



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ και ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΥΡΥΤΕΡΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΧΑΛΙΣΙΑΝΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΙΟΥΛΙΟΣ 2019



ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΧΑΛΙΣΙΑΝΗ

Πτυχιούχος Γεωγράφος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ
ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος
Σπουδών 'Μετεωρολογία Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον'

Τομεας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 3 Ιουλίου 2019

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επίκουρη Καθηγήτρια.....Κωνσταντία Τολίκα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια.....Χριστίνα Αναγνωστοπούλου

Καθηγητής.....Χαράλαμπος Φείδας



Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Νο

© Σταυρούλα Χαλισιάνη, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

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 εκπαιδευτική 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 τον 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.



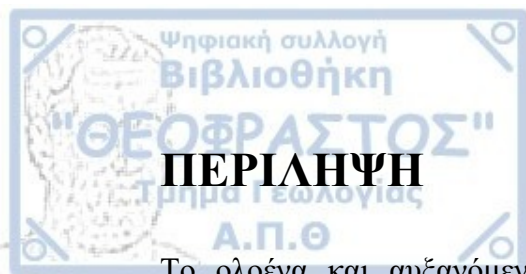
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την περάτωση της διπλωματικής μου εργασίας στα πλαίσια των μεταπτυχιακών σπουδών μου στο τμήμα μετεωρολογίας, κλιματολογίας και ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κ. Κωνσταντία Τολικά, για την αμέριστη βοήθειά της και την άρτια μεταλαμπάδευση των επιστημονικών της γνώσεων, τόσο κατά την εκπόνηση της εργασίας μου, όσο και καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου και τον κ. Χαράλαμπο Φείδα για την αξιολόγηση της εργασίας μου ως μέλη της τριμελούς επιτροπής και την πολύτιμη βοήθειά τους για την ολοκλήρωσή της.

Επίσης, θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Τομέα για το όμορφο κλίμα που δημιούργησαν, το οποίο με παρότρυνε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για την υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την κλιματική αλλαγή σε παγκόσμιο επίπεδο, έχει στρέψει την προσοχή σε ποσοτικές μελλοντικές εκτιμήσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Στη παρούσα μελέτη εκτιμάται η μεταβολή των δύο αυτών παραμέτρων για την περιοχή της δυτικής Ευρώπης, με τη χρήση τριών κλιματικών μοντέλων. Η εκτίμηση των μεταβολών αφορά δύο μελλοντικές περιόδους, 2021-2050 και 2071-2100, ενώ ως περίοδος αναφοράς ορίζεται η περίοδος 1961-1990, για την οποία χρησιμοποιούνται δεδομένα e-OBS. Επιλέχτηκε να αναλυθούν και να μελετηθούν τόσο οι μέσες όσο και οι ακραίες τιμές (με τη βοήθεια ακραίων δεικτών) των δύο μεταβλητών. Στο πρώτο στάδιο της μελέτης, έγινε αξιολόγηση των τριών RCM's, η οποία βασίστηκε στη σύγκριση των δεδομένων εξόδου τους με την βάση δεδομένων e-OBS, που παρέχει δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας σε σημεία πλέγματος από παρατηρήσεις μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης για την περίοδο αναφοράς. Στη συνέχεια, γίνεται μια προσπάθεια μελλοντικής εκτίμησης των δύο μεταβλητών για την περιοχή μελέτης, μέσω των τριών κλιματικών μοντέλων.

ABSTRACT

The increased interest of the scientific community in global climate change has drawn attention to quantitative future estimates of temperature and rainfall. This study evaluates the change of these two parameters for the western European region, using three climate models. The estimation of the changes concerns two future periods, 2021-2050 and 2071-2100, while the reference period is defined as the period 1961-1990, for which e-OBS data are used.

It was chosen to analyze and study both the mean and the extreme values (with the help of extreme markers) of the two variables. In the first stage of the study, the three RCM's were evaluated, based on the comparison of their output data with the e-OBS database, which provides rainfall and temperature data at grid points from observations of meteorological stations in the study area for the reference period. Next, an attempt is made to assess the two variables for the study area, through the three climate models.



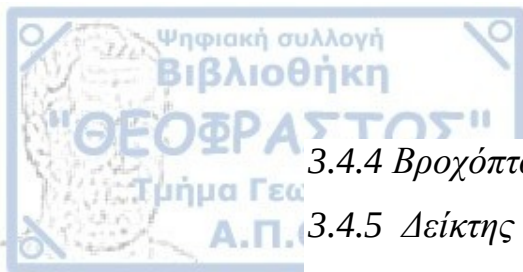
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ-ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	11
2.1 ΚΛΙΜΑ-ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ.....	11
2.2 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	13
2.2.1 Το κλίμα της Γαλλίας.....	14
2.2.2 Το κλίμα του Ηνωμένου Βασιλείου.....	16
2.2.3 Το κλίμα της Ισπανίας.....	17
2.2.4 Το κλίμα της Ολλανδίας.....	19
2.2.5 Το κλίμα του Βελγίου.....	20
2.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ IPCC.....	21
2.3.1 Γενικά για το IPCC.....	21
2.3.2 Συμπεράσματα 4 ^{ης} έκθεσης αξιολόγησης του IPCC όσο αφορά στις μεταβολές θερμοκρασίας στην Ευρώπη.....	21
2.3.3 Σενάριο εκπομπών SRES.....	23
2.4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (GCM'S) ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΧΙΚΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (RCM'S).....	25
2.4.1 Μοντέλα GCM's και RCM's.....	25
2.4.2 Σφάλματα μοντέλων.....	26
2.4.3 Προβλέψεις από παγκόσμια και περιοχικά μοντέλα για την περιοχή μελέτης.....	27
2.5 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	30
2.6 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ.....	32
2.6.1 Μοντέλα KNMI.....	32
2.6.2 Μοντέλο MPI.....	33
2.6.3 Μοντέλο DMI.....	33

2.6.4 Κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης.....	33
--	----

3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....35

3.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ-ΠΕΡΙΟΧΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ E-OBS.....	35
3.2 ΧΩΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1961-1990.....	37
3.2.1 Μέση θερμοκρασία.....	37
3.2.2 Μέγιστη θερμοκρασία.....	38
3.2.3 Ελάχιστη θερμοκρασία.....	38
3.2.4 Βροχόπτωση.....	39
3.2.5 Δείκτης T _{xq90}	40
3.2.6 T _{nq10}	41
3.2.7 Δείκτη CDD.....	41
3.2.7 Δείκτης P _{q95}	41
3.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2021-2050.....	44
3.3.1 Μέση θερμοκρασία.....	44
3.3.2 Μέγιστη θερμοκρασία.....	44
3.3.3 Ελάχιστη θερμοκρασία.....	45
3.3.4 Βροχόπτωση.....	45
3.3.5 Δείκτης T _{xq90}	47
3.3.6 Δείκτης T _{nq10}	47
3.3.7 Δείκτης CDD.....	48
3.3.8 Δείκτης P _{q95}	49
3.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2071-2100.....	51
3.4.1 Μέση θερμοκρασία.....	51
3.4.2 Μέγιστη θερμοκρασία.....	52
3.4.3 Ελάχιστη θερμοκρασία.....	53



3.4.4 Βροχόπτωση.....	54
3.4.5 Δείκτης T _{xq90}	55
3.4.6 Δείκτης T _{ηq10}	55
3.4.7 Δείκτης CDD.....	56
3.4.8 Δείκτης P _{q95}	56
4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
5 .ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
6.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	66

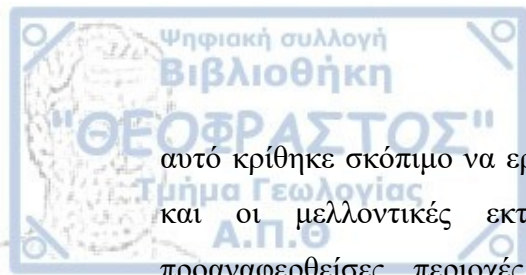
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα αρχαία χρόνια εμφανίστηκε έντονη η ανάγκη να γίνει πρόγνωση του καιρού από τον άνθρωπο και σημειώθηκαν πολλές προσπάθειες με διαφορετικά μέσα και προσεγγίσεις στο πέρασμα των αιώνων. Η ανάγκη αποφυγής δυσάρεστων καταστάσεων ως αποτέλεσμα καιρικών φαινομένων τα οποία ήταν άγνωστα ως τότε οδήγησαν τον άνθρωπο να προσπαθεί να προβλέψει τις καιρικές συνθήκες να προετοιμαστεί γι' αυτές αλλά και να προσαρμοστεί σε αυτές.

Ο Ιπποκράτης κατέληξε πρώτος στο συμπέρασμα ότι τα καιρικά φαινόμενα επαναλαμβάνονται αφού τα παρατήρησε συστηματικά κατά τη διάρκεια του έτους κι έγινε ο Πατέρας της Κλιματολογίας.

Το 1854 ο Διευθυντής του Αστεροσκοπείου Παρισίων, Le Varrier, κλήθηκε να απαντήσει στην Γαλλική κυβέρνηση αν θα μπορούσαν να είχαν προβλεφθεί κάποια ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία προκάλεσαν μεγάλες ζημιές στον Γαλλικό στόλο κατά τη διάρκεια του Κριμαϊκού πολέμου. Ο Le Varrier είχε συλλέξει παρατηρήσεις από 200 μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ευρώπη και παρατήρησε ότι η ατμοσφαιρική διαταραχή πάνω από τον Εύξεινο Πόντο που προκάλεσε ζημιές στον στόλο της χώρας του, είχε προηγουμένως διατρέξει ολόκληρη την Ευρώπη. Κατέληξε έτσι ότι η πρόγνωση του καιρού εναπόκειται στη συχνή καταγραφή μετεωρολογικών παρατηρήσεων από πολλές περιοχές και στην άμεση αποστολή τους στα μετεωρολογικά κέντρα. Ο Le Verrier υπήρξε ο θεμελιωτής των δικτύων μετεωρολογικών σταθμών. (Ιστοσελίδα της ΕΜΥ-Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση των μεταβολών των τιμών των δύο βασικών παραμέτρων που ορίζουν το κλίμα μίας περιοχής: η θερμοκρασία (μέση μέγιστη και ελάχιστη) και η βροχόπτωση. Επιλέχθηκε να αναλυθούν και να μελετηθούν τόσο οι μέσες όσο και οι ακραίες τιμές (με τη βοήθεια ακραίων δεικτών) των δύο μεταβλητών. Η περιοχή ενδιαφέροντος ορίστηκε η κεντρική και δυτική Ευρώπη (Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία, Ισπανία, Βέλγιο, Ολλανδία) μια επιλογή η οποία βασίστηκε στο γεγονός ότι για τα διαθέσιμα περιοδικά μοντέλα (θα αναφερθούν αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο) έχουν ήδη προηγηθεί αρκετές μελέτες που αφορούν στην Μεσόγειο και στην Ελληνική περιοχή. Για το λόγο



αυτό κρίθηκε σκόπιμο να ερευνηθεί η συμπεριφορά, η ικανότητα προσομοίωσης και οι μελλοντικές εκτιμήσεις των εξεταζόμενων μοντέλων για τις προαναφερθείσες περιοχές που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, τόσο κλιματικά όσο και γεωγραφικά, από τον ελλαδικό χώρο.

-Η μελέτη αφορά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 ενώ σαν περίοδος αναφοράς ορίζεται η χρονίσει 1961-1990. Τα τρία κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση ακολουθούν το σενάριο εκπομπών A1B (SRES) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ- ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1 Κλίμα-Κλιματικές μεταβολές

Κλίμα ονομάζεται η σύνθεση των στοιχείων του καιρού για ένα μακρό χρονικό διάστημα και ορίζεται από το σύνολο των μέσων τιμών των κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία, βροχόπτωση, υγρασία κλπ) για μια περίοδο τουλάχιστον 30 ετών.

Τα κλίματα διαιρούνται σε ένα παγκόσμιο σύστημα συνεχόμενων περιοχών καθεμία από τις οποίες ορίζεται από σχετική ομοιογένεια των κλιματικών παραμέτρων.

Αν και υπάρχουν αρκετές κατατάξεις για των ορισμό των κλιμάτων σε διάφορες περιοχές του πλανήτη, η κλιματική κατάταξη του -Vladimir Köppen (1918) μετά από μερικές βελτιώσεις είναι σήμερα η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη ταξινόμηση στην κλιματολογία.

Οι τύποι κλίματος χωρίστηκαν σε 6 ευρείες κατηγορίες:

A) Τροπικό Βροχερό Κλίμα: οι θερμοκρασίες κατά τους θερμότερους μήνες είναι πάντα άνω των 18° C

B) Άνυδρο ξηρό κλίμα

Γ) Θερμό, Εύκρατο και Βροχερό κλίμα: οι θερμοκρασίες κατά τους ψυχρότερους μήνες είναι μεταξύ των 3° C και των 18° C.

Δ) Βροχερό κλίμα τυπικό των Βορείων δασών οι θερμοκρασίες κατά τους ψυχρότερους μήνες είναι κάτω από -3°C.

E) Τούνδρα: οι θερμοκρασίες κατά τους θερμότερους μήνες είναι μεταξύ 0°C και 10° C.

ΣΤ) Διαρκείς πάγοι: οι θερμοκρασίες κατά τους θερμότερους μήνες είναι κάτω από 0°C.

Στη συνέχεια ο Köppen υποδιαίρεσε αυτές τις 6 ομάδες και δημιούργησε 13 είδη κλιμάτων.

Τα 5 κράτη τα οποία απαρτίζουν την περιοχή μελέτης σύμφωνα με την κατά Köppen ταξινόμηση χαρακτηρίζονται από τον C τύπο κλίματος (εκφράζει τα θερμά εύκρατα βροχερά κλίματα με ήπιους χειμώνες).¹ (Gallardo et al., 2012)

Με τις ήδη υφιστάμενες κλιματικές αλλαγές, αναμένονται τις επόμενες δεκαετίες οι ορατές επιπτώσεις τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον σε παγκόσμιο επίπεδο. Από τις πιο σοβαρές είναι η απομείωση των ακτών λόγω της διάβρωσης αλλά και της ανύψωσης της στάθμης των θαλάσσιων υδάτων. (Σταματίου-Lacroix, 2008).

Σύμφωνα με τη διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC), ως Κλιματική Μεταβολή ορίζεται μια κατάσταση του κλίματος η οποία μπορεί να αναγνωριστεί (για παράδειγμα με τη χρήση στατιστικών τεστ) από αλλαγές στο μέσο όρο (mean) και/ή τη μεταβλητότητα (variability) των ιδιοτήτων της, και η οποία επιμένει για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα κατά την πάροδο του χρόνου που οφείλεται είτε σε φυσική μεταβλητότητα είτε είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Αυτή η έννοια της κλιματικής αλλαγής διαφέρει από αυτήν που διατυπώθηκε από το Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), όπου η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μια κατάσταση του κλίματος η οποία αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει τη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας. Η αλλαγή αυτή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας και η κλιματική αλλαγή λειτουργούν σαν ένα πρόσθετο στοιχείο στη φυσική κλιματική μεταβλητότητα. (IPCC, 2007)

Η γη στη διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας γνώρισε σημαντικές κλιματικές μεταβολές. Έχουν μελετηθεί διάφοροι παλαιό-κλιματικοί δείκτες οι οποίοι έχουν καταγράψει τις πολλαπλές μεταβολές του κλίματος τόσο σε τοπικό επίπεδο, από περιοχή σε περιοχή, όσο και σε όλη την έκταση της Γης συνολικά. Το παγκόσμιο ενδιαφέρον για την επίδραση των δραστηριοτήτων του ανθρώπου στο περιβάλλον έχει οδηγήσει σε πολλές συζητήσεις και αντιθέσεις για μια επικείμενη ταχεία αλλαγή του κλίματος.

¹ Προκύπτοντες κλιματικοί τύποι: Cfa: υγρό υποτροπικό, Cfb: Θαλάσσιο (θερμό θέρος), Cfc: Θαλάσσιο (δροσερό θέρος), Csa: Μεσογειακό ενδοχώρας, Csb: Παράκτιο μεσογειακό, Cwa: Υποτροπικό Μουσικό, Cwb: Τροπικό Υψιπέδων

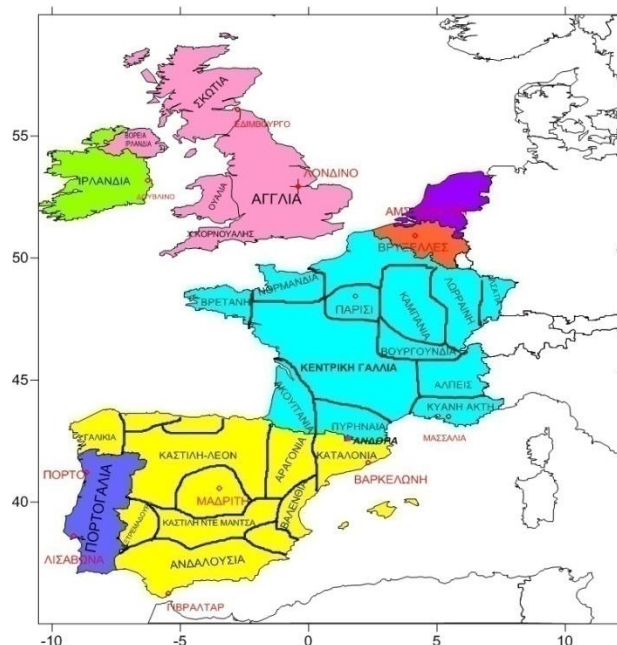
Η ιστορία των κλιματικών αλλαγών σύμφωνα με τον Bryson (1975)_ δείχνει ότι:

- Το κλίμα δεν είναι σταθερό.
- Το κλίμα τείνει να μεταβάλλεται γρήγορα παρά βαθμιαία.
- Την αλλαγή του κλίματος συνοδεύουν πολιτισμικές αλλαγές.
- Ότι θεωρούμε τώρα σαν κανονικό κλίμα, δεν ισχύει υπό την προοπτική των αιώνων που πέρασαν.
- Όταν ψύχονται τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη τότε τείνουν να γίνονται ασταθέστερες οι ακραίες συνθήκες.
- Οι ψυχρές περιόδους της ιστορίας της γης εμφανίζουν και τη μεγαλύτερη κλιματική αστάθεια.

\

2.2 Η περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 36° (Πορθμός του Γιβραλτάρ) και 58° Βόρεια (Σκωτία) (και περιλαμβάνει τα κράτη του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γαλλίας, του Βελγίου, της Ολλανδίας και της Ισπανίας. Το κλίμα των παραπάνω περιοχών παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία καθώς είναι πολλοί και διαφορετικοί οι παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα κάθε χώρας ξεχωριστά.



Σχήμα 1: Η περιοχή μελέτης

Βασικός παράγοντας στην διαμόρφωση του κλίματος της Δυτικής Ευρώπης είναι ο Ατλαντικός ωκεανός ο οποίος επηρεάζει με τα θερμά του ρεύματα (Ρεύμα του Κόλπου) τις ευρωπαϊκές χώρες που βρέχονται απ' αυτόν, στις οποίες προκαλεί έντονες βροχοπτώσεις.(Deser and BlackMon, 1993). Στον Ατλαντικό ωκεανό οφείλεται η εμφάνιση του Ωκεάνιου κλίματος σε πολλές υποπεριοχές της περιοχής μελέτης (Ηνωμένο Βασίλειο, κεντρική και Δυτική Γάλλια, βόρεια παράλια Ισπανίας, Βέλγιο, Ολλανδία). Το ωκεάνιο κλίμα χαρακτηρίζεται από μέτριες θερμοκρασίες(που σπάνια είναι χαμηλότερες από 0°C και υψηλότερες από 30°C)κατά τη διάρκεια και των 4 εποχών του έτους, ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια, ενώ οι βροχοπτώσεις είναι άφθονες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. (Taylor, A.H., 1996)

Άλλος βασικός παράγοντας που επηρεάζει το κλίμα του νοτιότερου τμήματος της περιοχής μελέτης, (Νότια Γαλλία, Νότια Ισπανία) είναι η έρημος Σαχάρα από την οποία μεταφέρονται θερμοί νότιοι άνεμοι (χειμώνας) αλλά και κύματα καύσωνα (καλοκαίρι προς την Νότια Ευρώπη, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στις περιοχές που γειτνιάζουν με την Αφρική (Νοτιά Ισπανία, Πορτογαλία, Νοτιά Γάλλια).

Επίσης σημαντικό ρολό στην διαμόρφωση του κλίματος των βορειότερων υποπεριοχών της περιοχής μελέτης παίζει η Σιβηρία από την οποία κατά τη διάρκεια του χειμώνα μεταφέρονται ψυχροί και ξηροί άνεμοι και οδηγούν σε μείωση της θερμοκρασίας.

Τέλος, σπουδαίος είναι και ο ρόλος της Μεσογείου, αφού οι περιοχές οι οποίες βρέχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα χαρακτηρίζονται από έναν συγκεκριμένο τύπο κλίματος με ήπιους και υγρούς χειμώνες και αρκετά ζεστά και ξηρά καλοκαίρια (μεσογειακό κλίμα). (βιβλιογραφία)

2.2.1 Το κλίμα της Γαλλίας

Το κλίμα της Γαλλίας είναι σύμφωνα με την κατάταξη Köppen ωκεάνιο κλίμα μέσου γεωγραφικού πλάτους με θερμά καλοκαίρια, δροσερούς χειμώνες και εμφάνιση βροχοπτώσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η χώρα, λόγω της μεγάλης της έκτασης, παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στο κλίμα από



περιοχή σε περιοχή. Τρεις είναι οι κύριοι κλιματικοί τύποι που συναντώνται στη Γαλλία:

1) Ηπειρώτικο κλίμα

Εμφανίζεται στην Βορειοανατολική περιοχή της Γαλλίας όπου οι χειμώνες είναι ψυχροί με πολλές χιονοπτώσεις και τα καλοκαίρια θερμά με τις περισσότερες βροχοπτώσεις να συμβαίνουν κατά τον Ιούνιο και τον Ιούλιο.

2) Μεσογειακό κλίμα

Χαρακτηρίζει τη Νότια περιοχή της Γαλλίας (Μασσαλία, Κάννες, Τουλόν, Νίκαια) και εκτείνεται σε βάθος μέχρι και 60 χιλιόμετρα από τις ακτές της Μεσογείου προς το εσωτερικό της χώρας. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες (λόγω της γειτνίασης με τα θερμά νερά της Μεσογείου) και ζεστά καλοκαίρια αλλά με μικρά ποσά βροχής. Η νοτιοανατολική περιοχή της Γαλλίας είναι η πιο ξηρή περιοχή της χώρας. Μεσογειακό κλίμα επίσης εμφανίζεται και στην κοιλάδα του Ρήνου μέχρι την περιοχή του Montelimar, στη νότια περιοχή των Άλπεων, στα Noir Mountains και στον κεντρικό ορεινό όγκο των Noir Mountains.

4)3) Ωκεάνιο κλίμα (Oceanic-Maritime) (Marine West Coast)

Το ωκεάνιο κλίμα εμφανίζεται στις δυτικές ακτές των χωρών των μεσών γεωγραφικών πλατών. Χαρακτηρίζεται από μικρές διακυμάνσεις στην θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του έτους, βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και αρκετές χιονοπτώσεις.

Στη Γαλλία το ωκεάνιο κλίμα συναντάται στην Βορειοδυτική περιοχή (χερσόνησος Βρετάνης) όπου η ετήσια θερμοκρασία δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές. Οι περιοχές αυτές που γειτνιάζουν με τον Ατλαντικό ωκεανό είναι εξαιρετικά υγρές με πολλές βροχοπτώσεις και μόνιμους δυτικούς άνεμους. Ωκεάνιο κλίμα παρατηρείται και στις νοτιότερες ακτές της Γαλλίας αλλά με κάποιες διαφοροποιήσεις. Οι χειμώνες είναι πιο ήπιοι, τα καλοκαίρια πιο θερμά και οι βροχοπτώσεις λιγότερες.

Στη Γαλλία, το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, παρατηρήθηκε μια συνοχή στην χωρική εμφάνιση στα ποσά της βροχόπτωσης. Το μοτίβο χαρακτηρίζεται από αύξηση στα ποσά βροχόπτωσης στον βορρά και μείωση στις νότιες περιοχές της

Γαλλίας (Moisselin et. al., 2002). Η σχέση μεταξύ της κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας (LSC-Large Scale Circulation) και της βροχόπτωσης έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο δείκτης τηλεσυσχέτισης NAO (North Atlantic Oscillation) είναι γνωστός για την επιρροή που ασκεί στα ποσά βροχόπτωσης πάνω από την Ευρώπη και κυρίως στο δυτικό κομμάτι της ηπείρου (Hurrell, 1995).

Αρκετές μελέτες, σύμφωνα με τους Boe and Terray, (2007), που αφορούν διαφορετικές περιοχές της Δυτικής Ευρώπης, υπογράμμισαν τη σχέση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας με τη βροχόπτωση σε μια περιοχή (Trigo and DaCamara (2000) για την Πορτογαλία, Goodess and Jones (2002) για την Ιβηρική χερσόνησο, Plant et. al. (2001) και Sanchez-Gomez and Terray (2005) για τη Γαλλία, Fowler και Kilsby (2002) για το Ηνωμένο Βασίλειο

2.2.2 Το κλίμα του Ηνωμένου Βασιλείου

Το κλίμα του Ηνωμένου Βασιλείου είναι (σύμφωνα με την κατά Korpen κατάταξη) ωκεάνιο κλίμα μέσου γεωγραφικού πλάτους, με θερμά καλοκαίρια, δροσερούς χειμώνες και υψηλά ποσοστά βροχής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα της χώρας είναι η γεωγραφική της θέση ($50^{\circ} - 60^{\circ} \text{ N}$), η γειτνίαση με τον Ατλαντικό ωκεανό και η θέρμανση των περιβαλλόντων υδάτων ως συνέπεια του ρεύματος του κόλπου του Μεξικού. Ο καιρός είναι συχνά ευμετάβλητος μεταξύ πολύ μικρών χρονικών περιόδων (π.χ. ημερησίως), αλλά οι διαφορές θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι σχετικά μικρές.

Χειμώνας στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι η περίοδος από τον Δεκέμβριο ως τον Φεβρουάριο. Χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις και σπάνιες χιονοπτώσεις, παρά το υψηλό γεωγραφικό πλάτος (αλλά όταν χιονίζει αυτό διαρκεί πολύ), και θερμοκρασίες που συνήθως κυμαίνονται μεταξύ -10°C (νύχτα) και $+10^{\circ}\text{C}$ (μέρα), και έχει επιπτώσεις στις βόρειες και ανατολικές περιοχές, την ορεινή Σκωτία αλλά και την Ουαλία. Γενικά οι θερμοκρασίες σε όλο το Ηνωμένο Βασίλειο επηρεάζονται από την εγγύτητά του με τον Ατλαντικό ωκεανό. Οι πιο ψυχρές περιοχές είναι τα βουνά της Σκωτίας (βρίσκονται βόρεια και είναι και τα υψηλότερα της χώρας) και η περιοχή της Ουαλίας (η οποία βρίσκεται στις δυτικές



ακτές και είναι επίσης ορεινή, αν και με χαμηλότερους ορεινούς όγκους από την Σκωτία) (Βιβλιογραφία).

Άνοιξη είναι η περίοδος από τον Μάρτιο μέχρι τον Μάιο. Η άνοιξη συνήθως είναι δροσερή και ξηρή και αυτό οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στο ότι ο Ατλαντικός έχει χάσει μεγάλο μέρος της θερμότητάς του καθ' όλη τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα που έχουν προηγηθεί. Εντούτοις, είναι εποχή που συνοδεύεται συχνά από έντονες καταιγίδες και κάποιες φορές ο πρώτος μήνας της άνοιξης συνοδεύεται ακόμα και από χιονοπτώσεις. Όπως και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, έτσι και την άνοιξη οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στην Σκωτία και στην Ουαλία(-0. 5° C με 5.8° C ενώ στο νότιο μισό της Αγγλίας συναντώνται οι περιοχές με τις πιο υψηλές θερμοκρασίες (από 8 έως 10° C).

Το καλοκαίρι διαρκεί από τον Ιούνιο έως τον Αύγουστο. Το καλοκαίρι συνήθως, είναι μια ξηρή περίοδος με εμφάνιση όμως συχνών τοπικών καταιγίδων, οι οποίες συναντώνται κυρίως στο νότιο και ανατολικό Ηνωμένο Βασίλειο. Γενικά οι θερινές θερμοκρασίες σπάνια υπερβαίνουν τους 30°, . Οι υψηλότερες θερμοκρασίες του καλοκαιριού συναντώνται στην Ουαλία και την νοτιοδυτική Σκωτία, ενώ τα πιο δροσερά καλοκαίρια συναντώνται στην Σκωτία και γενικά στον βορρά.

Το φθινόπωρο στο Ηνωμένο Βασίλειο διαρκεί από τον Σεπτέμβριο ως τον Νοέμβριο. Γενικά χαρακτηρίζεται από ασταθή καιρό με έντονες εναλλαγές κρύου ζέστης, εισβολή και κίνηση πολικών αερίων μαζών προς το νότο, έντονες βροχοπτώσεις που οφείλονται στα μεγάλα ποσά συμπύκνωσης αλλά και ισχυρούς ανέμους και τυφώνες. Τα φαινόμενα αυτά συναντώνται κυρίως στις δυτικές ακτές της χώρας οι οποίες βρέχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό. (<http://www.england.org>)

2.2.3 Το κλίμα της Ισπανίας

Η Ισπανία κυρίως λόγω της θέσης της δεν χαρακτηρίζεται από ένα τύπο κλίματος σε όλη την έκταση της, μπορεί όμως να διαιρεθεί σε 4 κλιματικές ζώνες

- 1) Κλίμα Ατλαντικού (Βόρειας ακτής)

Η μέση θερμοκρασία είναι περίπου 9° C τον χειμώνα και 18° C το καλοκαίρι. Είναι το πιο υγρό κομμάτι ολόκληρης της Ιβηρικής Χερσονήσου με ποσά ετήσια βροχόπτωσης από 800 έως 1500mm η οποία προκαλείται από διαδοχικές υφέσεις που προέρχονται από τον Ατλαντικό κυρίως το φθινόπωρο και τον χειμώνα. Παρόλο που σε αυτό το κομμάτι της Ισπανίας τα καλοκαίρια είναι πιο ψύχρα και πιο υγρά απ' ό,τι στην υπόλοιπη Ισπανία, εμφανίζεται αξιοσημείωτη καλοκαιρινή ξηρασία και ηλιόλουστες μέρες.

2) Ηπειρώτικο μεσογειακό κλίμα της κεντρικής κοιλάδας

Χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες κατά το χειμώνα, μικρότερες από -15° C. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ο μέσος όρος των θερμοκρασιών είναι 24° C. Η ετήσια βροχόπτωση είναι κάτω από 400 mm, ενώ παρατηρούνται έντονες χιονοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα

3) Μεσογειακό κλίμα

Παρατηρείται στις ανατολικές και νότιες ακτές και σε μεγάλο μέρος της κοιλάδας Guadalquivir. Μέση θερμοκρασία από 11° C τον χειμώνα και 23° C το καλοκαίρι. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 250 mm έως 600 mm.

4) Υποτροπικό κλίμα

Κανάρια νησιά. Μέση Θερμοκρασία για τον χειμώνα πάνω από 14° C . Για το καλοκαίρι γύρω στους 22° C. οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν έντονες διαφορές και διακυμάνσεις τόσο μεταξύ των διαφορετικών εποχών, όσο και από περιοχή σε περιοχή

Οι Rodrigo et al. (2007), με σκοπό να μελετήσουν την βροχόπτωση στην Ιβηρική χερσόνησο, χρησιμοποίησαν 22 σταθμούς και δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης κατά την περίοδο 1951-2002. Οι συγγραφείς προχώρησαν στη μελέτη αυτή μετά από έρευνες που ισχυρίζονταν ότι η συμπεριφορά της βροχόπτωσης σε ένα τόπο υποδεικνύει κλιματική αλλαγή και είναι σημαντικό να μελετηθεί από πολλές διαφορετικές πλευρές (Jones et al. 1999, Karl et. al. 1999, Brunetti et. al., 2001).

Μελέτησαν τις τάσεις ετήσιας και εποχικής συνολικής βροχόπτωσης (P), τον αριθμό των ημερών βροχής (N), την ένταση της βροχόπτωσης (I) και τον δείκτη PQ95. Οι τάσεις αναλύθηκαν με την χρήση του τεστ Mann-Kendall και ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης αλλά και με την χρήση του t-test στις διαφορές των τιμών των δυο υποπεριόδων 1951-1976 και 1977-2002. Τα πρώτα

αποτελέσματα έδειξαν μια πτωτική τάση στο P, το I και το δείκτη PQ95 για πολλούς σταθμούς στον Βορρά αλλά και στον Νότο κατά την περίοδο του χειμώνα, στο P, το I και το PQ95 για κάποιους νότιους σταθμούς κατά την άνοιξη, στο I και το PQ95 για κάποιους νότιους σταθμούς το καλοκαίρι και του I σε ορισμένους βόρειους και νότιους σταθμούς το φθινόπωρο. Γενικά, σημειώθηκε μείωση στην ημερήσια ένταση της βροχόπτωσης, ενώ ο αριθμός των ημερών με βροχή δεν άλλαξε σημαντικά. Το ίδιο αποτέλεσμα ισχύει τόσο για τις ετήσιες όσο και για τις εποχιακές τιμές. Η πτωτική τάση του I κατά τον χειμώνα σε κάποιες περιοχές είναι πιθανό σύμφωνα με τους Rodrigo et al.(2007), να οφείλεται στη θετική φάση του δείκτη NAO, κατέληξαν όμως στο ότι πρέπει να βρεθεί άλλος μηχανισμός γι' αυτούς τους σταθμούς ώστε να μην συνδέεται η πτωτική τάση της παραμέτρου I με τον δείκτη.

2.2.4 Το κλίμα της Ολλανδίας

Το κλίμα της Ολλανδίας σύμφωνα με την κατάταξη Köppen χαρακτηρίζεται ως θερμό και υγρό (Cfb), με μέση ετήσια θερμοκρασία 10° C Η κύρια διεύθυνση του ανέμου στην Ολλανδία είναι νοτιοδυτική, η οποία συμβάλει στην ανάπτυξη ενός τυπικού θαλάσσιου κλίματος με ψυχρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε μέρη που βρίσκονται κοντά ή πάνω στις Ολλανδικές ακτές, τα οποία μερικές φορές είναι πάνω από 10° C θερμότερα (χειμώνας) ή ψυχρότερα (καλοκαίρι) απ' ότι περιοχές στα νοτιοανατολικά της χώρας. Μέρη παγετού, μέγιστη θερμοκρασία κατώτερη του 0° C), συνήθως εμφανίζονται από Δεκέμβριο μέχρι Φεβρουάριο, ενώ οι σπάνιες μέρες με χιονόπτωση εμφανίζονται πριν ή μετά από την παραπάνω περίοδο συνήθως στο διάστημα Νοέμβριος-Μάρτιος. Κάποιες φορές ψυχρές μέρες συναντώνται και στο διάστημα Οκτωβρίου-Μαΐου. Αν άλλαζε το ύψος των μετρήσεων από 10cm (από το έδαφος) που είναι τώρα και γινόταν 150 cm, τότε θα εμφανιζόταν τέτοιες θερμοκρασίες ακόμη και στη μέση του καλοκαιριού. Θερμές ημέρες (μέγιστη θερμοκρασία >20° C) εμφανίζονται τους καλοκαιρινούς μήνες (από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο) ενώ τοπικά εμφανίζονται και Μάρτιο και Οκτώβριο. Καλοκαιρινές μέρες (μέγιστη θερμοκρασία >25° C) συναντώνται από Μάιο έως Αύγουστο. Τροπικές μέρες (μέγιστη θερμοκρασία >30° C) είναι σπάνιες και εμφανίζονται μόνο. Η βροχόπτωση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι σχεδόν ίσα κατανεμημένη ανά

μηνά. Οι καλοκαιρινοί και φθινοπωρινοί μήνες τείνουν να εμφανίζουν λίγο μεγαλύτερα ποσά βροχόπτωσης απ' ότι οι υπόλοιποι μήνες, κυρίως λόγω της έντασης της βροχόπτωσης παρά της συχνότητας των ημερών βροχής. Οι ώρες ηλιοφάνειας επηρεάζονται από την γεωγραφική θέση της χώρας (γεωγραφικό πλάτος), αφού το μήκος των ημερών εξαρτάται από την εποχή. Κυμαίνεται από 8 ώρες τον Δεκέμβριο έως 17 ώρες τον Ιούνιο. (Van Oldenborgh and Van Ulden, 2003).

2.2.5 Το κλίμα του Βελγίου

Το Βέλγιο χαρακτηρίζεται από ήπιο θαλάσσιο κλίμα (Cfb κατά την κατάταξη Köppen) στη μεγαλύτερη έκτασή του, από τις ακτές μέχρι περίπου και την πόλη των Βρυξελλών. Κατά μήκος των Αρδεννών το κλίμα γίνεται ηπειρωτικό με πιο ψυχρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. (Hamdi et.al.,2012) Οι βροχοπτώσεις είναι ομοιόμορφα μοιρασμένες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και οι χιονοπτώσεις είναι συχνές. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι περίπου στους 3° C για τον χειμώνα και στους 18° C για το καλοκαίρι. (Ασημακόπουλος και Σανταμούρης, 2011)

2.3 Μελλοντικές κλιματικές αλλαγές στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το IPCC, 2007.

2.3.1 Γενικά για το IPCC

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος (United Nations Environment Programme - UNEP) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της επιστημονικής γνωστικής βάσης και των ερευνών που διεξάγονται για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Η επιτροπή αξιολογεί επίσης τις συνέπειες των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων. Συντονίζει επιστήμονες από ολόκληρο τον κόσμο και μέχρι το 2007 είχε δημοσιεύσει τέσσερις εκθέσεις (1990, 1995, 2001 και 2007) σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που παρατηρούνται και τις πιθανές επιπτώσεις τους. Οι εκθέσεις της IPCC αποτελούν σημείο αναφοράς για τα ζητήματα που άπτονται της παγκόσμιας θέρμανσης και βασίζονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις ειδικών ερευνητών. Η επιτροπή περιλαμβάνει τρεις ομάδες εργασίας για την αξιολόγηση των επιστημονικών παραμέτρων των κλιματικών μεταβολών, των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεών τους και των πιθανών πολιτικών που μπορούν να εφαρμοστούν για την αντιμετώπισή τους αντίστοιχα. Οι δραστηριότητες της επιτροπής χρηματοδοτούνται από εθελοντικές συνεισφορές των κυβερνήσεων, ενώ πρόσθετη οικονομική στήριξη παρέχουν η Παγκόσμια Μετεωρολογική Οργάνωση και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος του ΟΗΕ. Η επιτροπή μοιράστηκε με τον Αλ Γκορ το Νόμπελ Ειρήνης 2007.

2.3.2 Συμπεράσματα 4^{ΗΣ} έκθεσης αξιολόγησης του IPCC όσον αφορά στις μεταβολές της θερμοκρασίας στην Ευρώπη

Η τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC εκδόθηκε το 2007 και επιβεβαίωσε τις κυριότερες διαπιστώσεις της τρίτης έκθεσης του 2001, στις οποίες προστέθηκαν νέες γνώσεις που προήλθαν από νέες παρατηρήσεις και βελτιωμένα κλιματικά μοντέλα. Η έκθεση του 2007, κατέληγε στα εξής βασικά συμπεράσματα, όπως

αυτά προέκυψαν από την εξέταση των πιο πρόσφατων ερευνών σχετικά με τις κλιματικές μεταβολές.

Οι περισσότερες περιοχές της Ευρώπης παρουσιάζουν αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, με την αύξηση αυτή να είναι μεγαλύτερη τους χειμερινούς μήνες απ' ό τι τους καλοκαιρινούς. Το 1990 ήταν η πιο θερμή χρονιά των τελευταίων δεκαετιών.

Με βάση το A1B σενάριο εκπομπών, η προσομοιωμένη ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας από το 1980-1999 έως το 2080-2099 στην νότια Ευρώπη και στην περιοχή της Μεσογείου εκτιμάται σε 2.2° C έως 5.1° C, και προκύπτει από 21 εφαρμογές του μοντέλου GCM. Άλλα σχετικά σημεία από την τρίτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC είναι:

1. Η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας στη Μεσόγειο είναι πιθανό να παρατηρηθεί κατά την χειμερινή περίοδο παρά κατά την θερινή.
2. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις είναι πολύ πιθανό να μειωθούν στην Νότια Ευρώπη μέχρι και 20%, ενώ πιθανή αύξηση αναμένεται σε κάποιες περιοχές της Βόρειας Ευρώπης από 10 έως και 40%. Τα τελευταία δεδομένα μάλιστα επιβεβαίωσαν αυτήν την υπόθεση του IPCC.
3. Ο ετήσιος αριθμός των ημερών βροχής είναι πολύ πιθανό να μειωθεί στην Μεσόγειο.
4. Ο κίνδυνος θερινής ξηρασίας είναι πιθανό να αυξηθεί στην Μεσόγειο.
5. Αυξήθηκαν οι ακραίες εποχιακές τιμές (περισσότερο θερμά και ξηρά καλοκαίρια και περισσότερο υγροί χειμώνες).
6. η διάρκεια της περιόδου εμφάνισης χιονιού είναι πολύ πιθανό να μειωθεί σε όλη την Ευρώπη και το ύψος του χιονιού είναι πιθανό να μειωθεί.

Η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη έχει επιπτώσεις και σε άλλους τομείς, πέρα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, που απορρέουν όμως από αυτές ακριβώς τις μεταβολές. Το κλίμα της Ευρώπης αναμένεται να διαφοροποιηθεί πολύ, προβλέπεται υποχώρηση των πάγων, μείωση των χιονοπτώσεων, αύξηση της στάθμης των θαλάσσιων υδάτων που θα έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών, εξαφάνιση ζωικών και φυτικών ειδών, ειδικά σε ορεινές περιοχές, όπου η μείωση των ειδών αναμένεται να φτάσει το

60% έως το 2080. Η αύξηση των θερμοκρασιών στις νότιες χώρες ενισχύει τον κίνδυνο πυρκαγιάς και ασθενειών λόγω των κυμάτων καύσωνα αλλά και μείωση ή και καταστροφή σοδιών λόγω έλλειψης νερού. Οι ειδικοί του IPCC μιλούν για πτώση του χειμερινού και του θερινού τουρισμού. (IPCC, Fourth Assessment Report, 2007)

Μία μειοψηφία των εμπλεκόμενων επιστημόνων έχει διαφωνήσει με ορισμένες πτυχές των πορισμάτων της επιτροπής, κυρίως σε ότι αφορά τις μελλοντικές προβλέψεις για την εξέλιξη των κλιματικών μεταβολών².

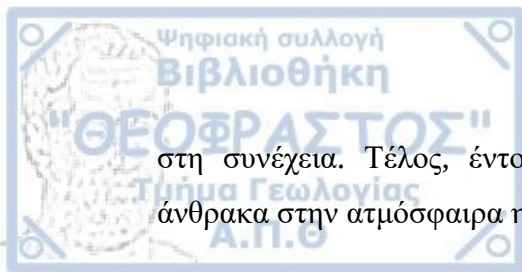
2.3.3 Σενάρια εκπομπών SRES

Για τη δημιουργία ενός κλιματικού σεναρίου απαραίτητο αρχικά είναι να γίνει μία υπόθεση για την μελλοντική εξέλιξη του πλανήτη όσον αφορά τον πληθυσμό του, τις τεχνολογικές και πολιτισμικές του δομές καθώς και τον οικολογικό προσανατολισμό των ανθρώπων. Έτσι, μπορεί να υπάρξει μία «υπόθεση» και για την μελλοντική εκπομπή των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Οι ερευνητές της ομάδας του IPCC χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο τέσσερα τέτοια σενάρια εκπομπών με τη βοήθεια των οποίων ορίζονται στα κλιματικά μοντέλα οι μελλοντικές εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων. Τα βασικά χαρακτηριστικά των σεναρίων εκπομπών είναι τα ακόλουθα:

Σενάριο A1: Η A1 οικογένεια σεναρίων περιγράφουν έναν μελλοντικό κόσμο με πολύ γρήγορη οικονομικά ανάπτυξη, ο παγκόσμιος πληθυσμός παρουσιάζει το μέγιστό του κατά το μέσο του αιώνα και φθίνει στη συνέχεια. Η τεχνολογία χρησιμοποιείται με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Εξαλείφονται οι πολιτισμικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών λαών.

Σενάριο A1B: Περιλαμβάνει ραγδαία οικονομική ανάπτυξη. Ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας αλλά παράλληλα διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας και μικρές αλλαγές στις χρήσεις γης, Περιγράφει επίσης ραγδαία αύξηση του παγκοσμίου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωση του

² Meteo France, [online], στην ιστοσελίδα http://www.meteo.fr/gmgec/site_engl/modelisation_numerique_en.html, διαθέσιμο στις 14 Μαΐου 2012.



στη συνέχεια. Τέλος, έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα η οποία θα φτάσει τα 720ppm.

Σενάριο A2: Η A2 οικογένεια σεναρίων περιγράφει έναν ιδιαίτερα ετερογενή κόσμο. Η κάθε κοινωνία αναπτύσσεται ξεχωριστά και διατηρεί την ταυτότητά της και τα τοπικά χαρακτηριστικά της. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις αναπτύσσονται με χαμηλό ρυθμό και η πληθυσμιακή αύξηση είναι έντονη. Επίσης η τεχνολογική εξέλιξη είναι πολύ αργή και η οποιαδήποτε ανάπτυξη έχει τοπικό προσανατολισμό.

Σενάριο B1: Στην B1 οικογένεια ο κόσμος παρουσιάζει έντονη σύγκλιση και ο πληθυσμός εμφανίζει ίδια πορεία με αυτή του σεναρίου A1. Αναπτύσσονται τεχνολογίες οι οποίες δεν συμβάλλουν στην καταστροφή του περιβάλλοντος

Σενάριο B2: Στην B2 οικογένεια περιγράφεται ένας κόσμος όπου έμφαση δίνεται σε τοπικές λύσεις όσον αφορά την οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον. Ο πληθυσμός αυξάνει με ρυθμό μικρότερο από το A2 σενάριο, η οικονομική ανάπτυξη δεν είναι τόσο έντονη και η τεχνολογική πρόοδος είναι μικρότερη από τα σενάρια A1 και B1. Επίσης προσανατολίζεται πιο έντονα προς την προστασία του περιβάλλοντος και το κοινωνικό δίκαιο. (Nakicenovic and Swart, 2000)

2.4 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (GCM's) και Περιοχικά Δυναμικά Μοντέλα (RCM's)

2.4.1 Μοντέλα RCM's και GCM's

Προκειμένου να ερμηνευθούν οι παραπάνω κλιματικές μεταβολές, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα μοντέλων προσομοίωσης του κλίματος. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών δείχνουν ότι είναι αδύνατο να προσομοιωθεί η ταχεία άνοδος της θερμοκρασίας που έχει σημειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες, όταν στα μοντέλα λαμβάνονται υπόψη μόνο οι παράγοντες που προκύπτουν από φυσικά αίτια (ηφαιστειακή δραστηριότητα, διακυμάνσεις στην ηλιακή ακτινοβολία). Όταν ωστόσο συνυπολογίζονται τόσο οι φυσικοί όσο και οι ανθρωπογενείς παράγοντες, τα μοντέλα προσομοιώνουν με επιτυχία τις μεταβολές του κλίματος. Οι προσομοιώσεις προσεγγίζουν την πραγματικότητα σε ικανοποιητικό βαθμό, τόσο σε παγκόσμια κλίμακα όσο και σε κάθε ήπειρο ξεχωριστά (με εξαίρεση την Ανταρκτική για την οποία δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για την εξαγωγή συμπεράσματος). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες πιθανότατα αποτελούν τον κυρίαρχο παράγοντα μεταβολής του κλίματος τα τελευταία 50 χρόνια.

Όλα τα παραπάνω ενισχύουν την πεποίθηση ότι η κύρια αιτία της υπερθέρμανσης του πλανήτη που παρατηρείται τα τελευταία 50 χρόνια είναι η ανθρώπινη παρέμβαση.

Με στόχο την απόκτηση πληροφοριών για μικρότερες περιοχές από τα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmosphere-Ocean General Circulation Models-AOGCMs) χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας. Οι τεχνικές αυτές από τις οποίες θα ληφθεί μικρότερης κλίμακας πληροφορία είναι:

1. Χρήση των υψηλής και μεταβαλλόμενης ανάλυσης ατμοσφαιρικών μοντέλων (Atmosphere General Circulation Models-AGCMs).
2. Χρήση των περιορισμένης έκτασης ή περιοχικών κλιματικών μοντέλων (Regional Climate Models-RCMs).

3. Η ελάττωση κλίμακας μέσω εμπειρικών / στατιστικών και στατιστικών / δυναμικών μεθόδων.

Οι πρώτες προσπάθειες χρήσης των RCMs έγιναν από τους Dickinson et al.,(1989) και Giorgi and Bates,(1989), οι οποίοι χρησιμοποίησαν μοντέλα οριζόντιας ανάλυσης 60km για την προσομοίωση του κλίματος στις δυτικές Η.Π.Α., με έμφαση στη βροχόπτωση και την υδρολογία της περιοχής. Στις πρώτες μελέτες τα RCMs ενσωματώνονταν σε πεδία τιμών από σταθμούς, από πραγματικές δηλαδή παρατηρήσεις (perfect boundary-conditions runs).

Τα τελευταία όμως χρόνια, η αυξανόμενη υπολογιστική ισχύς επέτρεψε την εμφύτευση των RCMs μέσα σε GCMs, επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερη χρονική και χωρική ανάλυση. Τα RCMs σήμερα παρέχουν χωρική ανάλυση της τάξεως των 25km, αποτελώντας έτσι το πιο χρήσιμο, αλλά και το πιο ελπιδοφόρο εργαλείο στη διάθεση των κλιματολόγων.

2.4.2 Σφάλματα μοντέλων

Σημαντική πηγή σφάλματος στα πειράματα προσομοίωσης του κλίματος αποτελεί το γεγονός ότι υπάρχουν ακόμα ελλείψεις στην κατανόηση της επίδρασης κάποιων εξωτερικών παραγόντων στο κλίμα. Παράδειγμα αποτελούν τα ανθρωπογενή αερόλύματα, οι αλληλεπιδράσεις των οποίων με τους κλιματικούς μηχανισμούς δεν έχουν ακόμα διερευνηθεί πλήρως. Άλλωστε, και τα ίδια τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται έχουν ακόμα ατέλειες. Οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν θέρμανση της τροπόσφαιρας με παράλληλη ψύξη της στρατόσφαιρας, κάτι που αποτελεί άλλη μια ένδειξη της συμβολής των ανθρωπογενών μεταβολών στην άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Αν η τελευταία οφειλόταν πχ σε μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία, τόσο η τροπόσφαιρα όσο και η στρατόσφαιρα θα έπρεπε να θερμαίνονται. Εξάλλου, η χρονική στιγμή κατά την οποία παρατηρήθηκαν οι μεταβολές αντιστοιχεί σε κομβικές μεταβολές των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (πχ βιομηχανική επανάσταση).

2.4.3 Προβλέψεις από παγκόσμια και περιοχικά μοντέλα για την περιοχή μελέτης

Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) συνολικά προβλέπουν ότι η ετήσια βροχόπτωση θα αυξηθεί στις βόρειες περιοχές (1% ως 2% ανά δεκαετία) και θα μειωθεί στις νότιες περιοχές της Ευρώπης έως 1% ανά δεκαετία. Στην κεντρική Ευρώπη (Γάλλια, Γερμανία, Ουγγαρία, Λευκορωσία) οι μεταβολές θα είναι μικρές και ασαφείς. Όσον αφορά τη βροχόπτωση, θα υπάρχει αντίθεση μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού. Ο χειμώνας θα είναι πιο υγρός από 1 έως 4% ανά δεκαετία με εξαίρεση την Βαλκανική χερσόνησο και την Τουρκία όπου οι χειμώνες προβλέπονται να είναι ξηρότεροι. Το καλοκαίρι από την άλλη θα υπάρχει έντονη διαφοροποίηση ανάμεσα στην Βόρεια Ευρώπη (αύξηση 2% ανά δεκαετία) και στη Νότια Ευρώπη (μείωση 5% ανά δεκαετία). (Cramer et. al., 2001).

Τα τελευταία χρόνια είναι έντονη η ανάγκη μελέτης των κλιματικών αλλαγών παγκοσμίως και είναι πάρα πολλές οι προσπάθειες προσομοίωσης του κλίματος αλλά και εκτίμησης των μελλοντικών αλλαγών με τη χρήση των παγκόσμιων και περιοχικών μοντέλων. Όπως προαναφέρθηκε, παρόλο που έχει γίνει πρόοδος από τη στιγμή που έγιναν οι πρώτες μελέτες που βασίστηκαν σε RCM's, ακόμη τα μοντέλα παρουσιάζουν συστηματικά η και τυχαία σφάλματα. Παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τις μελέτες που έχουν ασχοληθεί με την αξιολόγηση κλιματικών μοντέλων για την περιοχή μελέτης.

Στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) πραγματοποιήθηκε μία σύγκριση των προσομοιώσεων 10 διαφορετικών RCMs τόσο μεταξύ τους, όσο και με πραγματικά δεδομένα για την περίοδο ελέγχου 1961-1990 για την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης. Σε γενικές γραμμές παρατηρήθηκε υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας κατά το χειμώνα και το καλοκαίρι καμία τάση υποεκτίμησης της κατά τις μεταβατικές εποχές. (Jacob et al., 2007).

Οι Lopez-Moreno et al.,(2007), χρησιμοποίησαν 6 περιοχικά μοντέλα (RCM's), τα οποία χρησιμοποιούν τα A2 και B2 σενάρια εκπομπών, για να προσομοιώσουν τις αναμενόμενες αλλαγές στη θερμοκρασία και στη βροχόπτωση μέχρι το τέλος του 20^{ου} αιώνα για την περιοχή των Πυρηναίων. Για τη συγκεκριμένη περιοχή δεν

είχαν γίνει μελέτες στο παρελθόν παρόλο που θα είχαν μεγάλη σημασία, αφού σύμφωνα με τους συγγραφείς, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα Πυρηναία όρη μπορεί με να επηρεάσουν το κλίμα των γειτονικών περιοχών της Ισπανίας αλλά και της Νοτιοδυτικής Γαλλίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι οι διαφορές ανάμεσα στις τιμές των 6 μοντέλων για την βροχόπτωση και τη θερμοκρασία (E-Obs δεδομένα), είναι της τάξης του 20% για τις τιμές της βροχόπτωσης και 1° C για την θερμοκρασία. Σε ετήσια βάση σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Lopez-Moreno et al.,(2007) μέχρι τα τέλη του επόμενου αιώνα η θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί 2.8° C και 4° C στην περιοχή των Πυρηναίων για τα σενάρια A2 και B2 αντίστοιχα, ενώ οι τιμές της βροχόπτωσης αναμένεται να μειωθούν κατά 10.7 και 14.8%. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να γίνουν περισσότερο αισθητές στις νότιες πλαγιές των Πυρηναίων (Ισπανία) και λιγότερο στις παραθαλάσσιες περιοχές. Γενικά, τα αποτελέσματα των 6 μοντέλων υπόκεινται σε μεγάλη διαφοροποίηση τόσο χωρικά όσο και εποχικά. (Lopez-Moreno et al., 2007). Οι Fowler and Ekstrom(2009), χρησιμοποίησαν 13 κλιματικά μοντέλα περιοχικής κλίμακας (RCM) του ερευνητικού προγράμματος PRUDENCE³ για να προσομοιώσουν τις αλλαγές στις ακραίες βροχοπτώσεις σε εννέα περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου, για την μελλοντική περίοδο 2071-2100 με την χρήση του A2 σεναρίου εκπομπών. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων σε όλο το Ηνωμένο Βασίλειο για τον χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο αλλά με αβεβαιότητα ως προς το μέγεθος αυτής, η οποία κυμαίνεται από 5 έως 30% ανάλογα με την περιοχή και την εποχή. Κατά το καλοκαίρι, η αύξηση αυτή φαίνεται να είναι μηδενική.

Οι Noguer et al.(1998), θέλησαν να διερευνήσουν τις πηγές των συστηματικών σφαλμάτων στα αποτελέσματα ενός RCM για την Ευρώπη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικές προσομοιώσεις του ίδιου RCM, στην καθεμία από τις οποίες λαμβάνονται διαφορετικές οριακές συνθήκες. Στη μία περίπτωση οι οριακές συνθήκες παρέχονται από ένα μοντέλο γενικής κυκλοφορίας (GCM), ενώ στην άλλη από παρατηρήσεις επιφάνειας (*perfect boundary conditions*). Οι προσομοιώσεις αφορούν στη δεκαετή περίοδο 1983-1994 και στις κλιματικές

³ Prediction of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change risks and Effects

παραμέτρους της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της νεφοκάλυψης. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε επιτρέπει τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το που οφείλονται τα σφάλματα του μοντέλου, μιας και αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε σφάλματα του περιβάλλοντος GCM που υιοθετούνται από το RCM και σφάλματα που οφείλονται στις εσωτερικές διαδικασίες και δημιουργούνται μέσα στο ίδιο το RCM. Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα, τα σφάλματα στην προσομοίωση της νεφοκάλυψης οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στις φυσικές παραμετροποιήσεις του RCM. Τα σφάλματα στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση διαφοροποιούνται ανάλογα με την εποχή. Συγκεκριμένα, κατά το καλοκαίρι τα σφάλματα αυτά αποδίδονται σε διαδικασίες του ίδιου του RCM, ενώ κατά τις υπόλοιπες εποχές θεωρείται πως συνεισφέρουν και οι δύο πηγές σφαλμάτων.

2.5. Δεδομένα και αξιολόγηση

Η αξιολόγηση των RCM's βασίστηκε στην σύγκριση των δεδομένων εξόδου τους με τη βάση δεδομένων E-OBS

που παρέχει δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, σε σημεία πλέγματος από παρατηρήσεις μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης για την περίοδο 1961-1990. Οι Haylock et. al.,(2008) παρουσίασαν την βάση E- OBS που αποτελείται από δεδομένα υψηλής ανάλυσης για τη μέση ημερήσια βροχόπτωση, τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία. Η νέα βάση δεδομένων υπερτερεί αυτών που είχαν σχεδιαστεί στο παρελθόν στην χωρική ανάλυση, τη χρονική περίοδο που λήφθηκε ως περίοδος αναφοράς, στον αριθμό των σταθμών παρατήρησης των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν. Ξεχωρίζει επίσης για την ιδιαίτερη προσοχή η οποία δόθηκε για να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος γραμμικής παρεμβολής για τα ημερήσια κλιματικά δεδομένα. Για τη δημιουργία της συλλέχθηκαν ημερήσιες παρατηρήσεις για τη βροχόπτωση, τη μέση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία για τη χρονική περίοδο 1950-2006 κατά κύριο λόγο από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)), στο οποίο δημιουργήθηκε το ECA&D. (European Climate Assessment and Data set). Το ECA&D αποτελεί ένα σύνολο σταθμών παρατήρησης το οποίο αποτέλεσε την βάση του προγράμματος ENSEMBLES και η υποδομή της βάσης δεδομένων του συνόλου ECA&D χρησιμοποιήθηκε επίσης για το ENSEMBLES (Haylock et al., 2008).

Εκτός από την συλλογή δεδομένων, σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα της έρευνας έπαιξε ο αριθμός των σταθμών παρατήρησης αλλά και ο τρόπος με τα οποία κατανέμονται στην περιοχή μελέτης. Η πυκνότητα των σταθμών δεν ήταν ίδια σε όλες τις περιοχές, η υψηλότερη σημειώνεται στην Ολλανδία, την Ελβετία και το Ηνωμένο Βασίλειο.

Ενώ αρχικά οι σταθμοί που υπήρχαν στην διάθεση των ερευνητών δεν επαρκούσαν σε αριθμό (250 έναντι 16.000 που θα κάλυπταν μια περιοχή 10.000.000 τ. χλμ. όπως η Ευρώπη), δόθηκε μεγαλύτερη βάση στην επεξεργασία τιμών γειτονικών σταθμών (με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής) ώστε να



προκύψουν μεσοποιημένα δεδομένα με καλύτερη κατανομή στον χώρο μελέτης, αλλά και στην εξάλειψη των σφαλμάτων που θα προέκυπταν.

Εντούτοις, η ποιότητα των δεδομένων χρειάστηκε σε πολλές περιπτώσεις να ελεγχθεί ξεχωριστά για κάποιους σταθμούς που είτε ήταν απομονωμένοι ή είτε δεν δούλευαν σωστά για παραπάνω από 6 μέρες του μήνα για τον οποίο υπολογίστηκε η μέση μηνιαία τιμή. (Haylock et al., 2008)

2.6 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Τα βασικά χαρακτηριστικά των κλιματικών περιοχικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν στην παρούσα μελέτη φαίνονται περιληπτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1. Βασικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση μοντέλων

ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ GCM	ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ RCM	ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΕΠΙΠΕΔΑ	ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΒΑΣΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ
KNMI- RACMO2	ECHAM5	RACMO	KNMI, Ολλανδία	0.22° x 0.22°	40	A1B	1960-2100	Lenderink et al., 2003
MPI-M- REMO	ECHAM5	M-REMO	MPI, Γερμανία	0.22°x 0.22°	27	A1B	1960-2100	Jacob D., 2001
DMI- HIRHAM	ECHAM5	HIRHAM	DMI, Δανία	0.22°x 0.22°	19	A1B	1960-2100	Christensen et al., 1996

2.6.1 Μοντέλο KNMI

- KNMI-RACMO2: Εθνικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο Ολλανδίας (KNMI-Koninklijk Nederlands Meteorological Instituut) (Lenderink et al., 2003 van der Hurk et al., 2006)
- Parent: ECHAM5
- Χρονική περίοδος 1960-2100
- Σενάριο εκπομπών (SRES): A1B
- Φυσικές παραμετροποιήσεις του ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasts) που χρησιμοποιήθηκαν και στο ERA-40
- Χωρική ανάλυση 25x25 km
- 114 σημεία πλέγματος στην κατά μήκος διεύθυνση και 100 στην κατά πλάτος διεύθυνση
- 40 οριζόντια επίπεδα

2.6.2 Μοντέλο MPI

- MPI-M-REMO:Μετεωρολογικό Ινστιτούτο Max-Planck, Γερμανία, (MPI-Max- Planck-Institute for Meteorology) (Jacob D., 2001)
- Parent: ECHAM5
- Χρονική περίοδος 1960-2100
- Σενάριο εκπομπών (SRES) :A1B
- Φυσικές παραμετροποιήσεις του ECHAM4/T106
- Χωρική ανάλυση: 25x25 km
- 109 σημεία πλέγματος στην κατά μήκος διεύθυνση και 121 στην κατά πλάτος διεύθυνση
- 27 οριζόντια επίπεδα

2.6.3 Μοντέλο DMI

- DMI-HIRHAM: Εθνικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο Δανίας (DMI-Danish Meteorological Institute, Denmark), (Christensen et al.,1996)
- Parent Parent: ECHAM5
- Χρονική περίοδος 1960-2100
- Σενάριο εκπομπών (SRES) :A1B
- Φυσικές παραμετροποιήσεις του
- Χωρική ανάλυση: 25x25 km
- 19 οριζόντια επίπεδα

2.6.4 Κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης

Για τη μελέτη των μελλοντικών αλλαγών στις ακραίες θερμοκρασιακές και βροχομετρικές συνθήκες των περιοχών ενδιαφέροντος έγινε χρήση τεσσάρων κλιματικών ακραίων δεικτών, δύο που να αφορούν στη θερμοκρασία (tnq10, txq90) και δύο στη βροχόπτωση (cdd, rq90).

Τρεις από τους τέσσερις δείκτες (tnq10, txq90 και pq90) υπολογίζονται με τη βοήθεια του 10 και του 90 ποσοστημορίου αντίστοιχα. Πιο αναλυτικά τα δεδομένα των εκάστοτε χρονοσειρών τοποθετούνται σε αύξουσα σειρά και στη συνέχεια ορίζεται η τιμή του δείκτη από το 10% ή το 90% των τιμών. Η επιλογή των ποσοστημορίων για τον ορισμό των ακραίων τιμών βασίστηκε στο γεγονός ότι η περιοχή μελέτης εμφανίζει πολλά και διαφορετικά στοιχεία τοπικού κλίματος. Έτσι η χρήση ενός μεμονωμένου κατωφλίου δεν θα ήταν αντιπροσωπευτική για όλες τις χώρες.

Ο τέταρτος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε αφορά στην μελέτη της ξηρασίας και στην ουσία όπως φαίνεται και από τον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 2) ορίζεται ως ο μέγιστος αριθμός των συνεχόμενων ημερών χωρίς την ύπαρξη βροχής.

Πίνακας 2. Οι ακραίοι δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

TXQ90	Δείκτης θερμοκρασίας ο οποίος εκφράζει μέρες με μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη από το 90% της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας
TNQ10	Δείκτης θερμοκρασίας ο οποίος εκφράζει μέρες με ελάχιστη θερμοκρασία μικρότερη από το 10% της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας
CDD	Δείκτης ξηρασίας ο οποίος εκφράζει το μέγιστο αριθμό συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή(<1mm)
PQ90	Δείκτης βροχόπτωσης ο οποίος εκφράζει το 90% της ημερήσιας βροχόπτωσης (ισχυρές βροχοπτώσεις)

Πίνακας 1:Ορισμοί Ακραίων δεικτών Θερμοκρασίας και Βροχόπτωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αξιολόγηση των τριών υπό εξέταση κλιματικών – περιοχικών μοντέλων. Σύγκριση με τη βάση δεδομένων E-OBS.

Στο πρώτο στάδιο της μελέτης κρίθηκε σκόπιμο να γίνει μια σύγκριση – αξιολόγηση των περιοχικών μοντέλων όσον αφορά στην ικανότητα να προσομοιώνουν τόσο τις μέσες τιμές των παραμέτρων που μελετώνται όσο και τις ακραίες τους τιμές για μία περίοδο αναφοράς που έχει οριστεί η 1961-1990. Αρχικά, για να δοθεί μια πρώτη συνολική εικόνα της αξιολόγησης υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές (στο σύνολο των σημείων πλέγματος) των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων, σε εποχιακή βάση για όλα τα έτη της περιόδου αναφοράς τόσο για τα τρία μοντέλα όσο και για τα E-Obs. Στη συνέχεια η μελέτη γίνεται πιο αναλυτική υπολογίζοντας τις διαφορές ανάμεσα στα «πραγματικά» και στα προσομοιωμένα δεδομένα για όλα τα σημεία πλέγματος, ώστε να γίνει και χωρική αξιολόγηση των τριών μοντέλων.

Από τα διαγράμματα στα σχήματα 1 έως 8 (Παράρτημα) φαίνεται ότι τα τρία μοντέλα παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά σε καθεμία από τις 8 παραμέτρους και τα αποτελέσματα δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν ως προς την παράμετρο ή ως προς το μοντέλο. Ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι τιμές του μοντέλου DMI έχουν τη μεγαλύτερη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές ενώ οι τιμές των μοντέλων MPI και KNMI βρίσκονται πιο κοντά σε αυτές.

Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία προσεγγίζεται ικανοποιητικά για τις πρώτες τρεις εποχές του χρόνου ενώ για το φθινόπωρο σημειώνονται μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές των τριών μοντέλων τόσο μεταξύ τους όσο και από τις πραγματικές. (Σχήμα 1, Παράρτημα Α)

Η μέγιστη θερμοκρασία υποεκτιμάται και από τα τρία μοντέλα για όλες τις εποχές του χρόνου με το μοντέλο MPI να προσεγγίζει περισσότερο τις πραγματικές τιμές και το DMI να υποεκτιμά την πραγματική θερμοκρασία από 2 έως και 4° C σταθερά σε όλη τη διάρκεια της τριακονταετίας ελάχιστη θερμοκρασία σε αντίθεση με τη μέγιστη υπερεκτιμάται και από τα τρία μοντέλα ενώ το μοντέλο που προσεγγίζει καλύτερα τις πραγματικές τιμές είναι το KNMI. (Σχήματα 2 και 3, Παράρτημα Α)

Η βροχόπτωση παρουσιάζεται μεγαλύτερη της πραγματικής και από τα τρία μοντέλα, αλλά τα μοντέλα KNMI και MPI εμφανίζουν τιμές που συγκλίνουν μεταξύ τους και βρίσκονται πιο κοντά στις πραγματικές. (σχήμα 4. Παράρτημα Α).

Όσον αφορά στους ακραίους δείκτες, ο δείκτης TXQ90 ο οποίος εκφράζει τις ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες υποεκτιμάται από τα τρία μοντέλα με το MPI να τον προσεγγίζει ίσως πιο ικανοποιητικά. (Σχήμα 5, Παράρτημα Α)

Οι ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες που εκφράζονται από τον δείκτη Tnq10 παρουσιάζονται αυξημένες και από τα τρία μοντέλα και για τις 4 εποχές ενώ δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη σχέση στις εκτιμήσεις μεταξύ τους. Οι τιμές του μοντέλου KNMI εμφανίζουν μικρότερες αποκλίσεις από τα eObs δεδομένα από τα άλλα δυο μοντέλα. (Σχήμα 6, Παράρτημα Α)

Ο δείκτης rq95 παρουσιάζεται με υψηλότερες τιμές και από τα τρία μοντέλα για τον χειμώνα και την άνοιξη και το φθινόπωρο ενώ για το καλοκαίρι οι τιμές του KNMI και του MPI πλησιάζουν περισσότερο αυτές των E-OBS δεδομένων. Μεγαλύτερη απόκλιση από τα E-Obs παρουσιάζει το μοντέλο DMI ενώ τόσο το MPI όσο και το KNMI παρουσιάζουν μικρότερες αποκλίσεις αλλά και μικρότερες διαφορές μεταξύ τους. (Σχήμα 8, Παράρτημα Α)

Οι τιμές του δείκτη Cdd παρουσιάζονται μειωμένες από τα μοντέλα KNMI, MPI και DMI με εξαίρεση την άνοιξη όπου οι τιμές του δείκτη KNMI σχεδόν ταυτίζονται με τις τιμές των E-Obs δεδομένων σε όλη τη διάρκεια της τριακονταετίας αναφοράς αλλά και το καλοκαίρι όπου το μοντέλο KNMI υπερεκτίμα τις τιμές του δείκτη Cdd σε κάποια διαστήματα της χρονοσειράς και πλησιάζει αρκετά τις τιμές που προκύπτουν από τα E-OBS δεδομένα. Τα μοντέλα KNMI και MPI συμπίπτουν μεταξύ τους ως προς τις αποκλίσεις που σημειώνονται από τις τιμές των E-OBS δεδομένων, ενώ το μοντέλο DMI εμφανίζει μεγαλύτερες διαφορές και για τις 4 εποχές. (Σχήμα 7, Παράρτημα Α)

3.2 Χωρική αξιολόγηση των τριών μοντέλων για την περίοδο αναφοράς 1961-1990.

3.2.1 Μέση θερμοκρασία

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, στη συνέχεια της μελέτης, για την πιο λεπτομερή ανάλυση και αξιολόγηση των περιοχικών μοντέλων χαρτογραφήθηκαν αρχικά οι μέσες τιμές των 8 μεταβλητών για την περίοδο 1961-1990 και στη συνέχεια έγινε η αντίστοιχη χαρτογράφηση των διαφορών που προέκυψαν σε σχέση με τα τρία μοντέλα (RCM – E-Obs). Η μέση θερμοκρασία σύμφωνα με τις τιμές της βάσης δεδομένων e-obs που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την περίοδο 1961-1990, κυμαίνεται από -3 έως 10° C για την περίοδο του χειμώνα, από -3 (Άλπεις) έως 20° C για την άνοιξη, από 10° έως 35° C (Νότια Γαλλία, Νότια Ιβηρική Χερσόνησος) για το καλοκαίρι και από 5 έως 20° C για το φθινόπωρο. Τα μοντέλα KNMI και DMI στη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης υποεκτιμούν τις τιμές της μέσης θερμοκρασίας έως 2° C αλλά και έως 5° C για μεμονωμένες περιοχές (Βόρεια Πορτογαλία, Άλπεις, Πυρηναία). Για την εποχή η του χειμώνα από το KNMI στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ολλανδία και την Γαλλία (εκτός από την Κεντρική όπου δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τιμές) και τη Βόρεια Ισπανία. Από το DMI υπερεκτιμάται η μέση θερμοκρασία μόνο για την κεντρική και Νότια Γαλλία και τις περιοχές της Ανδαλουσίας και της Βαλένθιας. (Χάρτης 1, Παράρτημα Β)

Για την άνοιξη οι τιμές του KNMI εμφανίζονται αυξημένες σε σχέση με τα e-obs έως 2° C για τη Βόρεια Σκωτία, την Ουαλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία και για τα ανατολικά παράλια της Ισπανίας. Στην υπόλοιπη Ιβηρική χερσόνησο και Νότια Γαλλία η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται έως 3° C ενώ για την Βόρεια και Κεντρική Γαλλία δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Από το μοντέλο DMI οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας υποεκτιμώνται για όλη την περιοχή μελέτης έως 3° C και έως 5° C στις ορεινές περιοχές όπως οι Άλπεις, τα Πυρηναία όρη και τα όρη της Βόρειας Πορτογαλίας. Τιμές αυξημένες σε σχέση με τα e-obs παρατηρούνται όπως και στο KNMI στα ανατολικά παράλια της Ισπανίας (Βαρκελώνη, Βαλένθια). Για την περίοδο του καλοκαιριού τα δυο μοντέλα παρουσιάζουν ίδια εικόνα όσον αφορά τις διαφορές των τιμών τους από αυτές των e-obs δεδομένων. Παρατηρείται υποεκτίμηση των e-obs έως 5° C για το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία και την Ιβηρική Χερσόνησο

(«εκτός του νότιου τμήματος») και υπερεκτίμηση έως 2°C για την Πορτογαλία, την Ανδαλουσία και την Βαλένθια. Βασική διαφορά είναι ότι σύμφωνα με το KNMI για το Βέλγιο και την Ολλανδία δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ του μοντέλου και των e-obs δεδομένων ενώ από το DMI η θερμοκρασία υπερεκτιμάται έως 3°C . (Χάρτες 2 και 4, Παράρτημα Β)

Το MPI παρουσιάζει τελείως διαφορετική εικόνα από τα δυο προηγούμενα μοντέλα. Υπερεκτιμά τις τιμές της μέσης θερμοκρασίας των e-obs δεδομένων έως 3°C σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης εκτός από τις Άλπεις όπου και για τις 4 εποχές του έτους η μέση θερμοκρασία υποεκτιμάται έως 5°C και τη Βόρεια Ισπανία και Πορτογαλία (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) έως 2°C . Απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών παρατηρείται στην κεντρική Ισπανία για την άνοιξη στη Γαλλία, την Ολλανδία και την κεντρική Αγγλία για το καλοκαίρι και στην Βόρεια και Δυτική Γαλλία για το φθινόπωρο. (Χάρτης 3, Παράρτημα Β)

3.2.2 Μέγιστη θερμοκρασία

Η μέγιστη θερμοκρασία σε αντίθεση με τη μέση προσομοιώνεται με πολλές ομοιότητες από τα τρία μοντέλα. Και για τις τέσσερις εποχές και για ολόκληρη την έκταση της περιοχής μελέτης τα μοντέλα υποεκτιμούν την μέση θερμοκρασία σε σχέση με τα e-obs δεδομένα έως και 5°C . (Χάρτης 5, Παράρτημα Β)

Από τα μοντέλα KNMI και MPI η μέγιστη θερμοκρασία στη Νότια Ισπανία, τη Βαλένθια και την Καταλονία υπερεκτιμάται έως 5°C , εκτός από τον χειμώνα και το φθινόπωρο του KNMI όπου και σε αυτές τις υποπερίοδους, η θερμοκρασία παρουσιάζεται αυξημένη σε σχέση με την πραγματική. Απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών παρατηρείται στο Ηνωμένο Βασίλειο (χειμώνας KNMI και MPI, άνοιξη MPI) καθώς και σε επιμέρους περιοχές της Γαλλίας και για τις 4 εποχές του MPI και τον χειμώνα των KNMI και DMI. (Χάρτες 6,7,8, Παράρτημα Β)

3.2.3 Ελάχιστη θερμοκρασία

Από την μελέτη των χαρτών που απεικονίζουν τις διαφορές στις τιμές του μοντέλου με τις πραγματικές (e-obs), τα οποία αναφέρονται συνολικά σε ολόκληρη την περιοχή

μελέτης προκύπτει ότι για την άνοιξη, το φθινόπωρο και το καλοκαίρι, οι διαφορές κυμαίνονται έως 3°C (απόλυτες τιμές). Μεγάλες αποκλίσεις του μοντέλου από τις πραγματικές τιμές συναντώνται μόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι οποίες αγγίζουν τους 7°C , αλλά ότι εμφανίζονται μόνον στην Ιβηρική χερσόνησο (Πυρηναία).

Πιο αναλυτικά το μοντέλο KNMI για την περίοδο 61-90 υπερεκτιμάει στη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης τις τιμές της ελάχιστης θερμοκρασίας, όπως αυτές προκύπτουν από τα E-OBS δεδομένα. Κατά τον χειμώνα στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ανατολική Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία και στους περισσότερους σταθμούς της Βόρειας Ισπανίας η ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται αυξημένη έως 3°C από την πραγματική. Στην Νορμανδία, τη Βρετάνη, την ενδοχώρα της Αγγλίας και την περιοχή της Καστίλης στην Ισπανία η θερμοκρασία είναι αυξημένη αλλά πιο κοντά στην πραγματική θερμοκρασία (έως 3°C). Για την άνοιξη και πάλι οι τιμές που δίνονται από το μοντέλο για την ελάχιστη θερμοκρασία, είναι μεγαλύτερες από τις παρατηρούμενες αλλά στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης είναι από έως 3°C . Για το καλοκαίρι το μοντέλο υποεκτιμά στην μεγαλύτερη έκταση του Ηνωμένου Βασιλείου (Νότια Αγγλία, Σκωτία, Ουαλία), το Βέλγιο και την Ολλανδία, τις πραγματικές τιμές της ελάχιστης θερμοκρασίας έως 3°C (-3°C). Σε μεγάλο μέρος της περιοχής της Γαλλίας δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά το καλοκαίρι μεταξύ των τιμών που δίνονται από το μοντέλο KNMI και των E-OBS δεδομένων. Στην Ιβηρική Χερσόνησο η ελάχιστη θερμοκρασία υποεκτιμάται από το μοντέλο KNMI έως 2°C στο βόρειο τμήμα και υπερεκτιμάται έως 3°C στο νότιο, ενώ στην ενδοχώρα της Ισπανίας δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Κατά το φθινόπωρο οι τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας που προσομοιώνονται από το μοντέλο είναι κατά 2°C μικρότερες από τις παρατηρούμενες.

Το μοντέλο MPI παρουσιάζει τιμές της ελάχιστης θερμοκρασίας αυξημένες έως 3°C για όλη την έκταση της περιοχής μελέτης και για τις 4 εποχές του έτους. Ενώ για τις Γαλλικές Άλπεις (χειμώνας, άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο) και για τα Πυρηναία (Άνοιξη, καλοκαίρι) η ελάχιστη θερμοκρασία υποεκτιμάται έως 5°C .

Παρόμοια είναι και η εικόνα που προκύπτει από τους χάρτες και για το μοντέλο dmi, με τη διαφορά ότι παρατηρείται απουσία στατιστικά σημαντικών τιμών στο κεντρικό Ηνωμένο Βασίλειο και τη Χερσόνησο της Βρετάνης κατά τον χειμώνα.

Τα τρία κλιματικά μοντέλα παρουσιάζουν ποικιλομορφία όσον αφορά τις εκτιμήσεις της θερμοκρασίας για την περίοδο 1961-1990. Το μοντέλο KNMI τόσο υποτιμά όσο και υπερεκτιμά τα ποσά βροχής για τον χειμώνα την άνοιξη και το φθινόπωρο ενώ για το καλοκαίρι σε όλη την περιοχή μελέτης τα ποσά βροχής υποεκτιμώνται έως και 350mm βροχής. (Χάρτης 9, Παράρτημα Β)

Τόσο για τον χειμώνα όσο και για την άνοιξη και το φθινόπωρο τα ποσά βροχής εμφανίζονται αυξημένα έως και 300mm σε πολλές υποπεριοχές του Ηνωμένου Βασιλείου, της Γαλλίας και της Ισπανίας(Κορνουάλλη, Ουαλία, Λονδίνο, Βρετάνη, Κυανή Ακτή, Καστίλη, Μαδρίτη, Πορτογαλία, Πυρηναία, Άλπεις)και μειωμένα έως και 100mm στο Βέλγιο, την Ολλανδία, την Κεντρική Γαλλία, την Κυανή Ακτή, την Σκωτία, την Αγγλία, τη Βαλένθια και την Καταλονία. Για το καλοκαίρι τα ποσά βροχής υποεκτιμώνται για όλη την έκταση της περιοχής μελέτης εκτός από τη βόρεια Σκωτία. Στην Ισπανία εντοπίζονται οι μεγαλύτερες διαφορές από τα e-obs to KNMI(έως 350mm βροχής). (Χάρτης 10, Παράρτημα Β)

Τα μοντέλα MPI και DMI υπερεκτιμούν τα ποσά βροχής στην μεγαλύτερη έκταση, υπερεκτίμηση η οποία φτάνει έως 1000mm για την Ιβηρική Χερσόνησο για όλες τις εποχές εκτός από το καλοκαίρι όπου παρουσιάζονται μικρότερες διαφορές από τα e-obs δεδομένα η ακόμα και υποεκτίμηση έως 100mm (Νότια Γαλλία, Βαλένθια, Καταλονία). Αξιοσημείωτη είναι η διαφορά που παρουσιάζεται από το μοντέλο DMI στις Γαλλικές Άλπεις και τα Πυρηναία Όρη η οποία φτάνει τα 3500mm βροχής. (Χάρτες 11 και 12, Παράρτημα Β)

3.2.5 Δείκτης TXQ90

Ο δείκτης ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών παρουσιάζει αύξηση από Βορρά προς Νότο για την περίοδο 1961-1990. Στις βορειότερες περιοχές οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται έως 10° C, ενώ στην Ιβηρική Χερσονήσου αποτελεί το νοτιότερο άκρο της περιοχής μελέτης οι τιμές του δείκτη των ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών φτάνει έως 40° C. (Χάρτης 13, Παράρτημα Β)

Και τα τρία μοντέλα (KNMI, MPI, DMI) υποεκτιμούν τις πραγματικές τιμές του δείκτη έως 5°C στην μεγαλύτερη έκταση της περιοχής που μελετάται. (Χάρτες 14,15,16, Παράρτημα Β)

Το μοντέλο MPI προσομοιώνει καλύτερα τις τιμές του δείκτη αφού και για τις 4 εποχές παρατηρείται απουσία στατιστικά σημαντικών τιμών σε πολλές περιοχές ενώ στη Νότια Ισπανία και Πορτογαλία προσομοιώνονται τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από τις πραγματικές έως 5°C . Το KNMI υπερεκτιμά τις τιμές του δείκτη ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών για την άνοιξη και το καλοκαίρι στη Νότια Ισπανία και την Πορτογαλία ενώ για τον χειμώνα στην Ολλανδία, στη Βρετάνη και σε μεμονωμένα σημεία πλέγματος στην Αγγλία.

Από το DMI προσομοιώνονται οι μεγαλύτερες διαφορές από τα e-obs δεδομένα έως και 16°C και εντοπίζονται στις ορεινές υποπεριοχές της περιοχής μελέτης (Άλπεις και Πυρηναία).

3.2.7 Δείκτης CDD

Οι τιμές του δείκτη CDD παρουσιάζουν βαθμιαία αύξηση από τα βόρεια προς τα νότια της περιοχής μελέτης. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ολλανδία και τη Γαλλία κυμαίνονται έως 20 ημέρες ενώ προχωρώντας νοτιότερα στην Κεντρική Ισπανία οι τιμές του δείκτη της μέγιστης ξηρής ακολουθίας αυξάνονται έως 40 ημέρες, ενώ για την περίοδο του καλοκαιριού στη Νότια Πορτογαλία και την Ανδαλουσία σημειώνεται τιμές του δείκτη έως 60 ημέρες. (Χάρτης 21, Παράρτημα Β)

Ο δείκτης CDD υποεκτιμάται και από τα τρία μοντέλα σε σχέση με τις παρατηρούμενες τιμές (έως και 50 ημέρες) ενώ αυξημένες τιμές του δείκτη προσομοιώθηκαν μόνο από το KNMI για το καλοκαίρι όπου στην Καταλονία, τη Βαλένθια, την Ανδαλουσία και τη Μαδρίτη οι τιμές του δείκτη υπερεκτιμώνται έως 20 ημέρες. Το ίδιο συμβαίνει και στη Νότια Γαλλία, τη Βαλένθια και την Καταλονία σύμφωνα με το DMI για την εποχή του καλοκαιριού. (Χάρτες 22,23,24, Παράρτημα Β)

Οι μεγαλύτερες διαφορές από το μοντέλο MPI για το καλοκαίρι σε όλη την περιοχή μελέτης και από το μοντέλο DMI για την Ιβηρική χερσόνησο. (έως 50 ημέρες λιγότερες)

Απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών παρατηρείται σε πολλά σημεία πλέγματος, κυρίως όσον αφορά στο μοντέλο KNMI (Κεντρική και Ανατολική Ισπανία).

3.2.8 Δείκτης Pq95

Οι πραγματικές τιμές του δείκτη pq95 υπερεκτιμώνται από το μοντέλο KNMI (Χάρτης 26, Παράρτημα για όλες τις εποχές εκτός από ένα διάστημα του καλοκαιριού, όπου το μοντέλο ελάχιστα μεν, αλλά υποεκτιμά τις πραγματικές τιμές. Οι μεγαλύτερες διαφορές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του φθινοπώρου (έως 30mm βροχής). Για τις τρεις από τις τέσσερις εποχές του έτους (φθινόπωρο, χειμώνας, άνοιξη) το μοντέλο KNMI υπερεκτιμά τις τιμές του δείκτη από 0 έως 10mm βροχής στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης και από 10 έως 30 mm σε μικρότερες υποπεριοχές. . Για το καλοκαίρι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για το Ηνωμένο Βασίλειο εκτός από τη Σκωτία όπου υπερεκτιμάται ο δείκτης pq95 έως 10mm. Σε μεμονωμένες περιοχές της Σκωτίας, το μοντέλο υποεκτιμά τον δείκτη pq95 και για τις 4 εποχές του έτους από 0 έως 10mm βροχής. Αξιοσημείωτη είναι η απόκλιση του μοντέλου από τις πραγματικές τιμές για την εποχή του χειμώνα και την άνοιξης και του φθινοπώρου σε περιοχές της Ισπανίας από 10 έως 30mm βροχής, διαφορά η οποία για την εποχή του καλοκαιριού συναντάται και στις Γαλλικές Άλπεις. (Χάρτης 26, Παράρτημα Β)

Οι τιμές του δείκτη υπερεκτιμώνται για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης ΚΑΙ από το μοντέλο MPI μέχρι και 20 mm βροχής. Και για τις τέσσερις εποχές του έτους στην κεντρική Αγγλία και Σκωτία, στα ανατολικά παράλια της Ισπανίας, στη Νότια Γαλλία, στις Γαλλικές Άλπεις και στα Πυρηναία οι τιμές του δείκτη PQ95 υποεκτιμώνται από το μοντέλο mpi έως και 30 mm βροχής. Σε ένα μικρό κομμάτι τω Γαλλικών Άλπεων όπως και στη βόρεια Πορτογαλία σε όλη τη διάρκεια του χρόνου εκτός από την περίοδο του καλοκαιριού οι τιμές του δείκτη pq95 παρουσιάζονται από το μοντέλο mpi έως και 60mm υψηλότερες από τις πραγματικές. (Χάρτης 27, Παράρτημα Β)

Σύμφωνα με το μοντέλο dmi για την περίοδο αναφοράς 1961-1990, οι τιμές του δείκτη PQ95 παρουσιάζονται αυξημένες έως και 30 mm βροχής, σε σχέση με τις πραγματικές τιμές του δείκτη που προέρχονται από τα e-obs reanalysis δεδομένα.. Κατά τόπους αυτές οι τιμές παρουσιάζουν περαιτέρω αύξηση ή μείωση αλλά στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης οι διαφορές μεταξύ του μοντέλου και των πραγματικών κυμαίνονται έως 25mm. Για την εποχή του χειμώνα οι τιμές του δείκτη υποεκτιμώνται από το μοντέλο dmi, έως 30mm βροχής, στην Βόρεια Αγγλία και Σκωτία, και σε μεμονωμένα σημεία πλέγματος της Ιβηρικής Χερσονήσου (Καστίλη-Λεόνν, Βαλένθια, Βόρεια Πορτογαλία). Επίσης υποεκτίμηση των τιμών του δείκτη παρουσιάζεται και σε μικρό αριθμό σταθμών των Γαλλικών Άλπεων, οι οποίοι όμως γειτνιάζουν με σταθμούς όπου ο δείκτης rq95 παρουσιάζεται από το μοντέλο αυξημένος μέχρι και κατά 130mm βροχής. Στην Νότια Γαλλία, την Πορτογαλία και τα Πυρηναία ο δείκτης rq95 εμφανίζεται αυξημένος μέχρι και 60 mm βροχής σε σχέση με τις πραγματικές τιμές που δίνονται από τα E-obs δεδομένα για τη περίοδο 1961-1990, αύξηση η οποία παρατηρείται και κατά την άνοιξη για τις ίδιες περιοχές. Κατά την εποχή του καλοκαιριού οι τιμές του δείκτη rq95 υπερεκτιμώνται από το μοντέλο έως 10mm στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης και από 25 έως 50 mm στην περιοχή των Γαλλικών Άλπεων και των Πυρηναίων, ενώ υποεκτιμάται στα ανατολικά παράλια της Ισπανίας (Ανδαλουσία, Βαλένθια) και στην γαλλική περιοχή των Πυρηναίων. Για το Βέλγιο και την Ολλανδία δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τιμές. Για το φθινόπωρο οι τιμές του δείκτη rq95 σύμφωνα με το μοντέλο mpi, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία ως προς τις διαφορές τους από τις πραγματικές, με παρόμοια χωρική κατανομή με τον χειμώνα. Στο μεγαλύτερο κομμάτι της Δυτικής Ευρώπης εμφανίζεται υπερεκτίμηση από τον δείκτη έως 10 mm βροχής, η οποία φτάνει μέχρι και τα 50 mm στις Γαλλικές Άλπεις, τα Πυρηναία και τη βόρεια Ισπανία (Γαλικία). Οι τιμές του δείκτη παρουσιάζονται χαμηλότερες από τις πραγματικές μόνο σε μικρή περιοχή της Σκωτίας, στην Βαλένθια και στη Βόρεια Πορτογαλία. (Χάρτης 28, Παράρτημα Β)

3.3 1^η ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2021-2050

Η τριακονταετία 2021-2050 αποτελεί την πρώτη μελλοντική περίοδο της μελέτης και χαρακτηρίζεται από αύξηση τόσο της θερμοκρασία κάτι ων ακραίων δεικτών αυτής όσο και της βροχόπτωσης. Η μέση θερμοκρασία εκτιμάται ότι θα αυξηθεί έως και 4° C όπως και η μέγιστη και η ελάχιστη ενώ η βροχόπτωση παρουσιάζει ποικιλομορφία με αύξηση έως και 300mm σε κάποιες υποπεριοχές αλλά και μείωση σε άλλες. Οι ακραίοι δείκτες της θερμοκρασίας εκτιμάται ότι θα εμφανίσουν αύξηση τόσο των ακραίων μέγιστων όσο και των ακραίων ελαχίστων για όλη την περιοχή μελέτης

3.3.1 Μέση θερμοκρασία

Η μέση θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί σύμφωνα με τα μοντέλα KNMI, MPI και DMI έως 4° C. Μεγαλύτερη αύξηση εκτιμάται και από τα τρία μοντέλα κατά την εποχή του καλοκαιριού, με τις μεγαλύτερες διαφορές να σημειώνονται στην Ιβηρική Χερσόνησο.

Για το Ηνωμένο Βασίλειο, αύξηση έως 1° C προβλέπεται και από τα τρία μοντέλα για όλες τις εποχές, ενώ η Γαλλία, το Βέλγιο και η Ολλανδία αναμένεται να παρουσιάσουν αύξηση έως και 2° C κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του KNMI και του MPI και σε μικρότερη έκταση (μόνο νότια Γαλλία) σύμφωνα με το DMI. Αύξηση έως 2° C παρατηρείται και για τον χειμώνα του KNMI και του MPI αλλά μόνο στην ανατολική Γαλλία και βόρεια Ισπανία.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών μοντέλων, το KNMI και το MPI συμπίπτουν όσον αφορά την χωρική εμφάνιση των ποσοστών αύξησης των τιμών της μέσης θερμοκρασίας. Αύξηση έως 3° C παρατηρείται σύμφωνα με τα δύο μοντέλα σχεδόν σε ολόκληρη την έκταση της Ιβηρικής Χερσονήσου (εκτός από τη βόρεια) ενώ το DMI εκτιμά ότι αύξηση της μέσης θερμοκρασίας από 3° C έως 4° C πρόκειται να εμφανιστεί μόνο στα Πυρηναία. (Χάρτες 1, 2,3, Παράρτημα Γ)

3.3.2 Μέγιστη θερμοκρασία

Όπως και η μέση θερμοκρασία, και η μέγιστη εκτιμάται ότι θα παρουσιάσει παρόμοια αύξηση έως $3,5^{\circ}\text{C}$ με τις μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται πάλι για το καλοκαίρι και κυρίως για την Ιβηρική Χερσόνησο.

Το μοντέλο KNMI εκτιμά αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας έως $3,5^{\circ}\text{C}$ 'έως και MPI, ενώ το DMI εκτιμά ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί έως $3,5^{\circ}\text{C}$ μόνο στην κεντρική Ιβηρική Χερσόνησο, αλλά και στις ορεινές περιοχές των Άλπεων και των Πυρηναίων. Για τον χειμώνα, το Ηνωμένο Βασίλειο σε αρκετά σημεία πλέγματος δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας από αυτές της περιόδου αναφοράς για την εποχή του χειμώνα, ενώ το DMI εκτιμά ότι η μέγιστη θερμοκρασία δεν πρόκειται να παρουσιάσει στατιστικά σημαντική αύξηση ή μείωση στην περιοχή του Βελγίου και την Ολλανδίας για όλες τις εποχές εκτός από το φθινόπωρο.

Απουσία σημαντικών διαφορών από τις τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας 4°C σημειώνεται σύμφωνα με το KNMI για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης για το φθινόπωρο (αύξηση από 1°C έως 2°C για τη νότια Ισπανία και μέρος της Σκωτίας). (Χάρτης 4,5,6, Παράρτημα Γ)

3.3.3 Ελάχιστη θερμοκρασία

Παρόμοια εικόνα με τη πορεία της μέγιστης θερμοκρασία δίνεται από τα τρία κλιματικά μοντέλα και για την ελάχιστη, με τη διαφορά ότι στατιστικά σημαντική αύξηση σημειώνεται εδώ σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Η μεγαλύτερη αύξηση των ελαχίστων θερμοκρασιών εμφανίζεται κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο και παρουσιάζει βαθμιαία αύξηση από βορρά προς νότο. Στο Ηνωμένο Βασίλειο η ελάχιστη θερμοκρασία εκτιμάται ότι θα αυξηθεί από την περίοδο 1961 – 1990 έως 1°C ενώ για την Γαλλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία από 1°C έως 2°C . Αύξηση έως $3,5^{\circ}\text{C}$ σημειώνεται στην Ιβηρική Χερσόνησο και κυρίως στο εσωτερικό της (καλοκαίρι). Κατά τον χειμώνα και την άνοιξη, αύξηση μεγαλύτερη από 1°C παρατηρείται μόνο στις Γαλλικές Άλπεις και τα Πυρηναία, εκτός από το μοντέλο KNMI όπου προβλέπεται αύξηση έως 2°C σε όλη τη Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία και τη βόρεια Ισπανία. (Χάρτες 7,8,9, Παράρτημα Γ)

3.3.4 Βροχόπτωση

Η δεύτερη τριακονταετία μελέτης είναι η μελλοντική περίοδος 2021–2050. Συγκρίνοντας τις εκτιμήσεις του μοντέλου για την παραπάνω περίοδο με τα προσομοιωμένα δεδομένα για την περίοδο 1961 – 1990, προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Οι διαφορές στις τιμές της βροχόπτωσης μεταξύ της περιόδου 2021-2050 και της περιόδου 1961-1990 παρουσιάζουν ποικιλομορφία μεταξύ των τεσσάρων εποχών του έτους..

Για τον χειμώνα σε κανένα από τα τρία μοντέλα δεν εμφανίζεται κάποια στατιστικά σημαντική αύξηση ή μείωση σε σχέση με την τριακονταετία 1961-1990, για την περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου, μόνο στη βόρεια και ανατολική Γαλλία εκτιμάται αύξηση έως 100 mm στα ποσά βροχής (KNMI, MPI) και στις Γαλλικές Άλπεις αύξηση έως 300mm βροχής.

Για την άνοιξη, μείωση στα ποσοστά βροχής παρουσιάζεται στη Νότια Αγγλία για το KNMI και το MPI (έως 100mm) ενώ το τρίτο μοντέλο εκτιμά ότι η βροχόπτωση στο Ηνωμένο Βασίλειο δεν θα αλλάξει σημαντικά σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 και μόνο οι Δυτικές ακτές πρόκειται να παρουσιάσουν μια αύξηση στα ποσά βροχόπτωσης έως και 300mm. Η βόρεια Γαλλία επίσης σύμφωνα με τα μοντέλα KNMI και MPI παρουσιάζει μείωση στα ποσά βροχής ως 100mm, ενώ συμπίπτουν οι εκτιμήσεις και των τριών μοντέλων για την περιοχή των Γαλλικών Άλπεων και της Βόρειας Πορτογαλίας όπου προβλέπεται μείωση έως 300mm, Στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές της βροχόπτωσης για Βέλγιο και την Ολλανδία δεν εντοπίζεται από κανένα από τα τρία μοντέλα.(Μόνο μικρή μείωση έως 100mm σε μικρή έκταση του Βελγίου από το KNMI)

Για την εποχή του καλοκαιριού δεν υπάρχει καμιά στατιστικά σημαντική αλλαγή στις τιμές της βροχόπτωσης στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ στην Γαλλία (Άλπεις και Χερσόνησος Βρετάνης) και την Πορτογαλία αναμένεται σύμφωνα με το KNMI, μείωση έως 100mm.

Από το μοντέλο MPI η βροχόπτωση προβλέπεται και πάλι μειωμένη όπως και από το KNMI έως και 100mm βροχής αλλά με απουσία στατιστικών τιμών σε ολόκληρη την έκταση του Ηνωμένου Βασιλείου, το Βέλγιο, την Ολλανδία, την Βόρεια και κεντρική

Γαλλία, και το ανατολικό κομμάτι της Ισπανίας. Το μοντέλο DMI εκτιμά μείωση έως 100mm μόνο στην περιοχή της Καστίλλης και στην Βαλένθια.

Για το φθινόπωρο τόσο το KNMI όσο και το DMI και το MPI προβλέπουν αύξηση της βροχόπτωσης στην βορειοδυτική Σκωτία έως και 300mm και μείωση στην Νότια και Κεντρική Ισπανία έως και 300mm. Η Ουαλία, το Βέλγιο και οι περιοχές της Καμπανίας και της Λωρραίνης εκτιμάται από το μοντέλο DMI ότι θα παρουσιάσουν αύξηση στα ποσά βροχής μέχρι και 100mm. (Χάρτης 10,11,12, Παράρτημα Γ)

3.3.5 Δείκτης TXQ90

Ο δείκτης TXQ90 εκφράζει τις ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης. Και τα τρία κλιματικά μοντέλα εκτιμούν ότι οι τιμές του δείκτη θα παρουσιάσουν αύξηση κατά τη διάρκεια της πρώτης μελλοντικής περιόδου.

Τα μοντέλα KNMI και MPI εμφανίζουν σύγκλιση στις εκτιμήσεις τους, σύμφωνα με τις οποίες για τον χειμώνα δεν σημειώνεται αύξηση ή μείωση για Ηνωμένο Βασίλειο (μόνο στη νότια Αγγλία παρατηρείται αύξηση έως 1° C), ενώ για την υπόλοιπη έκταση της περιοχής που μελετάται υπάρχει αύξηση στις τιμές του δείκτη από βορρά προς νότο (από 1 έως 2° C).

Για την άνοιξη στατιστικά σημαντικές διαφορές σημειώνονται και για την Αγγλία έως 2° C, ενώ για την Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία και την Ιβηρική Χερσόνησο, οι τιμές του δείκτη παρουσιάζουν αύξηση έως 3° C. Η ίδια εικόνα με την άνοιξη παρουσιάζεται και για το καλοκαίρι, με τη διαφορά ότι το MPI εκτιμά ότι δεν θα υπάρχει στατιστικά σημαντική μείωση ή αύξηση στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ολλανδία και τη βόρεια Γαλλία. (Χάρτης 14,15, Παράρτημα Γ)

Οι τιμές του δείκτη παρουσιάζονται αυξημένες σύμφωνα και με τις προβλέψεις του μοντέλου DMI έως 2° C και για τις τέσσερις εποχές του χρόνου εκτός από την κεντρική Ισπανία και Πορτογαλία όπου κατά την περίοδο της άνοιξης η αύξηση αυτή κυμαίνεται από 2 έως 3° C. Για την εποχή του χειμώνα και της άνοιξης δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στην περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου και της Κεντρικής και Βόρειας Γαλλίας, ενώ για το καλοκαίρι και το φθινόπωρο η εικόνα αλλάζει λίγο με την περιοχή της Σκωτίας και της Ιρλανδίας να παρουσιάζουν

στατιστικά σημαντικές διαφορές και να παρουσιάζουν αύξηση όμοια με τις υπόλοιπες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. (έως 2° C).

3.3.6 Δείκτης *Tnq10*

Στην εκτίμηση τιμών του δείκτη ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών, τα μοντέλα δεν παρουσιάζουν ομοιότητες όπως συμβαίνει με τον δείκτη *Txq90* για τον χειμώνα και την άνοιξη, αλλά μόνο για το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, όπου εκτιμούν αύξηση των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών έως 2° C (με εξαίρεση τις Άλπεις όπου σύμφωνα με το MPI η ακραία ελάχιστη θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί έως 5° C).

Για την εποχή του χειμώνα, το KNMI εκτιμά αύξηση σε όλη την περιοχή μελέτης από 1° C έως 3° C, το MPI δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές για την κεντρική και βόρεια Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία και τη νότια Αγγλία και τη Σκωτία, ενώ το DMI εκτιμά αύξηση έως 3° C στο Ηνωμένο Βασίλειο και την ανατολική Γαλλία, έως 1° C στην Ιβηρική Χερσόνησο και δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές για την Γαλλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία.

Το μοντέλο KNMI για την άνοιξη εκτιμά ότι οι τιμές του δείκτη *Tnq10* θα παρουσιάσουν αύξηση σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, εκτός από μεμονωμένα σημεία πλέγματος στην κεντρική Ισπανία και στην νότια Ισπανία.

Σύμφωνα με το MPI, στατιστικά σημαντικές διαφορές εμφανίζονται μόνο για το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο και την Ολλανδία (αύξηση έως 3° C στις τιμές του δείκτη), ενώ για το DMI αύξηση έως 3° C εκτιμάται για το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία.

Στην Ισπανία οι διαφορές στις τιμές του δείκτη δεν είναι στατιστικά σημαντικές από την περίοδο 1961 – 1990. (Χάρτες 16,17,18, Παράρτημα Γ)

3.3.7 Δείκτης *cdd*

Ο δείκτης *cdd* είναι δείκτης ξηρασίας και εκφράζει τη διάρκεια της μέγιστης ξηρής ακολουθίας.

Για την μελλοντική περίοδο 2021 – 2050 οι συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή εκτιμάται από τα τρία μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, ότι θα

παρουσιάζουν κυρίως αύξηση αλλά και μείωση σε μικρή έκταση για συγκεκριμένως εποχές και περιοχές.

Η εποχή του χειμώνα δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική αύξηση ή μείωση σε μεγάλη έκταση παρά μόνο σε πολύ συγκεκριμένα σημεία πλέγματος στην βόρεια Ιρλανδία (έως 5 ημέρες για το MPI και DMI) και μείωση έως 5 ημέρες σε μεμονωμένα σημεία πλέγματος κοντά στην περιοχή των Πυρηναίων.

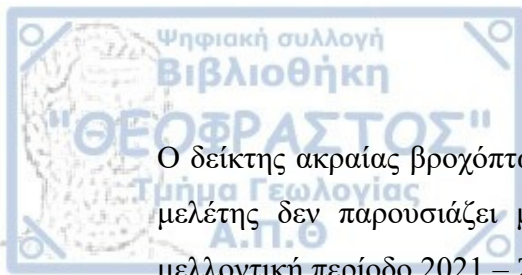
Αύξηση των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή εκτιμάται και από τα τρία μοντέλα για την άνοιξη έως και 20 ημέρες. Απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών από την περίοδο αναφοράς (1961 – 1990) παρατηρείται στο δυτικό Ηνωμένο Βασίλειο (κατά το KNMI και MPI) και σε ολόκληρη την έκταση του Ηνωμένου Βασιλείου, το Βέλγιο, την Ολλανδία και τη βόρεια Γαλλία από το DMI.

Η μεγαλύτερη αύξηση του δείκτη cdd σημειώνεται κατά την άνοιξη στη νότια Ιβηρική Χερσόνησο από 5 έως 10 ημέρες, ενώ στις υπόλοιπες υποπεριοχές όπου προβλέπεται αύξηση, αφορά τιμές του δείκτη μεγαλύτερες έως και 5 ημέρες.

Η Ιβηρική Χερσόνησος εκτιμάται ότι θα σημειώνει περισσότερες μέρες χωρίς βροχή και κατά το καλοκαίρι, αφού στην Πορτογαλία και σε διάσπαρτα σημεία πλέγματος στην Ισπανία παρουσιάζονται αυξημένες τιμές του δείκτη cdd έως 20 ημέρες. Αύξηση από το KNMI εκτιμάται και για ορισμένες μικρές περιοχές την Γαλλία, του Βελγίου και της Ολλανδίας (έως 10 ημέρες), ενώ μείωση έως 5 ημέρες αναμένεται από το DMI για την περιοχή των Πυρηναίων, όπου από τα άλλα δύο μοντέλα εκτιμάται αύξηση έως 5 ήμερες).

Κατά το φθινόπωρο όπως και κατά το καλοκαίρι, αύξηση του δείκτη εκτιμάται σε πολύ μεμονωμένες υποπεριοχές της Ισπανίας, έως 20 ημέρες από το KNMI και έως 10 ημέρες από τα άλλα δύο μοντέλα (MPI και DMI). Το KNMI εκτιμά αύξηση έως 10 ημέρες και σε μεμονωμένα σημεία πλέγματος στη νότια και κεντρική Αγγλία, ενώ οι διαφορές στις τιμές του δείκτη που εμφανίζονται για την ευρύτερη περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου από τα άλλα δύο μοντέλα είναι αρνητικές, αναμένεται δηλαδή μείωση της ξηρής ακολουθίας έως 5 ημέρες. (Χάρτες 19,20,21, Παράρτημα Γ)

3.3.8 Δείκτης PQ95



Ο δείκτης ακραίας βροχόπτωσης, όπως εκτιμάται από τα τρία μοντέλα της παρούσας μελέτης δεν παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές (αύξηση ή μείωση) κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο 2021 – 2050.

Στην κεντρική και βόρεια Γαλλία εκτιμάται αύξηση για τον χειμώνα και από το KNMI και από το MPI (έως 5 mm και 10 mm αντίστοιχα), ενώ σε μεμονωμένα σημεία πλέγματος στη νότια Αγγλία και νότια Ισπανία οι ακραίες βροχοπτώσεις αναμένεται να αυξηθούν έως 5 mm. (Χάρτης 22 Παράρτημα Γ)

Μείωση στα ποσά βροχής (έως 20 mm) εκτιμάται από το DMI για τη βόρεια Πορτογαλία και την νότια Γαλλία κατά την άνοιξη, ενώ αύξηση στο Ηνωμένο Βασίλειο και μείωση στην νότια Γαλλία και Ισπανία (έως 10 mm) προβλέπεται και από τα τρία μοντέλα για το καλοκαίρι σε λίγα σημεία πλέγματος.

Για το φθινόπωρο όπως και για τον χειμώνα, οι τιμές του ακραίου δείκτη βροχόπτωσης παρουσιάζονται αυξημένες στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη βόρεια Γαλλία έως 5 mm, ενώ σε κάποια σημεία πλέγματος (DMI για την Γαλλία) έως 10 mm. (Χάρτες 23,24 Παράρτημα Γ)

3.4 2^η ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2071-2100

Η χρονική περίοδος 2071-2100 αποτελεί τη δεύτερη μελλοντική περίοδο για την οποία προσομοιώνονται από τα τρία μοντέλα (KNMI-DMI-MPI) οι τιμές των 4 παραμέτρων και των 4 ακραίων δεικτών, που μελετήθηκαν και προηγουμένως στην παρούσα εργασία, για την περιοχή μελέτης. Και τα τρία κλιματικά μοντέλα εμφάνισαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές τους σε σύγκριση με τις τιμές που δίνονταν από τα ίδια για την χρονική περίοδο 1961-1990(περίοδος αναφοράς). Πιο συγκεκριμένα οι τιμές της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας παρουσιάζονται αυξημένες, το ίδιο και οι τιμές των ακραίων δεικτών θερμοκρασίας(Txq90, Tnq10).Οι τιμές της βροχόπτωσης εμφανίζουν μείωση σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 σε μεγάλη έκταση της περιοχής μελέτης αλλά όχι σε όλη, ενώ οι ακραίοι κλιματικοί δείκτες υποδεικνύουν μείωση της βροχόπτωσης και αύξηση των ημερών χωρίς βροχή.

3.4.1 Μέση θερμοκρασία

Αύξησης της μέσης θερμοκρασίας αναμένεται σύμφωνα και με τα τρία μοντέλα σε ολόκληρη την περιοχή, έως και 6° C. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ολλανδία, το Βέλγιο και την Γαλλία η αύξηση αυτή προβλέπεται έως και 4° C, ενώ στην Ισπανία και ειδικά στις νοτιότερες περιοχές αυτής από τα τρία μοντέλα προσομοιώνεται αύξηση έως και 10° C (MPI).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο οι μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάζεται κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο σύμφωνα με το KNMI και κατά τον χειμώνα και το φθινόπωρο σύμφωνα με το MPI και το DMI. Η εποχή του φθινοπώρου χαρακτηρίζεται από συχνές και έντονες βροχοπτώσεις στην περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου άρα θα μπορούσε κανείς να συμπεράνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ίσως συνδυάζεται με μείωση αυτών των βροχοπτώσεων.

Στην περιοχή του Βελγίου και της Ολλανδίας οι προσομοιώσεις των μοντέλων δίνουν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά για την περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου. Σημειώνεται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας έως και 4° C, ενώ μόνο για την άνοιξη και μόνο για τα δυο από τα τρία μοντέλα (MPI,DMI) η αύξηση αυτή εκτιμάται έως 2° C. Εντούτοις πρέπει να σημειωθεί ότι στην περιοχή γύρω (νότια) από το Άμστερνταμ δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές τιμές αύξησης της μέσης θερμοκρασίας,

εμφανίζουν αύξησης στις τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας έως και 2° C ενώ η Ουαλία και η Αγγλία έως και 4° C. Το καλοκαίρι για την Αγγλία υπολογίζεται μεγαλύτερη αύξηση έως και 6° C ενώ για τη Σκωτία η πιθανή αύξηση παραμένει έως 2° C. Για την εποχή του φθινοπώρου παρατηρείται ομοιομορφία στην αύξηση των τιμών σε ολόκληρο το Ηνωμένο Βασίλειο έως 4° C.

Ομοιομορφία παρατηρείται επίσης και στις τιμές του KNMI σε ολόκληρη την έκταση της Γαλλίας και για τις τέσσερις εποχές. Για τον χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο προσομοιώνεται αύξηση έως και 4° C ενώ για το καλοκαίρι έως και 6° C. Στα αλλά δυο μοντέλα οι τιμές παρουσιάζουν αύξηση από Βορρά προς Νότο για την περιοχή της Γαλλίας (έως 4° C στις βορειότερες περιοχές).

Το μοντέλο MPI προσομοιώνει αύξησης στις τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας παρόμοιες με αυτές που παρατηρήθηκαν και στην μέση θερμοκρασίας. Σημειώνεται αύξηση των τιμών από βορρά προς Νότο με την Κεντρική Ισπανία και την περιοχή των Πυρηνάων να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές μέγιστης θερμοκρασίας κατά το διάστημα 2071-2100, τιμές που εκτιμάται ότι θα είναι μέχρι και 6° C υψηλότερες από αυτές που το μοντέλο υπολόγισε για την περίοδο 1961-1990.

Το DMI παρουσιάζει τη μικρότερη αύξηση για όλη την έκταση της περιοχής μελέτης (έως 4° C) ενώ μόνο για την περιοχή της κεντρικής Ισπανίας και μόνο για το καλοκαίρι και το φθινόπωρο οι μέγιστες θερμοκρασίες εκτιμάται ότι θα αυξηθούν κατά 6° C. (Χάρτες 4,5,6 Παράρτημα Δ)

3.4.3 Ελάχιστη Θερμοκρασία

Η ελάχιστη θερμοκρασία είναι η παράμετρος που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση στις τιμές της σε ολόκληρη την περιοχή της Δυτικής Ευρώπης όχι τόσο ποσοτικά αλλά περισσότερο γεωγραφικά.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του μοντέλου KNMI σε ελάχιστες υποπεριοχές εμφανίζεται αύξηση μικρότερη από 2° C (μόνο στην Ιρλανδία) ενώ σε όλη την υπόλοιπη περιοχή που μελετάται η αύξηση σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 εκτιμάται ότι θα είναι μεγαλύτερη από 2° C και μέχρι 8° C. (Ιβηρική χερσόνησος και Νότια Γαλλία για το καλοκαίρι). (Χάρτης 7, Παράρτημα Δ)

Η ίδια εικόνα προκύπτει και από τη μελέτη των χαρτών που προκύπτουν από τη μελέτη των χαρτών για το MPI και το DMI με τη διαφορά ότι από το δεύτερο η ελάχιστη θερμοκρασία εκτιμάται ότι θα έχει μικρότερη αύξηση στην Ιβηρική χερσόνησο κατά το φθινόπωρο και στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Βόρεια Γαλλία κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι .

Η εκτιμώμενη αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας υποδεικνύει και συμβαδίζει με τις εκτιμήσεις για την αναμενόμενη αλλαγή του κλίματος η οποία έγκειται περισσότερο στην απουσία πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και όχι τόσο στην αύξηση της θερμοκρασίας σε ήδη θερμές εποχές, μέρες και γεωγραφικά πλάτη. (Χάρτες 8, 9 Παράρτημα Δ)

3.4.4 Βροχόπτωση

Η Δυτική Ευρώπη είναι μια περιοχή η οποία σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του IPCC πρόκειται να υποστεί μείωση των βροχοπτώσεων στα πλαίσια της επερχόμενης κλιματικής αλλαγής. Από τις εκτιμήσεις των τριών μοντέλων της συγκεκριμένης μελέτης προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Και για τα τρία μοντέλα (KNMI, MPI, DMI) δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τιμές σε όλες τις υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. Για την εποχή του χειμώνα προσομοιώνεται μικρή αύξηση στα ποσά βροχής (έως 100mm) στο βόρειο μισό της περιοχής μελέτης και λίγο μεγαλύτερη αύξησης έως και 300mm στην περιοχή των Άλπεων, ενώ δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τιμές για την Ιβηρική χερσόνησο και τη Νότια Γαλλία. Εξάιρεση αποτελούν τα νότια παράλια της Ιβηρικής χερσονήσου όπου από το μοντέλο KNMI εκτιμάται ότι τα ποσά βροχής θα μειωθούν έως και 300mm και τα Πυρηναία Όρη όπου σύμφωνα με το μοντέλο DMI η βροχόπτωση αναμένεται να μειωθεί και πάλι έως και 300mm.

Για την άνοιξη εκτιμάται και από τα τρία μοντέλα ότι η βροχόπτωση στη Νότια Γαλλία, την Ισπανία και την Πορτογαλία θα μειωθεί έως και 300mm κάθε επίσης και στην περιοχή της Κορνουάλλη και της Βρετάνης σύμφωνα με τα μοντέλα KNMI και MPI. Το μοντέλο MPI είναι το μόνο από τα τρία του οποίου οι εκτιμήσεις παρουσιάζουν αύξηση στα ποσά βροχής για την εποχή της άνοιξης σε κάποιες επιμέρους υποπεριοχές όπως το Δυτικό Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, η Ολλανδία και η Βόρεια Γαλλία.

Κατά το καλοκαίρι αύξηση στα ποσά βροχόπτωσης παρουσιάζει μόνο το μοντέλο DMI και μόνο σε σποραδικά σημεία πλέγματος στο Βόρειο και κεντρικό Ηνωμένο Βασίλειο και στην Βόρεια Ιρλανδία ενώ δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική αύξηση στα ποσά βροχής για την Βόρεια και Νότια Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία, την Αγγλία και το νοτιοανατολικό κομμάτι της Ιβηρικής χερσονήσου. Τα κλιματικά μοντέλα KNMI και MPI παρουσιάζουν μείωση έως και 100mm σε όλη την έκταση εκτός του Ηνωμένου Βασιλείου όπου δεν εμφανίζεται μεγάλος αριθμός στατιστικών τιμών. (Η Κορνονάλλη και η Νότια Αγγλία εκτιμάται ότι θα παρουσιάσουν μικρή μείωση στις τιμές της βροχόπτωσης). Η περιοχή των Άλπεων και των Πυρηναίων σύμφωνα με τα δυο μοντέλα εκτιμάται ότι θα παρουσιάσουν ποσά βροχής αυξημένα έως και 300mm.

Για την εποχή του φθινοπώρου και τα τρία μοντέλα παρουσιάζουν μικρό αριθμό στατιστικά σημαντικών τιμών οι οποίες καταδεικνύουν μικρή αύξηση της βροχόπτωσης στο βορειότερο κομμάτι της περιοχής μελέτης, έως και 100mm, (Ηνωμένο Βασίλειο, Βέλγιο, Ολλανδία, Βόρεια Γαλλία) και μικρή μείωση (έως 100mm) στην κεντρική και νότια Ιβηρική Χερσόνησο. (Χάρτες 10,11, 12 Παράρτημα Δ)

3.4.5 Δείκτης T_{q90}

Ο δείκτης ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών εκτιμάται και από τα τρία μοντέλα ότι θα αυξηθεί κατά τη διάρκεια της δεύτερης μελλοντικής περιόδου 2071 – 2100 σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, συγκριτικά με τους αντίστοιχους χάρτες της πρώτης μελλοντικής περιόδου 2021 -2050. Σε όλες τις εποχές του έτους σύμφωνα με τα τρία μοντέλα (KNMI, MPI, DMI), ο δείκτης T_{q90} αυξάνεται από βορρά προς νότο, με τη μέγιστη αύξηση να σημειώνεται στην Ιβηρική Χερσόνησο κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι (έως 8ο C). Η περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου, του Βελγίου και την Ολλανδίας παρουσιάζει αυξήσεις έως 4ο C των ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών, ενώ απουσία στατιστικά σημαντικών τιμών σημειώνεται για την άνοιξη του DMI στην κεντρική Αγγλία και για την άνοιξη και το καλοκαίρι του DMI για το Βέλγιο, την Ολλανδία και τη βόρεια Γαλλία.

Η μεγαλύτερη αύξηση προβλέπεται να είναι έως και 11ο C στα Πυρηναία Όρη και τις Άλπεις κατά την άνοιξη του DMI. (Χάρτες 13,14,15 Παράρτημα Δ)

3.4.6 Δείκτης *Tnq10*

Οι ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες εκτιμάται ότι θα αυξηθούν περίπου όσο και οι ακραίες μέγιστες. Μεγαλύτερη αύξηση αναμένεται στην Ιβηρική Χερσόνησο (έως 60 C) και από τα τρία μοντέλα, ενώ οι εκτιμήσεις συμφωνούν ότι αυτό θα συμβεί κατά την εποχή του καλοκαιριού, Το μοντέλο MPI εκτιμά ότι στα Πυρηναία και τις Άλπεις, οι ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες θα αυξηθούν για την εποχή του χειμώνα έως και 100 C. (Χάρτες 16,17,18 Παράρτημα Δ)

3.4.7 Δείκτης *CDD*

Για τον δείκτη *cdd* τα τρία μοντέλα KNMI, MPI και DMI εκτιμούν αύξηση για τις τρεις από τις τέσσερις εποχές του χρόνου (άνοιξη, καλοκαίρι και φθινόπωρο) και μείωση σε ορισμένα σημεία πλέγματος για τον χειμώνα. Μείωση εκτιμάται έως και 6 ημέρες στην βόρεια Γαλλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία αλλά και την βόρεια Ουαλία σύμφωνα με το μοντέλο KNMI, ενώ σύμφωνα με το DMI και το MPI, δεν σημειώνεται μεγάλος αριθμός σημείων πλέγματος όπου παρατηρείται μείωση (βόρεια Γαλλία για το MPI και βόρεια και κεντρική Γαλλία για το DMI).

Για την άνοιξη, αύξηση στις τιμές του δείκτη εκτιμάται στην κεντρική και νότια Γαλλία (έως και 5 ημέρες) και στην Ιβηρική Χερσόνησο (έως 10 ημέρες).

Κατά το καλοκαίρι, ο δείκτης μέγιστης ξηρής ακολουθίας παρουσιάζεται αυξημένος σε όλη την έκταση, εκτός από το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου στατιστικά σημαντική αύξηση παρατηρείται σε μεμονωμένα σημεία πλέγματος στη νότια Αγγλία (KNMI, MPI). Η μεγαλύτερη αύξηση για το καλοκαίρι (έως και 20 ημέρες) εμφανίζεται στην κεντρική και βόρεια Ισπανία και Πορτογαλία.

3.4.8 Δείκτης *PQ95*

Ο δείκτης ακραίας βροχόπτωσης *Pq95*, όπως προσομοιώνεται από το μοντέλο MPI, παρουσιάζει για το χειμώνα αύξηση έως 10 mm βροχής στο Ηνωμένο Βασίλειο και στην Ισπανία. Σημειώνεται ότι στο μεγαλύτερο μέρος της Ισπανίας, της Νότιας Γαλλίας, της κεντρικής Αγγλίας και της Ιρλανδίας, δεν σημειώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Για την εποχή της άνοιξης, οι ελάχιστες στατιστικά σημαντικές διαφορές που παρατηρούνται, δείχνουν μία αύξηση στις τιμές του δείκτη έως 10 mm βροχής σε σχέση με την περίοδο 1961 – 1990 στην περιοχή της Ανατολικής Γαλλίας

και μία μείωση έως 6 mm βροχής στη Βρετάνη και την Καταλονία. Για το καλοκαίρι, στην περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου παρουσιάζεται μείωση μέχρι και 13 mm στις τιμές του δείκτη ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ σε σποραδικά τοποθετημένους σταθμούς του Ηνωμένου Βασιλείου, προσομοιώνεται αύξηση έως 10 mm. Για το υπόλοιπο της περιοχής μελέτης, δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Το φθινόπωρο, αύξηση στις τιμές του δείκτη Pq95 έως 10 mm παρατηρείται στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ολλανδία, τη Βόρεια και κεντρική Γαλλία και σε μικρό αριθμό σταθμών γύρω από τη Μαδρίτη. Για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο μελέτης 2071-2100 από την μελέτη των εποχικών χαρτών για την εμφάνιση στατιστικά σημαντικών διαφορών στις τιμές του δείκτη PQ95 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990, προκύπτουν περισσότερες σε αριθμό στατιστικά σημαντικές διαφορές απ' ό,τι για την περίοδο 2021-2050. Για την εποχή του χειμώνα όπως και του φθινοπώρου η αύξηση στα ακραία ύψη βροχής εμφανίζεται ενιαία για την περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου, μεγάλης έκτασης της περιοχής της Γαλλίας και μεμονωμένων σταθμών της Ιβηρικής Χερσονήσου. Η αύξηση αυτή προβλέπεται έως και 10mm στα ύψη βροχής

Οι εκτιμήσεις των ακραίων τιμών βροχόπτωσης διαφοροποιούνται μεταξύ των μοντέλων, κυρίως λόγω του αριθμού των σημείων πλέγματος όπου εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τιμές. Η άνοιξη και το καλοκαίρι είναι οι δύο εποχές που παρουσιάζουν λιγότερες σε αριθμό στατιστικά σημαντικές τιμές αύξησης ή μείωσης ακραίας βροχόπτωσης σε σχέση με το χειμώνα και το φθινόπωρο, όπου υπάρχει ομοιόμορφη αύξηση σε μεγάλες σε έκταση περιοχές.

Το μοντέλο KNMI εκτιμά ότι κατά τον χειμώνα και το φθινόπωρο οι τιμές του δείκτη πρόκειται να αυξηθούν για το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ολλανδία και την βόρεια Γαλλία έως 5 mm, ενώ στην Κυανή Ακτή και τις Άλπεις έως 10 mm.

Για την άνοιξη και το καλοκαίρι, αύξηση έως 5 mm αναμένεται για την δυτική Γαλλία, το Βέλγιο, την Ολλανδία και το νότιο Ηνωμένο Βασίλειο αντίστοιχα, ενώ μείωση των τιμών του Pq95 αναμένεται για την δυτική Ιβηρική Χερσόνησο έως και 25mm για την εποχή του καλοκαιριού και για μεμονωμένα σημεία πλέγματος στην ίδια περιοχή για την άνοιξη. (Χάρτες 22,23,24 Παράρτημα Δ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παραπάνω μελέτης ήταν η αξιολόγηση τριών Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων(RCM) όσον αφορά στην προσομοίωση της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και τεσσάρων κλιματικών δεικτών στην περιοχή της Δυτικής Ευρώπης. (Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία, Ισπανία, Βέλγιο, Ολλανδία). Τα RCMs Από τις πρώτες προσπάθειες χρήσης τους στα τέλη της δεκαετίας του 1980 (Dickinson et al, 1989; Giorgi and Bates, 1989) έως σήμερα, έχουν υποστεί πολλές αλλαγές και έχουν γίνει περισσότερο αξιόπιστα και ρεαλιστικά. Βέβαια, δεν παύουν να παρουσιάζουν τόσο συστηματικά, όσο και τυχαία σφάλματα στην προσομοίωση των κλιματικών παραμέτρων και για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η περαιτέρω ανάπτυξη και αξιολόγησή τους, με στόχο την κατανόηση των πηγών των σφαλμάτων τους (Moberg and Jones, 2004). Σήμερα αποτελούν ένα ιδιαίτερα ελπιδοφόρο εργαλείο που χρησιμοποιείται ευρέως.

Στην παρούσα μελέτη, κρίθηκε σκόπιμο για την καλύτερη αξιολόγηση των προσομοιώσεων των 3 RCM για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2050 και 2071-2100, να πραγματοποιηθεί σε πρώτο στάδιο μια αξιολόγηση των τριών μοντέλων για την περίοδο αναφοράς 1961-1990, για την οποία πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας που προέκυπταν από τα μοντέλα, με αυτές των E-Obs δεδομένων. Μελετήθηκε, λοιπόν, η χωρική κατανομή της μέσης ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας στην περιοχή, καθώς και δύο δεικτών ακραίας θερμοκρασίας, των Tnq10 και Tq90, που εκφράζουν τις θερμοκρασίες εκείνες που είναι μικρότερες του 10% και μεγαλύτερες του 90% του συνόλου των ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών αντίστοιχα, αλλά και η χωρική κατανομή της μέσης βροχόπτωσης και δυο δεικτών ακραίας βροχόπτωσης ,του Pq95, ο οποίος εκφράζει την μέση βροχόπτωση που είναι μεγαλύτερη του 95% του συνόλου της βροχόπτωσης και του δείκτη Cdd, ο οποίος εκφράζει τις συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή. Επίσης μελετήθηκε η διαχρονική πορεία των παραπάνω παραμέτρων κατά την περίοδο μελέτης 1958-2001 με τη δημιουργία διαγραμμάτων για κάθε μια από τις παραμέτρους ξεχωριστά.

Από την αξιολόγηση των τριών μοντέλων πρόέκυψαν διαφορετικά αποτελέσματα για τα τρία μοντέλα αλλά και για κάθε παράμετρο. Η μέση θερμοκρασία υποεκτιμήθηκε σε μεγάλο βαθμό και από τα τρία μοντέλα για τη άνοιξη, το καλοκαίρι και το

φθινόπωρο αλλά υπερεκτιμήθηκε για τον χειμώνα. Τιμές μέσης θερμοκρασίας μεγαλύτερες κατά 17oC συναντώνται στο μοντέλο dmi για τον χειμώνα αλλά και για την άνοιξη. Το μοντέλο Mpi προσομοιώνει καλύτερα από τα τρία την μέση θερμοκρασία για την περίοδο 1961-1990 και για τις τέσσερις εποχές του χρόνου η μέση θερμοκρασία υπερεκτιμάται από 0 έως 1oC στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης και έως 3oC στο υπόλοιπο, αλλά κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο δεν εμφανίζονται καθόλου στατιστικές διαφορές στο Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία ενώ για την άνοιξη στην Δυτική Ισπανία και Πορτογαλία. Η μέγιστη θερμοκρασία υποεκτιμάται σχεδόν σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης με αποκλίσεις των τιμών των τριών RCMs, από 0 έως 2oC σε μεγάλη έκταση της περιοχής μελέτης και για τις τέσσερις εποχές. Το μοντέλο Mpi δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές κατά τον χειμώνα αλλά και την Άνοιξη στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Βόρεια Γαλλία, το Βέλγιο και την Ολλανδία, ενώ κατά το φθινόπωρο στην Ανατολική Γαλλία και την Νότια Ισπανία. Στις υπόλοιπες περιοχές όπου εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές, οι τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας κυμαίνονται από 0 έως 2oC. Η ελάχιστη θερμοκρασία υπερεκτιμάται από τα μοντέλα Mpi και Dmi έως 5oC με τη διαφορά ότι στο μοντέλο Dmi οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών τιμών και των τιμών του μοντέλου παρουσιάζουν ομοιόμορφη αύξηση σε όλη την περιοχή μελέτης έως 2oC. (Εκτός από Νότια, Ισπανία, Βέλγιο, Ολλανδία όπου η αύξηση κυμαίνεται από 2 έως 5oC). Η εποχή της άνοιξης προσομοιώνεται καλύτερα από το μοντέλο Kmi με στατιστικά σημαντικές διαφορές στις τιμές ελάχιστης θερμοκρασίας πολύ κοντά στο 0 (από 0 έως 1oC) ενώ η εποχή του καλοκαιριού παρουσιάζει τις μικρότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές στη μεγαλύτερη έκταση της, σύμφωνα με το μοντέλο Mpi(από 0 έως 1oC). Γενικά η παράμετρος της θερμοκρασίας, τόσο της μέσης αλλά και της μέγιστης και της ελάχιστης υπερεκτιμήθηκε και από τα τρία μοντέλα, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Οι ακραίοι δείκτες ελαχίστων και μεγίστων θερμοκρασιών παρουσιάζονται τόσο αυξημένοι όσο και μειωμένοι από τα διαφορετικά περιοχικά μοντέλα για τις 4 εποχές του χρόνου. Ο δείκτης ακραίων μεγίστων θερμοκρασιών Tq90, προσομοιώνεται καλύτερα από το μοντέλο Mpi αφού εμφανίζει τις λιγότερες σε αριθμό στατιστικά σημαντικές τιμές στην περιοχή μελέτης. Ο δείκτης ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών υπερεκτιμάται και από τα τρία μοντέλα αλλά προσομοιώνεται καλύτερα από το μοντέλο Kmi σύμφωνα με το οποίο οι ακραίες

ελάχιστες θερμοκρασίες εμφανίζονται είτε μειωμένες σε σχέση με τι πραγματικές έως 1.5°C , είτε αυξημένες κατά 1.5°C και κατά 3°C , σε διάσπαρτες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. Επίσης για την Αγγλία και την Βόρεια Γαλλία κατά τον χειμώνα και την άνοιξη αλλά και για την Βόρεια και Δυτική Γαλλία κατά τι φθινόπωρο, δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Η βροχόπτωση για την περίοδο 1961-1990 υπερεκτιμήθηκε και από τα τρία RCMs περίπου το ίδιο, έως 200mm βροχής για όλη την περιοχή μελέτης, εκτός από τους κύριους Ορεινούς Όγκους (Γαλλικές Άλπεις, Πυρηναία, Γαλικία) όπου οι τιμές της βροχόπτωσης παρουσιάστηκαν αυξημένες έως 400mm (KNMI), έως 800mm (Mpi) και 3400mm (Dmi). Το μοντέλο KNMI είναι αυτό που προσομοιώνει καλύτερα την παράμετρο της βροχόπτωσης με στατιστικά σημαντικές διαφορές που κυμαίνονται σε μεγάλο μέρος της Δυτικής Ευρώπης έως 100mm βροχής (-100, +100) αλλά και απουσία σημαντικού αριθμού διαφορών στη Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Βόρεια Ισπανία κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο. Οι δείκτες ακραίας βροχόπτωσης προσομοιώνονται καλύτερα από το μοντέλο Kmi αφού τα αλλά δυο μοντέλα παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές και μεγάλο αριθμό στατιστικά σημαντικών διαφορών στην περιοχή μελέτης. Ο δείκτης Pq95 υπερεκτιμάται από το kmi έως 5mm βροχής σε όλη σχεδόν την περιοχή μελέτης, όπου υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ενώ ο δείκτης cdd υποεκτιμάται έως 5 ημέρες σχεδόν σε όλη την περιοχή μελέτης, όπου εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τιμές και υπερεκτιμάται έως 5 ημέρες για την εποχή του καλοκαιριού στην Ιβηρική χερσόνησο και τη Νότια Γαλλία.

Μετά την αξιολόγηση των τριών περιοχικών μοντέλων, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για την περιοχή μελέτης για δυο μελλοντικές περιόδους, την περίοδο 2021-2050 και την περίοδο 2071-2100.

Για την πρώτη μελλοντική περίοδο η μέση θερμοκρασία εμφανίζεται αυξημένη για όλη την περιοχή μελέτης σύμφωνα και με τα τρία μοντέλα, μικρότερη αύξηση παρουσιάζει το μοντέλο mpi (από 0.5 έως 2°C) με την Ιβηρική χερσόνησο να εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές (από 1 έως 2°C), το μοντέλο Kmi προβλέπει άνοδο έως και 3°C στην περιοχή της Δυτικής Ευρώπης (μικρότερη στα βόρεια και μεγαλύτερη νότια) ενώ το μοντέλο Dmi εμφανίζει μικρή αύξηση για τις τρεις εποχές του χρόνου εκτός του χειμώνα όπου στο Ηνωμένο Βασίλειο προσομοιώνεται μείωση

της μέσης θερμοκρασίας έως και 17oC ενώ στην Ισπανία αύξηση έως και 17oC. Για την μέγιστη θερμοκρασία, το μοντέλο Dmi είναι αυτό που προβλέπει την μικρότερη αύξηση για την περίοδο 2021-2050 αν και σ' αυτήν την παράμετρο τα τρία RCMs προσομοιώνουν την ίδια αύξηση (έως 3oC), η οποία ακολουθεί ανοδική πορεία από βορρά προς νότο και στις τρεις περιπτώσεις. Ομοιόμορφη άνοδο και της ελάχιστης θερμοκρασίας παρουσιάζει το μοντέλο Dmi, από 0.5 έως 1.5oC σε όλη την περιοχή μελέτης με την Ισπανία, τις Γαλλικές Άλπεις και τα Πυρηναία να παρουσιάζουν λίγο μεγαλύτερη αύξηση, έως 2oC. Τόσο το Mpi όσο και το Kmi δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις από την περίοδο 1961-1990, αφού κι εκείνα προσομοιώνουν αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο έως 3oC σε όλη την περιοχή μελέτης. Οι ακραίες ελάχιστες θερμοκρασία όμως αναμένεται να αυξηθούν επίσης μέχρι 3o C, σύμφωνα με το μοντέλο Mpi και Kmi αλλά το Dmi προσομοιώνει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα, όπου κατά τον χειμώνα και το καλοκαίρι αναμένεται μείωση των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών έως και 10o C στο Ηνωμένο Βασίλειο το Βέλγιο και την Ολλανδία. Οι ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες πρόκειται να αυξηθούν σύμφωνα και με τα τρία μοντέλα έως 3oC και για τις τέσσερις εποχές του έτους. Αξιοσημείωτο είναι ότι σύμφωνα με τις προβλέψεις των τριών μοντέλων, στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, την Ολλανδία και την Βόρεια Γαλλία, οι ακραίες τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας δεν αναμένεται να αυξηθούν κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο

Τα ποσά βροχόπτωσης παρουσιάζουν μείωση σύμφωνα και με τα τρία μοντέλα (έως και 400mm βροχής) εκτός από την εποχή του χειμώνα όπου κανένα μοντέλο δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική αύξηση η μείωση στα ποσά βροχόπτωσης ,σε σχέση με την περίοδο 1961-1990. Γενικά παρατηρείται απουσία στατιστικά σημαντικών τιμών σε πολλές υποπεριοχές και για τα τρία μοντέλα. Οι ακραίοι δείκτες cdd και rq95 δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της περιόδου 2021-2050 και 1961-1990, σύμφωνα με τα μοντέλα Dmi και Mpi, ενώ το Kmi μείωση στις τιμές της μέγιστης ξηρής ακολουθίας για τον χειμώνα και το φθινόπωρο και αύξηση για την άνοιξη και το καλοκαίρι. Το ίδιο προβλέπεται και για τις ακραίες βροχοπτώσεις οι οποίες αν αναμένεται να μεταβληθούν μόνο σύμφωνα με το Kmi. (αύξηση έως 3oC και μείωση έως 3oC)

Για την δεύτερη μελλοντική περίοδο κάποιες μεταβολές στις παραμέτρους, σε σχέση με την πρώτη μελλοντική περίοδο, είναι αναμενόμενες. Η μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζουν αύξηση και για τις τέσσερις εποχές του χρόνου, σύμφωνα και με τα τρία μοντέλα της μελέτης. Σε όλες τις περιπτώσεις προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας η οποία αυξάνεται από βορρά προς νότο, για όλες τις εποχές η Ιβηρική Χερσόνησος είναι η περιοχή όπου αναμένεται να σημειωθεί μεγαλύτερη αύξηση της περιοχής μελέτης. Οι ακραίες ελάχιστες και μέγιστες θερμοκρασίες πρόκειται να παρουσιάσουν επίσης αύξηση μέχρι και 7oC ενώ και πάλι η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην Ιβηρική Χερσόνησο. Επιβεβαιώνεται, λοιπόν κάτι που έχει τονιστεί από πολλούς ερευνητές, (Kutiel and Maheras,1998;Sahsamanoglou and Makrogiannis, 1992; Feidas et al., 2004; Bartzokas et al., 1994) ότι η θερμοκρασία κατά τα τελευταία χρόνια αυξάνεται με πολύ μεγάλους ρυθμούς στη δυτική Μεσόγειο (Ιβηρική χερσόνησος, Νότια Γαλλία), μεγαλύτερους από ότι στην ανατολική, όπου σε κάποιες περιπτώσεις φαίνεται ακόμη και να μειώνεται.

Η βροχόπτωση για τη δεύτερη μελλοντική περίοδο, προσομοιώνεται αυξημένη και από τα τρία μοντέλα, αλλά το Knm1 προβλέπει μικρότερη αύξηση από τα άλλα δυο 100mm και 400mm αντίστοιχα, αλλά το Dm1 και το Mpi εμφανίζουν και μειωμένες τιμές σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 για κάποιες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης. Τα ακραία ποσά βροχής (Δείκτης Pq95) ακολουθούν την τάση της βροχόπτωσης και παρουσιάζουν αύξηση ως και 10mm σύμφωνα με τα μοντέλα Mpi και Dm1, αλλά μείωση σύμφωνα με το Knm1. Ο δείκτης Cdd δεν παρουσιάζει πολλές στατιστικά σημαντικές διαφορές με την περίοδο 1961-1990, όπως προσομοιώνεται από τα μοντέλα Dm1 και Mpi, ενώ σύμφωνα με το μοντέλο Knm1 οι τιμές του δείκτη αυξάνονται μέχρι και 30 ημέρες σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

Τόσο στην περίοδο αναφοράς, όσο και στις δυο μελλοντικές περιόδους, κάποιες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης εμφανίζουν τελείως διαφορετική συμπεριφορά από τις γειτονικές περιοχές. (Αύξηση ή μείωση). Τέτοιες είναι η περιοχή των Γαλλικών Άλπεων, τα Πυρηναία, η Βόρεια Σκωτία σε αρκετές περιπτώσεις, η βόρεια Ισπανία (Γαλικία), η χερσόνησος της Βρετάνης και η χερσόνησος της Κορνουάλλης. Σ' αυτό συντελεί το έντονο ανάγλυφο των περιοχών αυτών, το οποίο δεν μπορεί να προσομοιωθεί από το μοντέλο τόσο καλά και ενδέχεται να είναι διαφορετικό απ' ότι στην πραγματικότητα.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από την παρούσα μελέτη, είναι ότι οι προσομοιωμένες θερμοκρασίες της περιόδου ελέγχου από τα μοντέλα Knni, Mpi και Dmi αποκλίνουν από τις πραγματικές για τους σταθμούς Δυτικής Ευρώπης που μελετήθηκαν. Είναι βέβαια αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος όσον αφορά στη λειτουργία των μοντέλων, αλλά η παρούσα μελέτη επιβεβαιώνει την ανάγκη για ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους. Προς αυτήν την κατεύθυνση κρίνεται σημαντική η συμβολή της μελέτης αυτής, καθώς παρέχει μια ποσοτική και ποιοτική εκτίμηση των σφαλμάτων του μοντέλου. Συμπερασματικά, θα πρέπει η χρήση των συγκεκριμένων αλλά και οποιωνδήποτε, μοντέλων στην παραγωγή μελλοντικών κλιματικών σεναρίων να γίνεται με μεγάλη προσοχή και επιφυλακτικότητα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Bergant KI, Belda M and Halenka T (2007):** *Systematic errors in the simulation of European climate (1961-2000) with RegCM3 driven by NCEP/NCAR reanalysis. International Journal of Climatology*
- **Boé, J., L. Terray, (2008):** *A weather-type approach to analyzing winter precipitation in france: twentieth-century trends and the role of anthropogenic forcing. J. Climate, 21, 3118–3133. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2007JCLI1796.1>*
- **Bryson, R.A. 1975:** *Envir.Conserv., 2.*
- **Christensen JH, Machenhauer B, Jones RG, Schär C, Ruti PM, Castro M and Visconti G (1997):** *Validation of present-day regional climate simulations over Europe: LAM simulations with observed boundary conditions. Climate Dynamics*

- **Clemente Gallardo**, Victoria Gil, Edit Hagel, Cesar Tejeda, Manuel de Castro (2012): *Assesment of climate change in Europe from an ensemble of regional climate models by the use of Koppen-Trewartha classification*. *Int. J Climatology* doi 10.1002/joc3580
- **Covey C**, Achuta Rao KM, Cubasch U, Jones P. Lambert SJ, Mann ME, Phillips TJ and Taylor KE (2003): *An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project*. *Global Planetary Change*
- **Cubasch U**, von Storch H, Waszkewitzl J and Zorita E (1996): *Estimates of climate change in southern Europe*. *Climate Research* 7: 129-149
- **De Jongh, I. L. M.**, Verhoest, N. E. C. and De Troch, F. P. (2006), *Analysis Of A 105-year time series of precipitation observed at Uccle, Belgium*. *Int. J. Climatol.*, 26: 2023–2039. doi: 10.1002/joc.1352
- **Fowler, H. J. and Ekström, M.** (2009), *Multi-model ensemble estimates of climate change impacts on UK seasonal precipitation extremes*. *Int. J. Climatol.*, 29: 385–416. doi: 10.1002/joc.1827
- **George Heinrich**, Andreas Gobiet(2011): *The future of dry and wet spells in Europe: A comprehensive study based on the Ensembles regional climate models*, August 2011
- **IPCC 2007:Summary for Policymakers**. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>) Contribution of Working Group 1 to the fourth Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D.Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- **J.I.Lopez-Moreno**, S.Goyette, M.Beniston,(2007) *Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models*
- **J.P. Van Ypersele**, P.Marbaix (2004):*Impacts of Climate Change in Belgium*, by Greenpeace and coordinated by P.Marbaix, Universite Catholique de Louvain, Belgium, July 2004
- **Moberg A** and Jones PD (2004): *Regional climate model simulations of daily maximum and minimum near-surface temperatures across Europe compared with observed station data 1961-1990*. *Climate Dynamics*

- **Nakicenovic N. Swart R. (eds).** 2000. *Emissions Scenarios 2000. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press: Cambridge. 570
- **Nieto S and Rodriguez-Puebla C (2006):** *Comparison of Precipitation from Observed Data and General Circulation Models over the Iberian Peninsula.* *Journal of Climate*
- **Noguer M, Jones R and Murphy J (1998):** *Sources of systematic errors in the climatology of a regional climate model over Europe.* *Climate Dynamics*
- **Rodrigo, F. S. and Trigo, R. M. (2007),** *Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002.* *Int. J. Climatol.*, 27: 513–529. doi: 10.1002/joc.1409
- **Taylor, A.H. (1996),** *North-South shifts of the gulf stream ocean atmosphere interactions in the North Atlantic, . Int. J. Climatol.*, 16: 559–583. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(199605)16:5<559::AID-JOC26>3.0.CO;2-Z
- **Van Oldenborgh, G. J. and Van Ulden, A. (2003),** *On the relationship between global warming, local warming in the Netherlands and changes in circulation in the 20th century.* *Int. J. Climatol.*, 23: 1711–1724. doi: 10.1002/joc.966
- **Δημοσθένης Ασημακόπουλος, Ματθαίος Σανταμούρης (2011):** *Κίνδυνοι και επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής στο δομημένο περιβάλλον (Ιούνιος 2011), Τράπεζα της Ελλάδος, Ευρωσύστημα, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής.*
- **Γκουτζαμάνης Γ.,** *Η μεταβολή των κλιματικών δεικτών στη Νάξο και τα Γιάννενα, Διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη 2012*
- **ΕΜΥ-Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία):** *Εισαγωγή στη Μετεωρολογία από την Αρχαία Ελλάδα μέχρι σήμερα (Από την επίσημη ιστοσελίδα της ΕΜΥ)*
- **Σταματίου Ελένη, Richard Lacroix,(2008)** *Erosion and immersion of coasts due to climate changes-forecasts and policies of the CELRL in France, In 4MMCZ: 589-599,*

Ηλεκτρονικές πηγές:

http://www.hnms.gr/hnms/greek/about_emy/full_story_html?dr_url=/docs/misc/Arxaia&dr

http://www.cnrm.meteo.fr/gmgec/site_engl/modelisation_numerique_en.html

<http://www.eca.knmi.nl>

<http://www.mad.zmaw.de/uploads/media/e40Overview.pdf>

<http://www.cisl.ucar.edu/news/04/newsitems/0303.era40.html>

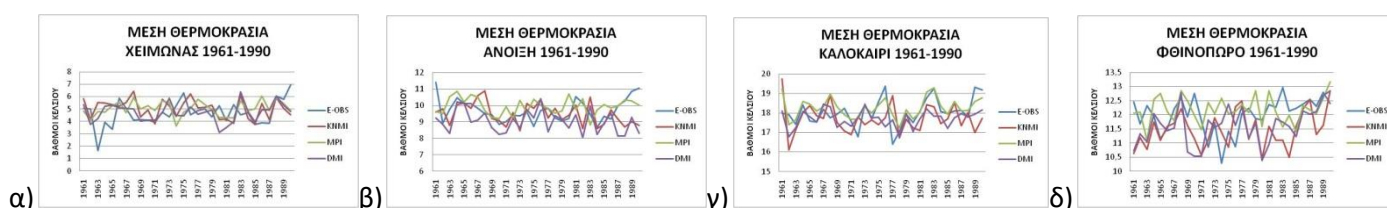
<http://www.ecmwf.int/research/era>

<http://www.wikipedia.com>

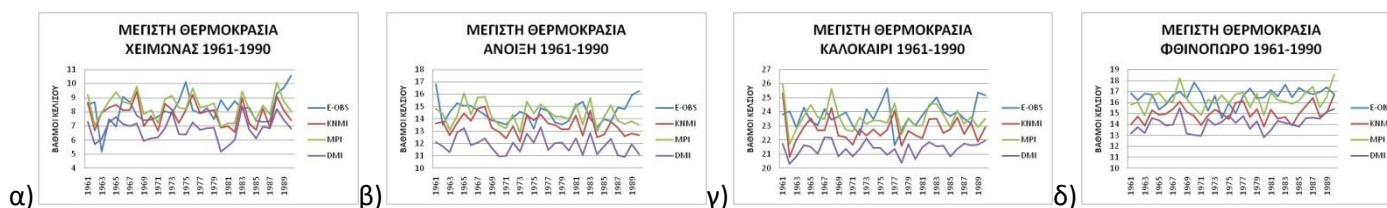
<http://www.england.org.za/englands-climate.php>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

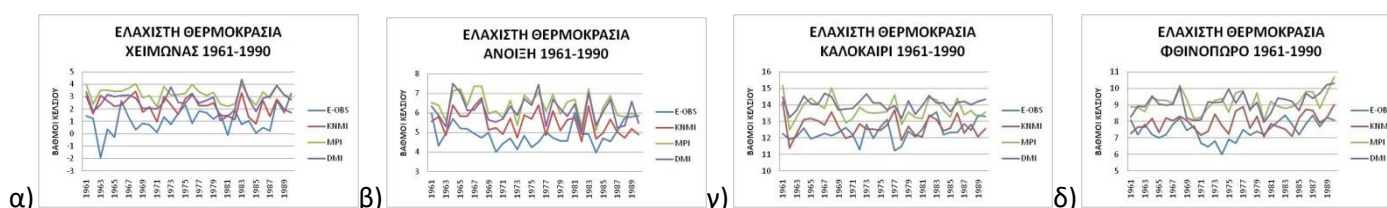
Σχήμα 1: Μέση θερμοκρασία για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,ΔΜΙ)



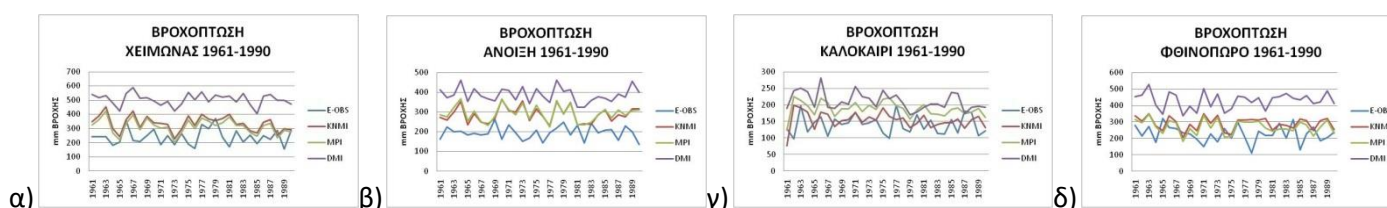
Σχήμα 2: Μέγιστη θερμοκρασία για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,ΔΜΙ)



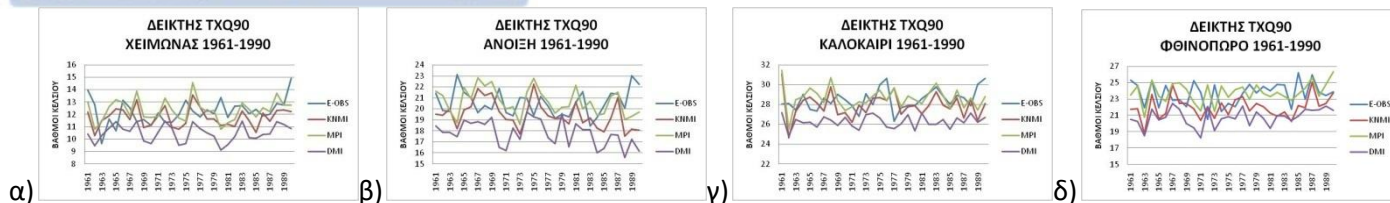
Σχήμα 3: Ελάχιστη θερμοκρασία για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,ΔΜΙ)



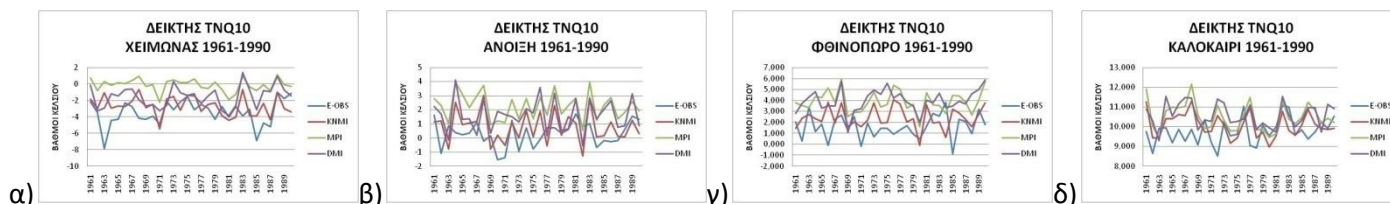
Σχήμα 4: Βροχόπτωση για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,ΔΜΙ)



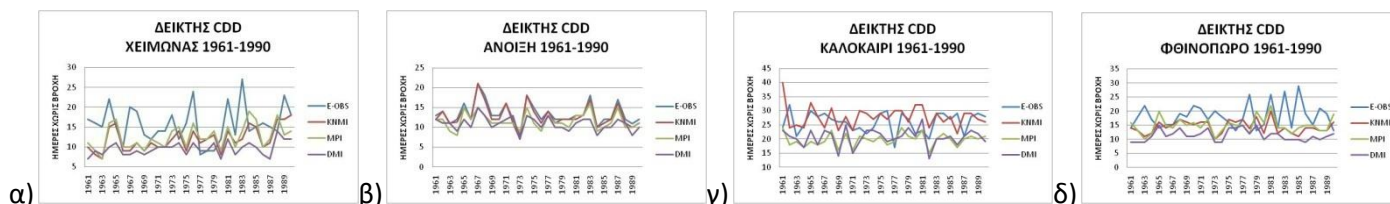
Σχήμα 5: Τιμές του δείκτη Τχq90 για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,DMI)



Σχήμα 6: Τιμές του δείκτη Τηq10 για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,DMI)



Σχήμα 7: Τιμές του δείκτη Cdd για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,DMI)



Σχήμα 8: Τιμές του δείκτη Ρq95 για τις τέσσερις εποχές(α,β,γ,δ) της περιόδου 1961-1990, (Ε-OBS, ΚΝΜΙ,ΜΡΙ,DMI)

