004), ενώ η μηνιαία μέση θερμοκρασία, μηνιαία μέση ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία, η απόλυτη ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία και η μηνιαία συνολική βροχόπτωση για κάθε έτος ήταν από το τέλος του 19^{ου} αιώνα και από το NOA (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών). Χρησιμοποιήθηκαν 4χρονικές περίοδοι (1908-1921 και 1939-1954, 1955-2010 και 1974-2010). Για να βρεθούν οι τάσεις χρησιμοποιήθηκε το Mann-Kendall trend test και η μη παραμετρική μέθοδος των Theil-Sen approach ενώ για την ανάλυση της τάσης το MAKESENS 1.0 και το Matlab script by Simone Fatichi (2011). Ο συνολικός ετήσιος αριθμός πυρκαγιών έδειξε σημαντική αυτοσυσχέτιση για χρονική υστέρηση μέχρι 9 έτη την περίοδο 1894-2010 και μέχρι 5 και 4 έτη την περίοδο 1955-2010 και 1974-2010 αντίστοιχα. Για τις καμμένες εκτάσεις, υπάρχει στατιστικά σημαντική αυτοσυσχέτιση με 7 έτη για 1984-2010 και 1955-2010, αλλά για 1974-2010 το peak στο $\log 7$ δεν ήταν στατιστικά σημαντικό και αν και οι πρώτοι συντελεστές αυτοσυσχέτισης 6 ετών κατά την 1894-2010 και 1955-2010 ήταν θετικοί, την 1974-2010 ήταν αρνητικοί. Ο αριθμός των πυρκαγιών είχε σημαντική αυξητική τάση όλες τις περιόδους, ενώ οι καμμένες εκτάσεις μόνο τις 2 πρώτες. Το ίδιο μοτίβο ισχύει και για την θερμοκρασία εκτός από την απόλυτη ελάχιστη την περίοδο 1974-2010. Η πιο έντονη τάση ήταν της μέσης μέγιστης. Η συνολική ετήσια βροχόπτωση έδειξε αρνητική τάση, η ανοιξιιάτικη αυξανόταν ενώ η θερινή μειωνόταν. Η ανοιξιιάτικη ενισχύει την παραγωγή βιομάζας και συσσωρεύει τα fine fuel, ενώ η θερινή συσχετίζεται αρνητικά με την ύπαρξη πυρκαγιάς γιατί αυξάνει την

υγρασία της καύσιμης ύλης η οποία μειώνει την εξάπλωση. Η ανοιξιάτικη και θερινή βροχόπτωση σχετίζονται θετικά και αρνητικά αντίστοιχα με την καμμένη έκταση. Η μέση και απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία είχε υψηλούς συντελεστές συσχέτισης με τις καμμένες εκτάσεις και τον αριθμό πυρκαγιών. Ο Δημητρακόπουλος (2011) βρήκε επίσης σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ της ξηρασίας και της ύπαρξης πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων στην Ελλάδα την περίοδο 1961-1997.

Οι Dimitrakopoulos et al(2011a) αξιολόγησαν τον FWI κατά τη διάρκεια 2 διαδοχικών εποχών στο μεσογειακό περιβάλλον της Κρήτης, στην περιοχή Ακρωτήρι. Τα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία αέρα, ταχύτητα ανέμου στα 10m και ημερήσια βροχόπτωση) προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου του Ακρωτηρίου. Υπολογίστηκαν οι δείκτες DMC, DC, BUI και FWI και βρέθηκε ότι συσχετίζονταν πολύ με την εκδήλωση πυρκαγιών αλλά όχι τόσο με τις καμμένες εκτάσεις. Και για τις 2 εποχές, ο Μάιος αντιπροσώπευε το κατώφλι όπου οι τιμές FWI φτάνουν τις υψηλές τάξεις. Ο Σεπτέμβριος είναι ο μήνας με τις περισσότερες πυρκαγιές γιατί δεν υπάρχει βροχή από το τέλος της άνοιξης και άρα υπάρχει έντονη ξηρασία, υψηλές θερμοκρασίες, έντονη ηλιακή ακτινοβολία και ισχυροί νότιοι άνεμοι με αποτέλεσμα την αύξηση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών.

Οι Dimitrakopoulos et al (2011b) χώρισαν την Ελλάδα σε Βόρεια, Νότια, Ανατολική, Δυτική και Κεντρική. Στη Βόρεια και Δυτική Ελλάδα η ετήσια βροχόπτωση είναι υψηλή και οι θερμοκρασίες χαμηλές. Η Νότια Ελλάδα χαρακτηρίζεται από πιο ξηρές και θερμές περιοχές, ενώ στις Νότια και Κεντρική είναι οι πιο πυρόκλητες περιοχές τόσο σε αριθμό πυρκαγιών όσο και σε καμμένες εκτάσεις. Χρησιμοποίησαν δεδομένα από 17 μετεωρολογικούς σταθμούς από το 1961-1999 και υπολόγισαν την ξηρασία με τον δείκτη SPI από δεδομένα βροχής. Επίσης, χρησιμοποίησαν δεδομένα ετήσιου αριθμού πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων. Ο σκοπός της εργασίας ήταν να ερευνήσουν τις επιδράσεις της ξηρασίας στην εκδήλωση δασικών πυρκαγιών και στις καμμένες εκτάσεις στην Ελλάδα. Οπότε βρήκαν τη συσχέτιση μεταξύ της ξηρασίας (μέσω του δείκτη SPI) και της εκδήλωσης πυρκαγιών αλλά και καμμένων εκτάσεων και ερεύνησαν την υπόθεση ότι η αυξημένη δραστηριότητα πυρκαγιών μετά το 1977 στην Ελλάδα μπορεί να οφείλεται στην αυξημένη συχνότητα των επεισοδίων ξηρασίας. Υπολόγισαν το SPI6_October και SPI12_September για κάθε χρόνο (Αναγνωστοπούλου 2003) όπου ο πρώτος δείκτης χρησιμοποιεί μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο και αντιπροσωπεύει την θερινή ξηρασία (Briffa et al.1994), ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιεί τα συνολικά μηνιαία δεδομένα από τον Οκτώβριο του προηγούμενου έτους μέχρι τον Σεπτέμβριο του φετινού και αντιπροσωπεύει την συνολική ξηρασία (Wilhite and Glantz 1985; Estrela et al.2000). Δημιουργήθηκαν 2 χρονικές περίοδοι, 1961-1977 και 1978-1997. Υπάρχει μια αυξητική τάση των πυρκαγιών την περίοδο 1961-1997 σε όλες τις περιοχές με μια μικρότερη αύξηση στην ανατολική και κεντρική Ελλάδα. Για τις καμμένες εκτάσεις υπάρχει επίσης αυξητική τάση την ίδια περίοδο

σε όλες τις περιοχές. Ο δείκτης SPI12 εμφανίζει πτωτική τάση δηλ. υπάρχει αύξηση των επεισοδίων ετήσιας ξηρασίας το 1961-1997 σε όλες τις περιοχές ενώ ο SPI6 δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική τάση. Την περίοδο 1978-1997 και οι 2 δείκτες είχαν σημαντική μείωση στις βόρειες και δυτικές περιοχές σε σχέση με την περίοδο 1961-1977. Αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα θερινής και ετήσιας ξηρασίας αυξήθηκαν σε αυτές τις περιοχές μετά το 1977. Η συσχέτιση μεταξύ της ξηρασίας και του αριθμού των πυρκαγιών είναι στατιστικά σημαντική και θετική παντού εκτός από τις ανατολικές περιοχές το 1961-1997. Στην Νότια και Κεντρική Ελλάδα μόνο η θερινή ξηρασία συσχετίζεται σημαντικά με τον αριθμό πυρκαγιών το 1961-1997 ενώ στις άλλες περιοχές αυτό ισχύει και για την ετήσια. Η συσχέτιση μεταξύ των καμμένων εκτάσεων και της ξηρασίας είναι στατιστικά σημαντική και θετική παντού την περίοδο 1961-1997. Στις βόρειες και δυτικές περιοχές υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των καμμένων εκτάσεων και των 2 δεικτών, στιν νότιες και κεντρικές υπάρχει συσχέτιση μόνο με τον SPI6 ενώ στις ανατολικές μόνο με τον SPI12. Η μέση καμμένη έκταση τετραπλασιάστηκε στην Βόρεια Ελλάδα και τριπλασιάστηκε στις υπόλοιπες, ενώ ο αριθμός πυρκαγιών διπλασιάστηκε στη Βόρεια και Δυτική Ελλάδα.

Η Βλάχου το 2006 στην Μεταπτυχιακή Διατριβή της χρησιμοποίησε το SPI6_October και SPI12_September που αντιστοιχούν σε 17 μετεωρολογικούς σταθμούς και τον ετήσιο αριθμό πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων σε κάθε ένα από τους 17 νομούς. Ο σκοπός της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός της τάσης του αριθμού πυρκαγιών και καμμένων δασικών εκτάσεων το 1961-1997 και ο προσδιορισμός του βαθμού επίδρασης της ξηρασίας στην από έτος σε έτος διακύμανση των πυρικών παραμέτρων. Βρήκε ότι ο αριθμός πυρκαγιών και οι καμμένες εκτάσεις είχαν αυξητική τάση. Ο SPI12 είχε επίσης αυξητική τάση σχεδόν παντού ενώ η θερινή ξηρασία (SPI6) δεν εμφανίζει σημαντική τάση. Ο μέσος αριθμός πυρκαγιών και η μέση καμμένη έκταση είχαν σημαντική αύξηση το 1978-1997 σε σχέση με το 1961-1977 ενώ σημαντική αύξηση ξηρασίας είχε η βόρεια και δυτική Ελλάδα από το 1978 και μετά, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές δεν ήταν σημαντική η μεταβολή. Υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των πυρικών παραμέτρων και της ξηρασίας. Ειδικότερα, διαπιστώθηκε ότι στη Βόρεια και Δυτική Ελλάδα είναι σημαντική η επίδραση της ετήσιας και θερινής ξηρασίας στον αριθμό πυρκαγιών και στις καμμένες εκτάσεις, ενώ στη Νότια και Κεντρική μόνο η θερινή ξηρασία επιδρά σημαντικά. Η κλιματική αλλαγή φαίνεται ότι προκαλεί αύξηση των δασικών πυρκαγιών και καμμένων εκτάσεων στις σχετικά υγρότερες και ψυχρότερες περιοχές που είχαν λιγότερες πυρκαγιές σε σχέση με τις ξηρότερες και θερμότερες που πάντοτε εμφάνιζαν αυξημένη πυρική δραστηριότητα.

Μια μελέτη στην Ελλάδα έγινε για να επαναπροσδιοριστούν οι τιμές κατωφλίου του FWI για την περιοχή της Ελλάδας. Τα μετεωρολογικά δεδομένα (μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και 24ωρη βροχόπτωση) ήταν από 13 σταθμούς για την περίοδο 1983-1997 και πάρθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Για την ίδια περίοδο υπήρχε μια βάση δεδομένων από το Υπουργείο

Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής για 23150 πυρκαγιές σε όλη την Ελλάδα και χρησιμοποιήθηκε μόνο ο αριθμός των πυρκαγιών και οι καμμένες εκτάσεις. Επειδή οι δυτικές περιοχές της Ελλάδας είχαν πιο πολλές πυρκαγιές αλλά λιγότερες καμμένες εκτάσεις σε αντίθεση με τις ανατολικές που είχαν περισσότερες πυρκαγιές αλλά περισσότερες καμμένες εκτάσεις, χωρίστηκε η Ελλάδα σε 5 ζώνες (Β. Ελλάδα, Κ. Ελλάδα, Δ. Ελλάδα, ΝΑ Ελλάδα, νησιά Αιγαίου και Κρήτη). Ο αριθμός των πυρκαγιών δεν συνδέεται με τις καμμένες εκτάσεις αλλά με τις μετεωρολογικές συνθήκες, την βλάστηση και την τοπογραφία. Ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τις περισσότερες πυρκαγιές για όλες τις περιοχές εκτός από το Αιγαίο και την Κρήτη που είναι ο Σεπτέμβριος. Όσον αφορά τις καμμένες εκτάσεις, ο Αύγουστος είναι ο πιο καταστροφικός για όλη την Ελλάδα εκτός από την κεντρική που είναι ο Ιούλιος. Οι καμμένες εκτάσεις τον Αύγουστο είναι διπλάσιες από αυτές τον Ιούλιο στην ΒΔ Ελλάδα. Για τον FWI έγινε τεστ ευαισθησίας για να καθοριστεί ποια μετεωρολογική παράμετρος τον επηρεάζει περισσότερο και βρέθηκε ότι είναι η βροχή και ο άνεμος. Οι τιμές FWI αυξάνονται σταδιακά από τα ΒΔ (πιο υγρές περιοχές) προς τα ΝΑ (πιο ξηρές). Έτσι, οι σταθμοί χωρίστηκαν σε 3 περιοχές με βάση την τιμή FWI (δυτική-Δ, βόρεια-Β, ανατολική και νότια-Α/Ν). Στην δυτική μια πυρκαγιά τη μέρα φαίνεται να συμβαίνει όταν $FWI=15$, ενώ στην βόρεια αυτό συμβαίνει όταν $FWI=30$. Για την νότια και ανατολική Ελλάδα που περιλαμβάνει την ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, το Αιγαίο και την Κρήτη, μια πυρκαγιά τη μέρα συμβαίνει όταν $FWI=45$. Τα αποτελέσματα για τα μικρά νησιά του Αιγαίου φαίνεται ότι δεν συμβαδίζουν με αυτό το μοτίβο και παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα στη σχέση μεταξύ αριθμού πυρκαγιών και τιμών FWI, λόγω του μικρού αριθμού πυρκαγιών και την πολύπλοκη τους τοπογραφία. Αυτές οι τιμές θεωρήθηκαν κρίσιμες κινδύνου κατώφλια. Για τις καμμένες εκτάσεις η σχέση τους με τις μετεωρολογικές συνθήκες είναι δύσκολο να καθοριστεί. Σε περιοχές όπως ο Καναδάς, όπου η επίδραση των ανθρώπων στις πυρκαγιές είναι μικρή σχετίζονται πολύ καλά οι καμμένες εκτάσεις με τον FWI. Παρόλα αυτά, έχει βρεθεί ότι οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλες πυρκαγιές που η εξάπλωσή τους δεν καθορίζεται από την δομή της τοπογραφίας. Έτσι, υπολογίστηκε η καμμένη έκταση για κάθε πυρκαγιά σε σχέση με τον FWI για κάθε υποπεριοχή. Στη δυτική παρόλο που ο αριθμός των πυρκαγιών ήταν αρκετά μεγάλος, η καμμένη έκταση ήταν μικρή ακόμα και για τις υψηλότερες τιμές του FWI. Για την νότια και ανατολική μερικές μεγάλες πυρκαγιές συνέβαιναν όταν ο δείκτης έπαιρνε τιμές πάνω από 50. Στην κεντρική που έχει εκτεταμένες αγροτικές περιοχές, η καμμένη έκταση ήταν μεγάλη ακόμη και για σχετικά μικρές τιμές FWI. Έγινε μελέτη και για το μέλλον και βρέθηκε ότι θα αυξηθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς κυρίως στην Πελοπόννησο, στην Αττική, στην Κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλία και Κρήτη. Στοάμεσομέλλον, αναμένονται 15-20 περισσότερες μέρες με κρίσιμο κίνδυνο στην δυτική και βόρεια Ελλάδα, ενώ για την κεντρική και ανατολική η αύξηση φτάνει και τις 10 μέρες ανά έτος. Για το μακρινό μέλλον, είναι 30-40 μέρες στην ΒΔ Ελλάδα και 20-30 στην ΝΑ. (Karali et al 2013).

Οι Flannigan et al.(2005) χρησιμοποίησαν ιστορικές σχέσεις μεταξύ καιρού και κινδύνου πυρκαγιάς και καμμένων εκτάσεων σε συνδιασμό με 2 GCM για να εκτιμήσουν τις μελλοντικές καμμένες εκτάσεις στον Καναδά. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση 74-118% στην καμμένη έκταση μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του δείκτη επικινδυνότητας εμφάνισης πυρκαγιών στην Ελληνική Περιοχή για το παρόν και το μέλλον. Για την επίτευξη του σκοπού έγινε η αξιολόγηση των κλιματικών παραμέτρων θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου των μοντέλων ICTP-REGCM3 και KNMI-RACMO2.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ανέμου και βροχόπτωσης από το 1961 μέχρι 2012 από τρεις βάσεις δεδομένων, τα NCEPreanalysis δεδομένα και από δυο κλιματικά περιοχικά μοντέλα το ICTP και το KNMI. Επίσης για τα δύο περιοχικά κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για δύο μελλοντικές περιόδους, 1^η μελλοντική περίοδος 2020-2050 και 2^η μελλοντική περίοδος 2070-2100.

3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας, σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας, ανέμου και βροχόπτωσης από το 1961 μέχρι 2012 από NCEP reanalysis και από δυο κλιματικά περιοχικά μοντέλα (ICTP, KNMI). Επίσης για τα δύο περιοχικά κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για δύο μελλοντικές περιόδους, 1^η μελλοντική περίοδος 2020-2050 και 2^η μελλοντική περίοδος 2070-2100.

NCEP

Τα ημερήσια δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) είναι μια βάση κλιματικών δεδομένων που δημιουργήθηκε από το National Center for Environmental Prediction (NCEP) σε συνεργασία με το National Center for Atmospheric Research (NCAR). Αυτά τα δεδομένα προκύπτουν από παρατηρήσεις από μετεωρολογικούς σταθμούς εδάφους και θάλασσας, ραδιοβολίσεις και δορυφορικά δεδομένα, καλύπτουν όλο τον πλανήτη σε πλέγμα $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ γεωγραφικού μήκους και πλάτους και είναι πολύ αξιόπιστα. (Ρούση Ε., 2014)

ICTP

Το μοντέλο REGCM3 δημιουργήθηκε στο Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) στην Ιταλία από τους Giorgi et al. (1993a, b). Προέρχεται από το μέσης κλίμακας μοντέλο MM4, αλλά έγιναν διάφορες προσθήκες και αλλαγές και πλέον ο δυναμικός πυρήνας της πρόσφατης έκδοσης του μοντέλου να είναι η υδροστατική έκδοση του MM5 (Jacob et al., 2007).

Τα δεδομένα του μοντέλου έχουν χωρική ανάλυση $25\text{km} \times 25\text{km}$ και καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1950-2100. (Elguindi et al., 2007, Βελίκου Κ., 2012)

KNMI

Το μοντέλο RACMO2 δημιουργήθηκε στο Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) (Van Meijgaard et al., 2008) με δεδομένα που καλύπτουν την περίοδο 1960-2100. Βασίζεται σε χωρικές παραμετροποιήσεις του ECMWF, καλύπτει την Ευρώπη με 206 σημεία πλέγματος κατά γεωγραφικό μήκος και 224 κατά γεωγραφικό πλάτος, έχει χωρική ανάλυση $25\text{km} \times 25\text{km}$. (Βελίκου Κ., 2012)

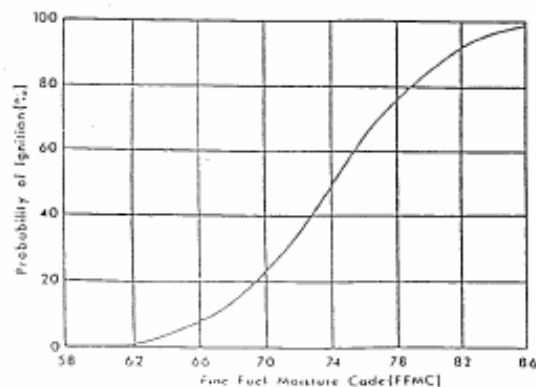
3.2 Μεθοδολογία

Το Καναδικό Σύστημα Πρόγνωσης CWFIS (Canadian Wildland Fire Information System) περιλαμβάνει 6 συνιστώσες-δείκτες που ευθύνονται για τις συνέπειες της υγρασίας της καύσιμης ύλης και του ανέμου στην συμπεριφορά της φωτιάς. Οι πρώτοι 3 δείκτες είναι αριθμητικές αξιολογήσεις της περιεχόμενης υγρασίας του litter (καύσιμη ύλη στην επιφάνεια του εδάφους) και άλλων καυσίμων, της μέσης περιεχόμενης υγρασίας των χαλαρά συμπιεσμένων οργανικών επιπέδων μέσου βάθους (duff) και της μέσης περιεχόμενης υγρασίας των βαθιών συμπαγών επιπέδων. Οι υπόλοιποι 3 δείκτες είναι δείκτες συμπεριφοράς της φωτιάς που αντιπροσωπεύουν τον βαθμό εξάπλωσης, την διαθέσιμη καύσιμη ύλη και την μετωπική ένταση της φωτιάς. Η τιμή τους αυξάνεται καθώς ο κίνδυνος αυξάνεται.

Αναλυτικά οι 6 δείκτες είναι:

- **Fine Fuel Moisture Code**

Ο δείκτης Fine Fuel Moisture Code (FFMC) είναι μια αριθμητική αξιολόγηση της περιεχόμενης υγρασίας του litter και άλλων fine fuels. Αυτός ο δείκτης δείχνει την σχετική ευκολία ανάφλεξης και ευφλεκτικότητας των καυσίμων.



Σχ. 2 Ευφλεκτικότητα πευκοβελόνων σε συνθήκες άπνοιας σε συνάρτηση με τον δείκτη FFMC (Blackmarr 1972 by M.E.Alexander βασισμένο στον VanWagner 1982)

Ο δείκτης FFMC εξαρτάται πολύ από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες των προηγούμενων 2-3 ημερών.

Οι παρακάτω εξισώσεις περιγράφουν το δυναμικό της υγρασίας (Chellietal 2014). Το R είναι οι σημερινές τιμές βροχόπτωσης (mm), το T η ημερήσια θερμοκρασία (°C), το RH η

ημερήσια υγρασία αέρα (ποσοστό %) και τέλος το W η ημερήσια ταχύτητα ανέμου (km/h). Το F(g-1) είναι η τιμή FFMC της προηγούμενης ημέρας, οπότε η τιμή του FFMC της σημερινής ημέρας υπολογίζεται όπως ακολούθως.

$$m(g-1) = p1 \frac{p1 - F(G-1)}{p3 + F(g-1)}$$

Φάση υγρασίας

Αν το $R \leq 0,5 \text{ mm}$ τότε $r = R$ διαφορετικά $r = R - 0,5$

$$m = m(g-1) + 42,5re^{-\frac{100}{251-m(g-1)}}(1 - e^{-\frac{6,93}{r}})$$

Αν το $m(g-1) > 150$ τότε $m = m + 0,0015(m(g-1) - 150)^2 \sqrt{r}$

Αν $m > 250$ τότε $m = 250$

Φάση ξηρασίας

$$Ed = p4H^{p5} + 11e^{(H-100)/10} + 0,18(21,1 - T)(1 - e^{-0,115H})$$

$$kd = (0,424 \left(1 - \left(\frac{H}{100} \right)^{1,7} \right) + 0,0694\sqrt{W} \left(1 - \left(\frac{H}{100} \right)^8 \right)) p7e^{p6T}$$

$$Ew = 0,656p4H^{1,109p5} + 10e^{(H-100)/10} + 0,18(21,1 - T)(1 - e^{-0,115H})$$

$$kw = (0,424(1 - \left(\frac{100-H}{100} \right)^{1,7}) + 0,0694\sqrt{W} \left(1 - \left(\frac{100-H}{100} \right)^8 \right)) p7e^{p6T}$$

Αν $m(g-1) > Ed$ τότε $m = Ed + (m(g-1) - Ed)10^{-kd}$

Αν $m(g-1) < Ew$ τότε $m = Ew - (Ew - m(g-1) - Ed)10^{-kw}$

Αν $Ew < m(g-1) < Ed$ τότε $m = m(g-1)$

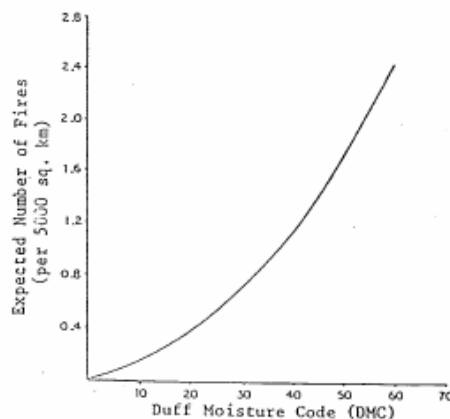
Δείκτης FFMC

$$FFMC = \frac{p1 * p2 - mp3}{p1 + m}$$

p1= 147,2, p2=101, p3=59,5, p4=0,942, p5=0.679, p6=0,0365, p7=0,581, m=περιεχόμενο υγρασίας

- **Duff Moisture Code**

Ο Duff Moisture Code (DMC) είναι μια αριθμητική αξιολόγηση της μέσης περιεχόμενης υγρασίας των χαλαρά συμπιεσμένων οργανικών επιπέδων μέσου βάθους (duff). Δείχνει την κατανάλωση καυσίμων σε μέτρια επίπεδα duff και μεσαίου μεγέθους ξυλώδη υλικά.



Σχ. 3 Τυπική σχέση μεταξύ DMC και πυρκαγιών από κεραυνούς (Martell 1976)

Ο δείκτης DMC εξαρτάται πολύ από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες ακόμα και 25 ημέρες πριν.

Τα R, T, H, W είναι οι σημερινές τιμές βροχόπτωσης (mm), θερμοκρασίας (°C), σχετικής υγρασίας αέρα (ποσοστό %) και ταχύτητας ανέμου (km/h). Το P(g-1) είναι η τιμή DMC της προηγούμενης ημέρας, οπότε η τιμή του DMC της σημερινής ημέρας υπολογίζεται όπως ακολούθως.(Chelli et al 2014)

Φάση υγρασίας

Αν το $R > 1,5\text{mm}$

$$M(g-1) = q1 + e^{q2-P(g-1)/q3}$$

$$r=0,92R-1,27$$

$$b = \frac{100}{0,5 + 0,3P(g-1)}, \quad P(g-1) \leq 33$$

$$14 - 1,3 \log P(g-1), \quad 33 < P(g-1) \leq 65$$

$$6,2 \log P(g-1) - 17,2, \quad P(g-1) > 65$$

$$M = M(g-1) + 1000 \frac{r}{48,77 + br}$$

$$Po = q_3 q_2 - \log(M(g-1))$$

Αν $Po < 0$ τότε $Po < 0$

Φάση ξηρασίας

Αν το $R \leq 1,5 \text{ mm}$ τότε $Po = P(g-1)$

Δείκτης DMC

$$K = 1,894(T + 1,1)(100 - H)(Le + q_4)10^{-6}$$

$$DMC = Po + 100K$$

$$q_1 = 20, q_2 = 5,6348, q_3 = 43,43, q_4 = 0$$

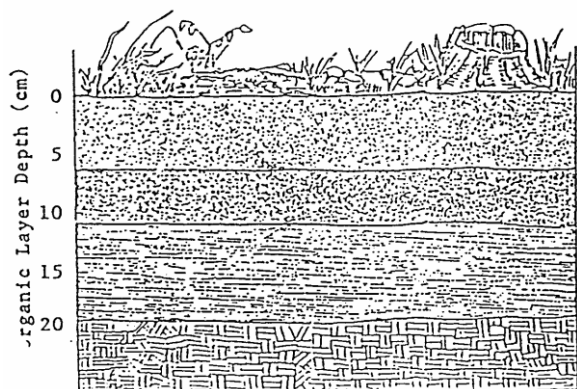
• Drought Code

Ο Drought Code (DC) είναι μια αριθμητική αξιολόγηση της μέσης περιεχόμενης υγρασίας των συμπιεσμένων οργανικών επιπέδων μεγάλου βάθους. Είναι χρήσιμος δείκτης των επιπτώσεων της εποχιακής ξηρασίας στα forest fuels (δασική καύσιμη ύλη) και στην ποσότητα που σιγοκαίει σε βαθιά υπεδάφια στρώματα.

Πίνακας 1. Περίληψη των χαρακτηριστικών των δεικτών της υγρασίας της καύσιμης ύλης (DeGroot J. William)

	FFMC	DMC	DC
Είδος καυσίμου	Σκουπίδια	Χαλαρά συμπιεσμένα οργανικά στρώματα μέσου βάθους	Βαθιά, συμπιεσμένα οργανικά στρώματα
Δείκτης πιθανότητας πυρκαγιάς	Ευκολία ανάφλεξης	Πιθανότητα πυρκαγιών από κεραυνούς, κατανάλωση καυσίμου σε μέτρια	Κατανάλωση καυσίμου βαθιών οργανικών υλικών

		υπεδάφια επίπεδα	
Βάθος cm (ίντσες)	1-2cm (4"-8")	5-10cm (2"-4")	10-20cm (4"-8")
Φορτίο καυσίμου	5 t/ha, 2,2 t/ac	50 t/ha, 22 t/ac	440 t/ha, 196 t/ac
Προαπαιτούμενες εισαγωγές καιρού:			
Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου	X	X	X
Σχετική Υγρασία	X		
Ταχύτητα Ανέμου	X	X	
Βροχόπτωση	X	X	X
Κατώφλι 24ωρης βροχόπτωσης	0,5mm- 0,03"	1,4mm- 0,06"	2,8mm- 0,11"
Χρονική υστέρηση	16 ώρες	12 μέρες	52 μέρες
Εύρος τιμής	0-99	0-350	0-1200
Μέγιστη πιθανή τιμή	96	150	800
	85	6	15

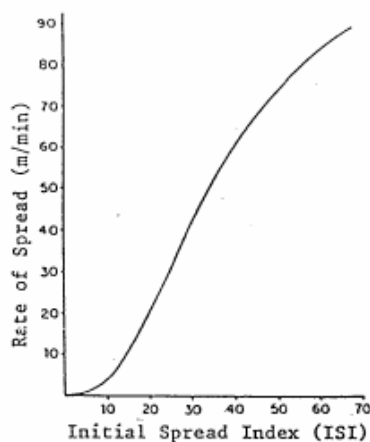


Σχ.4 Αναπαράσταση της δασικής καύσιμης ύλης από τους δείκτες περιεχόμενης υγρασίας του FWI(DeGrootJ. William)

	Βάρος	Δείκτης υγρασίας καυσίμου
Επίπεδο duff	5 t/ha	FFMC
Ανώτερο	50 t/ha	DMC
Μέσο		
Κατώτερο	440 t/ha	DC
Έδαφος		

- **Initial Spread Index**

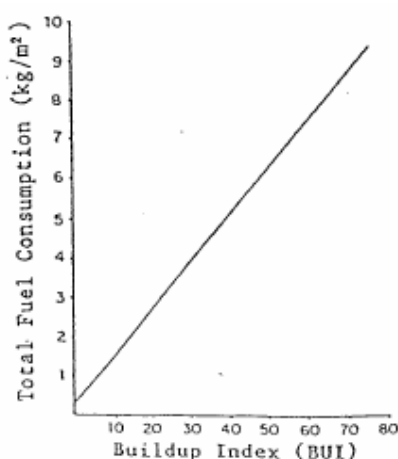
Ο Initial Spread Index (ISI) είναι μια αριθμητική αξιολόγηση του αναμενόμενου ρυθμού εξάπλωσης της φωτιάς. Συνδυάζει τις επιδράσεις του ανέμου και του FPMC στο ρυθμό εξάπλωσης χωρίς την επίδραση των μεταβλητών ποσοτήτων καυσίμου.



Σχ. 5 Ρυθμός εξάπλωσης για καύσιμα τύπου πεύκων σε επίπεδο έδαφος σε συνάρτηση με τον ISI (Alexander, etal1984)

- **Build up Index**

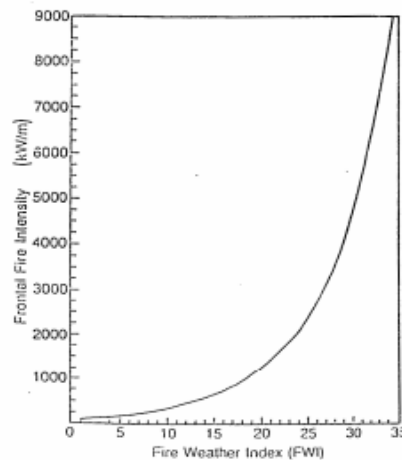
Ο Build up Index (BUI) δίνει την συνολική ποσότητα της διαθέσιμης καύσιμης ύλης και συνδυάζει τον DMCMε τονDC.



Σχ.6 Σχέση μεταξύ της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου και του δείκτη BUI σε πεύκα (Stocks and Walker 1972)

- **Fire Weather Index**

Ο Fire Weather Index (FWI) δείχνει την ένταση της φωτιάς. Συνδιάζει τον δείκτη Initial Spread Index και τον Build up Index και χρησιμοποιείται σαν ένας γενικός δείκτης του κινδύνου πυρκαγιάς.



Σχ.7 Ένταση μετωπικής πυρκαγιάς σε ώριμα πεύκα σε συνάρτηση με τον δείκτη FWI (Alexander and DeGroot 1988)

Daily Severity Rating: Ο Daily Severity Rating (DSR) είναι ένας δείκτης που δείχνει την δυσκολία αντιμετώπισης της πυρκαγιάς. Βασίζεται στο FWI αλλά αντικατοπτρίζει καλύτερα τις αναμενόμενες προσπάθειες που γίνονται για την καταστολή των πυρκαγιών.

$$DSR = 0.0272 FWI^{1.7}$$

Ο Seasonal Severity Rating (SSR) είναι ο εποχιακός δείκτης ενώ Montly Severity Rating (MSR) είναι ο μηνιαίος.

$$SSR = \sum_{i=1}^n DSR_i / n$$

όπου DSR_i είναι η τιμή DSR για τη μέρα i , και n είναι ο συνολικός αριθμός ημερών.

Ο δείκτης FWI χωρίζεται σε 5 κλάσεις κινδύνου (low, moderate, high, very high και extreme). Η κατανομή βασίζεται σε καταγραφές καιρού στον Καναδά από το 1985-1998. Μέρη με χαμηλό κίνδυνο ήταν πιο συχνές με ποσοστό 45-50%. Μέσος κίνδυνος 30%, υψηλός 12-15%, πολύ υψηλός 7-8% και ακραίος 2-3%.

Πίνακας 2. Εύρος τιμών κάθε δείκτη για κάθε κλάση κινδύνου

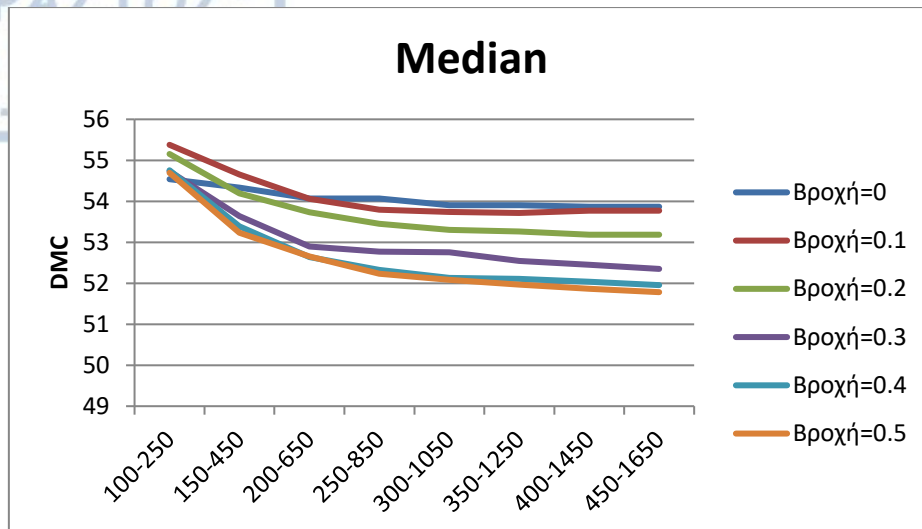
Δείκτης	Χαμηλός	Μέσος	Υψηλός	Πολύ υψηλός	Ακραίος
FFMC	0.0 - 80.9	81.0 - 87.9	88.0 - 90.4	90.5 - 92.4	92.5+
DMC	0.0 - 12.9	13.0 - 27.9	28.0 - 41.9	42.0 - 62.9	63.0+
DC	0.0 - 79.9	80.0 - 209.9	210.0 - 273.9	274.0 - 359.9	360.0+
ISI	0.0 - 3.9	4.0 - 7.9	8.0 - 10.9	11.0 - 18.9	19.0+
BUI	0.0 - 18.9	19.0 - 33.9	34.0 - 53.9	54.0 - 76.9	77.0+
FWI	0.0 - 4.9	5.0 - 13.9	14.0 - 20.9	21.0 - 32.9	33.0+

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Ο καναδικός δείκτης πυρκαγιάς FWI έχει αρχικά δημιουργηθεί και εφαρμοστεί στον Καναδά, μια περιοχή με πιο υγρό και ψυχρόκλίμα, παρ'όλα αυτά έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και σε πιο ξηρά κλίματα με αρκετά καλά αποτελέσματα. Αυτός ήταν ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς στον Ελλαδικό χώρο.

Στον υπολογισμό του δείκτη FWI (VanWagner 1975), όπως φαίνεται και από τη μεθοδολογία, χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις κάποια όρια βροχοπτώσεων τα οποία είναι χαρακτηριστικά για την περιοχή του Καναδά, τα οποία όμως δεν είναι αντιπροσωπευτικά για την Ελλάδα. Έτσι, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, έγιναν κάποιες δοκιμές ευαισθησίας για να προκύψουν οι κατάλληλες τιμές βροχοπτώσεων και ορίων δεικτών.

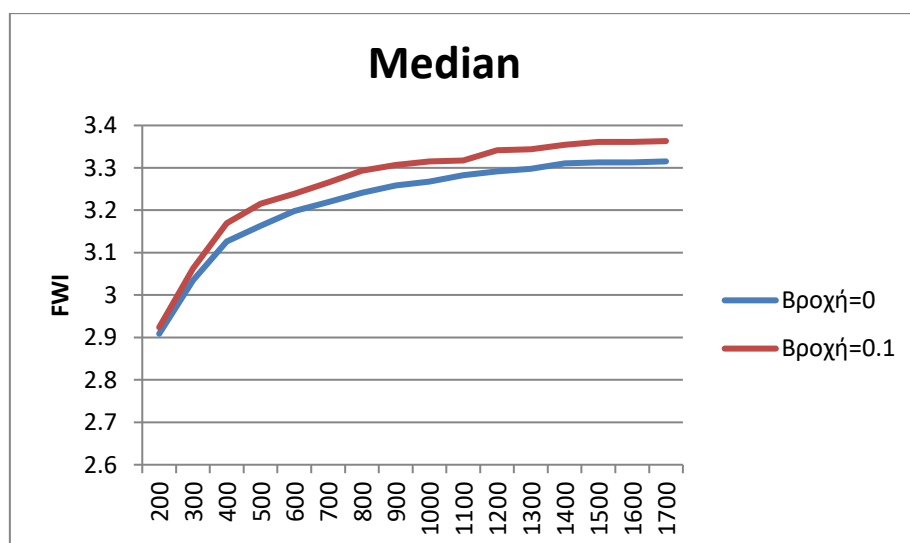
Στους υπολογισμούς, για την περιοχή του Καναδά, λαμβάνεται ως όριο βροχόπτωσης η τιμή 0,5. Στον Ελλαδικό χώρο, όμως, αυτή η τιμή είναι πολύ μεγάλη μιας και το κλίμα είναι πιο ξηρό από αυτό του Καναδά. Ο δείκτης αυτός παίρνει πολύ μεγαλύτερες τιμές για τα Μεσογειακά κλίματα. Για όλα τα παραπάνω αποφασίστηκε να γίνουν κάποιες δοκιμές ευαισθησίας ώστε να επιλέγουν τα κατάλληλα όρια βροχόπτωσης και οι οριακές τιμές του δείκτη DMC που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς του δείκτη FWI. Έτσι, υπολογίστηκαν οι τιμές του δείκτη DMC για διάφορα όρια βροχής 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 και 0.5mm για διαφορετικούς συνδυασμούς οριακών τιμών του DC. Αρχικά βρέθηκε η μέση τιμή του DMC για κάθε μέρα για την περίοδο αναφοράς (1961-1990). Στη συνέχεια υπολογίστηκε η διάμεσος (median), και η μέση τιμή των ποσοστιαίων μορίων του 75% και του 90% από τις προηγούμενες τιμές. Και δημιουργήθηκαν 3 διαγράμματα, αλλά το μόνο που δίνει πληροφορίες είναι το median (Σχ. 8), από το οποίο εξήγαμε το συμπέρασμα ότι από την κλάση 200-650 (που αντιστοιχούν σε οριακές τιμές DMC) και μετά δεν παρατηρείται καμία αλλαγή και οι τιμές του δείκτη παραμένουν σταθερές για οποιεσδήποτε οριακές τιμές. Επίσης, το όριο της βροχόπτωσης σε 0.0mm εμφανίζει τη μικρότερη αλλαγή.



Σχ.8 Τιμές DMC για διαφορετικά όρια βροχόπτωσης

Τελικά, επιλέχθηκαν οι οριακές τιμές 200 και 650 και αντικαταστάθηκαν τα όρια 33 και 65 στους υπολογισμούς του DMC και το όριο βροχόπτωσης που επιλέχθηκε για την ελληνική περιοχή είναι το 0.1 σύμφωνα με το Σχήμα 8 αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία (Anagnostopoulou et al, 2003).

Μια άλλη αλλαγή έγινε στην εξίσωση του δείκτη FWI, όπου το όριο BUI στον Καναδά ήταν το 80 που αντιστοιχεί σε ακραίες καταστάσεις. Πάλι για την Ελλάδα αυτή η τιμή ήταν μικρή και έτσι έγινε ξανά έλεγχος για να βρεθεί η κατάλληλη τιμή.



Σχ.9 Οριακές τιμές FWI

Όπως φαίνεται στο σχήμα 9, από το 1200 (οριακή τιμή BUI) και μετά δεν παρατηρείται κάποια μεταβολή οπότε αυτή η τιμή θεωρήθηκε κατάλληλη για το όριο BUI και πάλι η τιμή 0,1 ήταν καλύτερη για όριο βροχόπτωσης. Έτσι η τιμή 0,1 αντικατέστησε όλα τα όρια βροχής.

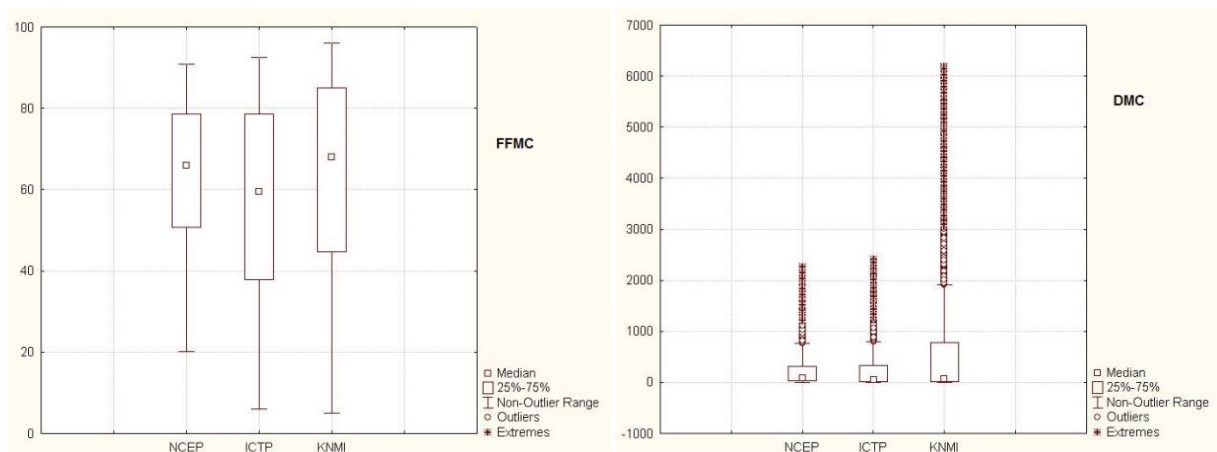
4.1 Αξιολόγηση και ανάλυση δεικτών

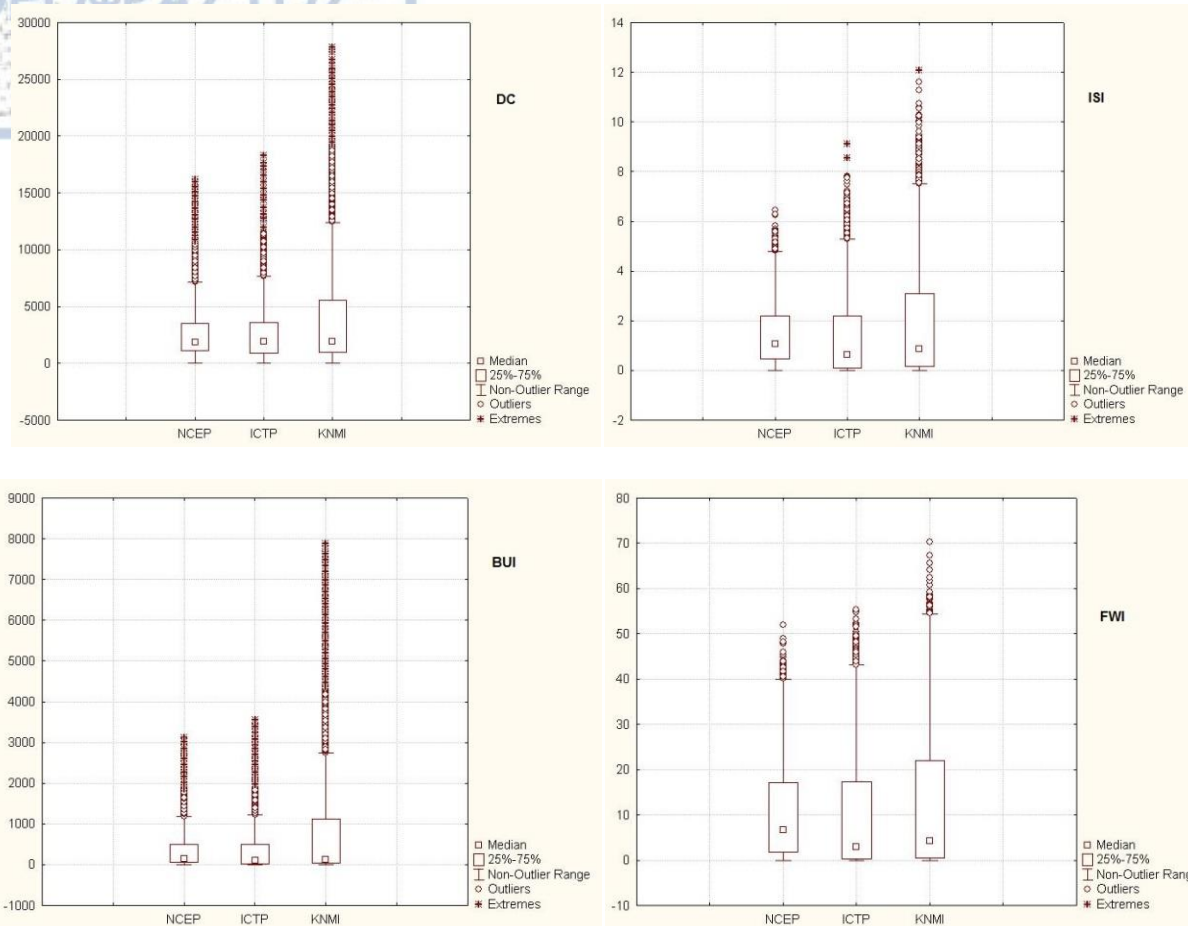
Στη συνέχεια βρέθηκαν οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες εποχιακές τιμές για τις 4 μετεωρολογικές παραμέτρους (θερμοκρασία, άνεμος, βροχόπτωση και υγρασία) για την περίοδο 1961-1990 για να φανούν οι όποιες διαφορές ανάμεσα στα 3 μοντέλα. Οι διαφορές ήταν πολύ μικρές κι έτσι τα όρια που βρέθηκαν προηγουμένως, παρέμειναν ίδια και για τα υπόλοιπα 2 μοντέλα.

Κατόπιν υπολογίστηκαν οι εποχιακές τιμές θερμοκρασίας, βροχόπτωσης, ανέμου και σχετικής υγρασίας για τις 3 χρονικές περιόδους καθώς και για τα 3 μοντέλα.

Δημιουργήθηκαν boxplots (θηκογράμματα) για όλους τους δείκτες για τα 3 μοντέλα για να δειχθεί το εύρος των τιμών που μπορεί να φτάσουν σε ακραίες συνθήκες στην Ελλάδα.

Αν θέλουμε να δούμε τις διαφορές των δεικτών μεταξύ των μοντέλων και των πραγματικών δεδομένων, στοιχείο δίνει το Σχ. 10. Παρατηρείται ότι το μοντέλο ICTP είναι πιο αντιπροσωπευτικό μιας και είναι πολύ κοντά στα δεδομένα του NCEP για όλους τους δείκτες. Το μοντέλο KNMI εμφανίζει μεγαλύτερες αποκλίσεις.





Σχ.10 Boxplots των δεικτών για τα 3 μοντέλα για την περίοδο αναφοράς 1961-1990

Το εύρος των τιμών των δεικτών είναι:

NCEP	1961-1990
FFMC	0-90,8
DMC	0-2263,2
DC	0-16164,5
ISI	0-6,5
BUI	0-3123,7
FWI	0-51,9

Το εύρος των τιμών των δεικτών για το μοντέλο ICTP είναι:

ICTP	1961-1990
FFMC	0-92,5
DMC	0-2407,5
DC	0-18259,9
ISI	0-9,1
BUI	0-3556,9
FWI	0-55,4

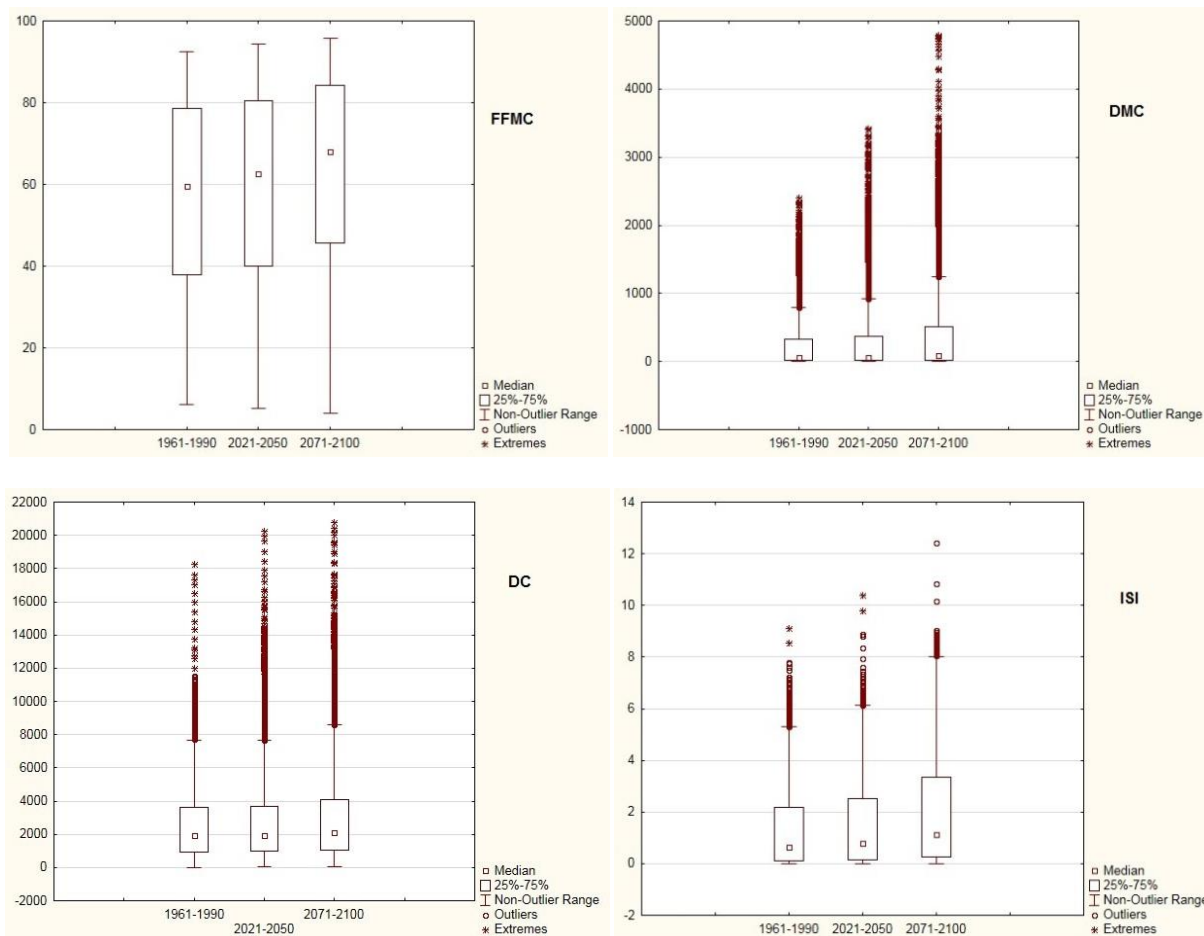
Το εύρος των τιμών των δεικτών για το μοντέλο KNMI είναι:

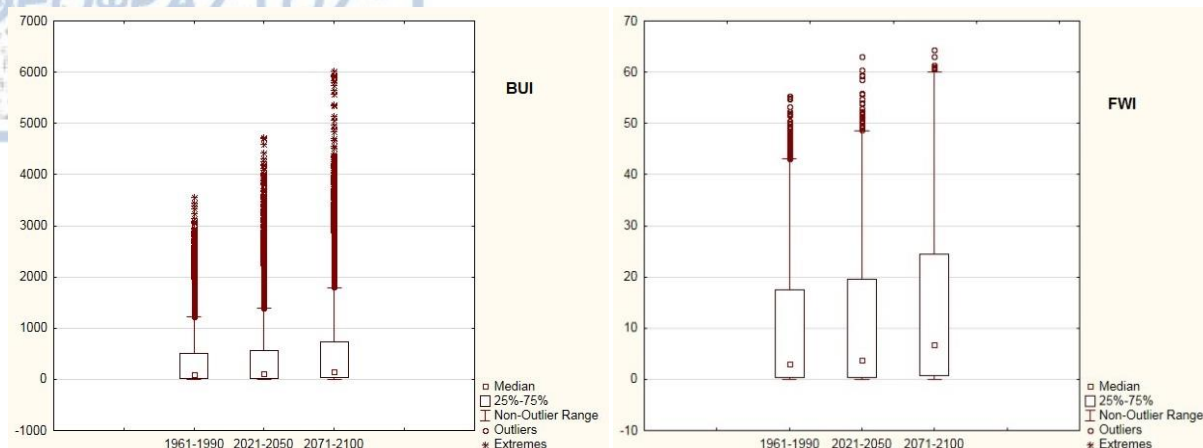
KNMI	1961-1990
FFMC	0-96,1
DMC	0-6180,9
DC	0-27797,1
ISI	0-12,1
BUI	0-7884,5
FWI	0-70,3

Οι δείκτες με την μεγαλύτερη απόκλιση είναι ο DC και ο BUI, ενώ μικρότερη απόκλιση παρατηρείται στον δείκτη FFMC.

ICTP

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το εύρος των τιμών κάθε δείκτη για το μοντέλο ICTP. Είναι εμφανές ότι οι τιμές όλων των δεικτών αυξάνονται σημαντικά στις 2 μελλοντικές περιόδους.





Σχ.11 Boxplots των δεικτών για τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100) για το μοντέλο ICTP.

Ειδικότερα, η διάμεσος του FFMC φαίνεται να αυξάνει από 59,6 μονάδες στη περίοδο αναφοράς στις 68,1 μονάδες στη 2^η μελλοντική περίοδο. Αντίθετα το ενδοτεταρτομοριακό πλάτος δεν φαίνεται να αλλάζει στη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου.

Η διάμεσος του DMC αυξάνεται από 54,1 την περίοδο 1961-1990 σε 86,6 στην 2^η μελλοντική περίοδο και ταυτόχρονα αυξάνεται και το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος.

Για το DC, το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος και η διάμεσος παραμένουν σχεδόν σταθερά μέχρι το τέλος του 2100.

Για το ISI, φαίνεται ότι το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος αυξάνει σημαντικά και η διάμεσος διπλασιάζεται από 0,64 την περίοδο αναφοράς σε 1,1 την 2^η μελλοντική περίοδο.

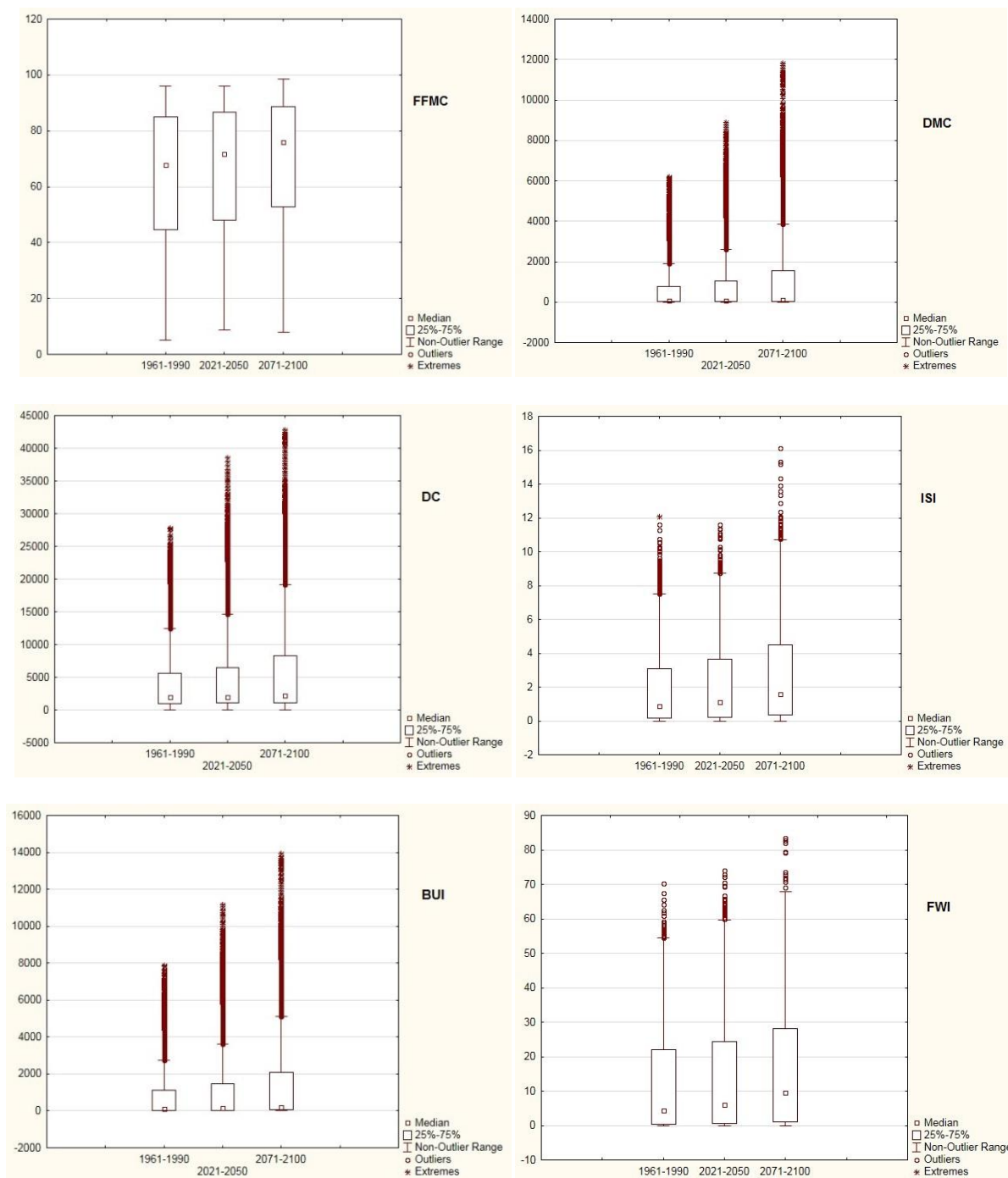
Η διάμεσος του BUI αυξάνεται από 94,2 σε 147,2 ενώ το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος αυξάνεται ελαφρώς.

Διπλασιασμός της διαμέσου παρατηρείται και στον τελικό δείκτη FWI από 3 την περίοδο αναφοράς σε 6,7 την περίοδο 2071-2100. Μεγάλη αύξηση παρατηρείται και στο ενδοτεταρτημοριακό πλάτος.

Το εύρος των δεικτών για το μοντέλο ICTP τις 2 μελλοντικές περιόδους διαμορφώνεται ως εξής:

ICTP	2021-2050	2071-2100
FFMC	0-94,4	0-95,8
DMC	0-3413,9	0-4794,3
DC	0-20220,9	0-20789,8
ISI	0-10,4	0-12,4
BUI	0-4728,4	0-6012,4
FWI	0-62,9	0-64,4

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το εύρος των τιμών κάθε δείκτη για το μοντέλο ΚΝΜΙ. Είναι εμφανές ότι το μοντέλο αυτό δίνει πολύ μεγαλύτερες τιμές (έως και διπλάσιες σε κάποιους δείκτες) από το ICTP.



Σχ.12 Boxplots των δεικτών για τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100) για το μοντέλο ΚΝΜΙ

- Η διάμεσος και το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος για τον FFMC παραμένουν σχεδόν σταθερά.
- Για τον DMC υπάρχει και σε αυτό το μοντέλο αύξηση στο ενδοτεταρτημοριακό πλάτος και στην διάμεσο αλλά οι τιμές είναι σχεδόν διπλάσιες από το ICTP. Συγκεκριμένα η διάμεσος από 68,8 την περίοδο αναφοράς αυξάνεται σε 109 την 2^η μελλοντική περίοδο.
- Ο DC όπως και στο προηγούμενο μοντέλο παραμένει σχεδόν σταθερός και με τιμές ανάλογες του ICTP.
- Ανάλογες τιμές έχει και ο ISI (0,9 την περίοδο αναφοράς, 1,6 την 2^η μελλοντική περίοδο) και παρατηρείται αύξηση και στο ενδοτεταρτημοριακό πλάτος.
- Η διάμεσος του BUI όπως και το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος αυξάνονται ελαφρώς.
- Για τον FWI παρατηρείται ότι το ενδοτεταρτημοριακό πλάτος αυξάνεται ελαφρώς σε αντίθεση με την διάμεσο που φαίνεται να διπλασιάζεται από 4,5 την περίοδο 1961-1990 σε 9,5 την περίοδο 2071-2100.

Το εύρος των δεικτών για το μοντέλο KNMI τις 2 μελλοντικές περιόδους διαμορφώνεται ως εξής:

KNMI	2021-2050	2071-2100
FFMC	0-95,9	0-98,5
DMC	0-8879,5	0-11827,7
DC	0-38518,5	0-42856,4
ISI	0-11,6	0-16,1
BUI	0-11189,7	0-13931,1
FWI	0-73,9	0-83,5

Πίνακας 3. Εύρος των τιμών κάθε δείκτη που δίνει το μοντέλο ICTP τις χρονικές περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100. Σε παρένθεση είναι η αύξηση ή η μείωση που παρατηρείται.

ICTP	1961-1990	2021-2050	2071-2100
FFMC	0-92,5	0-94,4 (2,1%)	0-95,8 (3,6%)
DMC	0-2407,5	0-3413,9 (41,8%)	0-4794,3 (99%)
DC	0-18259,9	0-20220,9 (10,7%)	0-20789,8 (13,9%)
ISI	0-9,1	0-10,4 (14,3%)	0-12,4 (36,3%)

BUI	0-3556,9	0-4728,4 (32,9%)	0-6012,4 (69%)
FWI	0-55,4	0-62,9 (13,5%)	0-64,4 (16,3%)

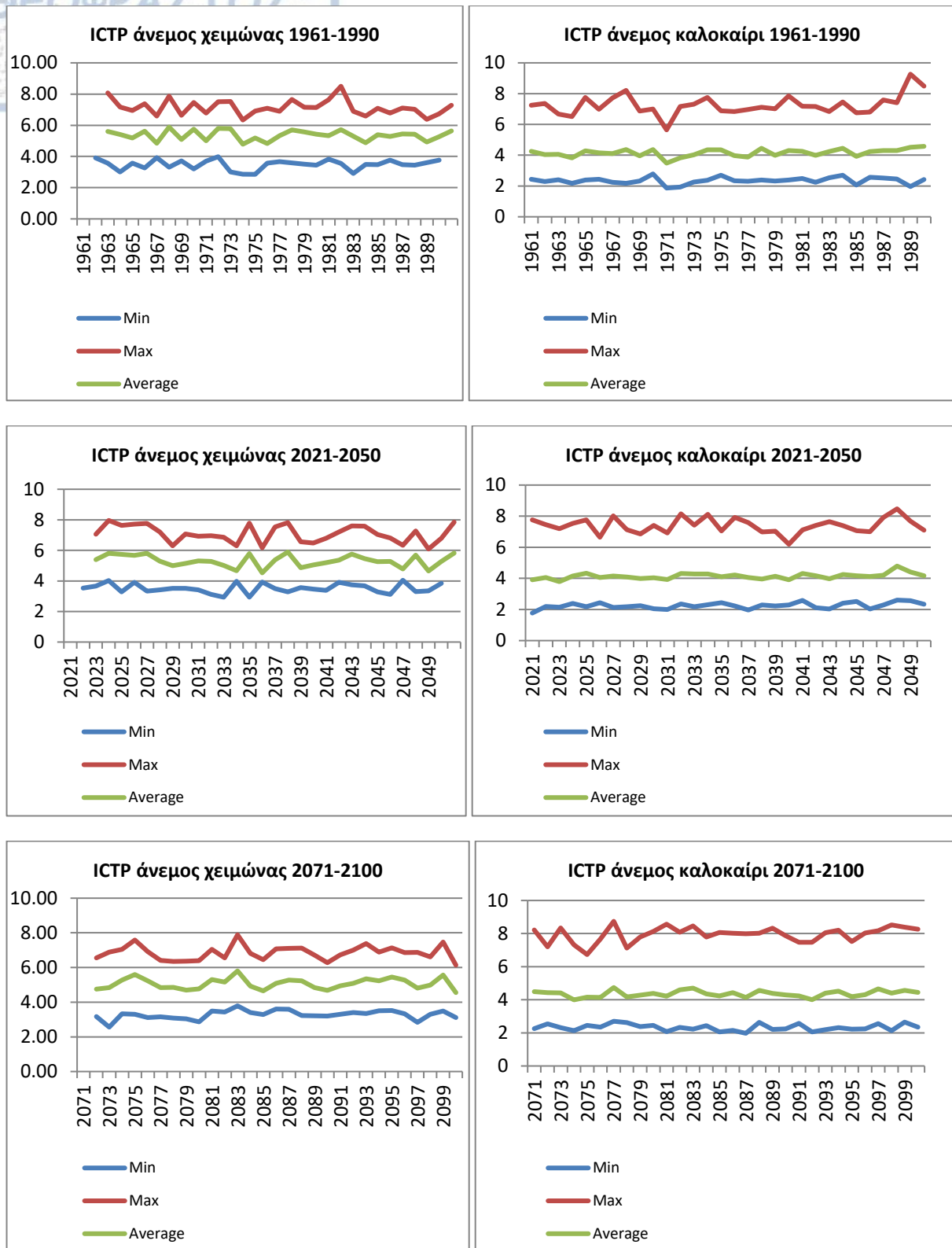
Πίνακας 4. Εύρος των τιμών κάθε δείκτη που δίνει το μοντέλο KNMI τις χρονικές περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100. Σε παρένθεση είναι η αύξηση ή η μείωση που παρατηρείται.

KNMI	1961-1990	2021-2050	2071-2100
FFMC	0-96,1	0-95,9 (-0,2%)	0-98,5 (2,5%)
DMC	0-6180,9	0-8879,5 (43,7%)	0-11827,7 (91,4%)
DC	0-27797,1	0-38518,5 (38,6%)	0-42856,4 (54,2%)
ISI	0-12,1	0-11,6 (-4,1%)	0-16,1 (33,1%)
BUI	0-7884,5	0-11189,7 (41,9%)	0-13931,1 (76,7%)
FWI	0-70,3	0-73,9 (5,1%)	0-83,5 (18,8%)

Εν κατακλείδι, παρατηρείται και στα 2 μοντέλα αύξηση των δεικτών μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, με μεγαλύτερη αύξηση να έχει ο δείκτης DMC. Ο δείκτης DC είναι ο δείκτης ο οποίος έχει πολύ μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα 2 μοντέλα και η αύξηση του οποίου φαίνεται να συμβάλει στην μεγαλύτερη αύξηση που δίνει το KNMI για τον FWI την δεύτερη μελλοντική περίοδο.

Τα παρακάτω σχήματα αναφέρονται στο μέσο grid. Η ελάχιστη τιμή είναι η μικρότερη τιμή που παρατηρείται σε ένα οποιοδήποτε σημείο (grid) για κάθε έτος, η μέγιστη τιμή είναι η μεγαλύτερη τιμή που παρατηρείται σε ένα οποιοδήποτε σημείο (grid) για κάθε έτος, ενώ η μέση τιμή αναφέρεται στη μεσοποίηση όλων των σημείων.

Στο σχήμα 4.1 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής του ανέμου για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο ICTP τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).



Σχ.4.1 Εποχιακές τιμές ταχύτητας ανέμου του μοντέλου ICTP για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

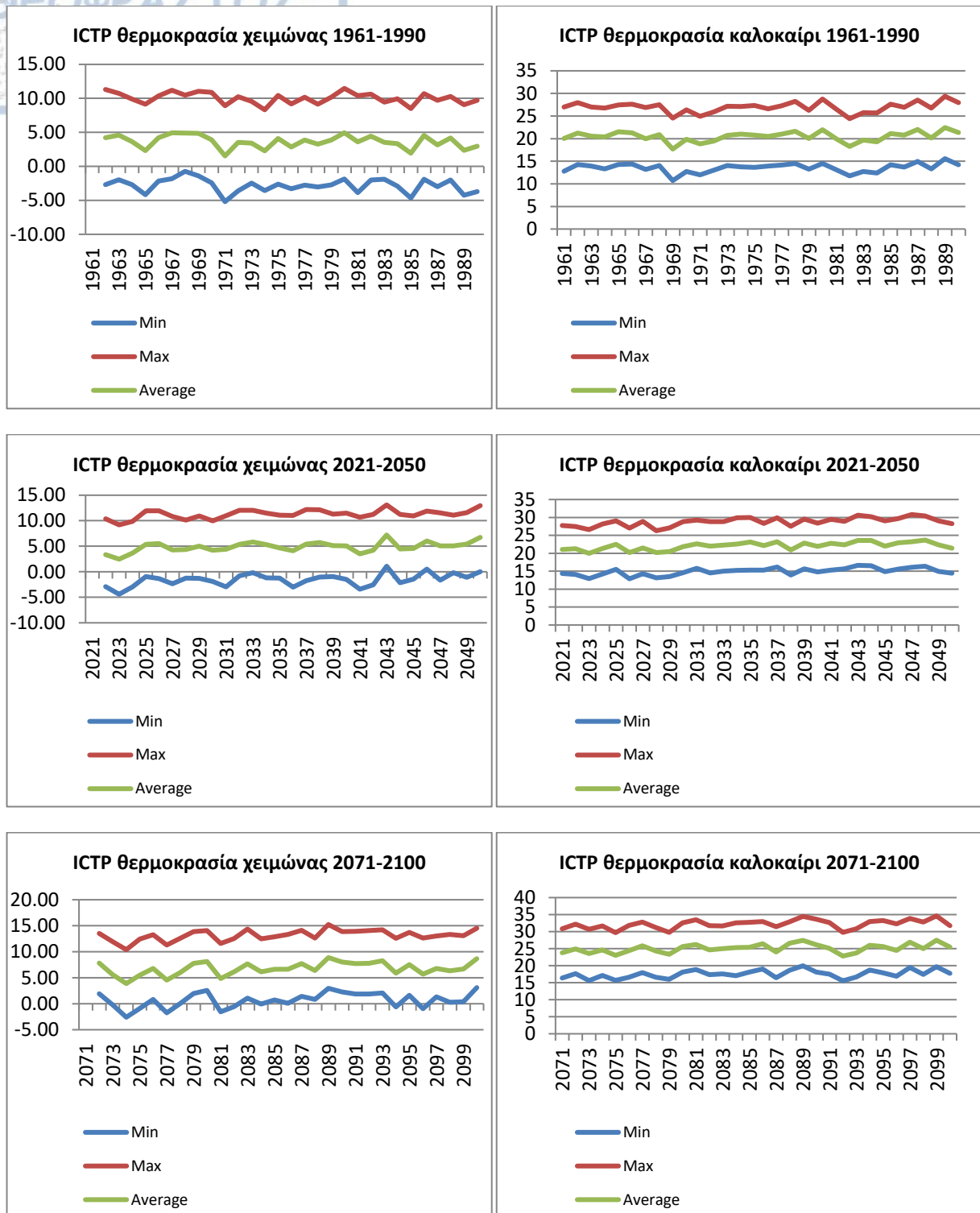
Οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου φαίνονται να παραμένουν σχεδόν σταθερές. Τον χειμώνα, οι μέγιστες τιμές του ανέμου ξεπερνούν τα 7m/sec, η μέση ταχύτητα για όλη τη περιοχή της Ελλάδας είναι της τάξης των 5m/sec, ενώ οι ελάχιστες τιμές του ημερήσιου ανέμου είναι στα 3m/sec. Το καλοκαίρι, οι μέγιστες τιμές του ανέμου αυξάνονται ελαφρώς στα 8m/sec με κάποια έτη να ξεπερνούν τα 9m/sec. Οι ελάχιστες είναι στα 2m/sec ενώ οι μέσες τιμές ανέμου στα 4m/sec. Από τα σχήματα παρατηρείται ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι λίγο μεγαλύτερη το καλοκαίρι απ'ότι τον χειμώνα και αυτό συνεχίζεται και στις 2 μελλοντικές περιόδους. Επίσης παρατηρείται μια μικρή αύξηση της μέγιστης ταχύτητας του ανέμου το καλοκαίρι της περιόδου 2071-2100, ενώ οι μέσες και οι ελάχιστες παραμένουν σχεδόν σταθερές.

Στη συνέχεια μελετάται η παράμετρος της θερμοκρασίας. Στο σχήμα 4.2 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της μέσης θερμοκρασίας για όλη την περιοχή μελέτης για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο ICTP τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες θερμοκρασίες μεταβάλλονται και στις 3 περιόδους. Αντιθέτως, το καλοκαίρι οι μεταβολές είναι πιο ομαλές. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο αναφοράς για το μέσο κόμβο (grid) είναι -3°C τον χειμώνα και 13°C το καλοκαίρι. Η μέση φτάνει τους 4°C και 20°C αντίστοιχα ενώ η μέγιστη είναι 10°C τον χειμώνα και 27°C το καλοκαίρι. Την 1^η μελλοντική περίοδο παρατηρείται αύξηση και στις τρεις παραμέτρους και στις δυο εποχές. Συγκεκριμένα, οι ελάχιστες τιμές τον χειμώνα στο τέλος της 30ετίας αγγίζουν τους 0°C ενώ μέχρι τότε ήταν πάντα κάτω από 0°C. Το καλοκαίρι αυξάνονται περίπου 2 βαθμούς. Η μέση θερμοκρασία τον χειμώνα φτάνει και ξεπερνά τους 5 βαθμούς, ενώ το καλοκαίρι αυξάνεται σταδιακά προς το τέλος της περιόδου και φτάνει τους 23°C. Η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 10°C τον χειμώνα ενώ το καλοκαίρι αγγίζει τους 30°C.

Όπως είναι αναμενόμενο, η 2^η μελλοντική περίοδος δείχνει μεγαλύτερη αύξηση. Οι ελάχιστες θερμοκρασίες του χειμώνα είναι όλες (με εξαίρεση κάποια έτη) πάνω από 0°C και το καλοκαίρι πλησιάζουν τους 20°C. Η μέση θερμοκρασία είναι 7°C για τον χειμώνα και 25°C για το καλοκαίρι ενώ οι μέγιστες φτάνουν τους 15°C και 40°C αντίστοιχα.

Γενικότερα, τον χειμώνα φαίνεται μια βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας από την αρχή της 30 ετίας προς το τέλος και στις 2 μελλοντικές περιόδους, ενώ το καλοκαίρι παρατηρείται μια σταθερή τάση μεγαλύτερων θερμοκρασιών από την αρχή κάθε περιόδου. Μέχρι το τέλος του αιώνα φαίνεται ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί 4-5°C.



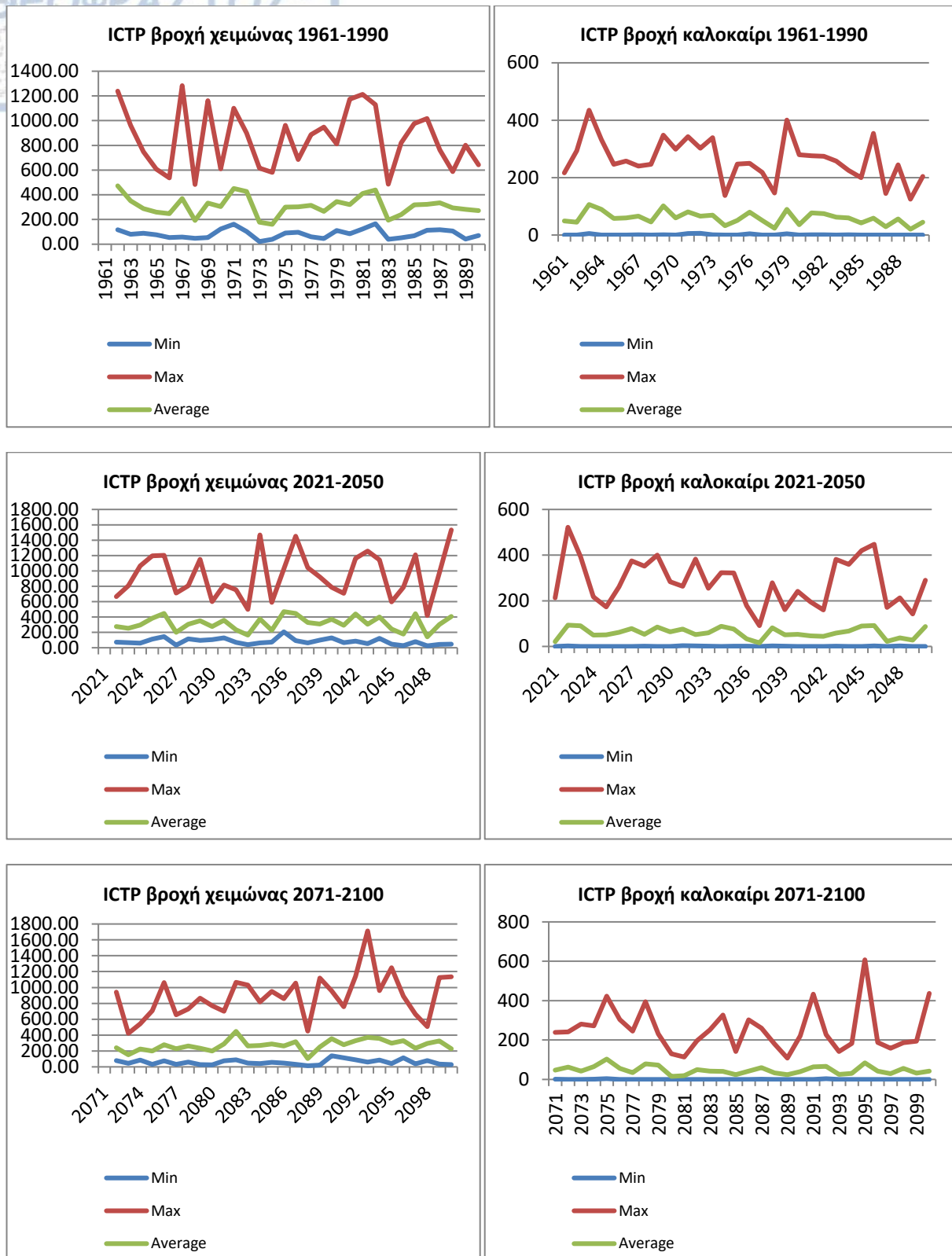
Σχ.4.2 Εποχιακές τιμές θερμοκρασίας του μοντέλου ICTP για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

Στο σχήμα 4.3 εμφανίζονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της βροχόπτωσης για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο ICTP τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).

Για την περίοδο αναφοράς παρατηρείται ότι η βροχόπτωση έχει μια πτωτική τάση και τις δυο εποχές. Οι μέγιστες τιμές έχουν πολύ μεγάλη μεταβολή κάθε έτος με μέγιστες τιμές τα 1200mm τον χειμώνα και τα 500mm το καλοκαίρι. Οι μέσες και ελάχιστες είναι πιο ομαλές με σχεδόν σταθερή μηδενική τάση. Το ίδιο μοτίβο φαίνεται να κυριαρχεί και στο μέλλον.

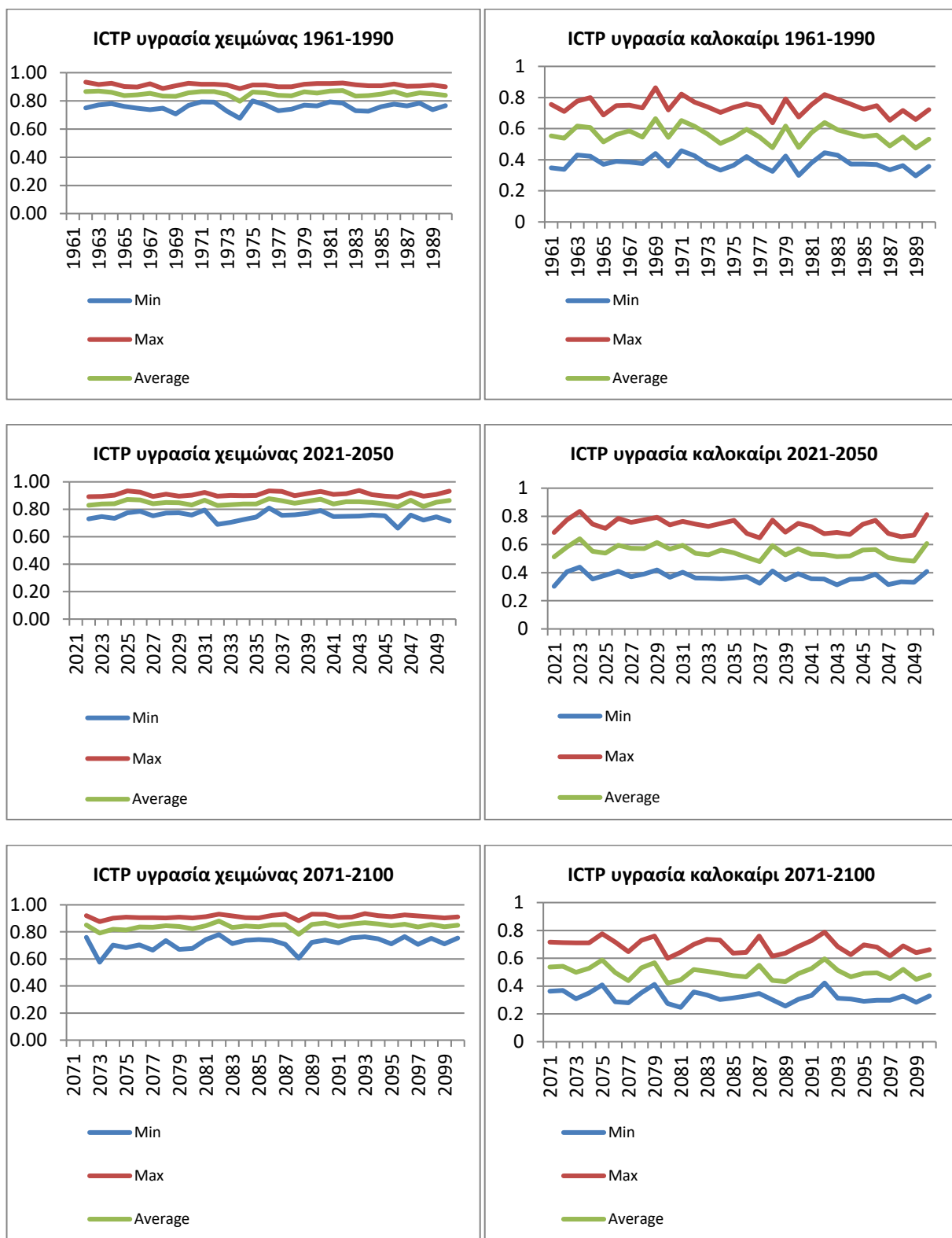
Την 1^η μελλοντική περίοδο (2021-2050) οι μεγάλες κατ'έτος μεταβολές συνεχίζονται στις μέγιστες τιμές. Πτωτική τάση, παρ'όλα αυτά, φαίνεται μόνο για το καλοκαίρι. Οι μέγιστες τιμές ξεπερνούν τα 1400mm τον χειμώνα και αγγίζουν τα 600mm το καλοκαίρι. Οι μέσες και ελάχιστες τιμές είναι ελαφρώς μικρότερες από την περίοδο αναφοράς στα 200mm τον χειμώνα και 70mm το καλοκαίρι.

Την περίοδο 2071-2100 φαίνεται μια αυξητική τάση στις μέγιστες τιμές βροχόπτωσης τον χειμώνα, ενώ οι μέγιστες τιμές καλοκαιριού αλλά και οι μέσες και ελάχιστες τιμές και για τις δυο εποχές έχουν μηδενική τάση. Και σ'αυτήν την περίοδο διαφαίνεται μια μείωση των βροχοπτώσεων με εξαίρεση κάποια έτη που έχουν μεγαλύτερα χιλιοστα βροχής. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται μείωση των βροχοπτώσεων μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

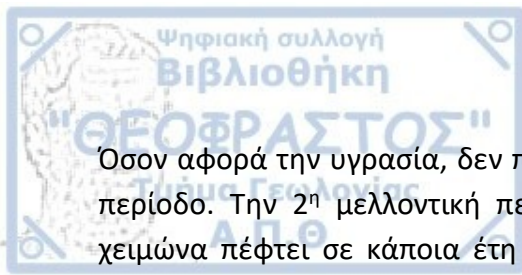


Σχ.4.3 Εποχικές τιμές βροχόπτωσης του μοντέλου ICTP για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

Στα παρακάτω σχήματα(σχήμα 4.4) φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της υγρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο ICTP τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).



Σχ.4.4 Εποχιακές τιμές υγρασίας του μοντέλου ICTP για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.



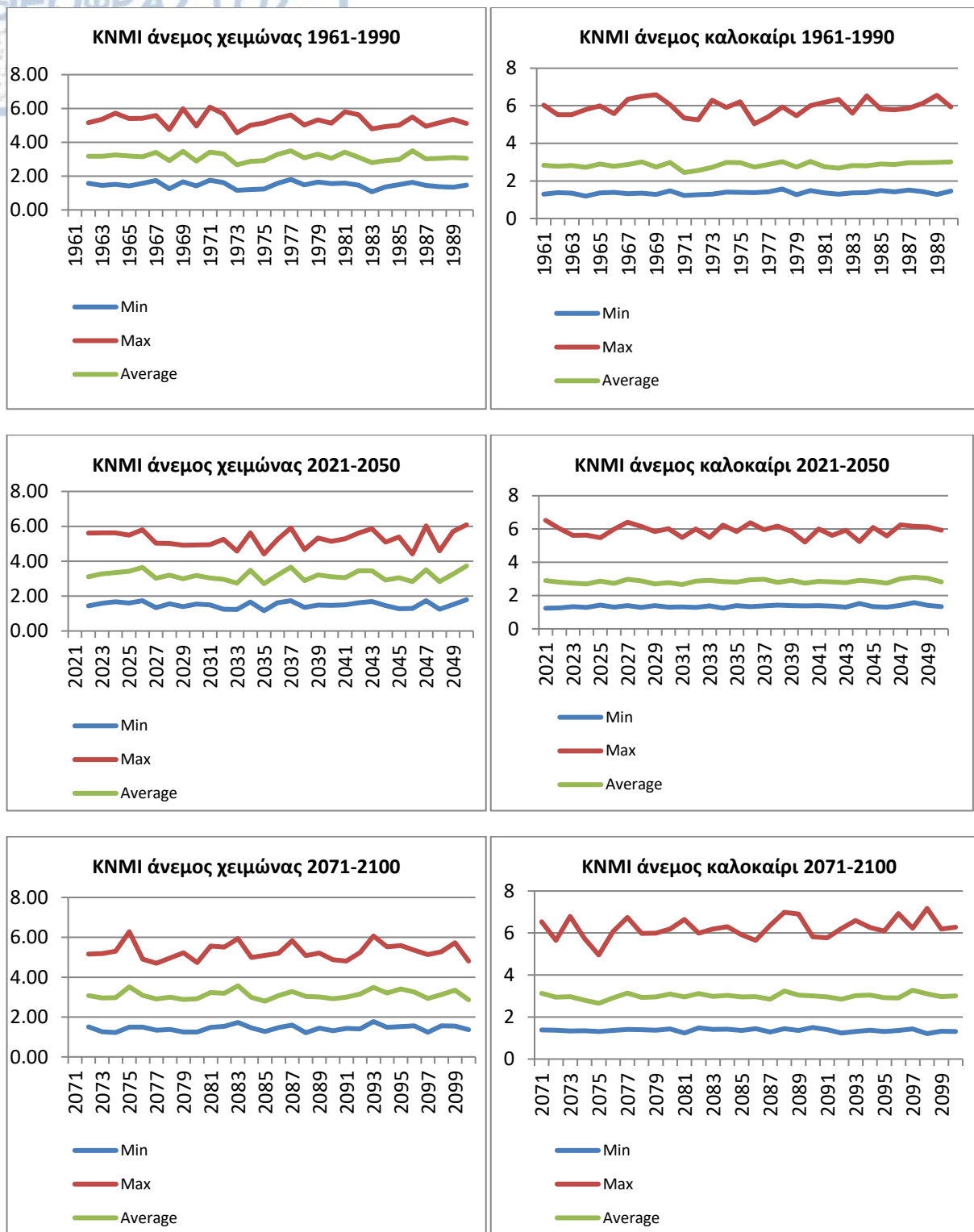
Όσον αφορά την υγρασία, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή την 1^η μελλοντική περίοδο. Την 2^η μελλοντική περίοδο, όμως, φαίνεται ότι η ελάχιστη τιμή υγρασίας τον χειμώνα πέφτει σε κάποια έτη στο 0,6 (ή 60%) από περίπου 0,8 που ήταν. Το καλοκαίρι παρατηρείται μείωση στις μέγιστες, μέσες και ελάχιστες με τιμές 0,7, 0,5 και 0,3 αντίστοιχα.

Και γι'αυτήν την παράμετρο παρατηρείται μια σταδιακή μείωση έως το 2100.

Όσον αφορά το μοντέλο KNMI, έγιναν τα ακόλουθα διαγράμματα.

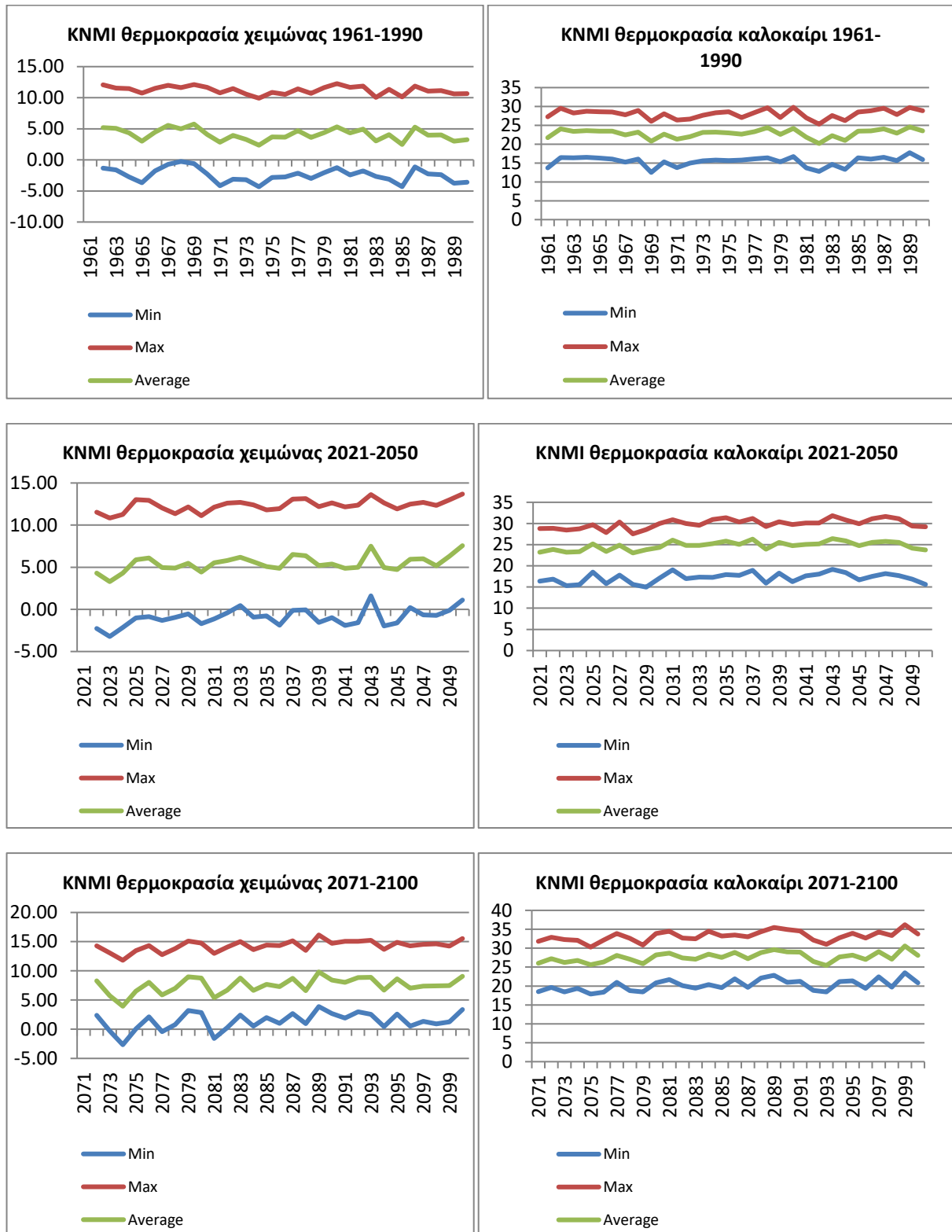
Παρακάτω φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο KNMI τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).

Για τον χειμώνα δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή του ανέμου στο μέλλον. Η μέγιστη τιμή είναι 5m/sec, η μέση 3m/sec και η ελάχιστη 1,7m/sec. Το καλοκαίρι, οι μέγιστες τιμές είναι στα 6m/sec όπως και την 1^η μελλοντική περίοδο αλλά την 2^η μελλοντική περίοδο φτάνουν τα 7m/sec. Οι μέσες και ελάχιστες είναι περίπου ίδιες. Παρατηρείται δηλαδή μια βαθμιαία αύξηση της μέγιστης τιμής της ταχύτητας του ανέμου την περίοδο 2071-2100.



Σχ.4.5 Εποχιακές τιμές ταχύτητας ανέμου του μοντέλου KNMI για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

Στο σχήμα 4.6 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της θερμοκρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο KNMI τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).



Σχ.4.6 Εποχιακές τιμές θερμοκρασίας του μοντέλου KNMI για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

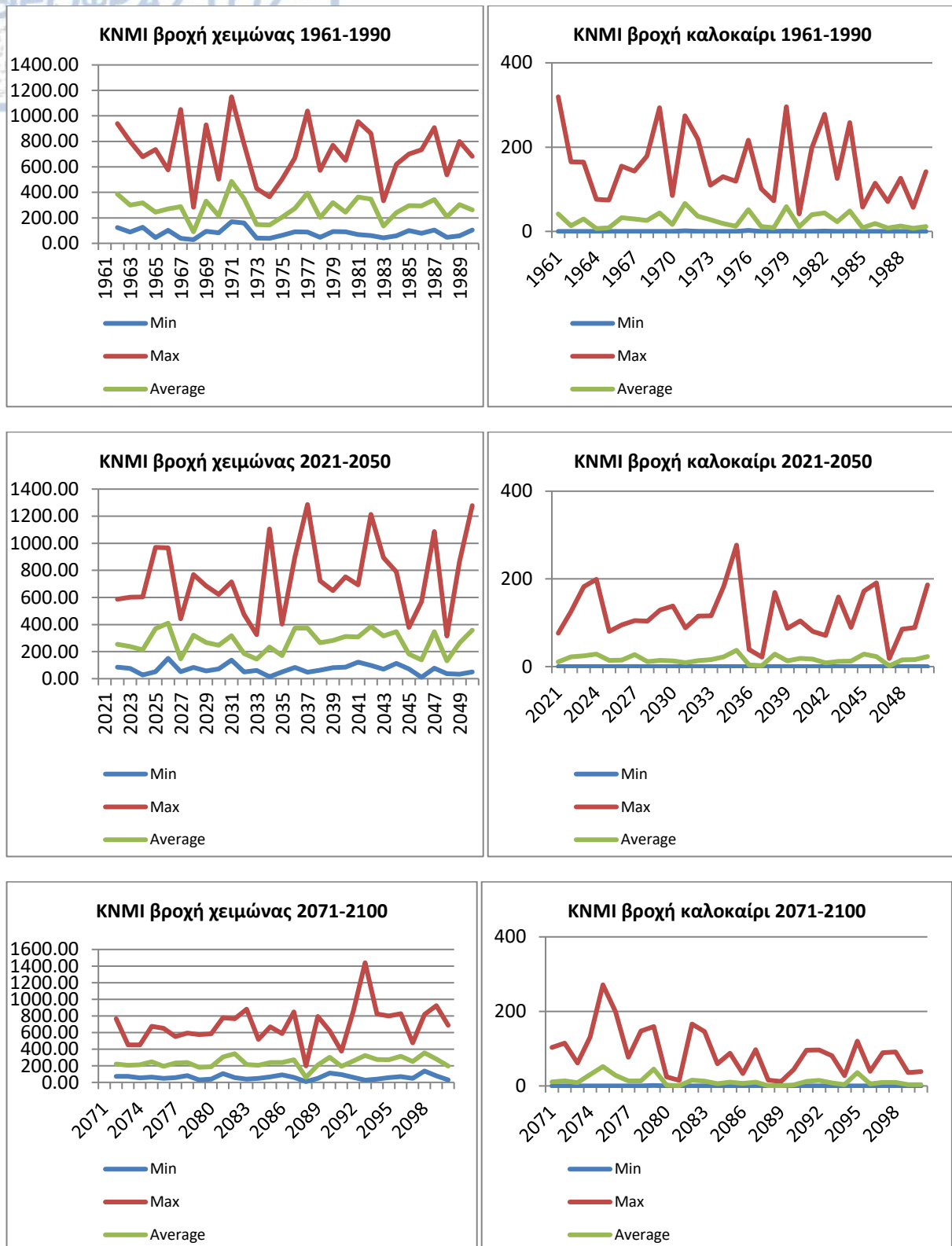
Και σ' αυτό το μοντέλο παρατηρείται ότι οι ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας τον χειμώνα σταδιακά ανεβαίνουν πάνω από 0°C φτάνοντας ακόμα και τους 4°C μέχρι το τέλος του αιώνα. Στις δυο μελλοντικές περιόδους είναι ξεκάθαρη η αυξητική τάση της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας και τις δυο εποχές. Οι μέγιστες τιμές φτάνουν και ξεπερνούν τους 15°C τον χειμώνα και οι μέσες από 4°C την περίοδο αναφοράς φτάνουν τους 10°C μέχρι το τέλος του αιώνα.

Το καλοκαίρι φαίνεται να ισχύει το ίδιο. Την περίοδο 1961-1990 οι μέγιστες, μέσες και ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας είναι 27°C, 23°C και 15°C. Την 2^η μελλοντική περίοδο οι θερμοκρασίες αυξάνονται σε 33°C, 27°C, και 20°C αντίστοιχα, δηλαδή παρατηρείται μια αύξηση 5°C μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα.

Στο σχήμα 4.7 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της βροχόπτωσης για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο KNMI τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).

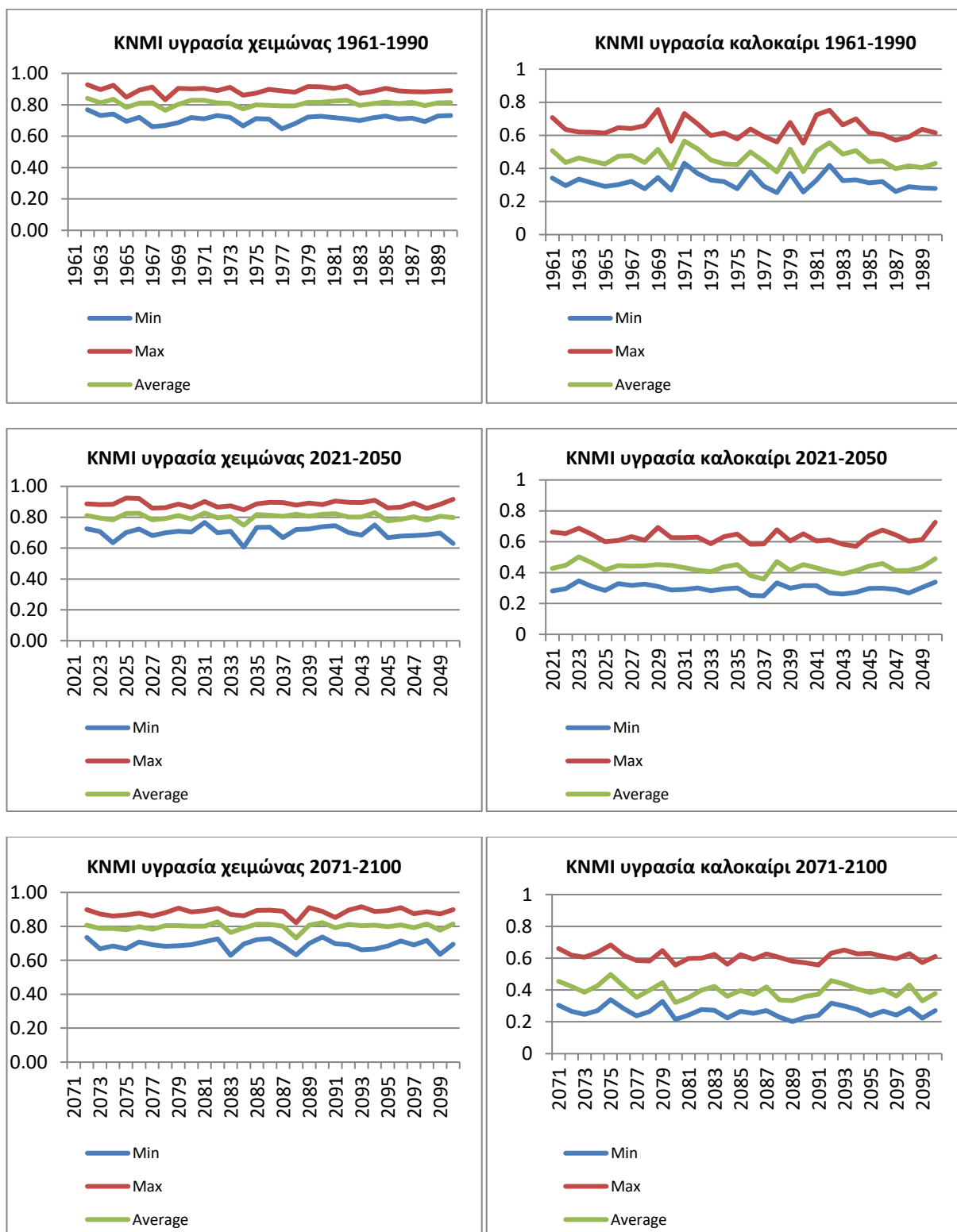
Οι βροχοπτώσεις, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, μειώνονται σημαντικά την 2^η μελλοντική περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, τον χειμώνα του 1961-1990 οι μέγιστες τιμές είναι περίπου στα 700mm με ακραίες τιμές τα 1200 mm. Την πρώτη μελλοντική περίοδο παρατηρείται μια μεγαλύτερη μεταβολή κατ'έτος με αποτέλεσμα το ένα έτος να υπάρχουν βροχοπτώσεις πάνω από 1200 mm και το επόμενο να είναι στα 400 mm, το οποίο συνέβαινε και την περίοδο αναφοράς αλλά με μικρότερες διαφορές. Την 2^η μελλοντική περίοδο οι κατ'έτος μεταβολές γίνονται μικρότερες με μέσες τιμές βροχοπτώσεων τα 600 mm και μια αυξητική τάση προς το τέλος αυτής την 30ετίας.

Το καλοκαίρι, οι μέγιστες τιμές είναι στα 170 mm με αρκετές ακραίες τιμές να φτάνουν τα 300 mm. Την περίοδο 2021-2050 φαίνεται μια μικρή μείωση των τιμών αλλά μεγαλύτερη μείωση αλλά και γενικότερη πτωτική τάση φαίνεται την 2^η μελλοντική περίοδο όπου οι μέγιστες τιμές πέφτουν στα 100 mm.



Σχ.4.7 Εποχιακές τιμές βροχόπτωσης του μοντέλου KNMI για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

Το σχήμα 4.8 δείχνει τις τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής της υγρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το μοντέλο KNMI τις 3 περιόδους (1961-1990, 2021-2050, 2071-2100).



Σχ.4.8 Εποχιακές τιμές υγρασίας του μοντέλου KNMI για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, 2021-2050 και 2071-2100.

Η υγρασία φαίνεται να μειώνεται σταδιακά. Τον χειμώνα δεν φαίνονται σημαντικές αλλαγές αλλά το καλοκαίρι οι μέγιστες τιμές από 0,7 την περίοδο αναφοράς γίνονται 0,6 την περίοδο 2071-2100. Επίσης οι τιμές είναι πιο ομαλές στο μέλλον, ενώ την περίοδο αναφοράς υπάρχουν πολλά «σκαμπανεβάσματα». Οι μέσες τιμές από 0,5 πέφτουν κάτω από 0,4 και οι ελάχιστες από 0,35 φτάνουν τις 0,25 την 2^η μελλοντική περίοδο. Επίσης, παρατηρείται μια πτωτική τάση της υγρασίας την 2^η μελλοντική περίοδο από την αρχή μέχρι το τέλος της 30ετίας.

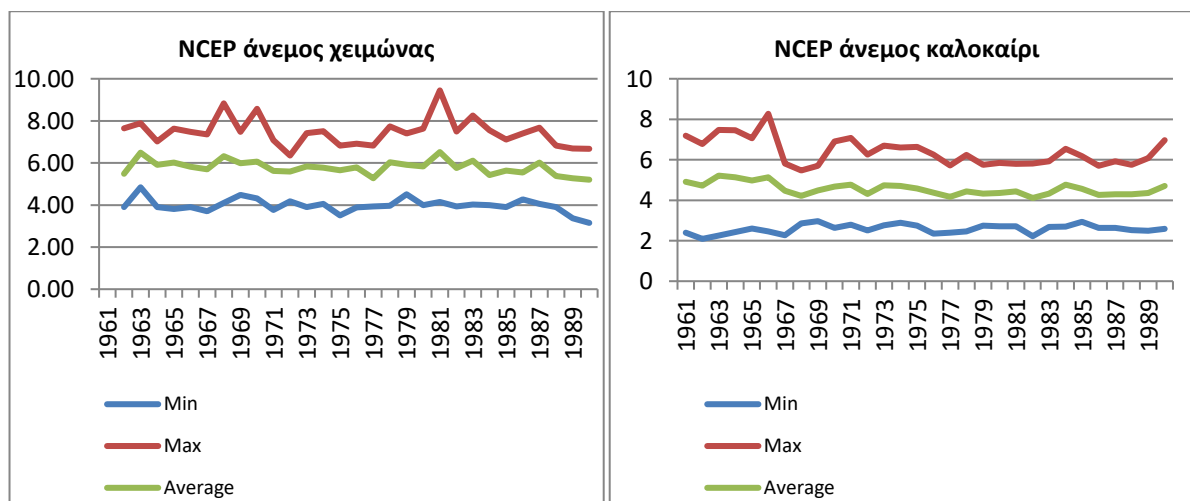
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής του ανέμου, της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της υγρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι για το NCEP την περίοδο 1961-1990.

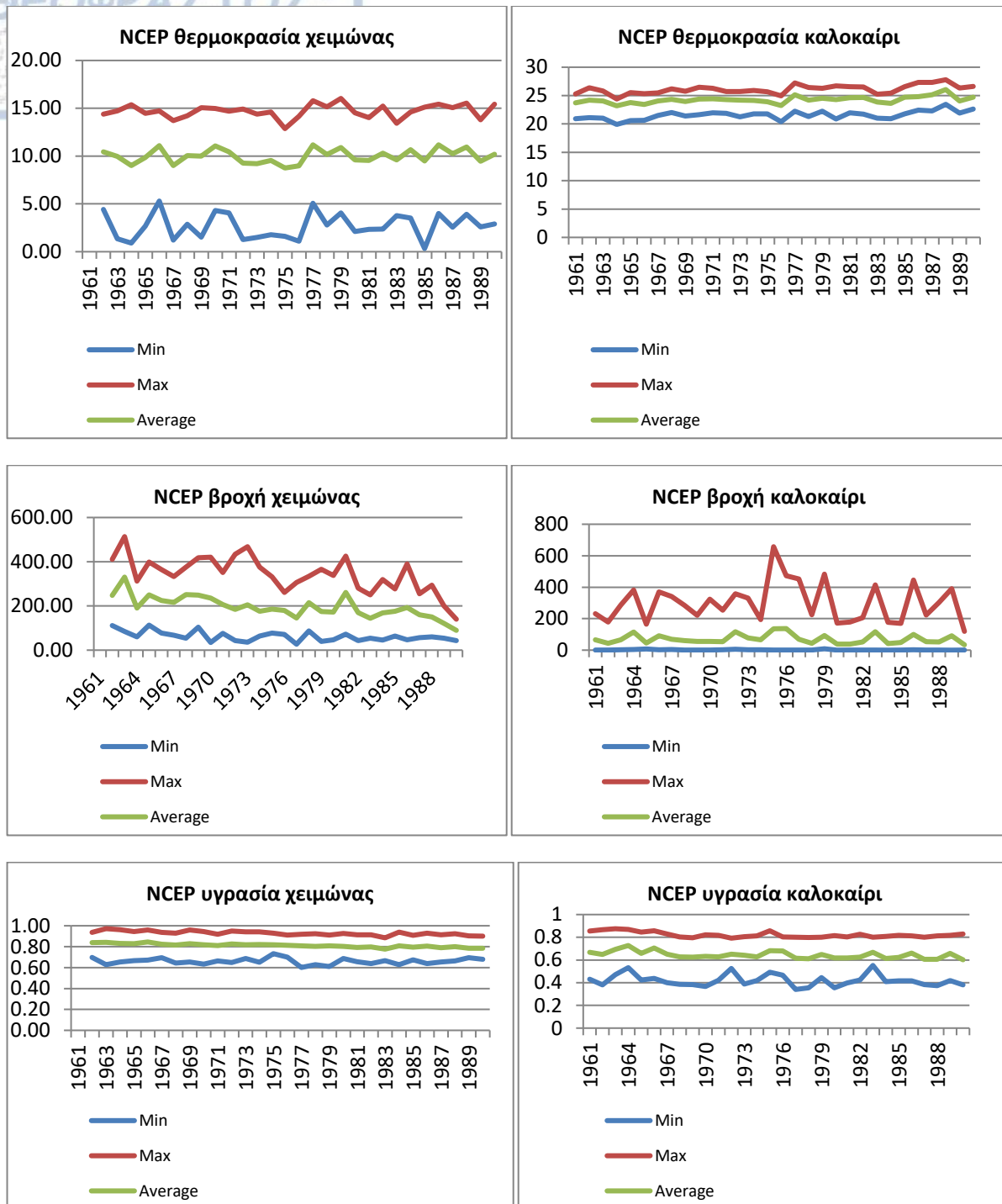
Για τον άνεμο παρατηρείται μια πτωτική τάση και τις δυο εποχές. Οι μέγιστες τιμές ανέμου είναι 8m/sec, οι μέσες 6m/sec και οι ελάχιστες 4m/sec τον χειμώνα. Το καλοκαίρι οι τιμές είναι 6,5m/sec, 4,5m/sec, 2,5m/sec αντίστοιχα.

Οι ελάχιστες θερμοκρασίες τον χειμώνα είναι όλες πάνω από 0°C και οι μέγιστες στους 15°C ενώ το καλοκαίρι οι μέγιστες ξεπερνούν τους 25°C και οι ελάχιστες είναι 22°C. Τον χειμώνα δεν παρατηρείται κάποια τάση σε αντίθεση με το καλοκαίρι όπου είναι εμφανής η αυξητική τάση.

Για την βροχόπτωση, τον χειμώνα είναι ξεκάθαρη η πτωτική τάση που υπάρχει αυτήν την περίοδο. Οι μέγιστες τιμές από 500mm στις αρχές της περιόδου φτάνουν τα 180mm στα τέλη. Η πτώση αυτή δεν είναι τόσο μεγάλη για τις ελάχιστες τιμές όπου από 150mm στις αρχές της περιόδου πέφτει στα 100mm. Το καλοκαίρι δεν υπάρχει αντίστοιχη τάση. Παρατηρείται, όμως, μια πολύ μεγάλη κατ'έτος μεταβολή στις μέγιστες τιμές. Οι μέσες μέγιστες τιμές βροχόπτωσης είναι στα 300mm.

Τέλος, η υγρασία και στις δυο εποχές εμφανίζει μια πτωτική τάση. Μέσες τιμές υγρασίας τον χειμώνα είναι 0,8 ενώ το καλοκαίρι 0,6.

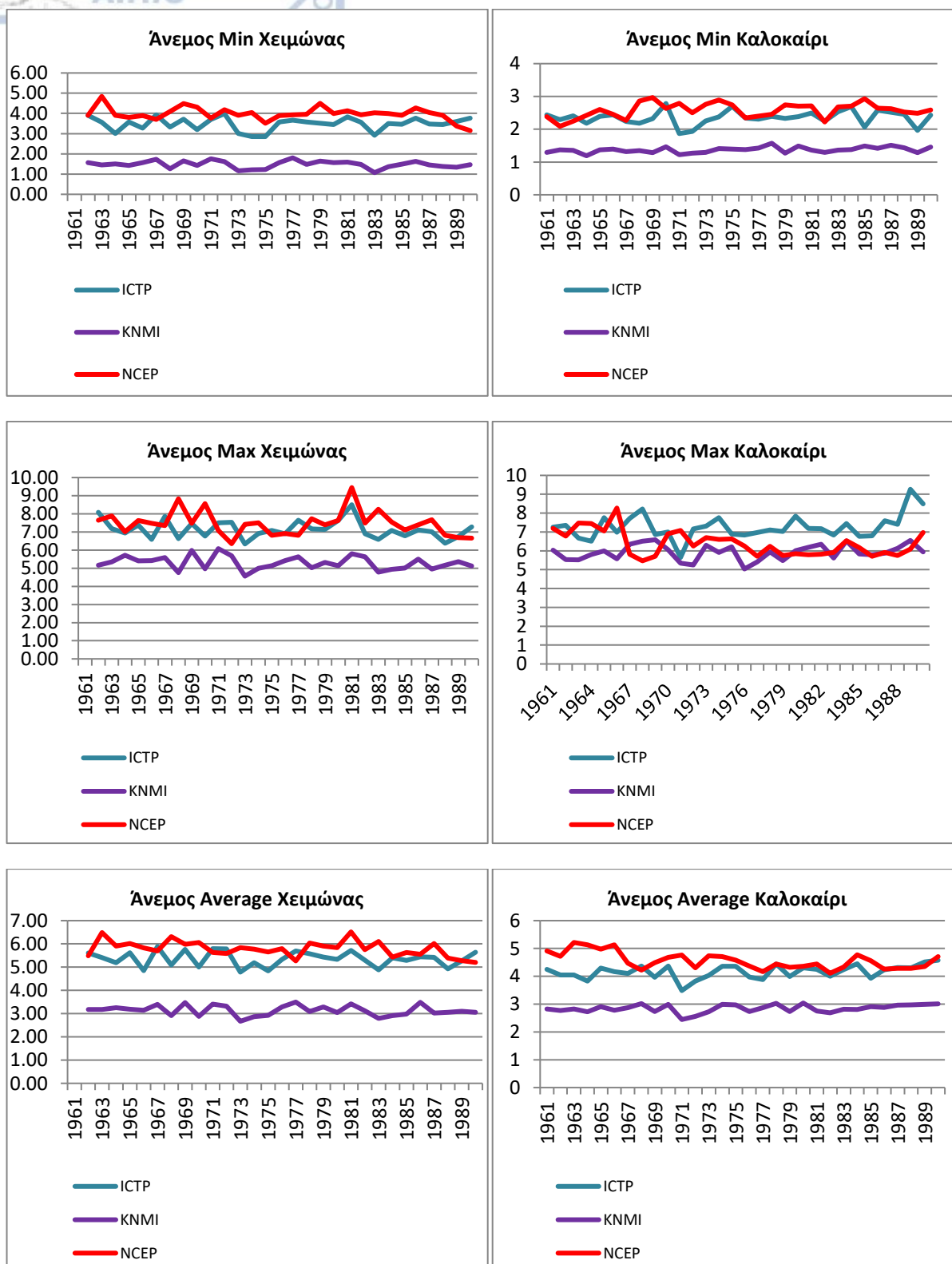




Σχ.4.9 Εποχιακές τιμές υγρασίας NCEP για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990

Στη συνέχεια απεικονίζονται οι τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων των δύο μοντέλων σε σχέση με τα δεδομένα re-analysis(NCEP) για τη περίοδο αναφοράς και η σύγκριση ανάμεσα στα δύο μοντέλα για τις δύο μελλοντικές περιόδους

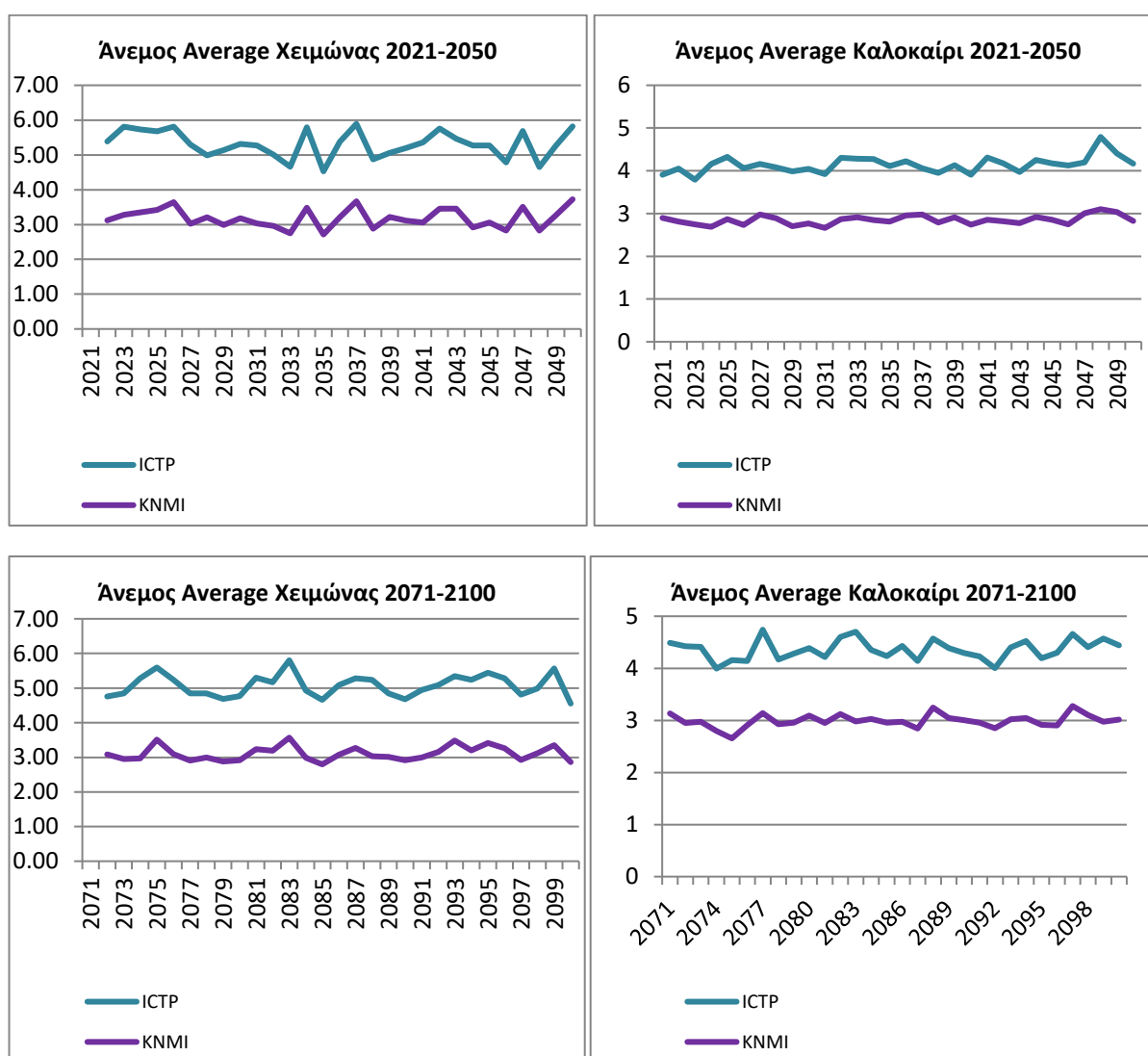
Στο σχήμα 4.10 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής ταχύτητας ανέμου για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 1961-1990 για τα 3 μοντέλα (NCEP, ICTP, KNMI)



Σχ.4.10 Εποχιακές τιμές ταχύτητας ανέμου των 3 μοντέλων (ICTP, KNMI, NCEP) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990

Όπως φαίνεται από τα σχήματα, οι τιμές του μοντέλου ICTP βρίσκονται κοντά στα δεδομένα reanalysis, ενώ οι τιμές του KNMI απέχουν πολύ εκτός από την περίπτωση της μέγιστης τιμής ανέμου του καλοκαιριού όπου παρατηρείται ότι προς το τέλος της περιόδου εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα, αφού οι τιμές του είναι αρκετά κοντά με τα NCEP, ενώ αντίθετα το ICTP υπερεκτιμά τον άνεμο. Το μοντέλο KNMI υποεκτιμά τον άνεμο για όλη την περίοδο αναφοράς εμφανίζοντας πολύ μικρότερες τιμές τόσο από το ICTP όσο και από τα δεδομένα reanalysis.

Στο σχήμα 4.11 φαίνονται οι τιμές μέσης τιμής ανέμου για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 2021-2050 και 2071-2100 για τα 2 μοντέλα (ICTP, KNMI)

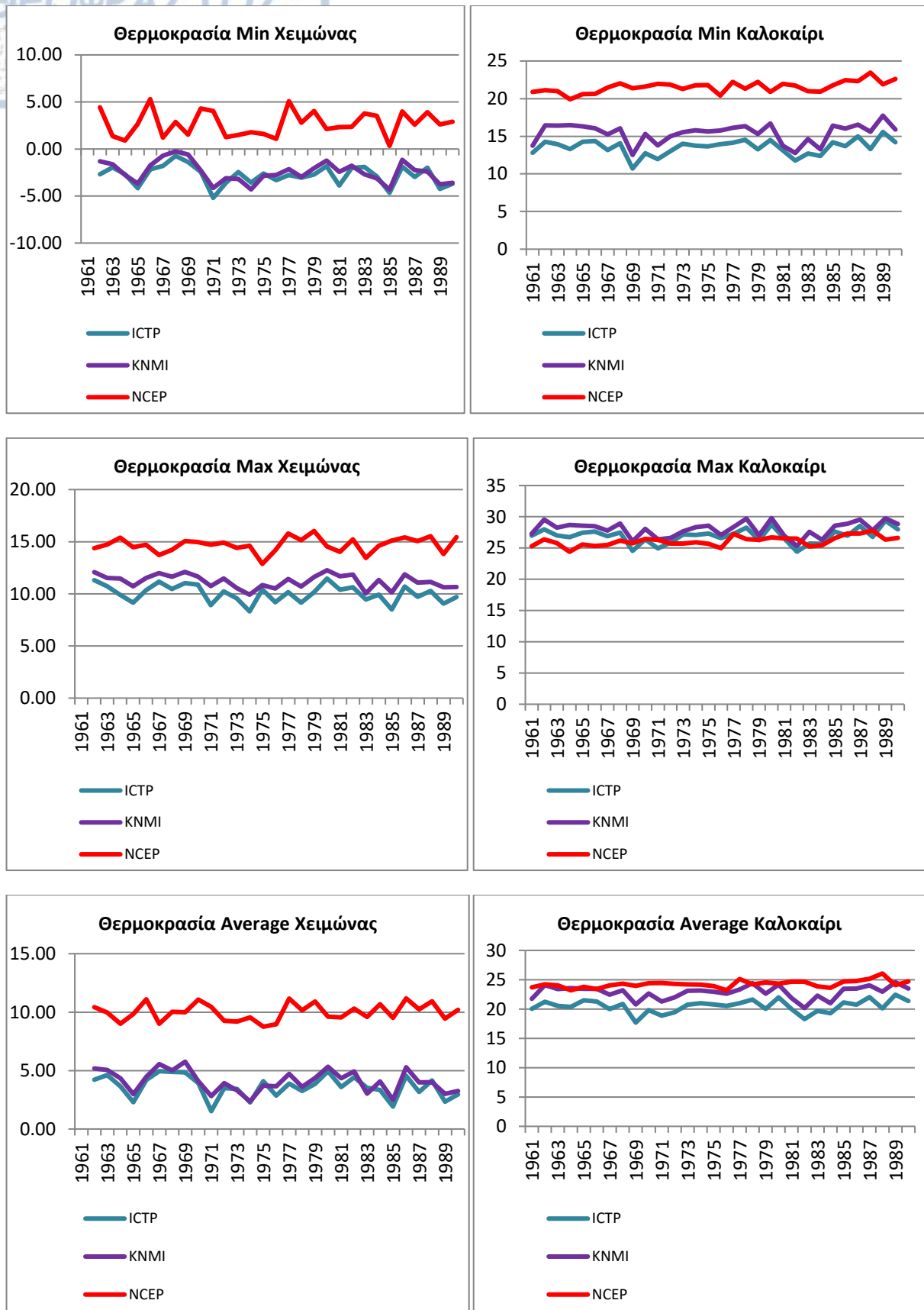


Σχ.4.11 Εποχιακές τιμές ταχύτητας ανέμου των 2 μοντέλων (ICTP, KNMI) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 2021-2050 και 2071-2100

Στις δυο μελλοντικές περιόδους παρατηρείται ότι οι τιμές του ICTP συνεχίζουν να είναι μεγαλύτερες από αυτές του KNMI και στις δυο εποχές. Το ίδιο ισχύει και στις ελάχιστες και μέγιστες τιμές αλλά και στις υπόλοιπες εποχές. Οι μέγιστες τιμές ανέμου KNMI την άνοιξη (δεν εμφανίζονται) της περιόδου 2071-2100 είναι αρκετά κοντά με αυτές του ICTP αλλά σε γενικές γραμμές υπάρχει μεγάλη απόκλιση.

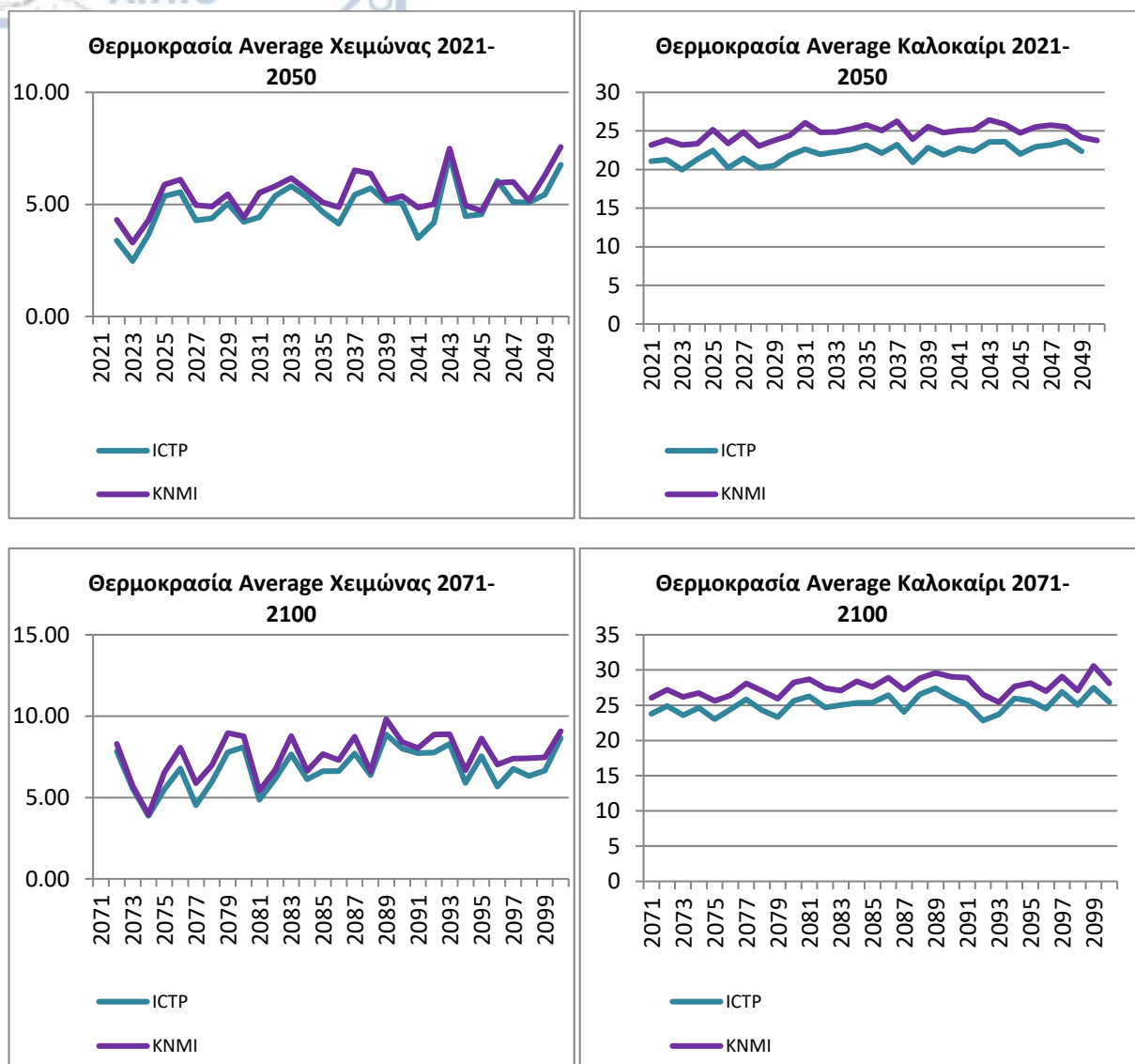
Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής θερμοκρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 1961-1990 για τα 3 μοντέλα (NCEP, ICTP, KNMI)

Για την θερμοκρασία δεν ισχύουν τα ίδια με τον άνεμο. Οι τιμές ICTP και KNMI συγκλίνουν και στις τρεις θερμοκρασίες με μια εξαίρεση στην μέση τιμή θερμοκρασίας το καλοκαίρι όπου οι τιμές KNMI είναι μεγαλύτερες από αυτές του ICTP. Οι τιμές NCEP, όμως, είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των δυο μοντέλων που σημαίνει ότι και τα δυο μοντέλα υποεκτιμούν την θερμοκρασία. Εξαίρεση αποτελούν οι μέγιστες τιμές καλοκαιριού όπου και τα δυο μοντέλα υπερεκτιμούν την θερμοκρασία. Στις υπόλοιπες δυο εποχές (άνοιξη και φθινόπωρο) και τα δυο μοντέλα υποεκτιμούν την θερμοκρασία.



Σχ.4.12 Εποχιακές τιμές θερμοκρασίας των 3 μοντέλων (ICTP, KNMI, NCEP) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990

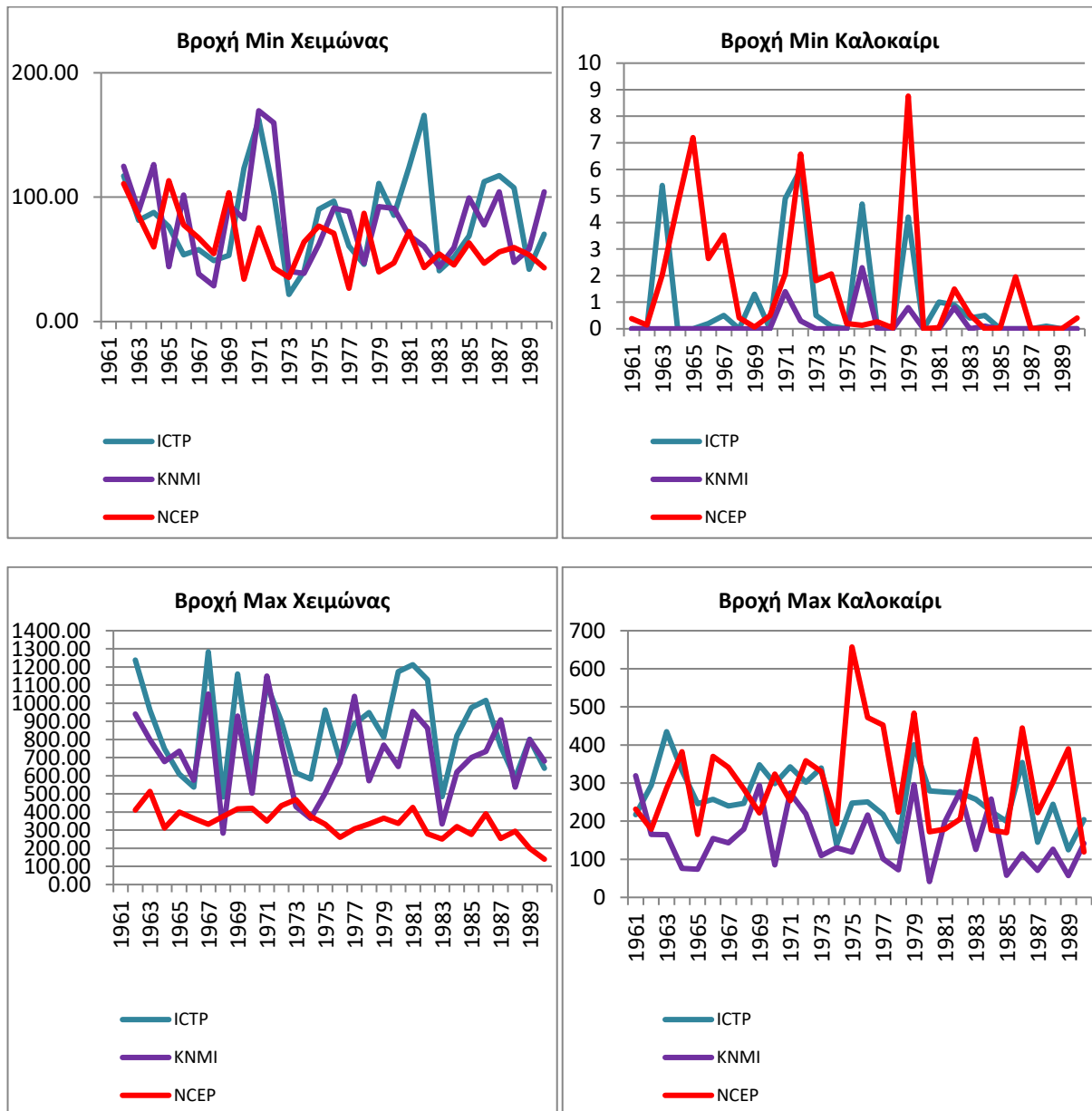
Το σχήμα 4.13 δείχνει τις τιμές μέσης τιμής θερμοκρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 2021-2050 και 2071-2100 για τα 2 μοντέλα (ICTP, KNMI)

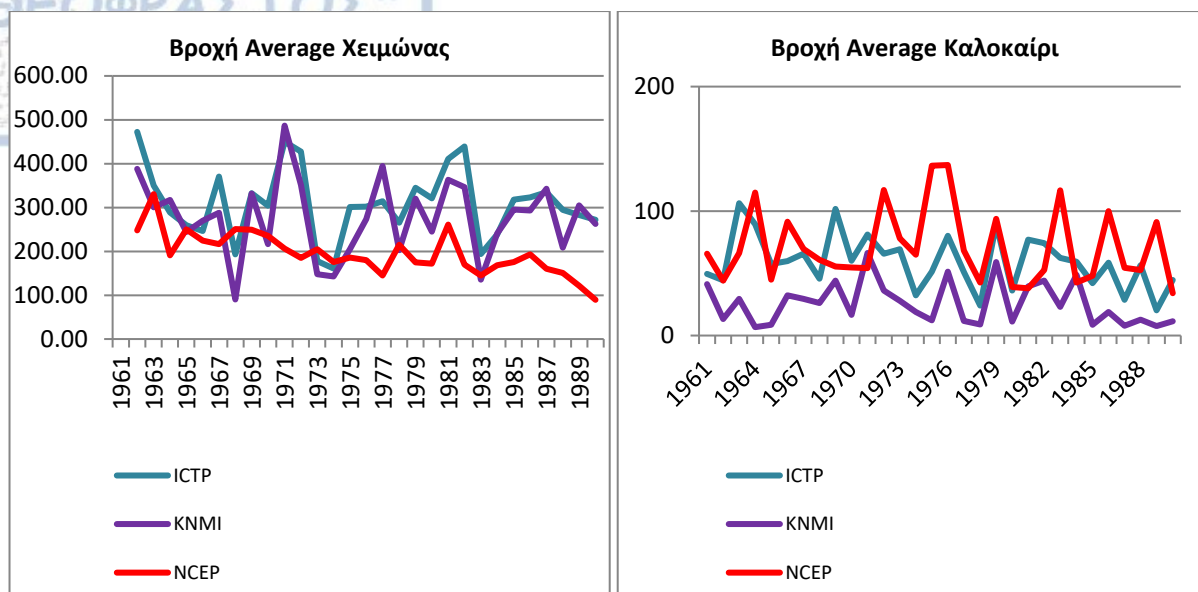


Σχ.4.13 Εποχιακές τιμές θερμοκρασίας των 2 μοντέλων (ICTP, KNMI) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 2021-2050 και 2071-2100

Όσον αφορά τις μέσες τιμές θερμοκρασίας, παρατηρείται ότι τον χειμώνα και των δυο μελλοντικών περιόδων υπάρχει μια ταύτιση μεταξύ των δυο μοντέλων ενώ το καλοκαίρι οι τιμές του KNMI είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές του ICTP, το αντίθετο δηλαδή απ'ότι ίσχυε με τον άνεμο. Όσον αφορά τις υπόλοιπες εποχές, και στις δυο περιόδους παρατηρείται είτε ταύτιση των τιμών είτε πολύ μικρή διαφορά μεταξύ τους.

Στο σχήμα 4.14 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής βροχόπτωσης για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 1961-1990 για τα 3 μοντέλα (NCEP, ICTP, KNMI)



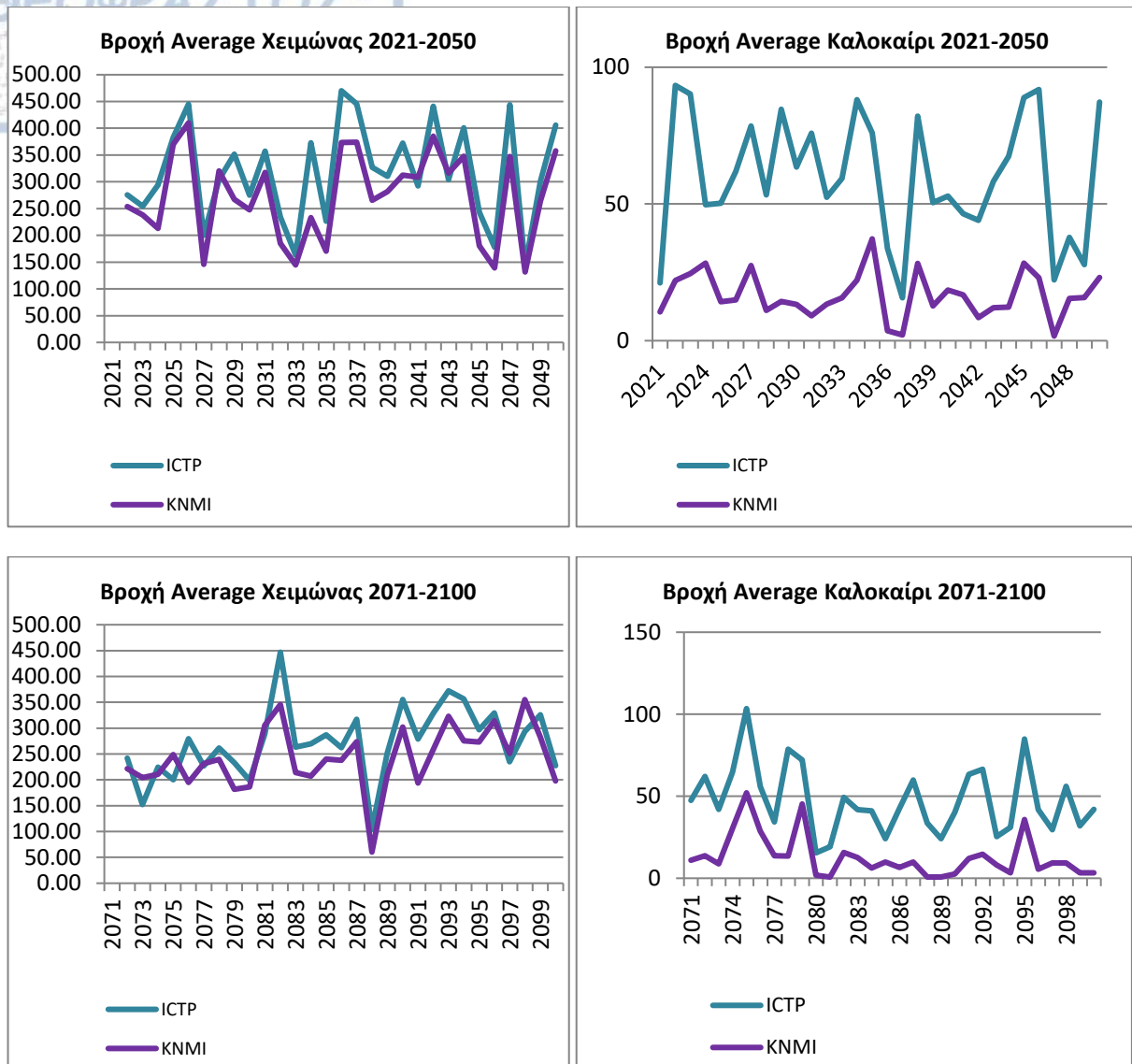


Σχ.4.14 Εποχιακές τιμές βροχόπτωσης των 3 μοντέλων (ICTP, KNMI, NCEP) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990

Και τα δυο μοντέλα υπερεκτιμούν την βροχόπτωση για τον χειμώνα, ενώ για το καλοκαίρι την υποεκτιμούν. Τον χειμώνα, οι τιμές των δυο μοντέλων σχεδόν ταυτίζονται σε αντίθεση με το καλοκαίρι όπου υπάρχει μεγάλη απόκλιση με τις τιμές του ICTP να είναι μεγαλύτερες από το KNMI. Το καλοκαίρι καλύτερα αποτελέσματα δίνει το ICTP μιας και απέχει λιγότερο από τις τιμές NCEP αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να ειπωθεί ότι δίνει ικανοποιητική εκτίμηση της βροχής. Την άνοιξη και το φθινόπωρο και τα δυο μοντέλα υπερεκτιμούν την βροχόπτωση.

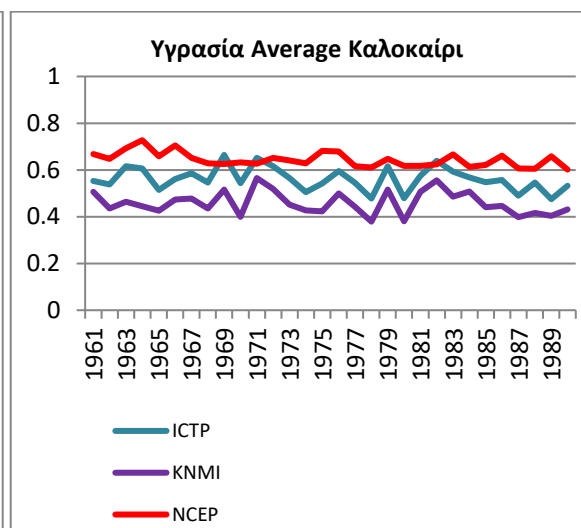
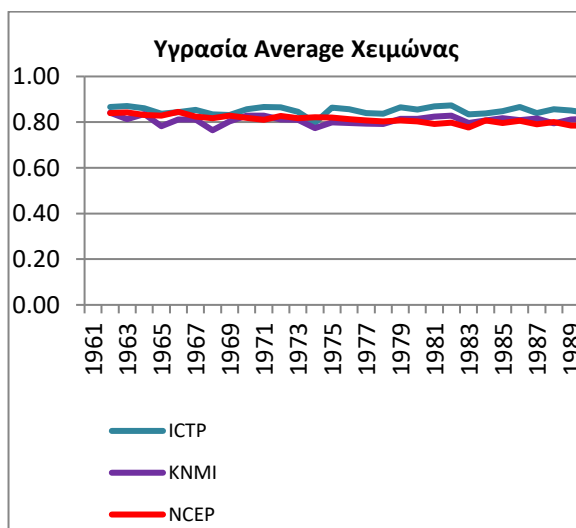
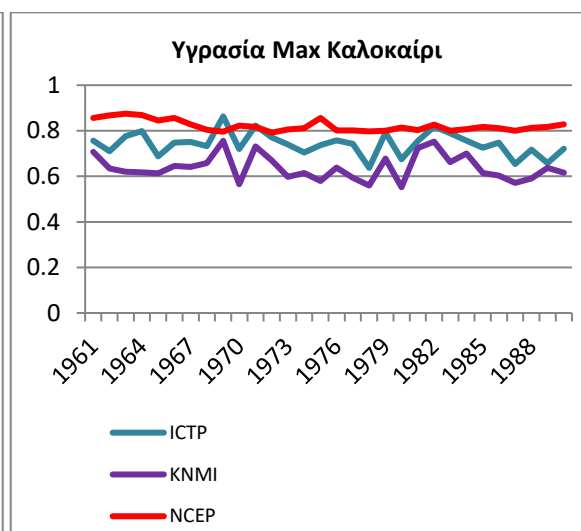
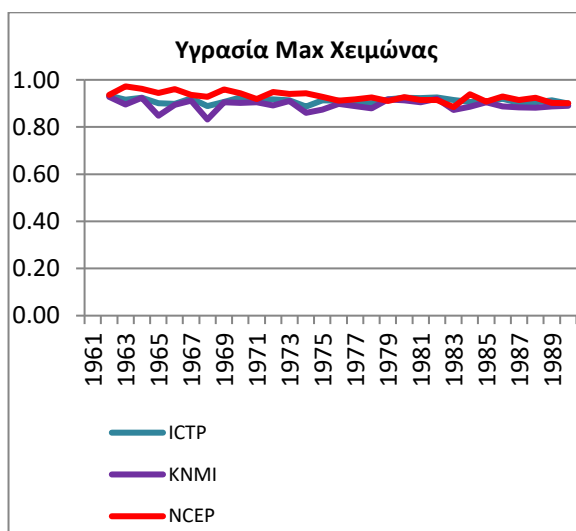
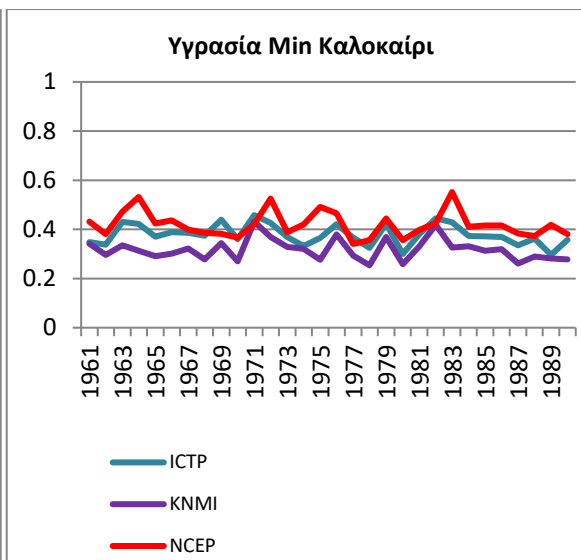
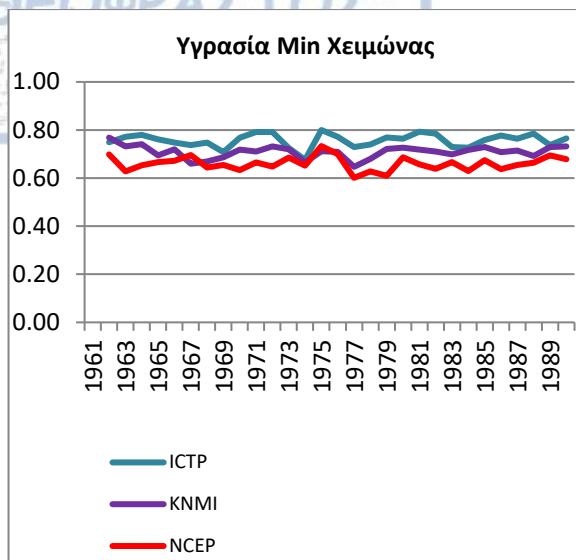
Στο σχήμα 4.15 παρουσιάζονται οι τιμές μέσης τιμής βροχόπτωσης για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 2021-2050 και 2071-2100 για τα 2 μοντέλα (ICTP, KNMI)

Τον χειμώνα παρατηρείται ότι οι τιμές των δυο μοντέλων είναι αρκετά κοντά, ενώ το καλοκαίρι υπάρχει απόκλιση μεταξύ τους, με τις τιμές του ICTP να είναι πολύ μεγαλύτερες από το KNMI ακόμα και στις υπόλοιπες εποχές.



Σχ.4.15 Εποχιακές τιμές βροχόπτωσης των 2 μοντέλων (ICTP, KNMI) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 2021-2050 και 2071-2100

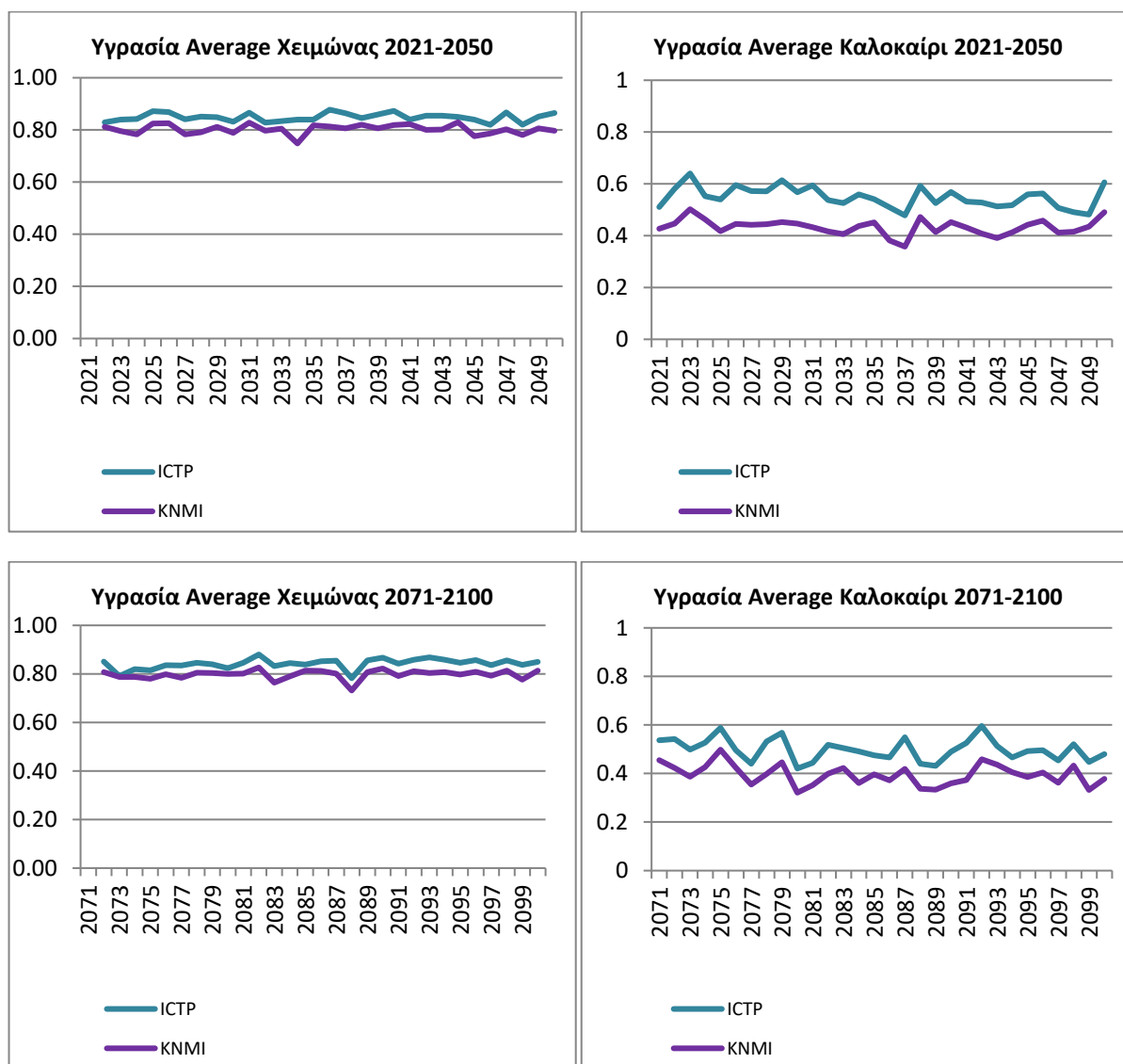
Στο σχήμα 4.16 φαίνονται οι τιμές ελάχιστης, μέγιστης και μέσης τιμής υγρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 1961-1990 για τα 3 μοντέλα (NCER, ICTP, KNMI)



Σχ.4.16 Εποχιακές τιμές υγρασίας των 3 μοντέλων (ICTP, KNMI, NCEP) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990

Για την υγρασία παρατηρείται ότι οι τιμές των δυο μοντέλων (ICTP, KNMI) είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Γενικώς και τα δυο μοντέλα υποεκτιμούν την υγρασία μιας και οι τιμές τους είναι μικρότερες από αυτές των NCEP εκτός από τις ελάχιστες τιμές υγρασίας του χειμώνα όπου υπερεκτιμούν την υγρασία. Για τις μέγιστες και μέσες τιμές του χειμώνα, όμως, και τα δυο μοντέλα δίνουν καλά αποτελέσματα αφού είναι πάρα πολύ κοντά στα δεδομένα reanalysis. Την άνοιξη και το φθινόπωρο δίνουν καλά αποτελέσματα κυρίως για τις μέσες τιμές, ενώ στις ελάχιστες δίνει καλύτερα αποτελέσματα το ICTP.

Στο σχήμα 4.17 φαίνονται οι τιμές μέσης τιμής υγρασίας για τον χειμώνα και το καλοκαίρι 2021-2050 και 2071-2100 για τα 2 μοντέλα (ICTP, KNMI)



Σχ.4.17 Εποχιακές τιμές υγρασίας των 2 μοντέλων (ICTP, KNMI) για τον χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 2021-2050 και 2071-2100

Οι τιμές των δυο μοντέλων και στην παράμετρο της υγρασίας βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Οι τιμές ICTP είναι ελαφρώς μεγαλύτερες το καλοκαίρι, ενώ τις άλλες τρεις εποχές βρίσκονται πάρα πολύ κοντά που σχεδόν ταυτίζονται.

Συμπερασματικά, και τα δυο μοντέλα υποεκτιμούν τον άνεμο, την θερμοκρασία και την υγρασία και υπερεκτιμούν την βροχόπτωση. Καλύτερα αποτελέσματα για τον άνεμο δίνει ξεκάθαρα το ICTP.

Η βροχή είναι μία παράμετρος που εμφανίζει μεγάλη μεταβλητότητα, τα δύο μοντέλα εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση με αποτέλεσμα να μην υπάρχει καθαρό σήμα για όλη τη περίοδο μελέτης. Υπάρχουν χρονικές περίοδοι που το ICTP εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα από το KNMI και το αντίστροφο. Τις μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις της εμφανίζει η παράμετρος της μέγιστης εποχιακής βροχόπτωσης.

Για την θερμοκρασία, παρατηρείται ότι και οι τιμές και των δυο μοντέλων είναι πολύ κοντά μεταξύ τους αλλά απέχουν πολύ από τις τιμές των δεδομένων reanalysis που σημαίνει ότι δεν εμφανίζουν καλά αποτελέσματα.

Τέλος, για την παράμετρο της υγρασίας και τα δυο μοντέλα δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα τον χειμώνα, το καλοκαίρι όμως καλύτερα αποτελέσματα δίνει το ICTP.

5. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ

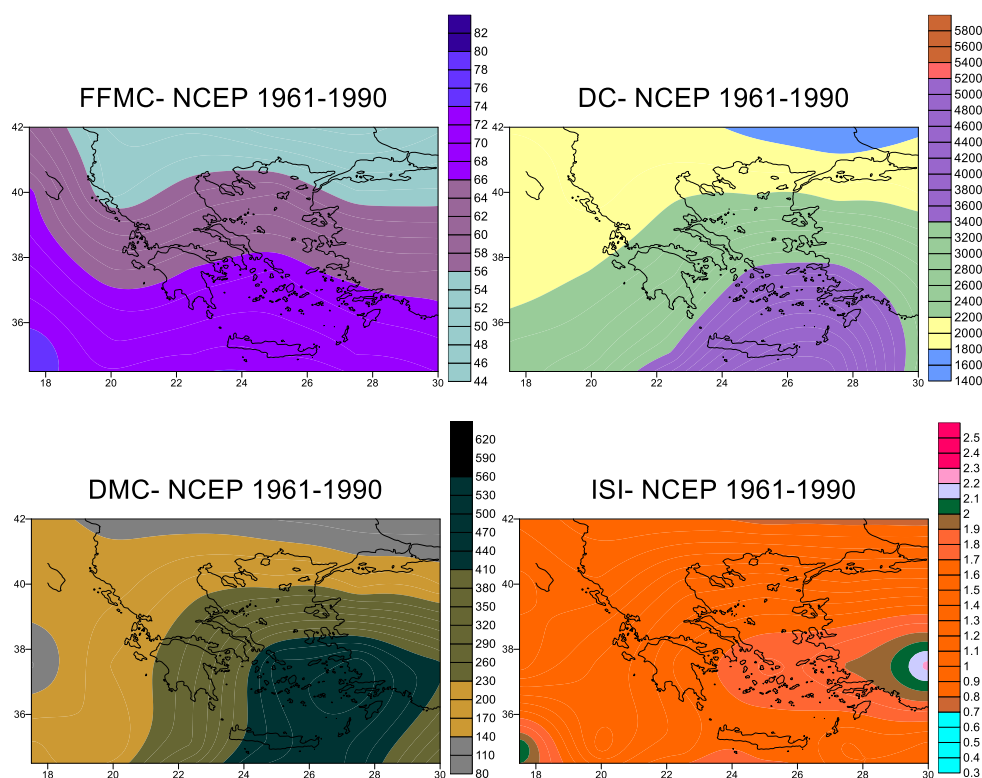
Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για τους έξι δείκτες, FFMC, DC, DMC, ISI, BUI, FWI. Αρχικά γίνεται περιγραφή των αποτελεσμάτων των re-analysis δεδομένων NCEP για τη περίοδο αναφοράς (1961-1990) και στη συνέχεια περιγράφονται τα αποτελέσματα των δύο κλιματικών μοντέλων (ICTP και KNMI) για τη περίοδο αναφοράς και τις δύο μελλοντικές περιόδους (2021-2050 και 2071-2100)

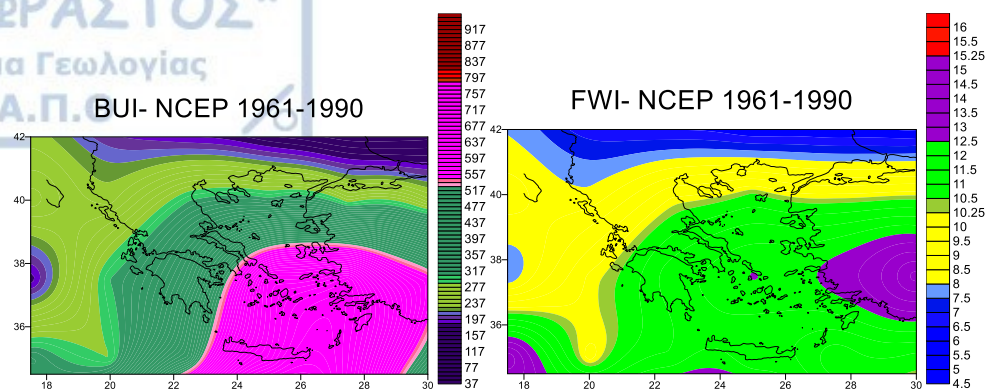
Η χωρική περιγραφή των δεικτών γίνεται σύμφωνα με τις κλάσεις του πίνακα 6:

Πίνακας 6: Χωρισμός κλάσεων με βάση τα ποσοστιαία μέρη για κάθε δείκτη

Κλάσεις	Ποσοστό	Χαρακτηρισμός
1 ^η κλάση	<25%	Χαμηλές
2 ^η κλάση	25%-median	Μέσες
3 ^η κλάση	median -75%	Υψηλές
4 ^η κλάση	75% -95%	Πολύ υψηλές
5 ^η κλάση	>95%	Ακραίες

Οι χάρτες του σχήματος 5.1 δείχνουν την μέση τιμή των δεικτών FFMC, DC, DMC, ISI, BUI και FWI για όλη την Ελλάδα για την περίοδο 1961-1990 για τα δεδομένα reanalysis NCEP.





Σχ. 5.1 Μέσες τιμές FFMC, DC, DMC, ISI, BUI και FWI για τα δεδομένα reanalysis την περίοδο 1961-1990

Ο δείκτης της περιεχόμενης υγρασίας οργανικής ύλης (Fine Fuel Moisture Code- FFMC) εμφανίζει μία οριζόντια διαβάθμιση με τις χαμηλότερες τιμές να βρίσκονται στα βόρεια και τις υψηλότερες στα νότια της ελληνικής περιοχής.

Ο δείκτης της περιεχόμενης υγρασίας συμπαγούς οργανικού στρώματος (Drought Code-DC) και μη συμπαγούς οργανικού στρώματος DMC (Duff Moisture Code) εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές στα βόρεια και δυτικά τμήματα της χώρας και τις υψηλότερες στα νοτιοανατολικά και συγκεκριμένα στις Κυκλάδες, στα Δωδεκάνησα και στην Κρήτη.

Τα NCEP δίνουν μέσες τιμές του δείκτη ISI σε όλη την χώρα.

Ο δείκτης BUI, που εκφράζει το ποσό της ξηρής καύσιμης ύλης ώστε να διατηρηθεί η πυρκαγιά, εμφανίζει την ίδια διαβάθμιση με τον DC και DMC, δηλαδή χαμηλές τιμές στα βόρεια και υψηλές στα νοτιοανατολικά.

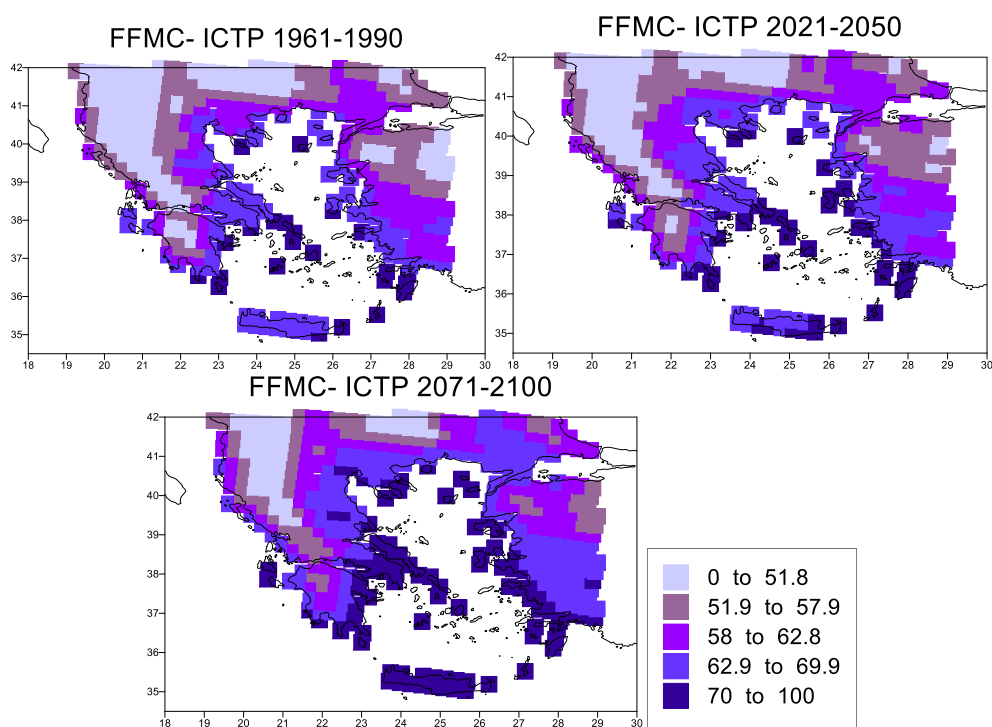
Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω δεικτών δίνει τον δείκτη του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών FWI σε μια περιοχή. Είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης που παρέχει πληροφορίες για την πιθανότητα εμφάνισης δασικής πυρκαγιάς καθώς και την σχετική έντασή της.

Από το σχήμα 5.1 γίνεται φανερό ότι για τη χρονική περίοδο 1961-1990, για τα re-analysis δεδομένα, ο δείκτης FWI εμφανίζει σχετικά χαμηλές τιμές σε όλη τη περιοχή μελέτης. Ειδικότερα, βόρεια της Ελλάδας και σε ένα τμήμα της Θράκης, ο δείκτης FWI παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές του. Οι περιοχές της Μακεδονίας, της Ηπείρου και τμήματος της Θεσσαλίας εμφανίζουν μέση επικινδυνότητα δασικών πυρκαγιών σύμφωνα με το δείκτη FWI. Η υπόλοιπη Ελλάδα, νότια Θεσσαλία, Στερεά Ελλάδα, Πελοπόννησος, νησιά του Αιγαίου και Κρήτη εμφανίζουν υψηλή επικινδυνότητα δασικών πυρκαγιών (Πίνακας 4.1). Μικρή εξαίρεση αποτελεί τμήμα των Κυκλάδων και κάποιων νησιών του Ανατολικού Αιγαίου όπου ο δείκτης παρουσιάζει ακραία επικινδυνότητα εμφάνισης δασικών πυρκαγιών.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των δεικτών FFMC, DC, DMC, ISI, BUI και FWI για όλη την Ελλάδα για την περίοδο αναφοράς 1961-1990 και τις δυο μελλοντικές περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 για το μοντέλο ICTP.

Το σχ. 5.2 δείχνει τις τιμές FFMC του μοντέλου ICTP τις τρεις χρονικές περιόδους. Την περίοδο αναφοράς παρατηρείται ότι χαμηλές τιμές του δείκτη επικρατούν στα βόρεια και ορεινά τμήματα της Μακεδονίας και Ηπείρου. Μέσες και υψηλές τιμές υπάρχουν στα εσωτερικά τμήματα της χώρας, ενώ πολύ υψηλές τιμές στις παραθαλάσσιες περιοχές. Ακραίες τιμές εμφανίζονται στη χερσόνησο της Κασσάνδρας της Χαλκιδικής, στις Κυκλάδες, στα νότια τμήματα της Πελοποννήσου και στα Δωδεκάνησα.

Η χωρική κατανομή για τον δείκτη FFMC για την 1^η μελλοντική περίοδο δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Για την χρονική περίοδο 2071-2100, η κλάση των ακραίων τιμών του δείκτη επεκτείνεται στην Κρήτη, Αττική, Εύβοια, Χαλκιδική, νησιά Β. Αιγαίου καθώς και σε όλη την περιοχή των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων.

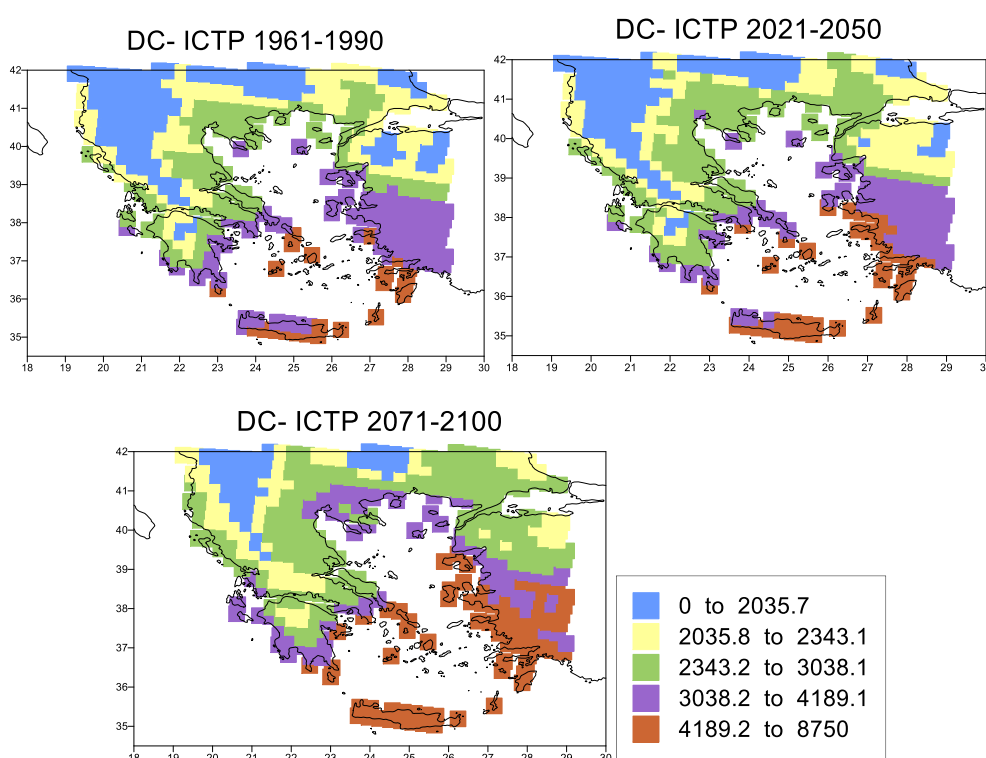


Σχ. 5.2 Μέσες τιμές FFMC για το μοντέλο ICTP τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Στο Σχ. 5.3 παρουσιάζονται οι τιμές DC του μοντέλου ICTP για τις τρεις χρονικές περιόδους. Την περίοδο 1961-1990 παρατηρείται ότι οι χαμηλές και μέσες τιμές του δείκτη εντοπίζονται στα βόρεια και δυτικά ορεινά τμήματα της χώρας, οι υψηλές στην Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική,

Ν.Μαγνησίας και Λαρίσας, Εύβοια, Βοιωτία και σε κάποιες περιοχές της Πελοποννήσου, οι πολύ υψηλές τιμές στις παραθαλάσσιες περιοχές της Στερεάς Ελλάδας, Πελοποννήσου, νησιά Β. Αιγαίου και Κρήτη ενώ ακραίες τιμές εντοπίζονται στα Δωδεκάνησα, στις Κυκλάδες, στα Κύθηρα και στα νότια και ανατολικά της Κρήτης.

Για την πρώτη μελλοντική περίοδο παρατηρείται μια μικρή αύξηση των τιμών του δείκτη σε ολόκληρη την Ελληνική περιοχή. Η κλάση των ακραίων τιμών του δείκτη φαίνεται να επεκτείνεται καλύπτοντας μεγαλύτερο τμήμα της Κρήτης και των Δωδεκανήσων. Για την 2^η μελλοντική περίοδο αυξάνει σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Η παράκτια ζώνη της νότιας υπειρωτικής Ελλάδας καθώς και η Χαλκιδική μαζί με τα νησιά του Β. Αιγαίου εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές του δείκτη επεκτείνοντας σε ολόκληρο τον νοτιοανατολικό χώρο (Δωδεκάνησα, Κρήτη, νησιά Ανατολικού Αιγαίου, Κυκλάδες).

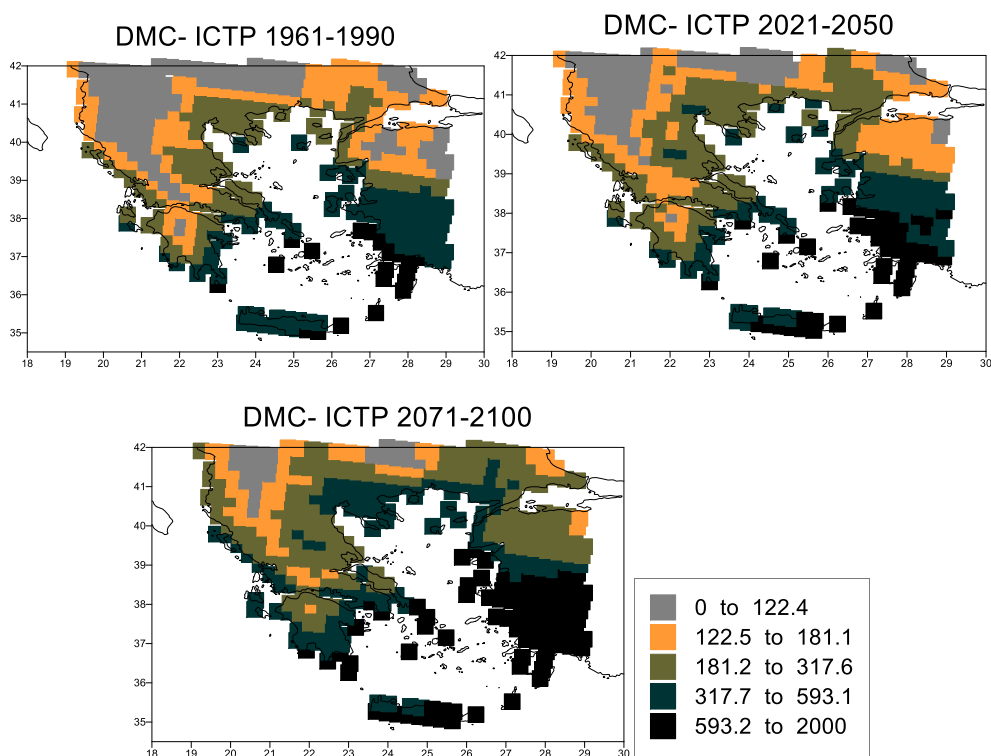


Σχ. 5.3 Μέσες τιμές DC για το μοντέλο ICTP τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Αντίστοιχη είναι η εικόνα για το DMC (Σχ. 5.4). Για την περίοδο αναφοράς, οι τιμές DMC είναι μεγαλύτερες στα νοτιοανατολικά τμήματα της χώρας και ελάχιστες στα βόρεια και δυτικά. Ακραίες τιμές και σ' αυτόν τον δείκτη εντοπίζονται στα Δωδεκάνησα και σε κάποια νησιά των Κυκλάδων.

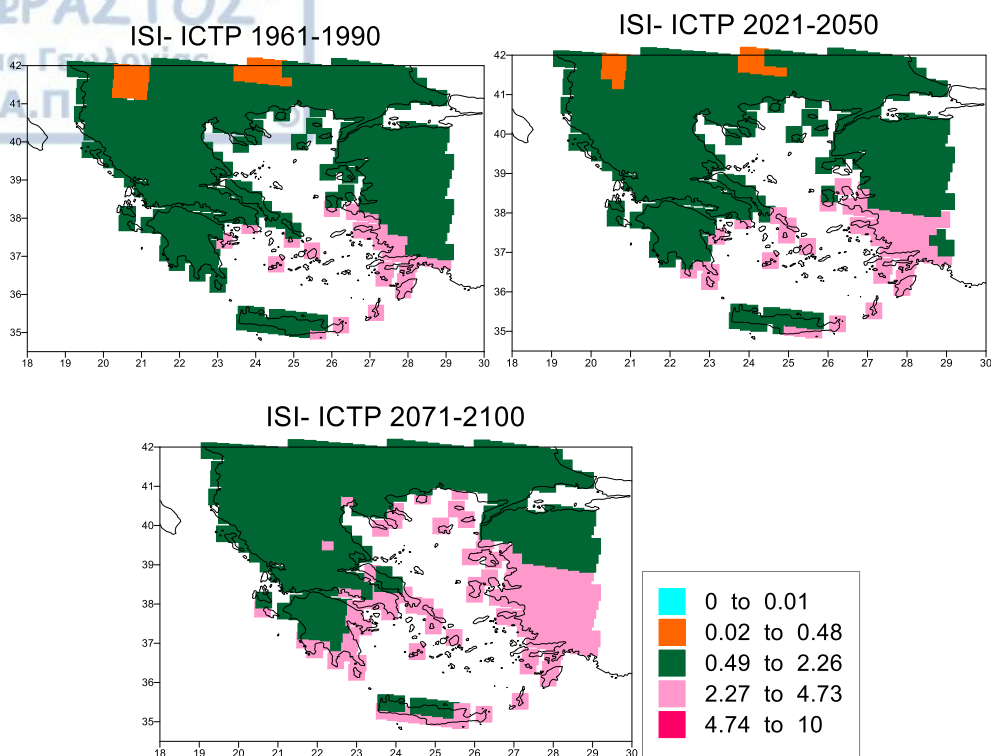
Την 1^η μελλοντική περίοδο διαφαίνεται μια αύξηση της έκτασης της περιοχής με υψηλές τιμές του δείκτη (χακί χρώμα) και μια μικρή αύξηση στις πολύ υψηλές τιμές (σκούρο πράσινο

χρώμα), ενώ την 2^η μελλοντική περίοδο παρατηρείται μεγαλύτερη αύξηση της έκτασης που σημειώνονται οι ακραίες τιμές (μαύρο χρώμα). Οι ακραίες τιμές σημειώνονται στις περιοχές της Κρήτης, Κυκλάδων, Δωδεκανήσων, Β. Αιγαίου και παραθαλάσσιες περιοχές του νομού Αττικής, Αργολίδας και Λακωνίας.



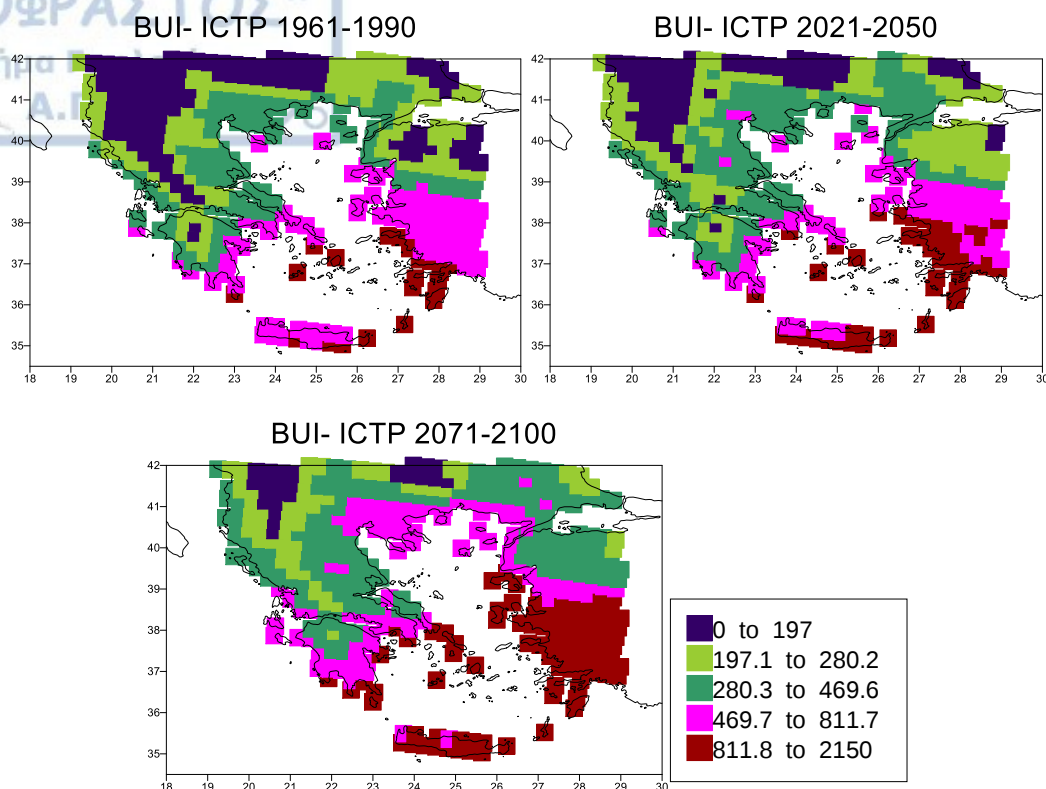
Σχ. 5.4 Μέσες τιμές DMC για το μοντέλο ICTP τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Μια διαφοροποίηση από τους άλλους δείκτες παρατηρείται στο Σχ. 5.5 όπου φαίνονται οι τιμές ISI του μοντέλου ICTP στις 3 περιόδους. Χαμηλές και μέσες τιμές δεν παρατηρούνται σε κανένα σημείο του Ελληνικού χώρου. Το μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας καλύπτεται από υψηλές τιμές (πράσινο χρώμα) ενώ πολύ υψηλές τιμές εμφανίζονται στις Κυκλάδες και στα Δωδεκάνησα. Την 1^η μελλοντική περίοδο δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση από την περίοδο αναφοράς, αλλά την 2^η μελλοντική περίοδο παρατηρείται μια επέκταση της περιοχής των πολύ υψηλών τιμών του δείκτη στην Αθήνα, ανατολικές ακτές Πελοποννήσου, Δωδεκάνησα, νησιά Β. Αιγαίου, Χαλκιδική και Κρήτη.



Σχ. 5.5 Μέσες τιμές ISI για το μοντέλο ICTP τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Στο σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του BUI για τις τρεις περιόδους για το μοντέλο ICTP. Για την περίοδο αναφοράς, παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές σημειώνονται στα ανατολικά και νότια της χώρας με μέγιστες τιμές στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα, ενώ οι ελάχιστες τιμές σημειώνονται στα Βορειοδυτικά ορεινά τμήματα της χώρας. Την 1^η μελλοντική περίοδο παρατηρείται ότι σε κάποιες περιοχές της Δυτικής Ελλάδας οι τιμές BUI αυξάνονται από χαμηλές τιμές (μπλε χρώμα) σε μέσες (ανοιχτό πράσινο) και κάποιες περιοχές στα ανατολικά με ροζ χρώμα γίνονται κόκκινες όπως πχ. η Αθήνα. Για την 2^η μελλοντική περίοδο περισσότερες περιοχές κοκκινίζουν, δηλαδή οι τιμές BUI αυξάνονται πολύ όπως πχ η Κρήτη. Γενικότερα παρατηρείται μια αύξηση των τιμών BUI προς το τέλος του αιώνα κυρίως στα νότια και ανατολικά της χώρας.

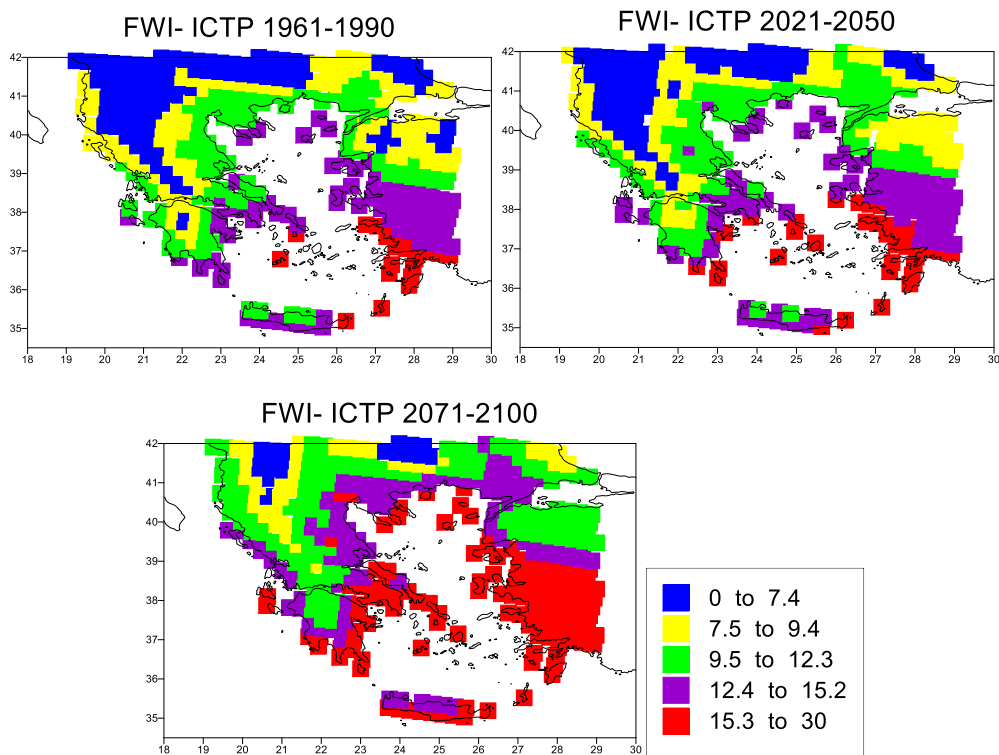


Σχ. 5.6 Μέσες τιμές BUI για το μοντέλο ICTP τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Το σχήμα 5.7 μας δίνει πληροφορίες για τις τιμές του δείκτη κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών FWI του μοντέλου ICTP. Την περίοδο αναφοράς παρατηρείται χαμηλός κίνδυνος στη βόρεια Ελλάδα και στις ορεινές περιοχές του ηπειρωτικού κορμού της. Χαμηλή με μέση επικινδυνότητα δασικών πυρκαγιών εμφανίζουν οι ημιορεινές περιοχές της περιοχής μελέτης με ενδιάμεσο υψόμετρο. Μέση με υψηλή επικινδυνότητα εμφανίζουν περιοχές με χαμηλό υψόμετρο της ηπειρωτικής Ελλάδας (ανατολική Θράκη, κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλία, Βοιωτία Φθιώτιδα, τμήμα της Πελοποννήσου, αλλά και κάποιες περιοχές της Κρήτης, ενώ πολύ υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται σε παραθαλάσσιες περιοχές της νοτίου Ελλάδας (Αττική και ανατολική Πελοπόννησος) καθώς και στα νησιά του Βορείου Αιγαίου οι χερσόνησοι της Χαλκιδικής. Ακραίος κίνδυνος εμφάνισης δασικών πυρκαγιών εμφανίζεται στα Δωδεκάνησα και στις νότιες Κυκλάδες.

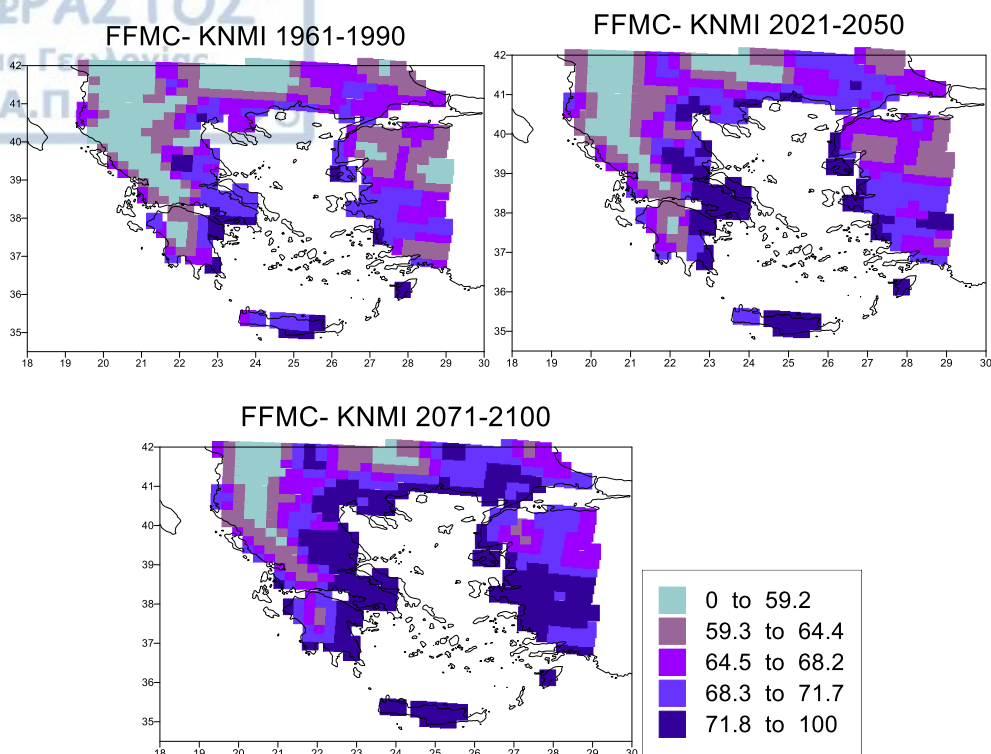
Την 1^η μελλοντική περίοδο (Σχήμα 5.7β) δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς, αλλά την 2^η περίοδο (2071-2100) παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση. Οι περιοχές με χαμηλή και μέση επικινδυνότητα εμφάνισης δασικών πυρκαγιών περιορίζονται και εξαπλώνονται οι περιοχές με υψηλή και ακραία επικινδυνότητα. Οι περιοχές της ανατολικής Θράκης, κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλίας, Βοιωτίας Φθιώτιδας, τμήματος της Πελοποννήσου, αλλά και οι περιοχές της Κρήτης εμφανίζουν τώρα πολύ υψηλή επικινδυνότητα πυρκαγιών, ενώ ακραίες τιμές του δείκτη

FWI εμφανίζονται σε όλα τα νησιά του νοτίου Ιονίου και Αιγαίου (Βόρειο και ανατολικό Αιγαίο, Κυκλάδες και Δωδεκάνησα), στην Αττική και στην Ανατολική και νότιο Πελοπόννησο.



Σχ. 5.7 Μέσες τιμές FWI για το μοντέλο ICTP τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100 (τα χρώματα μπλε, κίτρινο, πράσινο, μοβ και κόκκινο αντιστοιχούν σε μικρό κίνδυνο πυρκαγιάς, μέσο, υψηλό, πολύ υψηλό και ακραίο κίνδυνο αντίστοιχα)

Στα σχήματα 5.8 έως 5.13 παρουσιάζονται οι τιμές των δεικτών FFMC, DC, DMC, ISI, BUI και FWI για όλη την Ελλάδα για τις τρεις περιόδους: τη περίοδο αναφοράς 1961-1990, την 1^η μελλοντική περίοδο 2021-2050 και τη 2^η μελλοντική περίοδο 2071-2100 για το κλιματικό μοντέλο KNMI.



Σχ. 5.8 Μέσες τιμές FFMC για το μοντέλο KNMI τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

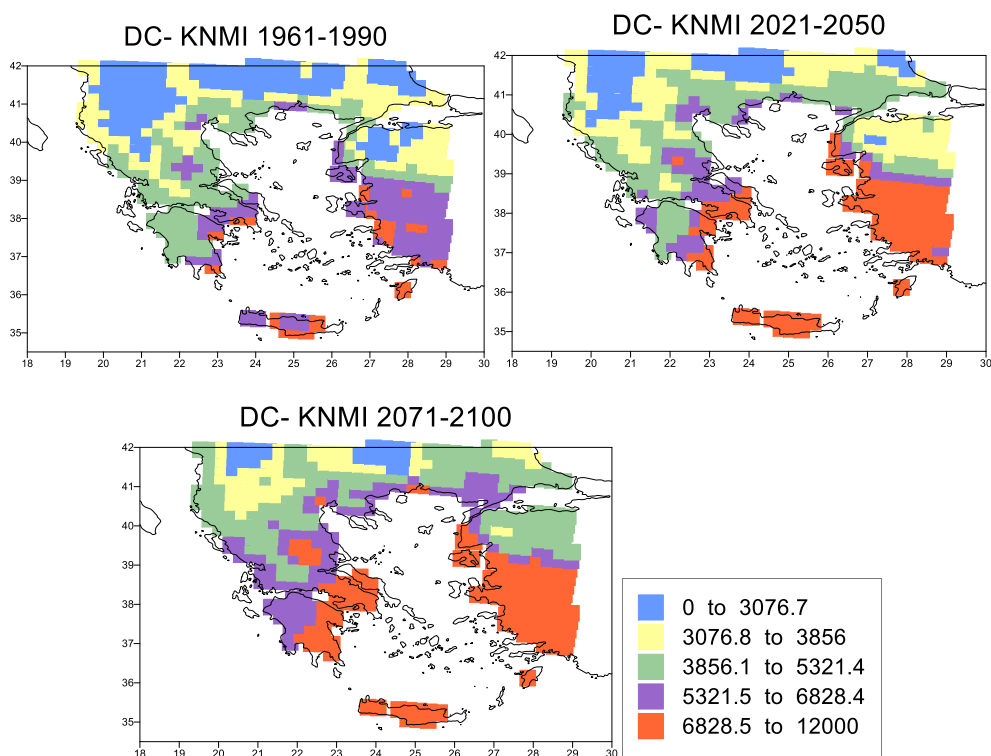
Στο σχήμα 5.8 φαίνονται οι τιμές FFMC για το μοντέλο KNMI για τις τρεις χρονικές περιόδους.

Στο σχ. 5.8^α δηλαδή την περίοδο αναφοράς παρατηρούνται χαμηλές τιμές του δείκτη FFMC στα βόρεια και δυτικά ορεινά τμήματα της Ελλάδας. Μέσες και υψηλές τιμές εμφανίζουν οι ημιορεινές περιοχές ενώ πολύ υψηλές εμφανίζονται στην Βοιωτία, Μαγνησία, Θεσσαλονίκη, Ηλεία, Ρέθυμνο και Ηράκλειο. Ακραίες τιμές εντοπίζονται στα Τρίκαλα, στην Αργολίδα και στην Αθήνα.

Το KNMI προβλέπει αύξηση των τιμών FFMC στα Δωδεκάνησα, στις Κυκλάδες, στην Κόρινθο, στον νομό Αττικής και στην Κρήτη την 1^η μελλοντική περίοδο, ενώ την 2^η μελλοντική περίοδο αύξηση σημειώνεται και σε πιο εσωτερικές περιοχές της Ελλάδας όπως πχ στην Καρδίτσα, Τρίκαλα αλλά και βορειότερα στην Ημαθία.

Όσον αφορά για τον δείκτη DC, χαμηλές και μέσες τιμές παρατηρούνται στα βόρεια ορεινά και υψηλές τιμές στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Πολύ υψηλές τιμές εμφανίζονται στην Κόρινθο, στα νησιά Β. Αιγαίου και στα Τρίκαλα ενώ ακραίες τιμές στην Αττική, στην Αργολίδα, στην Κρήτη και στα Δωδεκάνησα.

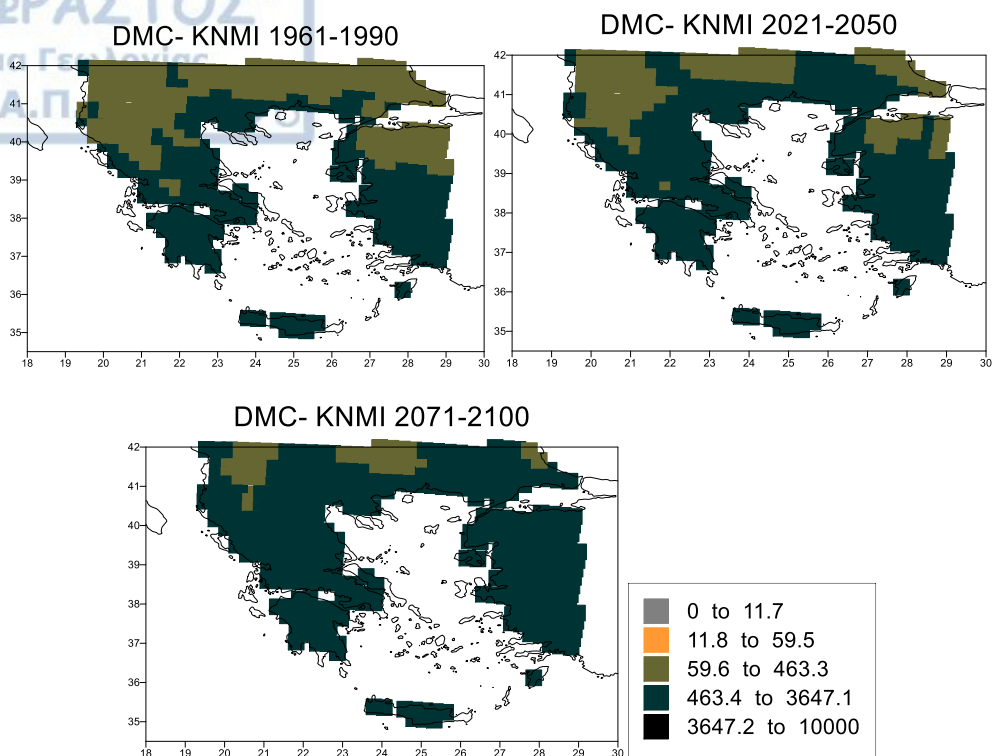
Το KNMI προβλέπει αύξηση σε παραθαλάσσιες περιοχές του νότιου Αγαίου και στην Κρήτη την 1^η μελλοντική περίοδο, ενώ την 2^η μελλοντική περίοδο αύξηση παρατηρείται και σε περιοχές εντός της χώρας όπως πχ σε όλο τον νομό Αττικής, στην Βοιωτία, στην Πελοπόννησο και στους νομούς Καρδίτσας και Τρικάλων.



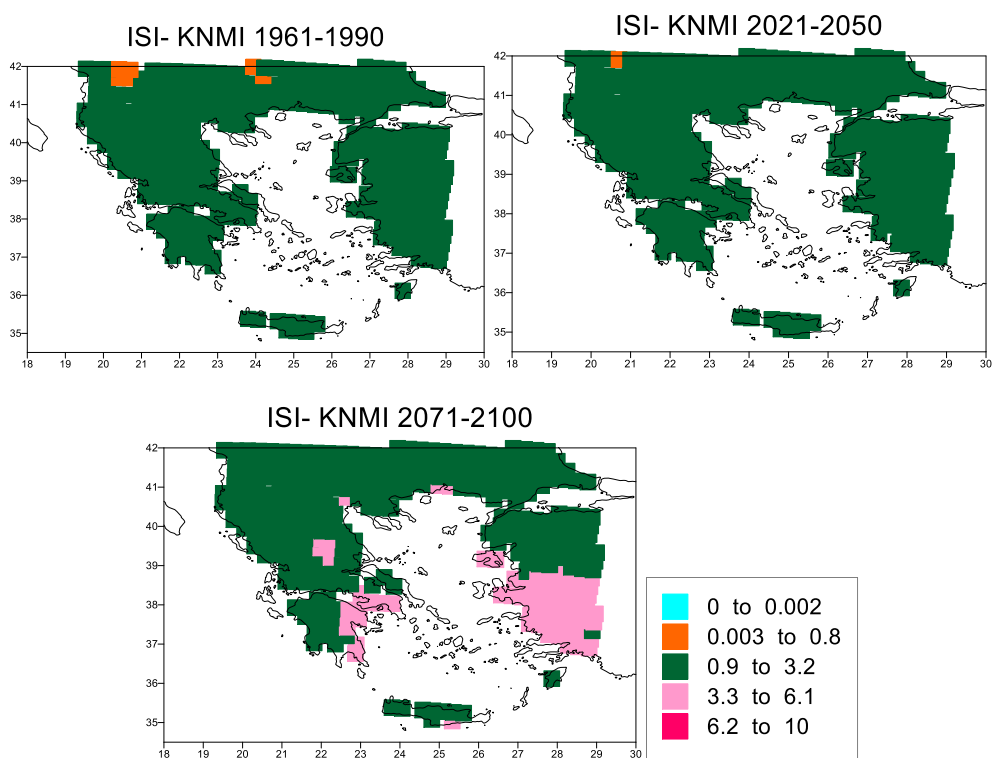
Σχ. 5.9 Μέσες τιμές DC για το μοντέλο KNMI τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Στο σχήμα 5.10^α παρουσιάζονται οι τιμές DMC για την περίοδο αναφοράς. Χαμηλές, μέσες και ακραίες τιμές δεν εμφανίζονται σε καμία περιοχή της Ελλάδας. Μόνο υψηλές τιμές στα βόρεια και πολύ υψηλές στα νότια αλλά και στην Κεντρική Μακεδονία.

Στο σχήμα 5.10^{β,γ} εμφανίζονται οι μελλοντικές εκτιμήσεις του μοντέλου KNMI για τον δείκτη DMC. Υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση σε σχέση με το μοντέλο ICTP γιατί στην περίπτωση του KNMI δεν παρατηρούνται οι πιο χαμηλές τιμές του δείκτη DMC, αλλά μια ομοιόμορφη κατανομή με υψηλές τιμές στα βόρεια της χώρας και μεγαλύτερες στα νότια με μη εμφάνιση αρκαίων τιμών. Δεν υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση την 1^η μελλοντική περίοδο. Την 2^η μελλοντική περίοδο παρατηρείται ότι οι περιοχές με υψηλές τιμές μειώνονται και επεκτείνεται η ζώνη των πολύ υψηλών τιμών σε όλη την Ελλάδα, εξακολουθώντας να μην εμφανίζονται ακραίες τιμές.



Σχ. 5.10 Μέσες τιμές DMC για το μοντέλο KNMI τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100



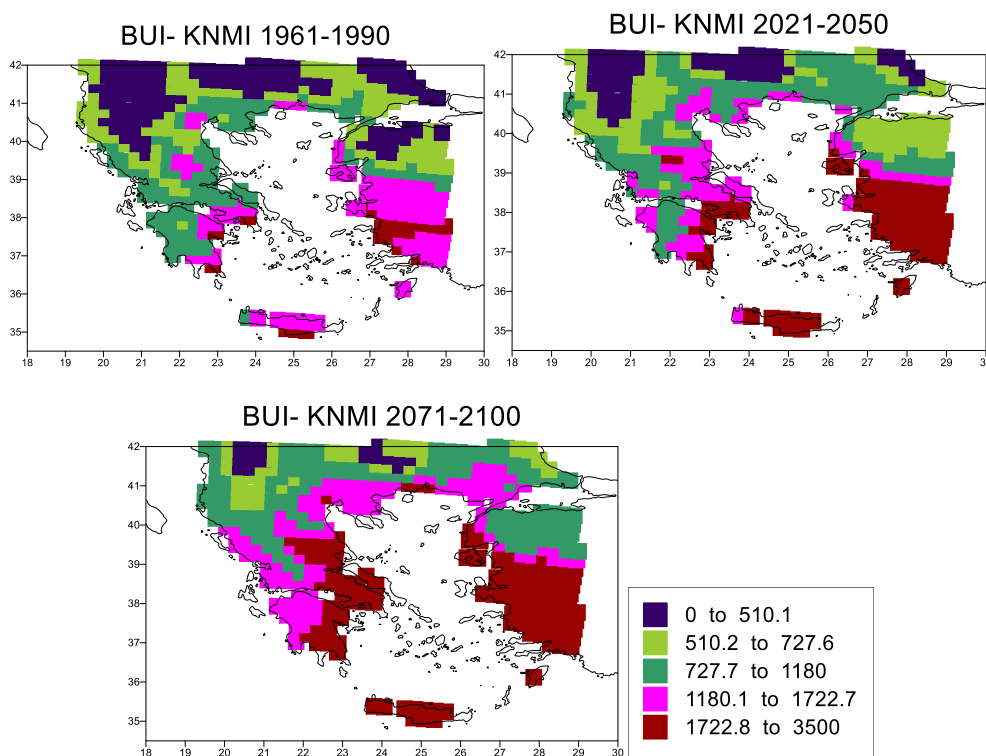
Σχ. 5.11 Μέσες τιμές ISI για το μοντέλο KNMI τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

Οι τιμές ISI του μοντέλου KNMI εμφανίζονται στο σχήμα 5.11. Υπάρχουν μόνο υψηλές τιμές του δείκτη σε όλη την Ελλάδα και μόνο την 2^η μελλοντική περίοδο σημειώνονται ακραίες τιμές σε παραθαλάσσιες περιοχές όπως Κυκλάδες, Αττική, Πελοπόννησος και Δωδεκάνησα αλλά και στα Τρίκαλα.

Η χωρική κατανομή των τιμών BUI για τις τρεις περιόδους για το μοντέλο KNMI παρουσιάζονται στο σχήμα 5.12. Παρατηρείται το ίδιο μοτίβο και σε αυτό το μοντέλο, δηλαδή οι τιμές BUI αυξάνονται προς τα νότια και ανατολικά. Χαμηλές και μέσες τιμές εμφανίζονται στα βόρεια ορεινά, ενώ υψηλές στην Αττική, Κόρινθο, Ημαθία, Τρίκαλα, Β.Αιγαίο, Κρήτη και Δωδεκάνησα. Δεν υπάρχουν πολλές ακραίες τιμές μόνο στην Αττική, στην Αργολίδα, στην Λακωνία και στα νότια της Κρήτης.

Την 1^η μελλοντική περίοδο αυξάνονται οι περιοχές με πολύ υψηλές αλλά και ακραίες τιμές. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ακραίες τιμές εμφανίζονται στο Β. Αιγαίο, Δωδεκάνησα, Αττική, Αργολίδα, Λακωνία, Κρήτη και Τρίκαλα.

Την 2^η μελλοντική περίοδο παρατηρούνται ακραίες τιμές και πιο εσωτερικά της χώρας, στην Στερεά Ελλάδα, Θεσσαλία και Πελοπόννησο, σε ολόκληρη την Κρήτη, Ημαθία αλλά και σε παραθαλάσσιες περιοχές της Καβάλας και Ξάνθης.

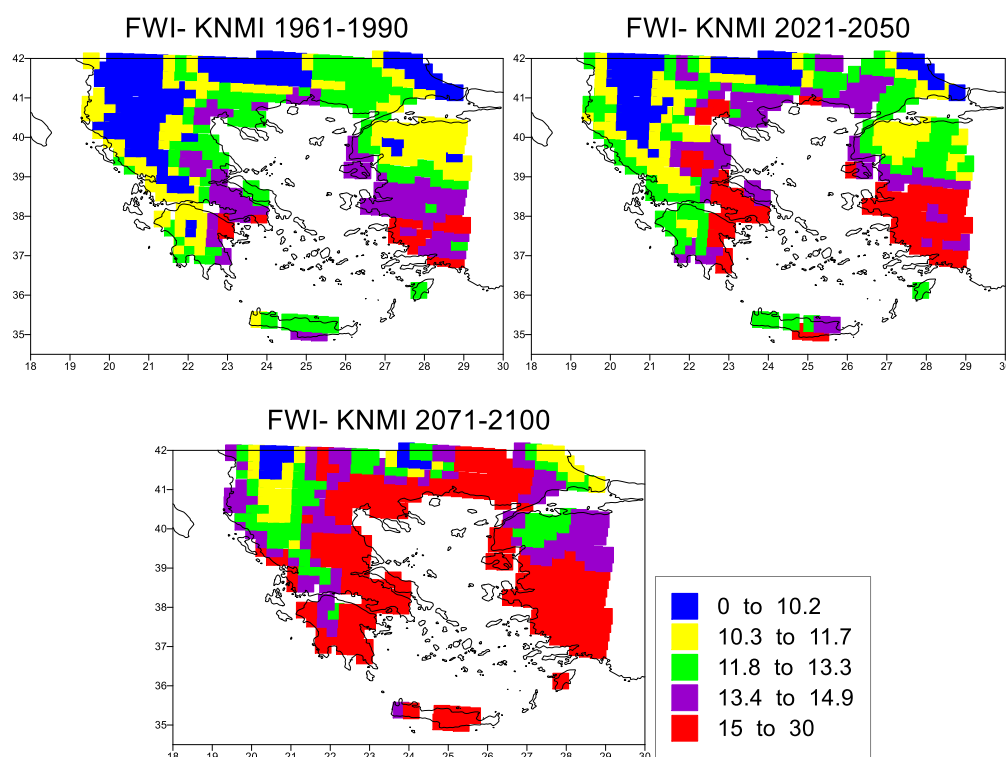


Σχ. 5.12 Μέσες τιμές BUI για το μοντέλο KNMI τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100

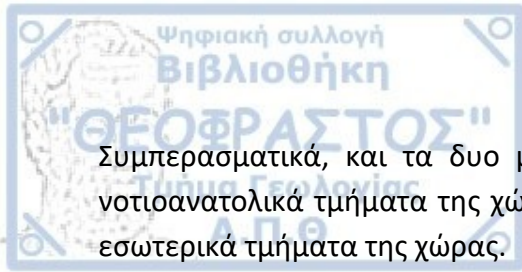
Το μοντέλο KNMI (Σχήμα 5.13) δίνει μεγαλύτερη έκταση του πολύ υψηλού κινδύνου στα εσωτερικά της χώρας από το μοντέλο ICTP, ειδικότερα την 2^η μελλοντική περίοδο που το 50% της Ελλάδας (το ανατολικό τμήμα) βρίσκεται υπό ακραίες τιμές.

Την περίοδο 1961-1990 παρατηρούνται χαμηλές και μέσες τιμές στα βόρεια ορεινά, υψηλές στα ημιορεινά, πολύ υψηλές στην Ημαθία, Τρίκαλα, Βοιωτία, Β. Αιγαίο και σε κάποιες περιοχές της Πελοποννήσου και λίγες ακραίες τιμές στην Αττική και Πελοπόννησο.

Την 1^η μελλοντική περίοδο αυξάνονται οι περιοχές με πολύ υψηλές τιμές και ακόμα και βορειότερες περιοχές (Ημαθία, Πιερία) βρίσκονται σε ακραίο κίνδυνο. Όσον αφορά την 2^η μελλοντική περίοδο σχεδόν όλη η Ελλάδα- με εξαίρεση την Ήπειρο και τα δυτικά της Δ. Μακεδονίας, Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας- βρίσκονται υπό ακραίο κίνδυνο.



Σχ. 5.13 Μέσες τιμές FWI για το μοντέλο KNMI τις περιόδους 1961-1990, 2021-2050, 2071-2100 (τα χρώματα μπλε, κίτρινο, πράσινο, μοβ και κόκκινο αντιστοιχούν σε μικρό κίνδυνο πυρκαγιάς, μέσο, υψηλό, πολύ υψηλό και ακραίο κίνδυνο αντίστοιχα)



Συμπερασματικά, και τα δυο μοντέλα προβλέπουν αύξηση των τιμών των δεικτών στα νοτιοανατολικά τμήματα της χώρας με την διαφορά ότι το KNMI δείχνει αύξηση και σε πιο εσωτερικά τμήματα της χώρας.

Συγκεκριμένα για τον δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς FWI, παρατηρείται αύξηση του ακραίου κινδύνου κυρίως την 2^η μελλοντική περίοδο σε όλες τις παραθαλάσσιες περιοχές (ICTP) αλλά και σε πιο εσωτερικά τμήματα της χώρας (KNMI).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του δείκτη επικινδυνότητας εμφάνισης πυρκαγιών στην Ελληνική Περιοχή για το παρόν και το μέλλον. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού έγινε η αξιολόγηση των κλιματικών παραμέτρων θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχόπτωσης και ταχύτητας ανέμου των μοντέλων ICTP-REGCM3 και KNMI-RACMO2.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ανέμου και βροχόπτωσης από το 1961 μέχρι 2012 από τρεις βάσεις δεδομένων, τα NCEPreanalysis δεδομένα και από δυο κλιματικά περιοχικά μοντέλα το ICTP και το KNMI. Επίσης για τα δύο περιοχικά κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για δύο μελλοντικές περιόδους, 1^η μελλοντική περίοδος 2020-2050 και 2^η μελλοντική περίοδος 2070-2100.

Αρχικά έγινε η αξιολόγηση των τεσσάρων κλιματικών παραμέτρων των δύο περιοχικών μοντέλων σε σχέση με τα reanalysis δεδομένα NCEP.

- Για τον άνεμο, διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο ICTP δίνει καλά αποτελέσματα μιας και βρίσκεται πολύ κοντά στα δεδομένα NCEP, ενώ το KNMI υποεκτιμά αρκετά την ταχύτητα του ανέμου.
- Για την θερμοκρασία, και τα δυο μοντέλα συγκλίνουν μεταξύ τους αλλά απέχουν πολύ από τα δεδομένα NCEP με συνέπεια να υποεκτιμούν την ελάχιστη και μέση θερμοκρασία και να επηρεκτιμούν την μέγιστη.
- Για την βροχόπτωση, τα δυο μοντέλα έχουν μεγάλη διακύμανση με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ξεκάθαρο σήμα, αλλά σε γενικές γραμμές υπερεκτιμούν την βροχόπτωση σε σχέση με τα reanalysis δεδομένα.
- Τελος, όσον αφορά την υγρασία, τα δυο μοντέλα συγκλίνουν πολύ μεταξύ τους για την περίοδο του χειμώνα και δίνουν πολύ καλά αποτελέσματα, αλλά το καλοκαίρι υπάρχει μια απόκλιση με το ICTP να βρίσκεται πιο κοντά στις τιμές του NCEP και κατά συνέπεια, γι'αυτήν την εποχή να δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

Από τα θηκογράμματα-boxplots (Σχ. 10, 11, 12) παρατηρείται ότι το εύρος των τιμών κάθε δείκτη του μοντέλου ICTP συγκλίνει περισσότερο με αυτά του NCEP. Το KNMI δίνει μεγαλύτερο εύρος τιμών σε όλους τους δείκτες.

Όσον αφορά το μοντέλο ICTP, παρατηρείται ότι το εύρος των τιμών των δεικτών αυξάνει την 1^η μελλοντική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς κατά 7 μονάδες (από 0-55,4 γίνεται 0-62,9) ενώ την δεύτερη μελλοντική περίοδο το εύρος γίνεται 0-64,4.

Ίδια τάση αλλά μεγαλύτερη αύξηση δίνει και το KNMI, με τιμές FWI την περίοδο αναφοράς 0-70,3, ενώ την 1^η μελλοντική περίοδο το εύρος γίνεται 0-73,9 και την 2^η περίοδο 0-83,5. Αύξηση σημειώνεται σε όλους τους δείκτες.

- ❖ Όσον αφορά τον άνεμο, την περίοδο αναφοράς οι τιμές του κυμαίνονται από 4-8m/sec τον χειμώνα και 2,5-6m/sec το καλοκαίρι σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP. Για τις ίδιες εποχές, το μοντέλο ICTP δίνει τιμές 3,5-8m/sec και 2,7-7m/sec ενώ το KNMI δίνει αρκετά μικρότερες τιμές 1,8-5m/sec για τον χειμώνα και 1,8-6m/sec για το καλοκαίρι. Συνεπώς για την περίοδο αναφοράς το μοντέλο ICTP δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

Την 1^η μελλοντική περίοδο για το μοντέλο ICTP, ο άνεμος για τη χειμερινή περίοδο δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική αλλαγή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, ενώ την 2^η μελλοντική περίοδο οι ταχύτητες των ανέμου παρουσιάζουν μία μη σημαντική ελάττωση (3-7m/sec). Το καλοκαίρι, οι ταχύτητες των ανέμων ιδιαίτερα για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο θα εμφανίζουν μία μικρή αύξηση (2-8m/sec). Τα αποτελέσματα για το KNMI είναι αντίστοιχα, αλλά με μικρότερες ταχύτητες ανέμων. Τόσο για τη 1^η μελλοντική περίοδο όσο και για τη 2^η μελλοντική περίοδο οι αλλαγές δεν ξεπερνούν τη 1m/sec. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι η μέγιστη ταχύτητα ανέμου αυξάνεται κατά 1 μονάδα μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, ενώ η ελάχιστη μειώνεται κατά 0,5. Γενικά, το KNMI εμφανίζει μικρότερες τιμές ταχύτητας ανέμου, συνεπώς στις 3 χρονικές περιόδους και για τις δυο εποχές, οι μέσες τιμές είναι περίπου 3m/sec ενώ το ICTP εμφανίζει μέσες τιμές κοντά στα 5m/sec.

- ❖ Όσον αφορά την θερμοκρασία, την περίοδο αναφοράς οι τιμές κυμαίνονται από 3-15°C τον χειμώνα και 22-27 °C το καλοκαίρι σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP. Το μοντέλο ICTP δίνει τιμές -4- -10°C για τον χειμώνα και 12-27°C για το καλοκαίρι, ενώ το KNMI δίνει -4- -12 °C για τον χειμώνα και 15-27°C για το καλοκαίρι. Παρατηρείται ότι και τα δυο μοντέλα δίνουν παρόμοιες τιμές αλλά υποεκτιμούν την θερμοκρασία.

Την 1^η μελλοντική περίοδο, σύμφωνα με το ICTP υπάρχει μια αύξηση της θερμοκρασίας στους 2-3°C και τις δυο εποχές και τα ίδια αποτελέσματα δίνει και το KNMI. Την 2^η μελλοντική περίοδο, η θερμοκρασία αυξάνεται ακόμη 2°C και τις δυο εποχές σύμφωνα με το ICTP, ενώ το KNMI δίνει αύξηση 3-4°C στην θερμοκρασία του χειμώνα και αύξηση 5°C στη ελάχιστη θερμοκρασία του καλοκαιριού και 3°C στην μέγιστη. Οι τιμές των δυο μοντέλων είναι πολύ κοντά με μια μικρή διαφορά στις ελάχιστες τιμές, όπου το KNMI δίνει θερμοκρασία 2°C μεγαλύτερη από το ICTP. Συνεπώς, για τις μέσες τιμές και στις 2 περιόδους τα μοντέλα συγκλίνουν για τον χειμώνα, ενώ για το καλοκαίρι οι τιμές του ICTP είναι στους 23-25°C (1^η-2^η περίοδος) ενώ του KNMI 25-27°C.

- ❖ Όσον αφορά την βροχόπτωση, την περίοδο αναφοράς οι τιμές κυμαίνονται από 100-300mm τον χειμώνα με μέγιστη τιμή τα 500mm και 0-300mm το καλοκαίρι με μέγιστη τιμή τα 650mm, σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP. Το ICTP δίνει τιμές 100-800mm με μέγιστη τα 1200mm τον χειμώνα και 0-300mm με μέγιστη τα 450mm το καλοκαίρι. Το KNMI δίνει τιμές 100-700mm με μέγιστη τα 1000mm τον χειμώνα και 0-200mm με μέγιστη τα 300mm το καλοκαίρι. Παρατηρείται ότι και τα δυο μοντέλα δίνουν μεγαλύτερες τιμές για τον χειμώνα και μικρότερες για το καλοκαίρι.

Την 1^η μελλοντική περίοδο, το ICTP παρουσιάζει μια αύξηση 100-200mm τον χειμώνα ενώ το καλοκαίρι οι τιμές παραμένουν στα ίδια περίπου επίπεδα, ενώ το KNMI παρουσιάζει μια μείωση στις τιμές του καλοκαιριού, ενώ τον χειμώνα η κατάσταση είναι ίδια με αύξηση μόνο στις μέγιστες τιμές κατά 200mm.

Την 2^η μελλοντική περίοδο οι τιμές βροχόπτωσης που δίνει το ICTP παραμένουν σταθερές με αύξηση μόνο στις ακραίες τιμές βροχόπτωσης κατά 300mm τον χειμώνα και 100mm το καλοκαίρι. Το KNMI δίνει μια αύξηση της μέγιστης βροχόπτωσης κατά 100mm και των ακραίων τιμών κατά 200mm τον χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι υπάρχει μείωση κατά 50mm της μέγιστης βροχόπτωσης.

Όσον αφορά τις μέσες τιμές, τον χειμώνα και τα δυο μοντέλα συγκλίνουν μεταξύ τους, ενώ το καλοκαίρι υπάρχει μεγάλη απόκλιση ακόμα και 70mm μεταξύ τους με το ICTP να δίνει μεγαλύτερες τιμές.

- ❖ Όσον αφορά την υγρασία, την περίοδο αναφοράς οι τιμές κυμαίνονται από 0,65-0,95 τον χειμώνα και το καλοκαίρι από 0,45-0,8 σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP. Το ICTP δίνει αντίστοιχες τιμές 0,7-0,9 και 0,4-0,75, ενώ το KNMI δίνει τιμές 0,7-0,9 και 0,35-0,65. Και τα δυο μοντέλα υποεκτιμούν την υγρασία το καλοκαίρι αλλά τον χειμώνα είναι και τα δυο κοντά στις τιμές των δεδομένων reanalysis.

Παρουσιάζεται μια μικρή μείωση της ελάχιστης υγρασίας κατά 0,5 την 1^η περίοδο και 1,5 την 2^η περίοδο τον χειμώνα ενώ η μέγιστη παραμένει σταθερή. Το καλοκαίρι, υπάρχει αύξηση της μέγιστης υγρασίας κατά 0,5 και 1 βαθμό στις 2 περιόδους και μια μικρή μείωση στην ελάχιστη την 2^η περίοδο. Τον χειμώνα η μέγιστη υγρασία, σύμφωνα με το KNMI, παραμένει σταθερή ενώ η ελάχιστη μειώνεται κατά 0,5 και το καλοκαίρι υπάρχει μια μείωση 0,5 και 1 μονάδας (1^η-2^η περίοδος) στην ελάχιστη υγρασίας και μια μείωση 0,5 στην μέγιστη.

Όσον αφορά τις μέσες τιμές, και τα δυο μοντέλα συγκλίνουν τον χειμώνα με τιμές 0,8 ενώ το καλοκαίρι το ICTP δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές από το KNMI κατά 1 μονάδα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι δείκτες FFMC, DC, DMC, ISI, BUI, και ο τελικός δείκτης επικινδυνότητας FWI για την εκτίμηση της εμφάνισης πυρκαγιών στην ελληνική περιοχή.

Στη συνέχεια, έγινε κατάταξη των τιμών των δεικτών σε 5 κλάσεις. Ειδικότερα για τον FWI ο χαρακτηρισμός των κλάσεων «χαμηλές τιμές έως ακραίες τιμές» μπορεί να αλλάξει και σε «χαμηλή έως ακραία επικινδυνότητα ή χαμηλό έως ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς» μιας και αυτός ο δείκτης καθορίζει τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Αυτός ο χαρακτηρισμός χρησιμοποιείται παρακάτω.

Από τη χαρτογράφηση του FWI μπορούν να εξαχθούν πολλά συμπεράσματα. Συγκεκριμένα:

Β.Ελλάδα,

Για τη βόρεια Ελλάδα, ο δείκτης FWI την περίοδο αναφοράς παρουσιάζει μέσες τιμές σύμφωνα με τα δεδομένα reanalysis. (σχ 5.1).

Το μοντέλο ICTP για την ίδια περίοδο (σχ 5.7) δίνει χαμηλό κίνδυνο στις βόρειες και ορεινές περιοχές, μέσο σε ημιορεινές περιοχές και υψηλό σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Ειδικότερα, πολύ υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται στην Χαλκιδική, πράγμα το οποίο φαίνεται από όλους τους υπόλοιπους δείκτες εκτός από τον ISI. Για την 1^η μελλοντική περίοδο η γενική εικόνα της επικινδυνότητας εμφάνισης πυρκαγιάς δεν αλλάζει. Την 2^η μελλοντική περίοδο, όμως, χαμηλές και μέσες τιμές υπάρχουν μόνο στις ορεινές περιοχές της Θράκης, υψηλές τιμές έχουν πλέον οι ημιορεινές περιοχές ενώ πολύ υψηλές τιμές εμφανίζονται σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου. Η Χαλκιδική έχει μετατραπεί σε ζώνη ακραίου κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών. Το ίδιο σκηνικό δείχνουν και οι υπόλοιποι δείκτες με την διαφορά ότι οι DC, DMC και BUI δεν δείχνουν ακραία φαινόμενα αλλά παραμένουν υπό πολύ υψηλό κίνδυνο.

Το μοντέλο KNMI, για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.13) δίνει χαμηλό και μέσο κίνδυνο σε ορεινές περιοχές και υψηλό σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, και πολύ υψηλές σε Θεσσαλονίκη και Ημαθία και Καβάλα. Την 1^η μελλοντική περίοδο δεν υπάρχει μεγάλη αλλαγή παρά μόνο κάποιες παραθαλάσσιες περιοχές των νομών της Α. Μακεδονίας μεταπίπτουν σε πολύ υψηλό κίνδυνο. Την 2^η μελλοντική περίοδο, μόνο κάποιες ορεινές περιοχές της Μακεδονίας έχουν υψηλό κίνδυνο και όλες οι υπόλοιπες περιοχές βρίσκονται υπό ακραίο κίνδυνο.

Το KNMI δίνει πολύ μεγαλύτερες τιμές των δεικτών και στις τρεις χρονικές περιόδους όπως επίσης και πιο εκτεταμένες περιοχές με ακραίο κίνδυνο.

Δ.Ελλάδα,

Για τη δυτική Ελλάδα, ο δείκτης FWI την περίοδο αναφοράς παρουσιάζει μέσες τιμές σύμφωνα με τα δεδομένα reanalysis. (σχ 5.1).

Το μοντέλο ICTP για την ίδια περίοδο (σχ 5.7) δίνει χαμηλό κίνδυνο στις βόρειες και ορεινές περιοχές, μέσο σε ημιορεινές και χαμηλού υψομέτρου περιοχές, υψηλό στην Λευκάδα και Κεφαλονιά και πολύ υψηλό στην Ζάκυνθο. Την 1^η μελλοντική περίοδο, η μόνη αλλαγή εντοπίζεται στην Κεφαλονιά που από υψηλό κίνδυνο μεταπίπτει σε πολύ υψηλό. Την 2^η μελλοντική περίοδο, οι ορεινές περιοχές έχουν χαμηλό έως μέσο κίνδυνο και οι ημιορεινές και χαμηλού υψομέτρου περιοχές έχουν υψηλό κίνδυνο. Η Κέρκυρα και η Λευκάδα είναι υπό πολύ υψηλό κίνδυνο, ενώ η Κεφαλονιά και η Ζάκυνθος υπό ακραίο κίνδυνο.

Για όλες τις περιόδους ο FWI συγκλίνει περισσότερο με τον FPMC. Ο ISI είναι ο μόνος δείκτης που δίνει υψηλό κίνδυνο σχεδόν σε όλες τις περιοχές, ενώ οι υπόλοιποι δείκτες είναι μια κλάση κάτω δηλ. δεν δίνουν ακραίο κίνδυνο σε καμία περιοχή αλλά παραμένουν υπό πολύ υψηλό κίνδυνο εκεί που ο FWI δίνει ακραίο.

Το μοντέλο KNMI, για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.13) δίνει χαμηλό κίνδυνο σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές και μέσο σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου. Την 1^η μελλοντική περίοδο, οι ορεινές περιοχές είναι υπό χαμηλό κίνδυνο, οι ημιορεινές υπό μέσο και οι χαμηλού υψομέτρου περιοχές υπό υψηλό κίνδυνο. Την 2^η μελλοντική περίοδο, οι ορεινές περιοχές μεταπίπτουν σε μέσο κίνδυνο, οι ημιορεινές σε υψηλό κίνδυνο, οι χαμηλού υψομέτρου σε πολύ υψηλό κίνδυνο και τα νησιά του Ιονίου καθώς και παραθαλάσσιες περιοχές της Πρέβεζας είναι υπό ακραίο κίνδυνο.

Για όλες τις περιόδους ο FWI συνδέεται περισσότερο με τον FPMC, ενώ οι υπόλοιποι δείκτες δεν δίνουν ακραίο κίνδυνο σε καμία περιοχή.

Θεσσαλία- Στερεά Ελλάδα,

Για τη κεντρική Ελλάδα, ο δείκτης FWI την περίοδο αναφοράς παρουσιάζει μέσες τιμές στις δυτικές περιοχές (Καρδίτσα, Ευρυτανία, Αιτωλοακαρνανία) και υψηλές τιμές στις υπόλοιπες περιοχές σύμφωνα με τα δεδομένα reanalysis. (σχ 5.1).

Το μοντέλο ICTP για την ίδια περίοδο (σχ 5.7) δίνει χαμηλό κίνδυνο στις ορεινές περιοχές, μέσο σε ημιορεινές και υψηλό σε χαμηλού υψομέτρου περιοχές. Πολύ υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται στο βόρειο κομμάτι της Εύβοιας. Την 1^η μελλοντική περίοδο, η μόνη αλλαγή βρίσκεται στην Βοιωτία, η οποία μεταπίπτει σε πολύ υψηλό κίνδυνο. Την 2^η μελλοντική περίοδο, μέσος έως υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές, πολύ υψηλός στις περιοχές χαμηλού υψομέτρου και ακραίος στην Βοιωτία και Εύβοια.

Οι υπόλοιποι δείκτες δίνουν την ίδια τάση σε αυτές τις περιοχές, αλλά βρίσκονται υπό πολύ υψηλό κίνδυνο και μόνο ο FPMC ταυτίζεται με τον FWI και δίνει ακραίο κίνδυνο.

Το KNMI για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.13) δίνει χαμηλό κίνδυνο στις ορεινές και μέσο κίνδυνο στις ημιορεινές περιοχές, υψηλό στις περιοχές χαμηλού υψομέτρου και υψηλό κίνδυνο στις περιοχές Τρίκαλα, Καρδίτσα, Φθιώτιδα, Βοιωτία. Την 1^η μελλοντική περίοδο, οι

ορεινές περιοχές μεταπίπτουν σε μέσο κίνδυνο, οι ημιορεινές και παραθαλάσσιες περιοχές της Αιτωλοακαρνανίας σε υψηλό, οι χαμηλού υψομέτρου σε πολύ υψηλό και οι περιοχές Τρίκαλα, Καρδίτσα, Φθιώτιδα, Βοιωτία σε ακραίο κίνδυνο. Την 2^η μελλοντική περίοδο, υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται σε ορεινές περιοχές, πολύ υψηλός σε ημιορεινές περιοχές και όλες οι υπόλοιπες περιοχές είναι υπό ακραίο κίνδυνο.

Και στις 2 μελλοντικές περιόδους οι δείκτες FFMC, DC και BUI συνδέονται με τον FWI και δίνουν ακραίο κίνδυνο στις ίδιες περιοχές. Ο DMC δίνει πολύ υψηλές τιμές σε όλες τις περιοχές και στις 3 περιόδους ενώ ο ISI δίνει πολύ υψηλές τιμές μόνο την 2^η μελλοντική περίοδο και μόνο στην Καρδίτσα.

Αττική-Κυκλάδες,

Για την Αττική και τις Κυκλάδες, ο δείκτης FWI την περίοδο αναφοράς παρουσιάζει υψηλές τιμές σύμφωνα με τα δεδομένα reanalysis. (σχ 5.1).

Το ICTP για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.7) δίνει υψηλό κίνδυνο στην Αττική και Αμοργό και ακραίο στις Κυκλάδες. Την 1^η μελλοντική περίοδο η μόνη αλλαγή είναι ότι η Αθήνα βρίσκεται υπό ακραίο κίνδυνο, ενώ την 2^η περίοδο όλη η Αττική και οι Κυκλάδες βρίσκονται υπό ακραίο κίνδυνο. Όλοι οι δείκτες δείχνουν την ίδια τάση με τον FWI.

Το KNMI για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.13) δίνει ακραίο κίνδυνο σε ένα μέρος της Αττικής και στις Κυκλάδες, ενώ από την 1^η μελλοντική περίοδο όλη η Αττική και οι Κυκλάδες είναι υπό ακραίο κίνδυνο. Οι υπόλοιποι δείκτες συνδέονται με τον FWI με εξαίρεση τους DMC, ISI που δίνουν μέχρι πολύ υψηλό κίνδυνο.

Πελοπόννησος,

Για την Πελοπόννησο, ο δείκτης FWI την περίοδο αναφοράς παρουσιάζει υψηλές τιμές σύμφωνα με τα δεδομένα reanalysis. (σχ 5.1).

Το ICTP για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.7) δίνει χαμηλό κίνδυνο στις βορειοδυτικές ορεινές περιοχές, μέσο στις ημιορεινές, υψηλό στις υπόλοιπες περιοχές και πολύ υψηλό στην Κόρινθο, Αργολίδα και στις νοτιότερες περιοχές της Μεσσηνίας και Λακωνίας. Την 1^η μελλοντική περίοδο, οι ορεινές περιοχές μεταπίπτουν σε μέσο κίνδυνο και οι ημιορεινές καθώς και το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου σε υψηλό. Πολύ υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται στην Αργολίδα, Κόρινθο, Μεσσηνία και Λακωνία ενώ ακραίος κίνδυνος στο νοτιότερο άκρο της Λακωνίας και της Αργολίδας. Την 2^η μελλοντική περίοδο, οι ορεινές και ημιορεινές περιοχές είναι υπό υψηλό κίνδυνο, περιοχές χαμηλού υψομέτρου είναι υπό πολύ υψηλό κίνδυνο και ακραίος κίνδυνος εμφανίζεται στις νότιες και ανατολικές περιοχές της Πελοποννήσου.

Ο DC και ISI δίνουν μόνο πολύ υψηλό κίνδυνο και όχι ακραίες τιμές ενώ οι υπόλοιποι δείκτες συγκλίνουν με τα αποτελέσματα του FWI.

Το KNMI για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.13) δίνει χαμηλό κίνδυνο στις βορειοδυτικές ορεινές περιοχές και μέσο στις ημιορεινές. Η Μεσσηνία και Λακωνία είναι υπό υψηλό κίνδυνο ενώ στις ανατολικές περιοχές επικρατεί πολύ υψηλός κίνδυνος με εξαίρεση την Αργολίδα και Κόρινθο όπου επικρατεί ακραίος κίνδυνος. Την 1^η μελλοντική περίοδο, οι δυτικές περιοχές είναι υπό μέσο-υψηλό κίνδυνο, η Λακωνία και Μεσσηνία είναι υπό πολύ υψηλό κίνδυνο και οι ανατολικές περιοχές υπό ακραίο κίνδυνο. Την 2^η μελλοντική περίοδο οι ορεινές περιοχές είναι υπό υψηλό-πολύ υψηλό κίνδυνο και όλη η υπόλοιπη Πελοπόννησος υπό ακραίο κίνδυνο.

Οι υπόλοιποι δείκτες ταυτίζονται με τον FWI και στις 2 μελλοντικές περιόδους και πάλι μόνο οι DMC, ISI διαφέρουν και δεν δίνουν ακραίο κίνδυνο.

Νησιά Αιγαίου, Κρήτη,

Για τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη, ο δείκτης FWI την περίοδο αναφοράς παρουσιάζει υψηλές τιμές σύμφωνα με τα δεδομένα reanalysis. (σχ 5.1)

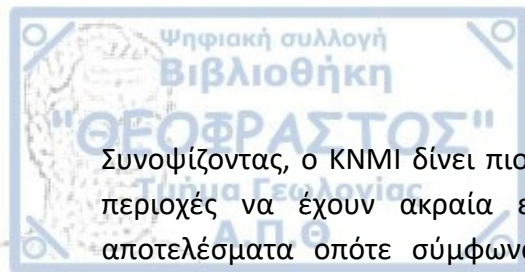
Το ICTP για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.7) δίνει υψηλό κίνδυνο στα Χανιά και Ηράκλειο, πολύ υψηλό στο Ρέθυμνο, Λασιθί και στα νησιά Α. Αιγαίου και ακραίο κίνδυνο στα Δωδεκάνησα. Την 1^η μελλοντική περίοδο δεν υπάρχει καμία αλλαγή αλλά την 2^η μελλοντική περίοδο, τα Χανιά και το Ηράκλειο είναι υπό πολύ υψηλό κίνδυνο ενώ όλες οι υπόλοιπες περιοχές υπό ακραίο κίνδυνο.

Όλοι οι δείκτες συγκλίνουν μεταξύ τους την 1^η μελλοντική περίοδο. Οι δείκτες FFMC, DC και ως επί το πλείστον ο BUI δίνουν ακραίες τιμές σε όλη την Κρήτη την 2 μελλοντική περίοδο ενώ οι υπόλοιποι δίνουν πολύ υψηλό στα δυτικά και ακραίο στα ανατολικά.

Το KNMI για την περίοδο αναφοράς (σχ 5.13) δίνει υψηλό κίνδυνο στην Κρήτη και στα νησιά. Την 1^η μελλοντική περίοδο, η Κρήτη παραμένει ίδια με την διαφορά ότι το Ηράκλειο είναι υπό πολύ υψηλό κίνδυνο, ενώ την 2^η μελλοντική περίοδο όλες οι περιοχές είναι υπό ακραίο κίνδυνο.

Μόνο ο δείκτης FFMC ταυτίζεται με τον FWI. Ο DC και ο BUI δίνουν ακραίο κίνδυνο σε όλες τις περιοχές από την 1^η κιόλας μελλοντική περίοδο. Ο DMC δίνει πολύ υψηλό κίνδυνο και στις 3 περιόδους με καμία ουσιαστική διαφορά το οποίο συμβαίνει και με τον ISI, ο οποίος όμως δίνει μέχρι υψηλό κίνδυνο.

Εν κατακλείδι, ο FFMC συνδέεται με τον FWI, ενώ ο ISI είναι ο μόνος δείκτης που διαφέρει εντελώς.



Συνοψίζοντας, ο ΚΝΜΙ δίνει πιο δραστικές μεταβολές το μέλλον και δίνει τις περισσότερες περιοχές να έχουν ακραία επικινδυνότητα. Το ICTP θεωρείται ότι δίνει καλύτερα αποτελέσματα οπότε σύμφωνα με αυτό οι περιοχές που φαίνεται να έχουν ακραία επικινδυνότητα στο μέλλον είναι η Χαλκιδική, η Κεφαλονιά, η Ζάκυνθος, η Εύβοια, Η Βοιωτία, η Αττική, οι Κυκλάδες, οι Νότιες και οι Ανατολικές παραθαλάσσιες περιοχές της Πελοποννήσου, τα νησιά του Αιγαίου και η Κρήτη (εκτός από τα Χανιά και το Ηράκλειο που φαίνεται να έχουν πολύ υψηλή επικινδυνότητα).

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βελίκου Κονδυλία 2012, *Μελέτη του φαινομένου του παγετού στην Ελληνική περιοχή: Εκτιμήσεις με τη χρήση των δυναμικών περιοχικών μοντέλων του Ensembles*, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Βλάχου Μυρτώ 2006, *Επίδραση της κλιματικής αλλαγής-ξηρασίας στις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Δημητρακόπουλος Α. Π 2009, *Δασικές Πυρκαγιές*

www.scribd.com/document/73644936/%CE%94%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82-%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%BA%CE%B1%CE%B3%CE%B9%CE%AD%CF%82

www.plantsdb.gr/el/articles/260-mediterranean-climate-and-plants

Ρούση Ευτυχία 2014, *Εκτιμήσεις των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στη Μεσόγειο με τη χρήση περιοχικών κλιματικών μοντέλων*, Διδακτορική Διατριβή

Υπουργείο Φυσικών Πόρων Καναδά cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/background/summary/ffws

Camia Andrea and Giuseppe Amatulli 2009, *Weather Factors and Fire Danger in the Mediterranean*,

Carvalho A., M.D Flannigan, K. Logan, A.I Miranda and C. Borrego 2008, *Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System*, International Journal of Wildland Fire 17: 328-338

Chelli Stefano, Maconi Pierluigi, Campetella Giandiego, Monteverde Paolo, Foglia Monica, Paris Eleonora, Lolis Andreas, Panagopoulos Thomas 2014, *Adaptation of the Canadian Fire Weather Index to Mediterranean forests*

De Groot J. William, *Interpreting the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System*

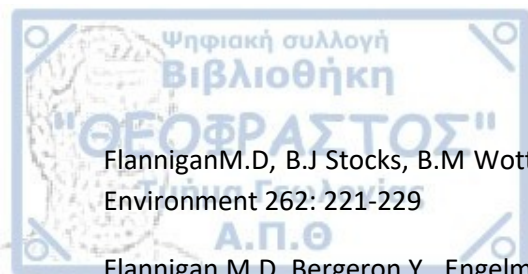
Dimitrakopoulos A. P., A. M. Bemmerzouk and I. D. Mitsopoulos 2011, *Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment*, Meteorological Applications 18: 83-93

Dimitrakopoulos Alexandros P., M. Vlahou, Ch.G Anagnostopoulou, I.D Mitsopoulos 2011, *Impact of drought on wildland fires in Greece: implications of climate change?*, Climate Change 109: 331-347

Durao R.M, M.J Pereira, C. Branquinho, A. Soares 2010, *Assessing spatial uncertainty of the Portuguese fire risk through direct sequential simulation*, Ecological Modelling 221: 27-33

Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., ... & Zakey, A. (2007). RegCM version 3.1 user's guide. PWCG Abdus Salam ICTP.

Flannigan M.D, B.D Amiro, K.A Logan, B.J Stocks and B.M Wotton 2005, *Forest fires and climate change in the 21st century*, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11: 847-859



Flannigan M.D, B.J Stocks, B.M Wotton 2000, *Climate change and forest fires*, The science of the Total Environment 262: 221-229

Flannigan M.D, Bergeron Y., Engelman O. Wotton B.M 1998, *Future Wildfire in circumboreal forests in relation to global warming*, Journal of Vegetation Science 9: 469-476

Giannakopoulos C., P. LeSager, E. Kostopoulou, A. Vajda, A. Venalainen 2003, *Report on an intercomparison study of modeled, Europe-wide forest fire risk for present day conditions*,

Giannakopoulos C., P. LeSagler, M. Moriondo, M. Bindi, A. Karali, M. Hatzaki, E. Kostopoulou 2012, *Comparison of fire danger indices in the Mediterranean for present day conditions*, iForest-Biogeosciences and Forestry 5:197-203

Good P., M. Moriondo, C. Giannakopoulos and M. Bindi 2008, *The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies*, International Journal of Wildland Fire 17, 155-165

Gortez Paulo and AnibalMorais ,*A Data Mining Approach to Predict Forest Fires using Meteorological Data*

Kalnay, Eugenia, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American meteorological Society*, 1996, 77.3: 437-472.

Karali, A, M Hatzaki, C Giannakopoulos, A Roussos, G Xanthopoulos, and V Tenentes. 2014. *Sensitivity and evaluation of current fire risk and future projections due to climate change: The case study of Greece*. Natural Hazards and Earth System Sciences 14, no. 1: 143 - 153.

Koutsias Nikos, GavriilXanthopoulos, DimitraFounda, FotiosXystrakis, FoulaNioti, MagdaliniPleniou, GiorgosMallinis and Margarita Arianoutsou 2012, *On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations (1894-2010)*, International Journal of Wildland Fire

Moriondo M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C, Giannakopoulos, J. Corte-Real 2006, *Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area*, Clim Res 31: 85-95

PausasJuli G. 2004, *Changes in fire and climate in the eastern Iberian peninsula (Mediterranean Basin)*, Climate change 63: 337-350

PinolJosep, JaumeTerrandas and FransiscoLloret 1998, *Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain*, Climate Change 38: 345-357

Sturm Tomaz, Paulo M. Fernandes, RadosSumrada 2012, *The Canadian fire weather index system and wildfire activity in the Karst forest management area, Slovenia*, Eur J Forest Res 131: 829-834

Van Meijgaard, E., et al. The KNMI regional atmospheric climate model RACMO version 2.1. *KoninklijkNederlandsMeteorologischInstituut*, 2008, 43.

Van Wagner and Picket (1975), *Equations and Fortran IV for the 1976 metric version of the Forest Fire Weather Index*



Viegas D. Xavier, Giovanni Bovio, Almerindo Ferreira, Antonio Nosenzo, Bernard Sol 1999, *Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe*, International Journal of Wildland Fire 9(4): 235-246

Wastl Clemens, Christian Schunk, Michael Leuchner, Gianni B. Pezzatti, Annette Menzel 2012, *Recent climate change: Long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps*, Agricultural and Forest Meteorology 162-163: 1-13