



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας
και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος»**

**Αξιολόγηση κλιματικών προσομοιώσεων κλιματικών
μοντέλων για την περιοχή της Ευρώπης για την
περίοδο 1990-2008**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Παυλίδης Βασίλειος

Θεσσαλονίκη 2015

Η ανάπτυξη και υποστήριξη της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης έγινε ενώπιον της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής στις 4 Δεκεμβρίου 2015.

Την εξεταστική Επιτροπή αποτέλεσαν οι :

Κατράγκου Ελένη, Επίκουρη Καθηγήτρια., Επιβλέπουσα

Καρακώστας Θεόδωρος, Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ζάνης Πρόδρομος, Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	6
1. Θεωρητική εισαγωγή	6
1.1 Κλιματολογία και κλίμα	6
1.2 Κλιματική Αλλαγή	7
1.3 Κλιματικά μοντέλα	8
1.3.1 Αριθμητικά μοντέλα	8
1.3.2 Παραμετροποίηση	8
1.3.3 Παγκόσμια και περιοχικά μοντέλα	9
1.4.1 Κλιματικά σενάρια	10
1.4.2 IPCC scenarios	11
1.5 Αξιολόγηση	11
1.6.1 Δεδομένα reanalysis	12
1.6.2 Δεδομένα επανάλυσης ERA-Interim.....	13
1.7 Ensembles και αβεβαιότητες μοντέλων	14
1.8 Cordex	14
2. Δεδομένα και μεθοδολογία.....	16
2.1 Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν	16
2.2 Δεδομένα παρατηρήσεων (Eobs)	18
2.3 Μεθοδολογία.....	19
2.3.1 Regridding-interpolation.....	19
2.3.2 Περιοχές ανάλυσης.....	21
2.3.3 Διόρθωση θερμοκρασίας	22
2.3.4 Μέθοδος Ανάλυσης	23
3. Ανάλυση Μέσης θερμοκρασίας	26
3.1 Εποχιακά Διαγράμματα μέσης θερμοκρασίας για τα δεδομένα Eobs.....	26
3.2 ΧΕΙΜΩΝΑΣ.....	27
Περίληψη	27
Bias	28
Τυπική Απόκλιση.....	33
Θηκογράμματα (Boxplots)	35
Διαγράμματα Taylor	39

3.3 ΑΝΟΙΞΗ.....	42
Περίληψη	42
Bias	43
Τυπική Απόκλιση.....	46
Θηκογράμματα (Boxplots)	49
Διαγράμματα Taylor	52
3.4 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ.....	55
Περίληψη	55
Bias	56
Τυπική Απόκλιση.....	59
Θηκογράμματα (Boxplots)	62
Διαγράμματα Taylor	65
3.5 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ.....	68
Περίληψη	68
Bias	69
Τυπική Απόκλιση.....	72
Θηκογράμματα (Boxplots)	75
Διαγράμματα Taylor	78
4. Ανάλυση Βροχόπτωσης	81
4.1 Εποχιακά Διαγράμματα μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης για τα δεδομένα Eobs	81
4.2 ΧΕΙΜΩΝΑΣ.....	82
Περίληψη	82
Bias	83
Τυπική Απόκλιση.....	87
Θηκογράμματα (Boxplots)	90
Διαγράμματα Taylor	93
4.3 ΑΝΟΙΞΗ.....	97
Περίληψη	97
Bias	98
Τυπική Απόκλιση.....	103
Θηκογράμματα (Boxplots)	105
Διαγράμματα Taylor	108

4.4 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	111
Περίληψη	111
Bias	112
Τυπική Απόκλιση.....	116
Θηκογράμματα (Boxplots)	119
Διαγράμματα Taylor	122
4.5 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ.....	125
Περίληψη	125
Bias	126
Τυπική Απόκλιση.....	131
Θηκογράμματα (Boxplots)	133
Διαγράμματα Taylor	137
5. Συμπεράσματα Μέσης θερμοκρασίας	140
6. Συμπεράσματα Βροχόπτωσης	144
7. Αναγκαιότητα χρήσης ensemble	148
8. Επίλογος-Θέματα για επέκταση	151

Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων περιοχικών κλιματικών προσομοιώσεων για την περιοχή της Ευρώπης και για την παρελθοντική περίοδο 1990-2008 οι οποίες διενεργήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος EURO-Cordex. Οι παραπάνω προσομοιώσεις συγκρίνονται με παρατηρησιακά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της ίδιας περιόδου με απώτερο σκοπό να καταδειχθεί ο βαθμός αναπαραγωγής των χαρακτηριστικών του παρελθοντικού κλίματος, να αναδειχθούν συστηματικά σφάλματα και να εκτιμηθεί το εύρος της αβεβαιότητας των προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όλα τα μοντέλα μπορούν και προσομοιώνουν τα βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος της Ευρώπης καθώς και την μεταβλητότητα του σε χρονική και χωρική βάση τόσο για την βροχόπτωση όσο και για την μέση θερμοκρασία. Στην μέση θερμοκρασία κατά την Χειμερινή περίοδο (Χειμώνας-Άνοιξη) όλα τα μοντέλα είναι μετατοπισμένα προς ψυχρότερες κλιματικές καταστάσεις με μέσο όρο Bias -0.6°C . Αντίθετα το Καλοκαίρι υπάρχει ένα θετικό Bias στην νότια και νοτιοανατολική Ευρώπη αφού όλα σχεδόν τα μοντέλα εμφανίζονται θερμότερα από τις παρατηρήσεις. Κατα το Καλοκαίρι υπάρχει επίσης εμφανής υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης της μέσης θερμοκρασίας ενώ για όλες τις εποχές η χρονική συσχέτιση με τις παρατηρήσεις είναι πολύ υψηλή. Τα αποτελέσματα της βροχόπτωσης δείχνουν ότι τα περισσότερα μοντέλα παρουσιάζονται υγρά για όλες τις εποχές, περισσότερο έντονο όμως είναι το φαινόμενο για την εποχή της Άνοιξης όπου ο μέσος όρος Bias είναι 30%. Επίσης την ίδια εποχή υπάρχει εμφανής υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Για την βροχόπτωση η χρονική σύγκριση με τις παρατηρήσεις είναι χειρότερη σε σχέση με την θερμοκρασία ενώ τον Χειμώνα υπάρχει καλύτερη χρονική συσχέτιση σε σχέση με το Καλοκαίρι. Τέλος και για τις δύο υπο εξέταση μεταβλητές το μοντέλο CCLM4 εμφανίζει σταθερά τα μικρότερα σφάλματα και την καλύτερη σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις η υποπεριοχή που εμφανίζει το μεγαλύτερο απόλυτο Bias είναι οι Άλπεις.

1. Θεωρητική εισαγωγή

1.1 Κλιματολογία και κλίμα

Η παρούσα μελέτη εντάσσεται στο γνωστικό αντικείμενο της κλιματολογίας. Ως κλιματολογία ονομάζεται η επιστήμη η οποία ασχολείται με την περιγραφή και μελέτη του κλίματος. Παρά το ότι το κλίμα ήταν ανέκαθεν ανάμεσα στα ανθρώπινα ενδιαφέροντα, ήδη από τους αρχαίους χρόνους, η κλιματολογία ως επιστήμη είναι πολύ νεώτερη και γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη μόλις κατά τον 20ο αιώνα και ιδιαίτερα στο δεύτερο μισό του.

Ο καιρός όπως όλοι γνωρίζουμε ορίζεται ως η κατάσταση της ατμόσφαιρας σε ένα τόπο σε μια δεδομένη στιγμή. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO) η έννοια του κλίματος μπορεί να κατανοηθεί ως η έννοια του μέσου καιρού που επικρατεί σε ένα τόπο. Πιο αυστηρά το κλίμα ορίζεται τόσο από τις μέσες τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών όσο και από την μεταβλητότητά τους για μια περιοχή και για ένα χρονικό διάστημα που μπορεί να κυμαίνεται από μήνες έως χιλιάδες ή εκατομύρια χρόνια. Το μέγεθος της περιοχής μπορεί επίσης να ποικίλει

σημαντικά. Στην ουσία το κλίμα με μια ευρύτερη έννοια αποτελεί την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κλιματικό σύστημα. Το κλιματικό σύστημα περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα: ατμόσφαιρα, υγρόσφαιρα, κρυόσφαιρα, επιφάνεια της ξηράς και βιόσφαιρα. Επομένως είναι φανερό ότι λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας, των πολλών τμημάτων που το αποτελούν αλλά και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ αυτών είναι πάρα πολύ δύσκολο να περιγραφεί μαθηματικά και να μοντελοποιηθεί.

Χαρακτηριστικό του κλιματικού συστήματος είναι ότι αλλάζει διαρκώς λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των τμημάτων του. Πολύ σημαντικό ρόλο στις αλλαγές παίζουν και εξωγενείς παράγοντες όπως ηφαιστειακές εκρήξεις και αλλαγές στην ηλιακή δραστηριότητα. Σημαντικότατο ρόλο όμως διαδραματίζουν και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (εκπομπές στην ατμόσφαιρα, αλλαγή χρήσης γης κ.α.) και δικαιολογημένα αποτελούν αντικείμενο εκτεταμένων επιστημονικών ερευνών ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια.

1.2 Κλιματική Αλλαγή

Τίνει πλέον να γίνει αποδεκτό από το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής κοινότητας το γεγονός ότι οι ανθρωπίνες δραστηριότητες έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό το κλιματικό σύστημα και κατα επέκταση να οδηγήσουν σε μεταβολή στο ήδη υπάρχον κλίμα.

Ο όρος κλιματική αλλαγή που χρησιμοποιείται συχνά στις μέρες μας ορίζεται ως η διαφοροποίηση-μεταβολή του κλίματος, δηλαδή της μέσης κατάστασης του καιρού, λόγω ανθρωπογενών αλλά και φυσικών επιδράσεων.

Το κλίμα ενός τόπου αποτελεί αναμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του. Επομένως οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα μπορεί να έχει πάρα πολύ σημαντικές συνέπειες σε μια πληθώρα τομέων όπως στην οικονομία, στην κοινωνία, στον τουρισμό ακόμα και στην ανθρώπινη υγεία κ.τλ. Εφόσον σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις υπάρχει ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή, είναι αναγκαίο να εκτιμηθεί το είδος, ο βαθμός και η έντασή της. Η ανθρωπογενής εκπομπή όμως θερμοκηπικών αερίων δεν αναμένεται να σταματήσει στο κοντινό μέλλον επομένως είναι αναγκαίο να γίνει μια εκτίμηση των επιδράσεων που θα επιφέρει στα χαρακτηριστικά του μελλοντικού κλίματος.

Μία από τις μεγάλες δυσκολίες που έχει αυτό το εγχείρημα είναι ο διαχωρισμός των ανθρωπογενών επιδράσεων στο κλίμα από τις φυσικές, οι οποίες πολλές φορές είναι αρκετά ισχυρότερες. Επίσης θέλουμε να μάθουμε εάν η όποια κλιματική αλλαγή παρατηρείται ή προβλέπεται για το μέλλον είναι αποτέλεσμα εξωγενών παραγόντων ή οφείλεται και εμπίπτει εντός της φυσικής μεταβλητότητας που το ίδιο το κλίμα παρουσιάζει.

Η διαδικασία της προσομοίωσης του τωρινού αλλά και μελλοντικού κλίματος διενεργείται μέσω των αριθμητικών κλιματικών μοντέλων. Όπως όμως παρουσιάζεται και παρακάτω είναι μια προσπάθεια εξαιρετικά πολύπλοκη και δύσκολη εξαιτίας της τρομερής πολυπλοκότητας και των πολλών παραγόντων που κατευθύνουν το κλιματικό σύστημα.

1.3 Κλιματικά μοντέλα

1.3.1 Αριθμητικά μοντέλα

Το πλέον σύγχρονο και αποτελεσματικό εργαλείο με το οποίο μπορεί να επιτευχθεί η εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος ενός τόπου, είναι τα κλιματικά μοντέλα.

Τα κλιματικά μοντέλα αποτελούν το σημαντικότερο εργαλείο που έχουμε για την εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος. Όπως και τα μοντέλα πρόγνωσης του καιρού τα κλιματικά μοντέλα είναι στην ουσία αριθμητικά μοντέλα. Τα αριθμητικά μοντέλα είναι συστήματα διαφορικών εξισώσεων, με μερικές παραγώγους μετεωρολογικών μεταβλητών ως προς το χρόνο, τα οποία προβλέπουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα στη βάση των αρχών διατήρησης της ορμής, της μάζας, της ενέργειας και της υγρασίας. Επομένως αν γνωρίζουμε την αρχική κατάσταση της ατμόσφαιρας, μπορούμε να επιλύσουμε τις εξισώσεις και να πάρουμε τις τιμές των μεταβλητών στο μέλλον (δηλαδή να κάνουμε πρόγνωση). Αυτή είναι η βασική αρχή λειτουργίας οπουδήποτε κλιματικού ή μετεωρολογικού μοντέλου. Οι εξισώσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται σήμερα στα αριθμητικά μοντέλα είναι οι βασικές εξισώσεις – primitive equations οι οποίες περιγράφουν τις θεμελιώδεις διαδικασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα. Αυτές οι εξισώσεις διέπουν την κίνηση και τις θερμοδυναμικές μεταβολές που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και σχηματίζονται με βάση τις αρχές διατήρησης της ορμής, της μάζας, της ενέργειας και της υγρασίας.

Σήμερα τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν υπόψη τους διεργασίες που συμβαίνουν όχι μόνο στην ατμόσφαιρα αλλά και σε άλλα τμήματα του κλιματικού συστήματος όπως της επιφάνειας της ξηράς, των υδάτων, της βιόσφαιρας αλλά και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους.

Στην ουσία το κλιματικό μοντέλο είναι μια μαθηματική αναπαράσταση του κλιματικού συστήματος.

1.3.2 Παραμετροποίηση

Το κλιματικό σύστημα παρουσιάζει εξαιρετική πολυπλοκότητα. Επίσης σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει έλλειψη θεωρητικών γνώσεων για ορισμένα φαινόμενα και διεργασίες. Ακόμα όμως και σε περιπτώσεις όπου η θεωρητική γνώση δεν απουσιάζει η σημερινή υπολογιστική ισχύς καθιστά απαγορευτική την εφαρμογή της με κάθε λεπτομέρεια και σε κάθε συστατικό του συστήματος (παραδείγμα η μικροφυσική νεφών).

Εμφανίζεται έτσι η ανάγκη οι διεργασίες που εμφανίζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά να περιγραφούν με παραμετροποιήσεις. Δηλαδή γίνεται χρήση ορισμένων παραμέτρων οι οποίες με την βοήθεια εμπειρικών ή ημιεμπειρικών σχέσεων περιγράφουν μια ορισμένη διεργασία.

Στα σημερινά κλιματικά μοντέλα υπάρχει μια πληθώρα διαφορετικών παραμετροποιήσεων για τα ίδια φαινόμενα, διαθέσιμων για εφαρμογή. Πολλές φορές δεν υπάρχει ξεκάθαρη άποψη για το ποιά είναι η καλύτερη καθώς οι επιδόσεις τους μπορεί να εξαρτώνται από την περιοχή ολοκλήρωσης και τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούν. Το ίδιο μοντέλο χρησιμοποιώντας διαφορετικές παραμετροποιήσεις (parameterizations) για ένα μόνο μέγεθος ή διεργασία μπορεί να δώσει αποτελέσματα που να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (Katragkou et al., 2014). Σε πολλές περιπτώσεις η χρήση διαφορετικών παραμετροποιήσεων από το ίδιο μοντέλο οδηγεί σε αποτελέσματα

τα οποία παρουσιάζουν παρόμοια διασπορά με αυτά που έχουν εξαχθεί από διαφορετικά μοντέλα με ίδια σχήματα παραμετροποίησης.

Επομένως η επιλογή της κατάλληλης παραμετροποίησης είναι μια δύσκολη υπόθεση που αυξάνει την πολυπλοκότητα μιας κλιματικής προσομοίωσης.

1.3.3 Παγκόσμια και περιοχικά μοντέλα

Ένας βασικός τρόπος ταξινόμησης των ατμοσφαιρικών μοντέλων βασίζεται στο μέγεθος της περιοχής ολοκλήρωσης του μοντέλου. Ως περιοχή ολοκλήρωσης ορίζεται η περιοχή στην οποία το μοντέλο εκτελεί την προσομοίωσή του. Με βάση τον παραπάνω διαχωρισμό υπάρχουν δύο βασικά είδη ατμοσφαιρικών μοντέλων: τα παγκόσμια (global models) και τα περιορισμένης περιοχής (limited area models).

Όπως είναι αυτονόητο η περιοχή ολοκλήρωσης των παγκόσμιων μοντέλων καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη. Τα μοντέλα αυτά δεν χρειάζονται πλευρικές οριακές συνθήκες. Τα παγκόσμια μοντέλα συνηθίζονται να ονομάζονται και GCMs (Global ή General circulation models) ανεξάρτητα από τον τρόπο χρήσης τους (πρόγνωση καιρού, κλιματικές προσομοιώσεις ή έρευνα συγκεκριμένων φαινομένων).

Τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής δεν καλύπτουν ολόκληρο τον πλανήτη αλλά συγκεκριμένες μόνο περιοχές. Οι περιοχές ολοκλήρωσης βέβαια των μοντέλων περιορισμένης περιοχής καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος και μπορεί να κυμαίνονται από πολύ μεγάλες εκτάσεις, όπως ολόκληρες ηπείρους, μέχρι πολύ μικρές περιοχές, όπως ένα νομό μίας μικρής χώρας όπως η Ελλάδα. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα μοντέλα αυτά έναντι των GCMs είναι η δυνατότητα για διενέργεια προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης κάτι που λόγω υπολογιστικού φόρτου είναι πολύ δύσκολο να γίνει για ολόκληρη την γη από ένα GCM. Επίσης τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής έχουν πλευρικά και κατακόρυφα όρια, ενώ τα παγκόσμια μοντέλα που καλύπτουν όλη τη γη έχουν μόνο κατακόρυφα.

Τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής τα οποία χρησιμοποιούνται για κλιματικές προσομοιώσεις ονομάζονται RCMs ή regional climate models. Εξαιτίας της μεγαλύτερης χωρικής τους ανάλυσης τα RCMs είναι χρήσιμα για την διερεύνηση των επιδράσεων της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος σε περιοχική κλίμακα.

Επομένως μελέτες τέτοιου είδους είναι αναγκαίες για τους υπεύθυνους φορείς καθώς αποτελούν τα δεδομένα για περαιτέρω μελέτες των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής στο ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον, και συμβάλλουν στον ορθότερο καθορισμό των πολιτικών και στρατηγικών για τον περιορισμό των συνεπειών και την καλύτερη προσαρμογή της κοινωνίας στα νέα κλιματικά δεδομένα.

Για παράδειγμα ένα RCM μπορεί να προσομοιώσει με πολύ καλύτερα αποτελέσματα την επίδραση παραγόντων όπως η τοπογραφία στα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Εξαιτίας της περιορισμένης περιοχής ολοκλήρωσης τα RCMs εξαρτώνται ισχυρά από τα αποτελέσματα του GCM που χρησιμοποιείται για την παροχή των πλευρικών οριακών συνθηκών καθώς και από την μεταβολή των αποτελεσμάτων αυτών. Μία αλλαγή στις συνθήκες του κλίματος που προσομοιώνει το παγκόσμιο μοντέλο προφανώς και προκαλεί μεταβολές και στην τοπικής κλίμακας προσομοίωση του RCM. Σε

αρκετές περιπτώσεις αρκεί μια μικρή αλλαγή στα χαρακτηριστικά μιας μεταβλητής σε παγκόσμια κλίμακα για να δώσει αρκετά μεγάλες αλλαγές σε τοπική κλίμακα, κάτι που σημαίνει ότι μικρά λάθη των GCMs μπορεί να εμφανίσουν σημαντικά λάθη στις τοπικές προσομοιώσεις. Είναι λοιπόν σύνηθες τοπικές κλιματικές προσομοιώσεις του ίδιου μοντέλου RCM να διαφέρουν σημαντικά εάν έχουν οδηγηθεί από παγκόσμιες κλιματικές προσομοιώσεις που επίσης παρουσίαζαν διαφορές.

Για το λόγο αυτό μια συνήθης πρακτική είναι η αξιολόγηση ενός περιοχικού μοντέλου με οριακές συνθήκες από δεδομένα επανάλυσης (reanalysis) (perfect lateral boundary conditions experiments). Με τον τρόπο αυτό αξιολογείται η ικανότητα του ίδιου του περιοχικού μοντέλου να αναπαράξει το παρόν κλίμα και γίνεται δυνατό να αναδειχθούν συστηματικά σφάλματα τα οποία προέρχονται από τις παραμετροποιήσεις και τα σχήματα του κώδικα του μοντέλου και όχι από τα πεδία εξαναγκασμού (forcing fields).

Όπως γράφηκε και προηγουμένως μέσω ενός κλιματικού μοντέλου μπορούν να διενεργηθούν προσομοιώσεις του μελλοντικού κλίματος. Ένας παράγοντας που είναι καθοριστικής σημασίας για την διαμόρφωση του μελλοντικού κλίματος είναι οι ανθρωπογενείς εκπομπές, για τις οποίες όμως δεν μπορούμε φυσικά να γνωρίζουμε με βεβαιότητα την μελλοντική τους συμπεριφορά. Αυτό όμως που μπορεί να επιτευχθεί είναι να γίνει η εκτίμηση της απόκρισης του κλίματος σύμφωνα με διάφορα σενάρια εκπομπών. Δίνεται έμφαση στη χρήση της λέξης εκτίμηση και όχι στην πρόγνωση καθώς οι κλιματικές προσομοιώσεις βασίζονται ακριβώς στα σενάρια μελλοντικών εκπομπών τα οποία εμπεριέχουν πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες και εκ των πραγμάτων η επαλήθευσή τους διέπεται από μεγάλη αβεβαιότητα. Παρακάτω παραθέτονται λίγες περισσότερες πληροφορίες για τα κλιματικά σενάρια.

1.4.1 Κλιματικά σενάρια

Εφόσον τα επίπεδα των θερμοκηπικών αερίων επηρεάζουν την αλλαγή του κλίματος είναι απαραίτητο για μια κλιματική προσομοίωση να εκτιμηθούν οι μελλοντικές τους συγκεντρώσεις. Αυτό γίνεται μέσω των σεναρίων εκπομπών. Τα σενάρια αυτά εκτιμούν τις μελλοντικές συγκεντρώσεις αερίων κάνοντας διαφορετικές δυνατές υποθέσεις για τις παραμέτρους που τις επηρεάζουν (οικονομική κατάσταση, φιλικότητα προς περιβάλλον, πληθυσμός κ.τ.λ.). Στην ουσία τα σενάρια εκπομπών καθορίζουν τις συγκεντρώσεις του CO₂ και των άλλων θερμοκηπικών αερίων ως συνάρτηση του χρόνου. Με τον τρόπο αυτό δεν εκτιμούνται μόνο οι ανθρωπογενείς εκπομπές (ποσότητα, είδος) αλλά δεν χρειάζεται να παραμετροποιηθούν και οι φυσικές διαδικασίες οι οποίες ρυθμίζουν τις συγκεντρώσεις. Οι διαδικασίες αυτές περιλαμβάνουν χημικές και βιολογικές παραμέτρους που ρυθμίζουν τις αναδράσεις του οικοσυστήματος μπροστά στις αυξημένες συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων. Ως αποτέλεσμα είναι πάρα πολύ πολύπλοκες και εμπεριέχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας ενώ ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι και οι γνώσεις μας πάνω στο αντικείμενο δεν είναι πλήρεις. Στην ουσία λοιπόν με τα σενάρια εκπομπών δεν εκτιμώνται μόνο οι ανθρωπογενείς εκπομπές για τις οποίες υπάρχει μια εγγενής αβεβαιότητα αλλά παραμετροποιούνται, υποτυπωδώς βέβαια, και οι φυσικές αντιδράσεις στην μελλοντική αύξηση. Πρόκειται για μια απλούστευση η οποία όμως, λαμβάνοντας υπόψη το σημερινό επίπεδο γνώσεων και υπολογιστικής ικανότητας, αποτελεί μια ικανοποιητική λύση.

1.4.2 IPCC scenarios

Τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα σενάρια είναι αυτά που τυποποιούνται και καθορίζονται από το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Το IPCC είναι ο κυρίαρχος διεθνής φορέας για την εκτίμηση της κλιματικής αλλαγής. Ιδρύθηκε το 1988 από τα Ηνωμένα Έθνη και συγκεκριμένα το United Nations Environment Programme (UNEP) και τον World Meteorological Organization (WMO) με στόχο να παρέχει στον κόσμο μία καθαρή επιστημονική εικόνα της παρούσας κατάστασης της γνώσης πάνω στην κλιματική αλλαγή και τις πιθανές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις. Αξιολογεί και εκτιμά όλες τις νέες επιστημονικές πληροφορίες πάνω στην κλιματική αλλαγή και τις επιδράσεις της ενώ ο ίδιος ο φορέας δεν διεξάγει έρευνες ούτε παρακολουθεί κλιματικά δεδομένα και παραμέτρους.

Τα κλιματικά σενάρια που δημοσιεύει το IPCC επανεξετάζονται και βελτιώνονται με στόχο να γίνονται κάθε φορά ακόμα πιο αντιπροσωπευτικά και εύκολα στην χρήση. Η πρώτη ομάδα σεναρίων (IS92) εμφανίστηκε το 1992. Το 2000 δημοσιεύτηκε η δεύτερη γενιά σεναρίων τα Special Report Emission Scenarios (SRES). Χωρίζονταν σε 4 οικογένειες σεναρίων (A1,A2,B1,B2) και χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα.

Η τρίτη και πιο πρόσφατη ομάδα σεναρίων αποτελούν τα RCPs ή Representative Concentration Pathways. Έχουν αντικαταστήσει τα SRES και έχουν χρησιμοποιηθεί στην νεώτερη αναφορά του IPCC για την κλιματική αλλαγή, την IPCC Assessment Report Five (AR5).

Υπάρχουν τέσσερα RCPs: RCP8.5, RCP6, RCP4.5, and RCP2.6. Τα νούμερα αναφέρονται στο radiative forcing (ενεργειακή ανισορροπία), μετρούμενο σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο, για το έτος 2100.

Εκτός από το forcing τα RCPs βασίζονται και στον ρυθμό εκπομπής ανθρωπογενών θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Εκτιμούν έτσι τις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων ως προς τον χρόνο.

Στο όνομα των νέων σεναρίων υπάρχει η λέξη pathway η οποία μεταφράζεται ως μονοπάτι. Κάθε «μονοπάτι» καταλήγει σε δύο τιμές για το έτος 2100: μία για το forcing και μία για τις συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων. Κάθε σενάριο διαφέρει σημαντικά στον ρυθμό αλλαγής των δύο αυτών παραμέτρων. Αυτοί οι διαφορετικοί ρυθμοί μεταβολής καθορίζουν το κάθε μονοπάτι που αντιπροσωπεύει το κάθε σενάριο και οδηγεί σε μια συγκεκριμένη κατάσταση για το έτος 2100.

Είναι σημαντικό εδώ να αναφερθεί ότι τα σενάρια RCPs περιλαμβάνουν μόνο τις ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών.

1.5 Αξιολόγηση

Είδαμε ότι αναμφίβολα η αλλαγή των κλιματικών συνθηκών ενός τόπου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό γεγονός. Για το λόγο αυτό άλλωστε ξοδεύεται τόσος πολύς κόπος, χρόνος και χρήματα για την προσομοίωση των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών. Είναι απολύτως λογικό λοιπόν να θέλουμε να

γνωρίζουμε πόσο ακριβής είναι η κάθε κλιματική προσομοίωση. Σε αντίθεση όμως με την πρόγνωση του καιρού όπου ο βαθμός της επιτυχίας επιβεβαιώνεται μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα από την αρχή της πρόγνωσης, στις κλιματικές προσομοιώσεις οι οποίες πολλές φορές εκτιμούν την εξέλιξη του κλίματος σε βάθος αρκετών δεκαετιών δεν υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης που να επιβεβαιώσει ή όχι την επιτυχία της προσομοίωσης.

Στην περίπτωση αυτή για την αξιολόγηση ενός κλιματικού μοντέλου ή ορθότερα μιας κλιματικής του προσομοίωσης χρησιμοποιούνται δεδομένα του παρόντος κλίματος. Το κλιματικό μοντέλο εκτελεί μια προσομοίωση για ένα παρελθοντικό χρονικό διάστημα οδηγούμενο από δεδομένα επανάλυσης (hindcast) για το οποίο είναι διαθέσιμα στοιχεία παρατηρήσεων και στην συνέχεια γίνεται σύγκριση της εκτίμησης του μοντέλου με τις παρατηρήσεις. Στην ουσία η διαδικασία αυτή της αξιολόγησης βασίζεται στην υπόθεση ότι εφόσον ένα μοντέλο εκτιμάει σωστά το παρόν κλίμα τότε είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μελλοντικές εκτιμήσεις, αφού αναπαράγει σωστά τις βασικές κλιματικές διεργασίες και μηχανισμούς ανάδρασης. Αυτό τον δρόμο ακολουθεί και η παρούσα εργασία καθώς προσομοιώσεις από έξι διαφορετικά μοντέλα, οδηγούμενα από δεδομένα επανάλυσης, συγκρίνονται με ειδικά επεξεργασμένα δεδομένα παρατηρήσεων.

Η αξιολόγηση ενός μοντέλου είναι προφανώς ένα πάρα πολύ σημαντικό κομμάτι του και θα έπρεπε να προσφέρεται στους χρήστες και φορείς που λαμβάνουν και τις αντίστοιχες κλιματικές προγνώσεις του εκάστοτε μοντέλου έτσι ώστε οι τελευταίοι να μπορούν να γνωρίζουν πόσο αξιόπιστη είναι η συγκεκριμένη προσομοίωση. Η αξιολόγηση πάντως δεν προσφέρει μόνο μια πληροφορία για το πόσο καλές ή άσχημες είναι οι επιδόσεις ενός μοντέλου. Αποτελεί ένα πολύ βασικό κομμάτι της ανάπτυξης και βελτίωσης ενός μοντέλου καθώς μπορεί να αναδείξει συγκεκριμένα σφάλματα και περιοχές ανεπάρκειας οι οποίες χρήζουν περαιτέρω εξέλιξης. Σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί μέσω της αξιολόγησης να σκιαγραφηθούν και οι φυσικές διεργασίες που δεν περιγράφονται σωστά και οδηγούν σε αυξημένα σφάλματα, αυτό όμως είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία που απαιτεί εις βάθος ανάλυση. Επίσης η αξιολόγηση μπορεί να βοηθήσει στην σωστή ρύθμιση του μοντέλου (σετάρισμα) (Bellprat et al., 2012) για να αποδώσει ικανοποιητικά σε συγκεκριμένες συνθήκες (π.χ. σε συγκεκριμένη περιοχή) ενώ επιπρόσθετα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον προσδιορισμό του ειδικού 'βάρους' του κάθε μοντέλου (Christensen et al., 2010) σε ένα σύνολο μοντέλων που εκτελούν μια προσομοίωση (ensemble).

1.6.1 Δεδομένα reanalysis

Ειπώθηκε προηγουμένως ότι τα αποτελέσματα ενός RCM εξαρτώνται από τα δεδομένα που τροφοδοτούν τις πλευρικές συνθήκες. Αυτά σε μία προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος προέρχονται από ένα παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο (GCM). Όταν όμως σε μία αξιολόγηση θέλουμε το μοντέλο να προσομοιώσει σωστά το παρελθοντικό κλίμα τότε πρέπει να του παρέχουμε δεδομένα για τα πλευρικά του όρια τα οποία να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερα στην παρελθοντική κατάσταση με σκοπό φυσικά να εξαλειφθεί η ανακρίβεια των αρχικών οριακών συνθηκών ως πηγή σφάλματος στις προσομοιώσεις.

Η καλύτερη πηγή δεδομένων μεγάλης ακρίβειας για παρελθοντικές καταστάσεις είναι τα δεδομένα από προγράμματα επανάλυσης (reanalysis). Ένα πρόγραμμα επανάλυσης περιλαμβάνει την περαιτέρω επεξεργασία παρατηρησιακών δεδομένων μέσω ενός σταθερού συστήματος ανάλυσης δεδομένων.

Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ένα πλήθος τεχνικών όπως την χωρική παρεμβολή των αρχικών δεδομένων ή ακόμα την παραγωγή δευτερευόντων μεταβλητών από τις αρχικές παρατηρήσεις. Σε κάποιες περιπτώσεις όπως για τις μεταβλητές της βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής για τις οποίες δεν υπάρχουν αρκετά ή καθόλου δεδομένα σε επαρκή χωρική έκταση μπορεί να γίνει χρήση ενός αριθμητικού μοντέλου για τον υπολογισμό των τιμών τους. Επομένως τα δεδομένα επανάλυσης δεν αποτελούν την πραγματικότητα αλλά μια εκτίμηση, την καλύτερη που μπορούμε να έχουμε, της πραγματικής κατάστασης της ατμόσφαιρας μια δεδομένη στιγμή. Προγράμματα επανάλυσης όπως αυτό του ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) παράγουν βάσεις δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετεωρολογικές και κλιματολογικές εφαρμογές (ERA40, ERAinterim κ.τ.λ.).

Όλα τα μοντέλα που αξιολογούνται στην παρούσα εργασία έχουν οδηγηθεί από δεδομένα του ERA-Interim. Πρόκειται για την πιο πρόσφατη επανάλυση του ECMWF η οποία καλύπτει την περίοδο από το 1979 μέχρι και σήμερα. Είναι προφανές ότι σε μία προσπάθεια αξιολόγησης αρκετών μοντέλων είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν από όλα τα μοντέλα ίδια δεδομένα reanalysis έτσι ώστε να αποφευχθούν σφάλματα στα αποτελέσματα που οφείλονται στις διαφορές στα αρχικά δεδομένα οδήγησης.

Ως οδήγημα (forcing) ονομάζεται η πράξη κατά την οποία το περιοχικό μοντέλο εφοδιάζεται στα πλευρικά όρια της περιοχής εφαρμογής με τις τιμές των μεταβλητών που χρειάζεται (θερμοκρασία, πίεση, άνεμος, κ.τ.λ.) για να διεξάγει την προσομοίωση. Στην ουσία πρόκειται για την είσοδο αρχικών οριακών συνθηκών στο περιοχικό μοντέλο. Η οδήγηση του RCM γίνεται σε μια μεταβατική ζώνη, λεγόμενη και ως sponge zone, η οποία συνήθως περιλαμβάνει τα πρώτα πέντε έως δέκα σημεία πλέγματος στην περιφέρεια της περιοχής εφαρμογής. Οι τιμές στα όρια αυτά συνδυάζονται σταδιακά με τις τιμές του περιοχικού μοντέλου σε κάθε ένα από τα χρονικά του βήματα. Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές τεχνικές οδήγησης και ενσωμάτωσης ενός RCM (Davies relaxation, spectral nudging, etc.).

1.6.2 Δεδομένα επανάλυσης ERA-Interim

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως όλα τα μοντέλα που αξιολογούνται στην παρούσα εργασία έχουν οδηγηθεί από δεδομένα του ERA-Interim. Το πρόγραμμα ERA-Interim αποτελεί το πιο σύγχρονο πρόγραμμα επανάλυσης δεδομένων σε παγκόσμια κλίμακα που έχει παραχθεί από το ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Καλύπτει την περίοδο μετά από την 1 Ιανουαρίου 1989 και συνεχίζει να επεκτείνεται σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα δίνονται σε πλεγματική μορφή και περιλαμβάνουν μεγάλη ποικιλία μεταβλητών επιφανείας σε 3ωρα χρονικά βήματα, που περιγράφουν τόσο τις καιρικές συνθήκες όσο και την κατάσταση της επιφάνειας της θάλασσας και του εδάφους. Επίσης περιλαμβάνει μεταβλητές της ανώτερης ατμόσφαιρας σε 6ωρα χρονικά βήματα που καλύπτουν την τροπόσφαιρα και την στρατόσφαιρα.

Το πρόγραμμα ERA-Interim υλοποιήθηκε ως ένα πρόγραμμα γέφυρα μεταξύ του πολύ επιτυχημένου προγράμματος επανάλυσης ERA-40 που ολοκληρώθηκε το 2002 και των μελλοντικών σχεδίων για προγράμματα επανάλυσης από το ECMWF. Ένας βασικός στόχος του προγράμματος ήταν να υπάρξει πρόοδος σε πολλά προβλήματα ενσωμάτωσης δεδομένων (data assimilation) που παρουσιάστηκαν στο ERA-40 κυρίως σε ότι αφορά την χρήση δορυφορικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα του

προγράμματος σε αυτήν την κατεύθυνση έχουν θεωρηθεί αρκετά επιτυχημένα με το ERA-Interim να παρουσιάζει για παράδειγμα αρκετά καλύτερη αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου και της στρατοσφαιρικής κυκλοφορίας σε σχέση με το ERA-40.

1.7 Ensembles και αβεβαιότητες μοντέλων

Ένα σύνολο από κλιματικές προσομοιώσεις, όπως παρουσιάζεται και στην μελέτη αυτή, αναφέρεται στην βιβλιογραφία με τον όρο ensemble. Ένα ensemble μπορεί να περιέχει κλιματικές προσομοιώσεις από διαφορετικά μοντέλα (Multi-model ensemble), προσομοιώσεις από το ίδιο μοντέλο αλλά με την επιλογή διαφορετικών παραμετροποιήσεων (Multi-physics ensemble) και τέλος προσομοιώσεις όπου και το μοντέλο και οι παραμετροποιήσεις διαφέρουν. Στην παρούσα μελέτη ισχύει η τελευταία περίπτωση.

Η χρήση ενός ensemble προσομοιώσεων αποτελεί μια αρκετά καλύτερη λύση από την διενέργεια μιας και μόνο προσομοίωσης. Αυτό οφείλεται στις πολλές και διαφορετικές αβεβαιότητες που υπάρχουν στις προσομοιώσεις αυτές και ιδιαίτερα στις προσομοιώσεις περιοχικής κλίμακας.

Το αποτέλεσμα μίας περιοχικής κλιματικής προσομοίωσης εξαρτάται από:

- Το παγκόσμιο μοντέλο ή τα δεδομένα παρατηρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την τροφοδότηση του περιοχικού μοντέλου RCM.
- Τα χαρακτηριστικά του ίδιου του RCM
- Τα σχήματα παραμετροποιήσεων που χρησιμοποιούνται
- Τα σενάρια εκπομπών

Επομένως η καλύτερη μέθοδος που υπάρχει σήμερα είναι η χρησιμοποίηση ενός συνόλου προσομοιώσεων, όσο πολυπληθούς γίνεται, όπου πολλοί από τους παραπάνω παράγοντες θα διαφοροποιούνται. Με τον τρόπο αυτό σκιαγραφείται το εύρος μέσα στο οποίο είναι πιθανότερο να κινηθεί η κατάσταση του μελλοντικού κλίματος, αλλά επίσης δίνεται η δυνατότητα να διερευνηθεί η επίδραση των διαφόρων πηγών αβεβαιότητας στο τελικό αποτέλεσμα.

1.8 Cordex

Όπως ειπώθηκε και προηγουμένως στην παρούσα εργασία γίνεται χρήση ενός multi-model multi-physics ensemble. Οι συγκεκριμένες κλιματικές προσομοιώσεις εντάσσονται στο πλαίσιο του προγράμματος Cordex (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment). Το Cordex δημιουργήθηκε από τις ενέργειες του World Climate Research Programme (WRCP) με την βοήθεια και αλληλεπίδραση της ευρύτερης επιστημονικής κοινότητας. Το WRCP καθιερώθηκε το 1980 με την κοινή χορηγία και βοήθεια του International Council for Science (ICSU) και του World Meteorological Organization (WMO), ενώ από το 1993 υποστηρίζεται από το Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC of UNESCO).

Το Cordex στην ουσία αποτελεί ένα πλαίσιο βασικός στόχος του οποίου είναι να εξελίξει, να συντονίσει και συστηματοποιήσει τις έρευνες και την εφαρμογή των κλιματικών προσομοιώσεων περιοχικής κλίμακας.

Υπάρχουν δύο επιμέρους στόχοι. Ο ένας αναφέρεται στην εξέλιξη και συστηματοποίηση της αξιολόγησης των περιοχικών μοντέλων (συγκεκριμένα δεδομένα επανάλυσης, metrics, τεχνικές αξιολόγησης). Ο δεύτερος στόχος αποτελεί την προσπάθεια για διενέργεια νέων μελλοντικών κλιματικών προσομοιώσεων χρησιμοποιώντας τα νέα σενάρια εκπομπών του IPCC και συστηματοποιώντας παράγοντες όπως οι περιοχές ολοκλήρωσης, η ανάλυση κ.τ.λ. Επίσης γίνεται προσπάθεια όλα τα δεδομένα που εντάσσονται στο πλαίσιο του Cordex να είναι εύκολα διαθέσιμα με συγκεκριμένη και κοινή διαμόρφωση.

2. Δεδομένα και μεθοδολογία

2.1 Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από έξι hindcast προσομοιώσεις διαφορετικών κλιματικών μοντέλων που διενεργήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος Euro-Cordex. Η πρόσβαση στα δεδομένα αυτά έγινε μέσω της ιστοσελίδας του ESGF (Earth System Grid Federation), το οποίο αποτελεί μία συνεργασία πολλών και διαφορετικών φορέων που αναπτύσσει και παρέχει υποδομές λογισμικού για την διαχείριση και ανάλυση δεδομένων τόσο προερχόμενα από προσομοιώσεις μοντέλων όσο και παρατηρησιακών.

Πίνακας 2.1: Τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν

Μοντέλο	Φορέας
ALADIN53	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)
CCLM4	CLM Community (CLMCOM)
HIRHAM5	Danish Meteorological Institute (DMI)
RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
REGCM4	International Centre for Theoretical Physics (ICTP)
WRF331F	Institut Pierre Simon Laplace/Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (IPSL- INERIS)

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ημερήσιων τιμών μέσης θερμοκρασίας (2m) και βροχόπτωσης. Το χρονικό εύρος που επιλέχθηκε προς ανάλυση είναι το διάστημα 1990-2008 ενώ η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι 0.44° , που αντιστοιχεί σε περίπου 50km απόσταση μεταξύ σημείων του πλέγματος.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι διάφορες παραμετροποιήσεις που χρησιμοποιήθηκαν από το κάθε μοντέλο.

Πίνακας 2.2: Οι παραμετροποιήσεις των κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν

2.2 Δεδομένα παρατηρήσεων (Eobs)

Η ουσία της αξιολόγησης είναι η σύγκριση της προσομοίωσης του παρελθοντικού κλίματος από το εκάστοτε μοντέλο με την πραγματική παρελθούσα κλιματική κατάσταση. Η πραγματική κατάσταση του κλίματος δίνεται από τα δεδομένα παρατηρήσεων τα οποία προφανώς αποτελούν ένα πάρα πολύ σημαντικό κομμάτι της αξιολόγησης καθώς ανακριβή ή λανθασμένα δεδομένα μπορούν να εισάγουν πολύ ισχυρά σφάλματα στα αποτελέσματά της.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση v.11 της βάσης ημερήσιων παρατηρησιακών δεδομένων E-OBS (E-OBS v.11) για τις μεταβλητές της μέσης θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Η έκδοση αυτή κατέστη διαθέσιμη από τον Απρίλιο του 2015. Πρόκειται για δεδομένα σε μορφή πλέγματος τα οποία καλύπτουν την περιοχή της Ευρώπης και Μεσογείου (25N-75N x 40W-75E) πάνω από την ξηρά για την περίοδο 1950-01-01 ως 2014-12-31. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πλέγματος 0.44 degree rotated pole grid, με τον 'Βόρειο Πόλο' στα 39.25N, 162W (Haylock et al. 2008).

Τα δεδομένα Eobs αναπτύχθηκαν αρχικά μέσω του προγράμματος ENSEMBLES με σκοπό να χρησιμοποιηθούν για μελέτες κλιματικής αλλαγής και για την αξιολόγηση περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs). Τώρα η διαχείρισή και εξέλιξή τους γίνεται μέσω του προγράμματος EURO4M. Πρόκειται για την πλεγματική μορφή των δεδομένων ECA&D τα οποία συντονίζει το Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). Το European Climate Assessment and Dataset (ECA&D) είναι μια βάση δεδομένων ημερησίων παρατηρήσεων από μετεωρολογικούς σταθμούς σε όλη την Ευρώπη που σταδιακά επεκτείνονται στην Μέση Ανατολή και Βόρειο Αφρική. Σήμερα εμπεριέχει δεδομένα από 7848 σταθμούς για 12 παραμέτρους. Τα δεδομένα τα οποία προορίζονται για πλεγματική αναπαράσταση συμπληρώνονται και από συνοπτικά μηνύματα (SYNOP) ενώ κενά που υπάρχουν στις χρονοσειρές ενός σταθμού μπορεί να συμπληρωθούν με βάση τις παρατηρήσεις των διπλανών του σταθμών. Τα δεδομένα που συλλέγονται περνούν μια σειρά από ποιοτικούς ελέγχους με σκοπό να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία τους. Ανιχνεύονται και απομακρύνονται παράτυπες και υπερβολικές τιμές (outliers), γίνεται έλεγχος ομοιογένειας και γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστούν προβλήματα που προέρχονται από τις διαφορετικές πρακτικές παρατήρησης που εφαρμόζει η κάθε εθνική μετεωρολογική υπηρεσία (διαφορετικές ώρες παρατήρησης, διαφορετική πρακτική αντιστοίχισης ημερομηνίας σε ορισμένες μεταβλητές όπως μέγιστη θερμοκρασία και βροχόπτωση).

Η αναπαράσταση των δεδομένων από σημειακές παρατηρήσεις σε πλεγματική μορφή γίνεται με την βοήθεια τεχνικών χωρικής παρεμβολής. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι σύνθετη καθώς δόθηκε πολύ προσοχή στην εύρεση του καλύτερου τρόπου παρεμβολής. Η παρεμβολή των δεδομένων γίνεται με τρία βήματα: Πρώτα γίνεται παρεμβολή των μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας την τεχνική thin-plate splines, έπειτα παρεμβάλλονται χωρικά οι ημερήσιες ανωμαλίες θερμοκρασίας με την μέθοδο του kriging (και τέλος συνδυάζονται οι μηνιαίες και ημερήσιες εκτιμήσεις. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της βάσης δεδομένων E-OBS είναι ότι περιέχει τα ημερήσια εκτιμώμενα σφάλματα λόγω της χωρικής παρεμβολής.

Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας χωρικής παρεμβολής είναι να δημιουργήσει ένα σετ δεδομένων το οποίο θα παρέχει την καλύτερη δυνατή εκτίμηση μέσω των τιμών των κουτιών πλέγματος (grid box

averages) και όχι σημειακών τιμών, ακριβώς για να διευκολυνθεί η άμεση σύγκριση με τα αποτελέσματα ενός RCM. Μια άμεση σύγκριση μεταξύ μοντέλου και πλεγματοειδών δεδομένων παρεμβολής υποθέτει ότι οι παρατηρήσεις και το μοντέλο εκφράζουν διαδικασίες ίδιας χωρικής κλίμακας. Γενικά τα μοντέλα θεωρείται ότι αναπαριστούν τις μέσες διεργασίες σε ένα πλεγματοειδές κουτί και όχι σημειακές διεργασίες. Επομένως ένα σετ δεδομένων, όπως τα EOBS, στο οποίο κάθε τιμή του σημείου πλέγματος είναι η καλύτερη εκτίμηση των παρατηρήσεων που βρίσκονται εντός του συγκεκριμένου πλεγματοειδούς κουτιού είναι το καταλληλότερο σετ δεδομένων για την αξιολόγηση ενός μοντέλου (Haylock et al. 2008).

Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων επιλέχθηκε επειδή είναι από τις πιο ολοκληρωμένες με αποδεκτή ανάλυση που καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης. Αντίστοιχα σετ δεδομένων που υπάρχουν είτε έχουν χειρότερη ανάλυση, είτε καλύπτουν μικρότερη χρονική περίοδο, είτε δεν καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης. Τα δεδομένα EOBS έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην βιβλιογραφία (Vautard et al. 2013, Katragkou et al. 2014, Kotlarski et al. 2014).

2.3 Μεθοδολογία

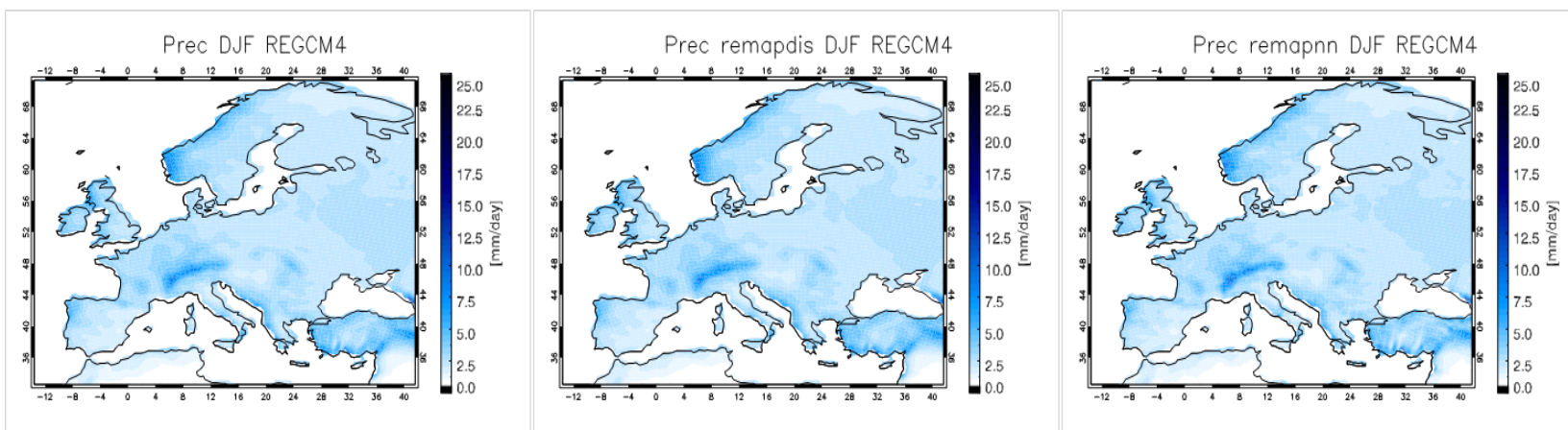
2.3.1 Regridding-interpolation

Επειδή τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων στα περισσότερα μοντέλα δίνονται σε διαφορετικό πλέγμα από αυτό των EOBS κρίθηκε αναγκαία η χωρική παρεμβολή (interpolation) των δεδομένων των μοντέλων στο πλέγμα των παρατηρησιακών δεδομένων για να μπορέσει να γίνει η κελί προς κελί (grid cell) σύγκρισή τους.

Η χωρική παρεμβολή των δεδομένων σε διαφορετικό πλέγμα αποτελεί πάντως μία πηγή λάθους καθώς η σύγκριση σε ένα συγκεκριμένο κελί γίνεται μεταξύ της παρατηρούμενης τιμής και της εκτίμησης της τιμής του μοντέλου στο κελί αυτό σύμφωνα με την μέθοδο παρεμβολής που έχει επιλεγεί.

Η μέθοδος χωρικής παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε και για τις δύο μεταβλητές, μέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης ήταν η Bilinear interpolation. Για την βροχόπτωση καταλληλότερη θεωρείται η Conservative interpolation η οποία έχει την ιδιότητα να διατηρεί σταθερό το ποσό του μεγέθους που βρίσκεται σε όλη την στήλη που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο κελί. Δυστυχώς με την συγκεκριμένη χωρική παρεμβολή αντιμετωπίστηκαν τεχνικά προβλήματα. Για την βροχόπτωση εκτός της Bilinear δοκιμάστηκαν και οι μέθοδοι Inverse distance-weighted (IDW), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για βροχόπτωση (Chen, 2012), και η Nearest neighbor (NN), μία αρκετά απλή μέθοδος. Έγιναν διαγράμματα μέσης εποχιακής βροχόπτωσης για το μοντέλο REGCM4 και με τις τρεις διαθέσιμες μεθόδους και δεν παρατηρήθηκαν παρά ελάχιστες διαφορές μεταξύ των πεδίων βροχόπτωσης. Στο τέλος επιλέχθηκε η ίδια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε και για την χωρική παρεμβολή της θερμοκρασίας.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τρία διαγράμματα μέσης βροχόπτωσης για τον Χειμώνα και το μοντέλο REGCM4. Στην πρώτη περίπτωση έχει χρησιμοποιηθεί η Bilinear, στο δεύτερο η IDW και στο τρίτο η NN.



Σχήμα 2.3.1 : Σύγκριση τριών διαφορετικών μεθόδων χωρικής παρεμβολής

Παρατηρούμε ότι το χωρικό μοτίβο της μέσης ημερήσια βροχόπτωσης που παράχθηκε και από τις τρεις διαφορετικές μεθόδους χωρικής παρεμβολής είναι σχεδόν ταυτόσημο. Σε όσες περιπτώσεις υπάρχουν διαφορές αυτές αντιστοιχούν μόνο σε μία χρωματική διαβάθμιση της κλίμακας κάτι που αντιστοιχεί σε μόλις 0.5mm/day. Έτσι λοιπόν οποιαδήποτε μέθοδος παρεμβολής και να επιλεγόταν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης θα ήταν απaráλλαχτα ιδιαίτερα σε ότι αφορά τις χωρικές μεσοποιήσεις των μετρικών (metrics) που χρησιμοποιήθηκαν.

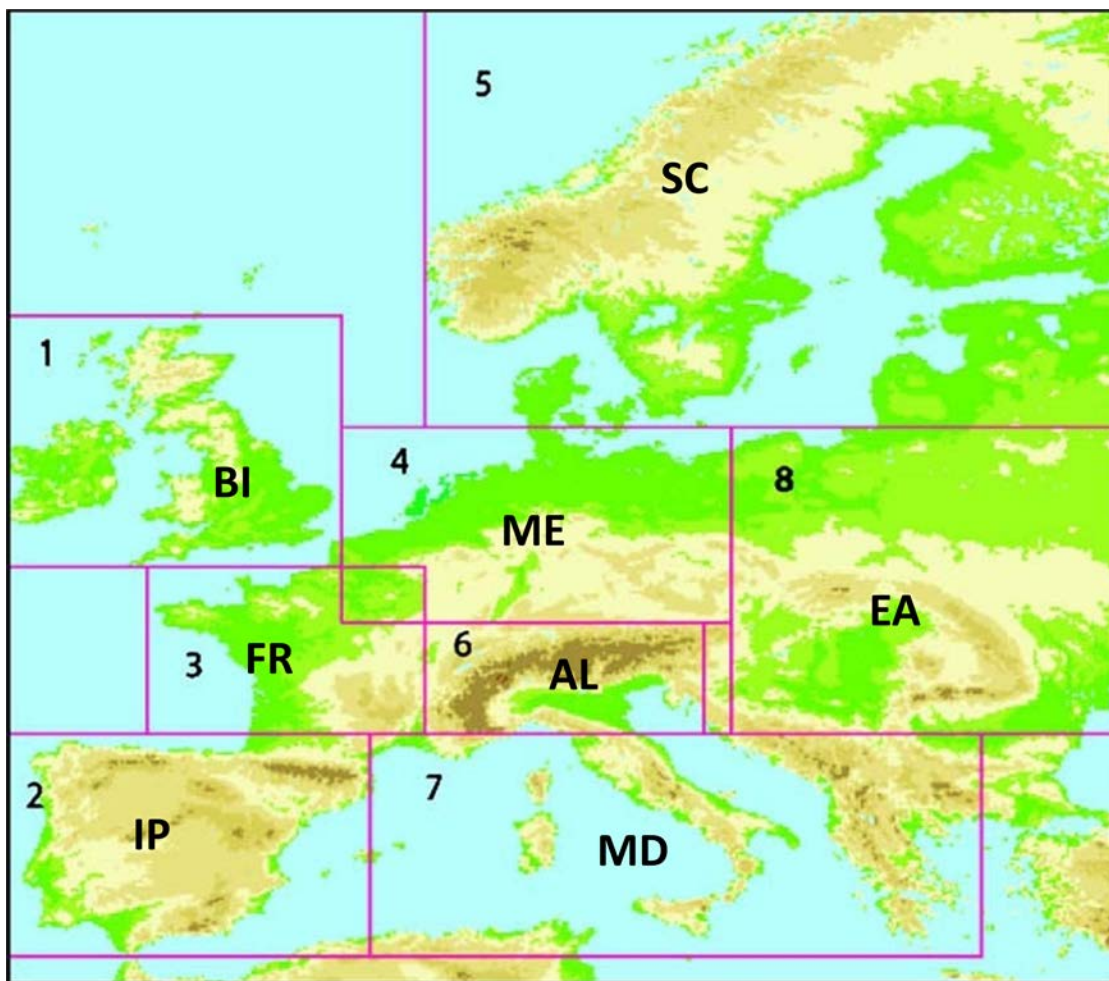
2.3.2 Περιοχές ανάλυσης

Η αξιολόγηση και ανάλυση των κλιματικών προσομοιώσεων έγινε για ένα μεγάλο μέρος της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Επειδή ο χώρος όμως της Ευρώπης παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία κλιμάτων και μεταβλητότητας κρίθηκε σκόπιμο η ανάλυση να διαχωριστεί σε οκτώ ξεχωριστές υποπεριοχές. Οι υποπεριοχές αυτές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα ενώ η χωρική τους έκταση στο σχήμα που ακολουθεί. Οι συγκεκριμένες υποπεριοχές καθορίστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος PRUDENCE (Christensen et al., 2007) και συνήθως αναφέρονται ως υποπεριοχές PRUDENCE με την χρήση τους στην βιβλιογραφία να είναι αρκετά εκτενής. Στην συγκεκριμένη εργασία θα αναφέρονται απλά ως υποπεριοχές. Είναι φανερό ότι οι διάφορες υποπεριοχές δεν έχουν ίση χωρική έκταση. Απλώς η επιλογή τους έγινε γιατί εκπροσωπούν σχετικά ομογενείς κλιματικές συνθήκες. Βέβαια αυτό δεν σημαίνει ότι εντός της κάθε περιοχής υπάρχει απόλυτη ομογένεια. Χαρακτηριστικό είναι ότι η υποπεριοχή των Άλπεων καθώς περιλαμβάνει όχι μόνο τις ορεινές εκτάσεις της οροσειράς των Άλπεων αλλά και τις εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις στο βόρειο τμήμα της Ιταλίας. Αυτό την καθιστά μια εξ ορισμού δύσκολη περιοχή για να αποδοθεί σωστά από τα κλιματικά μοντέλα.

Τέλος πρέπει να ειπωθεί ότι η ανάλυση έγινε μόνο για το κομμάτι της ξηράς και δεν επεκτάθηκε για την θαλάσσια περιοχή.

Πίνακας 2.3.2: Χωρικές συντεταγμένες (μοίρες) των υποπεριοχών που χρησιμοποιήθηκαν

Area	West	East	South	North
1 (BI) British Isles	-10	2	50	59
2 (IP) Iberian Peninsula	-10	3	36	44
3 (FR) France	-5	5	44	50
4 (ME) Mid-Europe	2	16	48	55
5 (SC) Scandinavia	5	30	55	70
6 (AL) Alps	5	15	44	48
7 (MD) Mediterranean	3	25	36	44
8 (EA) Eastern Europe	16	30	44	55



Σχήμα 2.3.2 : Οι υποπεριοχές Prudence που χρησιμοποιήθηκαν

2.3.3 Διόρθωση θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία είναι μία παράμετρος που παρουσιάζει ισχυρή εξάρτηση από το υψόμετρο. Ιδιαίτερα στην τροπόσφαιρα, το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας, παρατηρείται ομοιόμορφη ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα με το ύψος. Ο ρυθμός αυτός ελάττωσης υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε παγκόσμια κλίμακα σε 6.5 C/km.

Τόσο τα παρατηρησιακά δεδομένα όσο και τα μοντέλα βασίζονται σε συγκεκριμένα αρχεία ορογραφίας για να αντιστοιχήσουν σε κάθε σημείο πλέγματος μία τιμή υψομέτρου. Εάν λοιπόν η ορογραφία του μοντέλου και των παρατηρησιακών δεδομένων παρουσιάζουν διαφορές θα υπάρχουν διαφορές στην παράμετρο της θερμοκρασίας ακριβώς λόγω της εξάρτησής της από το ύψος.

Επομένως για να αποφευχθούν σφάλματα στην σύγκριση της θερμοκρασίας που οφείλονται στην ορογραφία γίνεται διόρθωση των αποτελεσμάτων θερμοκρασίας του μοντέλου με βάση την ορογραφία που χρησιμοποιούν τα παρατηρησιακά δεδομένα ΕΟBS. Βρίσκεται η διαφορά στο υψόμετρο μεταξύ μοντέλου και παρατηρήσεων σε κάθε σημείο πλέγματος η οποία έπειτα πολλαπλασιάζεται με 6.5 C/km για να βρεθεί το εισερχόμενο σφάλμα. Το αποτέλεσμα τέλος προστίθεται με αντίθετο πρόσημο στα δεδομένα του μοντέλου.

Στην ουσία γίνεται αναγωγή των δεδομένων θερμοκρασίας της κλιματικής προσομοίωσης στην ορογραφία των παρατηρησιακών δεδομένων. Πάντως η διαδικασία αυτή δεν εξαλείφει παντελώς το σφάλμα λόγω ορογραφίας στην θερμοκρασία. Καταρχάς η χρησιμοποίηση μίας συγκεκριμένης κατακόρυφης θερμοβαθμίδας για ολόκληρη την Ευρώπη είναι μια υπεραπλούστευση. Επίσης η ύπαρξη σφάλματος στην ορογραφία μπορεί να οδηγεί σε σφάλματα σε εσωτερικές διεργασίες του μοντέλου, όπως η βροχόπτωση, οι οποίες μπορεί να επηρεάζουν το καθεστώς της θερμοκρασίας (αυξημένη έκλυση λανθάνουσας θερμότητας κ.τ.λ.)

2.3.4 Μέθοδος Ανάλυσης

Περιγράφεται παρακάτω η διαδικασία ανάλυσης που ακολουθήθηκε ανά εποχή του έτους. Είναι η ίδια και για τις δύο μεταβλητές με μικρές μόνο προσθήκες στην βροχόπτωση.

Αρχικά από τις ημερήσιες τιμές των δεδομένων υπολογίστηκαν μέσες μηνιαίες τιμές για όλα τα έτη. Για κάθε εποχή επιλέχθηκαν οι αντίστοιχοι μήνες επομένως για κάθε κελί του πλέγματος δημιουργήθηκαν χρονοσειρές με 57 τιμές (19έτη Χ 3μήνες=57). Αυτά είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

Bias και MAGE

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του μέσου Bias και Mean Absolute Gross Error (MAGE) ανά κελί πλέγματος.

Οι τιμές τους δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$MeanBias = \frac{1}{N} \sum_{I=1}^N (M_I - O_I)$$

$$MAGE = \frac{1}{N} \sum_{I=1}^N |M_I - O_I|$$

,όπου N ο αριθμός των δεδομένων, M οι τιμές του μοντέλου, O οι παρατηρήσεις

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των παραπάνω μεγεθών για κάθε υποπεριοχή. Έγινε υπολογισμός του μέσου όρου Bias και MAGE ανά μοντέλο, δηλαδή υπολογίστηκε η μέση τιμή όλων των μέσων όρων ανά υποπεριοχή για το κάθε μοντέλο. Η μέση τιμή αυτή θα αναφέρεται και ως συνολικός ή συγκεντρωτικός μέσος όρος για το συγκεκριμένο μοντέλο. Παρόλο που η κάθε υποπεριοχή έχει διαφορετική έκταση όλες συμμετέχουν στον υπολογισμό του μέσου όρου ανά μοντέλο ισομερώς χωρίς την χρήση ειδικών βαρών. Υπολογίστηκε η μέση τιμή Bias και MAGE του ensemble για κάθε υποπεριοχή ως η μέση τιμή των μέσων όρων όλων των μοντέλων για την συγκεκριμένη υποπεριοχή. Ως μέση τιμή του ensemble για μια συγκεκριμένη εποχή θεωρήθηκε η μέση τιμή των μέσων όρων όλων των μοντέλων.

Για την βροχόπτωση στους ήδη υπολογισμένους μέσους όρους Bias ανά υποπεριοχή υπολογίστηκε και το Bias% ως $Bias\% = \frac{(M - O)}{O} * 100$, όπου M και O οι μέσοι όροι στην υποπεριοχή Bias μοντέλου και παρατηρήσεων αντίστοιχα. Έπειτα υπολογίστηκαν οι συνολικοί μέσοι όροι Bias% ανά μοντέλο και ανά υποπεριοχή με απλές μεσοποιήσεις όπως και προηγουμένως.

Στατιστική σημαντικότητα

Από τις μέσες μηνιαίες τιμές ανά εποχή υπολογίστηκε και η στατιστική σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ τιμών μοντέλου και παρατηρήσεων στο επίπεδο 0.05. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι το T-test για correlated (paired) δείγματα. Για τις τιμές του Bias

Η τιμή t του τεστ δίνεται από την σχέση $t = \frac{\bar{D}}{s_D / \sqrt{n}}$, όπου $\bar{D}$ η μέση τιμή των διαφορών μεταξύ τιμών μοντέλου και παρατηρήσεων, s_D η τυπική απόκλιση των διαφορών και n το πλήθος της χρονοσειράς-1.

Τυπική απόκλιση

Στην συνέχεια σε κάθε κελί του πλέγματος υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση της χρονοσειράς των 57 σημείων. Έπειτα έγιναν όλες οι μεσοποιήσεις που περιγράφονται και στο κομμάτι του Bias. Η τυπική απόκλιση περιγράφεται ενίοτε και ως std ή σ για συντομία. Επίσης υπολογίστηκε η κανονικοποιημένη τυπική απόκλιση σ_N ως το κλάσμα της τυπικής απόκλισης του μοντέλου σ_M προς την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων σ_O .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n n_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad \sigma_N = \frac{\sigma_M}{\sigma_O}$$

Θηκογράμματα

Για κάθε χρονικό βήμα της χρονοσειράς υπολογίστηκε η μέση τιμή της υπό εξέταση μεταβλητής για την κάθε υποπεριοχή όπως και για την περιοχή της Ευρώπης. Ως περιοχή της Ευρώπης θεωρείται όχι ολόκληρη η ήπειρος αλλά η περιοχή που αποτελείται από το σύνολο των υποπεριοχών Prudence. Από τις τιμές που προέκυψαν δημιουργήθηκαν τα θηκογράμματα. Έτσι λοιπόν το κάθε θηκογράμμα για την εκάστοτε περιοχή απεικονίζει την κατανομή διαφορετικών μεσοποιημένων καταστάσεων της υπό εξέταση μεταβλητής που αντιστοιχούν σε διαφορετικά χρονικά βήματα (διαφορετικούς μήνες) της χρονοσειράς.

Τα whisker του θηκογράμματος εκτείνονται ως την μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή της κατανομής εκτός εάν υπάρχουν σημεία που απέχουν κάτω από το πρώτο τεταρτημόριο ή/και πάνω από το τρίτο τεταρτημόριο περισσότερο από 1.5IQR, όπου IQR το ενδοτεταρτομοριακό εύρος της κατανομής. Σε αυτήν την περίπτωση, το άνω, κάτω ή και τα δύο whisker ανάλογα με ποιιά/ποιές συνθήκες ικανοποιούνται εκτείνεται μέχρι απόστασης 1.5IQR από το αντίστοιχο τεταρτημόριο ενώ τα σημεία εκτός των whisker επισημαίνονται με ανοικτό κύκλο. Τα σημεία αυτά δεν αποτελούν παράτυπα σημεία (outliers) καθώς πρόκειται για χωρικά μεσοποιημένες καταστάσεις, απλά σημεία που απέχουν αρκετά από την υπόλοιπη κατανομή. Έτσι καθίσταται δυνατό με τα συγκεκριμένα θηκογράμματα, εκτός των τυπικών τους χαρακτηριστικών, να δοθούν ταυτόχρονα πληροφορίες και για το εύρος της κατανομής (από whisker σε whisker ή από παράτυπο σημείο σε παράτυπο σημείο ή σε whisker) και για την ύπαρξη σημείων με μεγάλη απόσταση από την υπόλοιπη κατανομή.

Διαγράμματα Taylor

Για τα διαγράμματα Taylor χρησιμοποιήθηκαν οι χωρικά μεσοποιημένες τιμές ανά χρονικό βήμα που περιγράφηκαν προηγουμένως στα θηκογράμματα. Αυτή η μορφή των διαγραμμάτων Taylor ονομάζεται Temporal (χρονική) γιατί η σύγκριση με τις παρατηρήσεις γίνεται σε χρονική βάση. Τα μεγέθη με τα οποία γίνεται η σύγκριση με τις παρατηρήσεις (metrics) είναι ο συντελεστής συσχέτισης, η κανονικοποιημένη τυπική απόκλιση και το CRMS.

Το CRMS δίνεται από την σχέση $CRMS = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{I=1}^N [(M_I - \bar{M}) - (O_I - \bar{O})]^2}$, όπου M και O οι τιμές

μοντέλου και παρατηρήσεων αντίστοιχα, n το μέγεθος της χρονοσειράς, ενώ με παύλα συμβολίζονται οι μέσες τιμές. Στην ουσία το CRMS αποτελεί μέτρο του πόσο καλά γίνεται το ταίριασμα των διαφόρων χωρικά μεσοποιημένων χρονικών καταστάσεων μεταξύ παρατηρήσεων και μοντέλου. Επομένως μεγάλη τιμή CRMS σημαίνει ότι συνήθως συγκρίνονται παρόμοια σημεία της κατανομής (σχετικά με την απόσταση από την μέση τιμή) ενώ μικρή τιμή το αντίθετο.

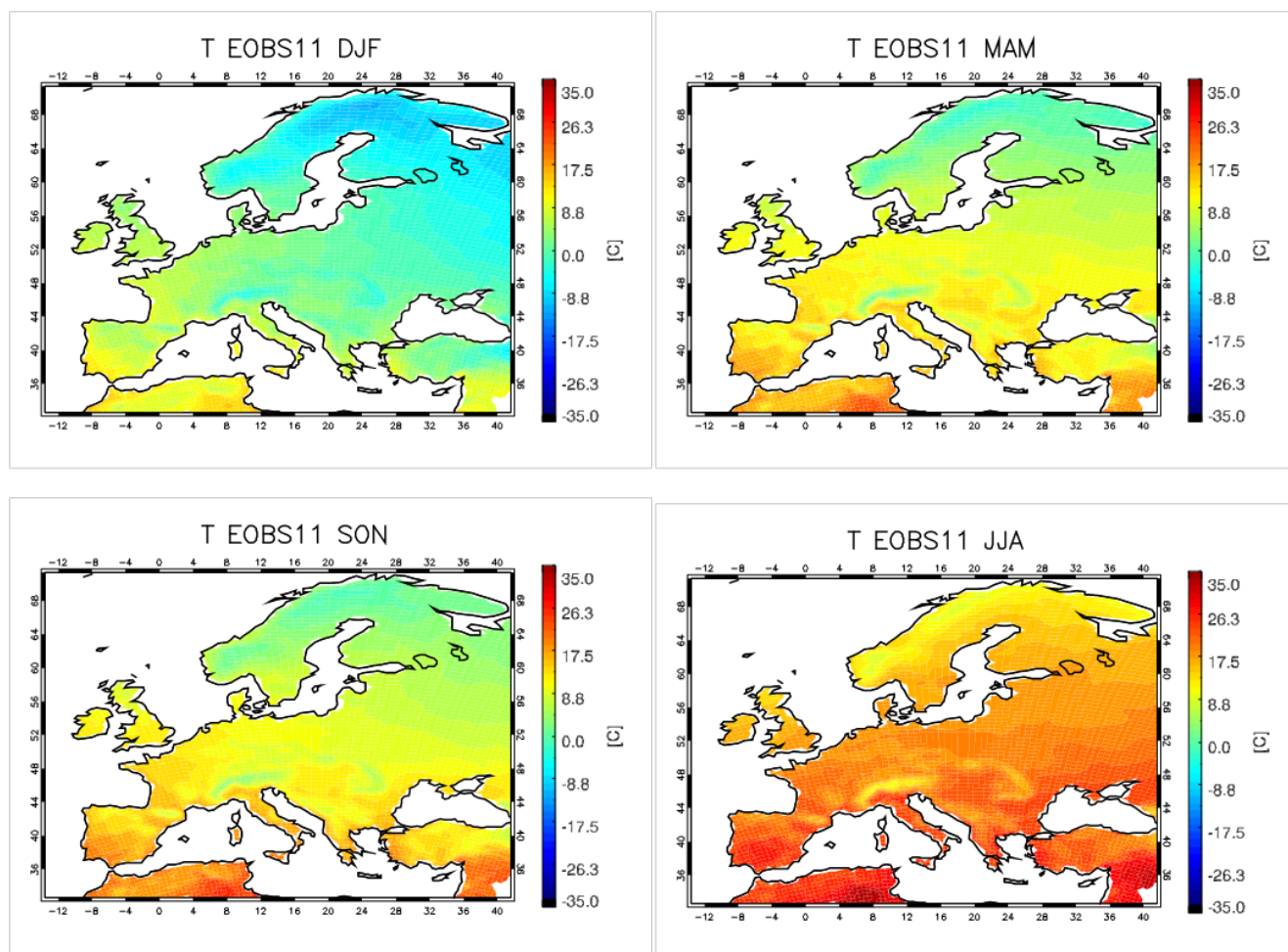
Ο συντελεστής χρονικής συσχέτισης R δίνεται από την σχέση $R = \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(r_n - \bar{r}) \right) / \sigma_f \sigma_r$

Όπου f, r τα δύο πεδία που συγκρίνονται και σ_f , σ_r οι τυπικές αποκλίσεις των αντίστοιχων πεδίων.

3. Ανάλυση Μέσης Θερμοκρασίας

3.1 Εποχιακά Διαγράμματα μέσης θερμοκρασίας για τα δεδομένα Eobs

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα μέσης θερμοκρασίας σε εποχιακή βάση των δεδομένων αναφοράς EOBS v11.



Σχήμα 3.1.1 : Μέση θερμοκρασία των EOBS για την περίοδο 1990-2008 και όλες τις εποχές

Τα διαγράμματα αυτά εμφανίζονται όπως αναμενόταν. Υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες το καλοκαίρι. Χαμηλότερες το χειμώνα και ενδιάμεσες τιμές θερμοκρασιών κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο. Σε όλες τις εποχές είναι φανερή η ύπαρξη υψηλότερων θερμοκρασιών στα νότια τμήματα της ηπείρου οι οποίες σε γενικές γραμμές μικραίνουν με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους. Οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται σε ένα λογικό εύρος με τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες να μην υπερβαίνουν τους 35°C στη βόρειο Αφρική το καλοκαίρι ενώ οι ψυχρότερες δεν ξεπερνούν τους -10°C στα βόρεια της Σκανδιναβίας κατά τον χειμώνα. Από τα παραπάνω διαγράμματα δεν προκύπτει κάτι που να προβληματίζει όσον αφορά την ποιότητα των δεδομένων αναφοράς.

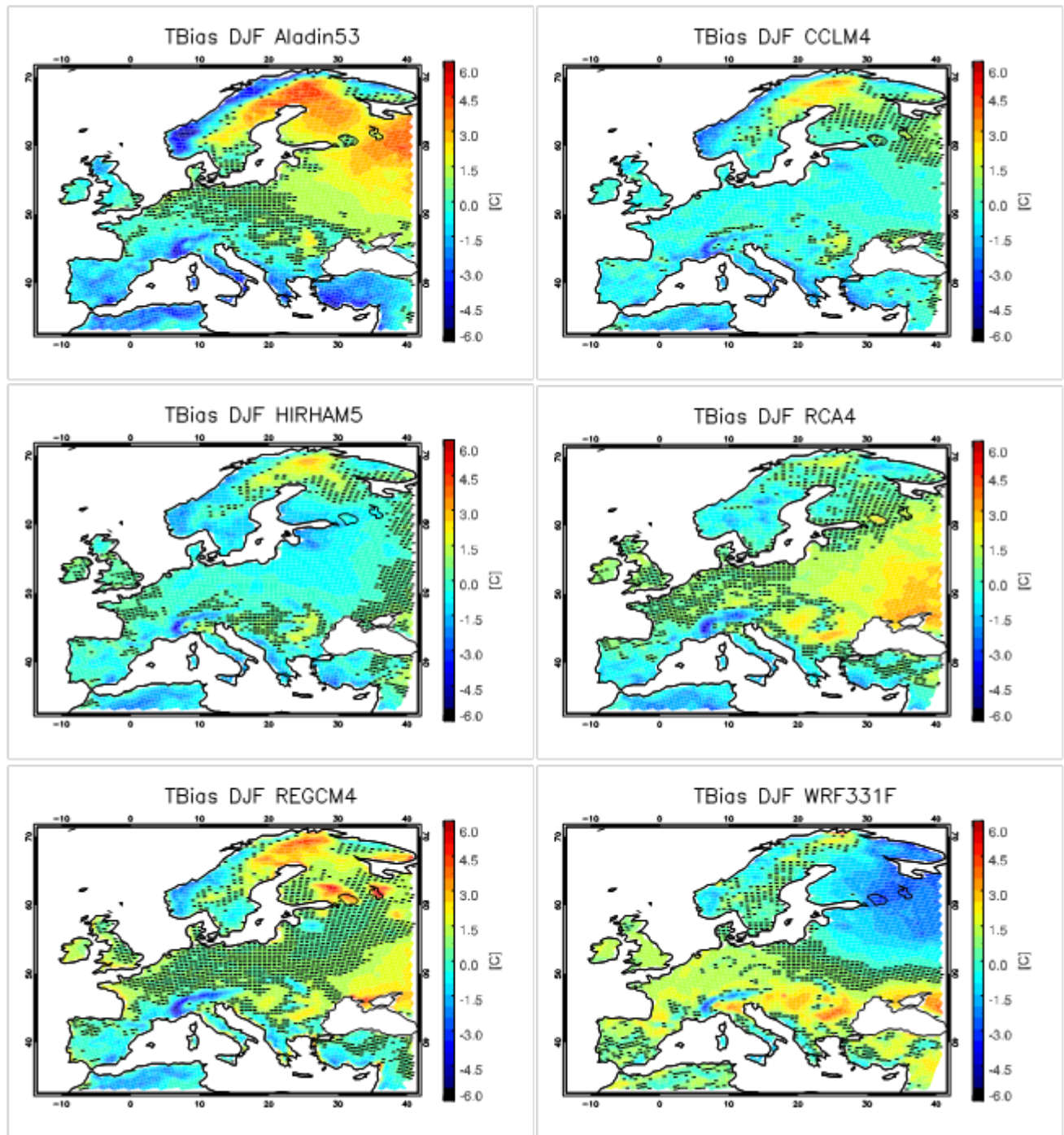
3.2 ΧΕΙΜΩΝΑΣ

Περίληψη

Κυρίαρχη τάση του ensemble για τον Χειμώνα είναι η υποεκτίμηση. Ο μέσος όρος Bias του ensemble είναι -0.5°C για ολόκληρη την Ευρώπη. Οι μέσοι όροι όλων των μοντέλων πλην του WRF331F είναι αρνητικοί. Η χωρική κατανομή του Bias παρουσιάζει αρκετές διαφορές μεταξύ των μοντέλων. Το ίδιο συμβαίνει και με την χωρική κατανομή της στατιστικής σημαντικότητας των διαφορών. Σε όλα τα μοντέλα εκτός του REGCM4 οι περιοχές μη στατιστικής σημαντικότητας δεν είναι εκτεταμένες. Το μικρότερο μέσο όρο MAGE έχει το RCA4, το οποίο παρουσιάζει και καλές επιδόσεις στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις όπως εμφανίζεται στα διαγράμματα Taylor. Έκπληξη αποτελεί ότι το REGCM4 το οποίο παρουσιάζει μικρό MAGE έχει τις χειρότερες επιδόσεις στην χρονική σύγκριση. Επίσης το CCLM4 έχει το δεύτερο μεγαλύτερο MAGE αλλά μακράν την καλύτερη θέση στα διαγράμματα Taylor. Το μεγαλύτερο MAGE παρουσιάζει το ALADIN53. Το ALADIN53 φαίνεται στα θηκογράμματα να έχει σε κάποιες υποπεριοχές αρκετή διαφοροποίηση στην μορφή της κατανομής σε σχέση με τις παρατηρήσεις ενώ επίσης φαίνεται να υποεκτιμάει γενικά την διασπορά της θερμοκρασίας. Δεν υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας από τα μοντέλα. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι Άλπεις ενώ αυτή με το μικρότερο η ΜΕ.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για τον Χειμώνα από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 3.2.1 : Bias μέσης θερμοκρασίας των μοντέλων για τον Χειμώνα

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Οι τιμές του Bias για τον χειμώνα στην συντριπτική τους πλειοψηφία κυμαίνονται εντός του εύρους -6 ως 6 °C για τον λόγο αυτό υιοθετήθηκε η αντίστοιχη χρωματική κλίμακα στα διαγράμματα.

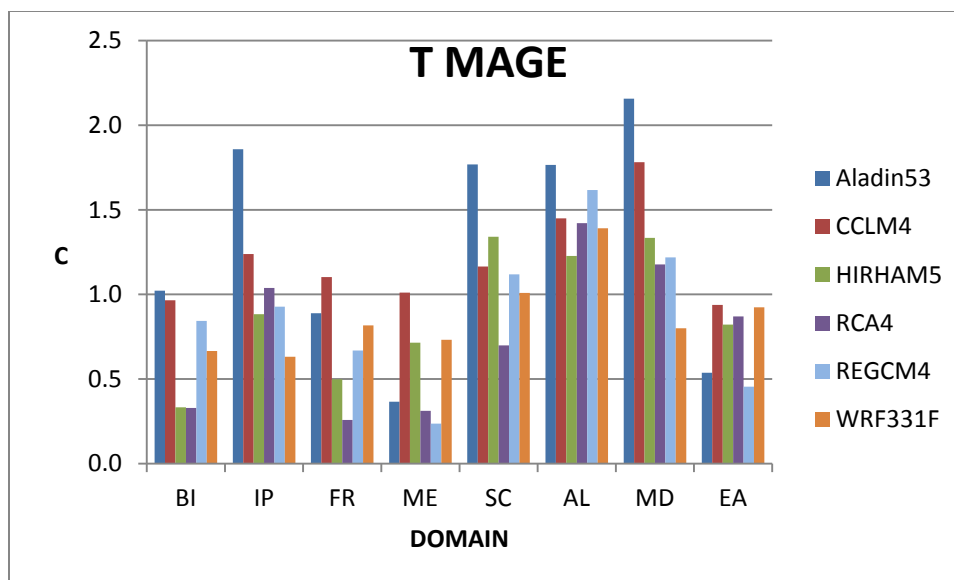
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του T bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου για όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής.

Πίνακας 3.2.1: T Bias (°C) για τον Χειμώνα ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	Μ.Ο περιοχής
BI	-0.8 (1.0)	-1.0 (1.0)	-0.2 (0.3)	0.3 (0.3)	0.8 (0.8)	0.7 (0.7)	0.0 (0.7)
IP	-1.8 (1.9)	-1.2 (1.2)	-0.8 (0.9)	-1.0 (1.0)	-0.6 (0.9)	0.4 (0.6)	-0.8 (1.1)
FR	-0.8 (0.9)	-1.1 (1.1)	-0.5 (0.5)	-0.1 (0.3)	0.3 (0.7)	0.8 (0.8)	-0.2 (0.7)
ME	-0.2 (0.4)	-1.0 (1.0)	-0.7 (0.7)	0.2 (0.3)	0.1 (0.2)	0.7 (0.7)	-0.1 (0.6)
SC	0.5 (1.8)	-0.6 (1.2)	-1.0 (1.3)	-0.4 (0.7)	0.3 (1.1)	-0.8 (1.0)	-0.3 (1.2)
AL	-1.6 (1.8)	-1.4 (1.4)	-1.0 (1.2)	-1.2 (1.4)	-1.3 (1.6)	0.2 (1.4)	-1.1 (1.5)
MD	-2.1 (2.2)	-1.7 (1.8)	-1.2 (1.3)	-0.9 (1.2)	-0.3 (1.2)	0.0 (0.8)	-1.0 (1.4)
EA	0.2 (0.5)	-0.8 (0.9)	-0.7 (0.8)	0.8 (0.9)	0.3 (0.5)	0.6 (0.9)	0.1 (0.8)
Μ.Ο Μοντέλου	-0.8 (1.3)	-1.1 (1.2)	-0.8 (0.9)	-0.3 (0.8)	-0.1 (0.9)	0.3 (0.9)	-0.5 (1.0)

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 3.2.1 : Τιμές απόλυτου Bias θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

Με μια πρώτη ματιά στα διαγράμματα είναι φανερό ότι δεν υπάρχει μια ενιαία συμπεριφορά του Bias της θερμοκρασίας χωρικά για όλα τα μοντέλα. Υπάρχουν βέβαια και αρκετές ομοιότητες. Για παράδειγμα η υποπεριοχή των Άλπεων (AL) εμφανίζει ισχυρό αρνητικό Bias, κοντά στους 3°C σε κάποια τμήματα, σε όλα τα μοντέλα, ενώ περιοχές όπως η Μεσόγειος (MD) και η Ιβηρική Χερσόνησος (IP) παρουσιάζουν μικρότερες αρνητικές τιμές στην μεγαλύτερή τους έκταση σε όλες σχεδόν τις προσομοιώσεις. Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι σε όλα τα μοντέλα το δυτικό κομμάτι της Σκανδιναβίας (SC), εμφανίζει αρνητικό Bias ενώ το κεντρικό κομμάτι, η περιοχή της Σουηδίας, εμφανίζει σε εκτεταμένες περιοχές του θετικό Bias το οποίο σε κάποιες περιπτώσεις όπως στο ALADIN53 μπορεί να γίνει ιδιαίτερα έντονο και να ξεπεράσει κατά τόπους τους 3°C . Ενώ δηλαδή δεν υπάρχει απόλυτη σύμπτωση της χωρικής κατανομής του Bias μεταξύ των μοντέλων και υπάρχουν περιοχές όπως η Ανατολική Ευρώπη (EA) όπου ακόμα και το πρόσημο των τιμών Bias μπορεί να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε, σε γενικές γραμμές εμφανίζονται και αρκετές ομοιότητες στο χωρικό μοτίβο του Bias.

Επίσης είναι φανερό ότι το χωρικό μοτίβο στατιστικής σημαντικότητας διαφέρει αρκετά ανάμεσα στα μοντέλα. Υπάρχουν όμως προφανώς και κάποιες ομοιότητες. Για παράδειγμα στα REGCM4, ALADIN53 και RCA4 εκτεταμένες περιοχές της Κεντρικής, Δυτικής και Ανατολικής Ευρώπης εμφανίζουν μη στατιστική σημαντικότητα στο επίπεδο 0.05. Το REGCM4 συγκεκριμένα εμφανίζει την μεγαλύτερη έκταση μη στατιστικής σημαντικότητας. Επίσης όλα τα μοντέλα εμφανίζουν μη στατιστική σημαντικότητα σε κάποιες περιοχές της SC (Σκανδιναβία) οι οποίες όμως δεν είναι πάντοτε οι ίδιες. Ακόμα σε όλα τα μοντέλα το ορεινό κομμάτι των Άλπεων εμφανίζει στατιστικά σημαντικό Bias.

Ισχυρή χωρική σύμπτωση του T bias φαίνεται να παρουσιάζεται μόνο μεταξύ των CCLM4 και HIRHAM5. Και τα δύο αυτά μοντέλα παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά στο σύνολο των περιοχών

κάτι που φαίνεται όχι μόνο από τα διαγράμματα αλλά και από τις τιμές του πίνακα 3.2.1. Εξαίρεση αποτελεί η περιοχή BI (Μ.Βρετανία) για την οποία η διαφορά στο μέσο απόλυτο σφάλμα μεταξύ των δύο μοντέλων είναι 0.7°C και δευτερευόντως η Γαλλία (FR). Στις υπόλοιπες περιοχές οι διαφορές στα Bias και απόλυτο Bias (MAGE) μεταξύ των δύο μοντέλων είναι μικρότερες του 0.5°C ενώ και στις οκτώ περιοχές το μέσο Bias των δύο μοντέλων παίρνει αρνητικές τιμές.

Σε αρκετές περιπτώσεις όμως οι χωρικές διαφορές στο T bias ανάμεσα σε διαφορετικά μοντέλα είναι ιδιαίτερα εμφανείς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η ευρεία περιοχή της ανατολικής Σκανδιναβίας. Το Aladin53 εμφανίζει έντονες θετικές τιμές συχνά άνω των 3°C ενώ για την ίδια περιοχή το WRF331F παρουσιάζει αρνητικές τιμές κοντά στους -2°C . Χαρακτηριστική είναι και η περίπτωση της Ανατολικής Ευρώπης (EA) όπου το RCA4 εμφανίζει θετικό Bias (μέχρι και άνω των 3°C σε κάποια σημεία) σε όλη σχεδόν την έκταση της περιοχής ενώ σε αντιδιαστολή τα CCLM4 και HIRHAM5 έχουν κατά κύριο λόγο αρνητικές τιμές Bias στην περιοχή αυτή.

Η περιοχή της Σκανδιναβίας για το ALADIN53 παρουσιάζει ένα ακόμα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό. Ενώ ολόκληρη σχεδόν κυριαρχείται από θετικές τιμές μια μικρή λωρίδα στο δυτικό της κομμάτι (Νορβηγία) παρουσιάζει έντονο αρνητικό Bias. Ως αποτέλεσμα ο μέσος όρος Bias για την συγκεκριμένη περιοχή όπως φαίνεται από τον πίνακα 3.2.1 είναι μόλις 0.5°C ακριβώς επειδή υπάρχουν τιμές με αντίθετα πρόσημο οι οποίες αλληλοεξουδετερώνουν την επίδρασή τους κατά τον υπολογισμό του μέσου όρου. Η τιμή όμως του MAGE για την συγκεκριμένη περιοχή είναι 1.8°C , η δεύτερη υψηλότερη για το ALADIN53 και πολύ μεγαλύτερη του 0.5°C . Υπενθυμίζεται ότι το MAGE δηλώνει το απόλυτο Bias. Είναι λοιπόν φανερό ότι το metric του Bias εμφανίζει σημαντικούς περιορισμούς στην χρήση του όταν γίνεται μεσοποίηση σε εκτάσεις οι οποίες παρουσιάζουν έντονη διαφοροποίηση στα πρόσημά του Bias. Άλλο ιδιαίτερα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο μέσος όρος Bias για την Μεσόγειο (MD) από το μοντέλο WRF331F ο οποίος παίρνει την τιμή μηδέν ενώ το απόλυτο Bias είναι 0.8°C . Πρέπει επομένως να γίνεται πάντοτε χρήση του Bias μαζί με metric που δηλώνουν το απόλυτο σφάλμα για να μην γίνουν λάθος ερμηνείες των αποτελεσμάτων. Ως αποτέλεσμα το MAGE θεωρείται πιο σημαντικό metric κατά την μεσοποίηση ανά περιοχή.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των διαγραμμάτων του Bias της μέσης θερμοκρασίας είναι ότι τα σημεία με έντονο υψόμετρο εμφανίζουν σε αρκετές περιπτώσεις υψηλό κατά απόλυτο τιμή Bias (είτε θετικό είτε αρνητικό). Αυτό είναι ένα συμπέρασμα που ισχύει ανεξαρτήτως εποχής. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πολλά από τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας οι μεγάλες οροσειρές της Ευρώπης διαγράφονται λεπτομερώς με εντονότερα χρώματα από τις περιβάλλουσες εκτάσεις. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση μίας από τις Prudence Domains που είναι σε πολύ μεγάλο ποσοστό ορεινή, των Άλπεων (AL) για την οποία, έχουν υπολογιστεί μέσοι όροι Bias και MAGE. Οι τιμές τόσο του Bias όσο και του MAGE είναι συνήθως από τις εντονότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, ανεξαρτήτως μοντέλου αλλά και εποχής. Για τον Χειμώνα στις Άλπεις ο μέσος όρος του Bias από όλα τα μοντέλα είναι ο μεγαλύτερος κατά απόλυτο τιμή (-1.1°C) από όλες τις υπόλοιπες περιοχές ενώ το ίδιο ισχύει και για τον μέσο όρο του MAGE. Επίσης πολύ σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι διαφορές μεταξύ μοντέλου και παρατηρήσεων δεν είναι μόνο μεγάλες αλλά και στατιστικά σημαντικές καθώς το ορεινό κομμάτι των Άλπεων παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλα ανεξαιρέτως τα μοντέλα. Σε

μεγάλο βαθμό η στατιστική σημαντικότητα παρουσιάζεται στα περισσότερα μοντέλα και για άλλες οροσειρές, ιδιαίτερα για όρη των Βαλκανίων (Καρπάθια, Δειναρικές Άλπεις) και της Σκανδιναβίας (Scandes).

Η χειρότερη συμπεριφορά των μοντέλων σε ορεινές περιοχές είναι αναμενόμενη σε μεγάλο βαθμό. Μια πρωταρχική αιτία είναι η χαμηλή ανάλυση του συγκεκριμένου ensemble. Η ανάλυση 0.44° εκφράζεται σε απόσταση 50km περίπου στην περιοχή της Ευρώπης επομένως η αναπαράσταση των ορεινών όγκων γίνεται πάρα πολύ αδρά με το μεγαλύτερο μέρος της λεπτομέρειας του αναγλύφου να χάνεται στην μεσοποίηση. Επίσης το μεγάλο ύψος των ορέων συντελεί σε διεργασίες ανόδου και συμπύκνωσης του ατμοσφαιρικού αέρα (ορογραφική ανύψωση) οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την θερμοκρασία και οι οποίες είναι δύσκολα παραμετροποιήσιμες με ακρίβεια.

Λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο από όλα τα μοντέλα οι περιοχές Κεντρικής-Δυτικής Ευρώπης (BI, ME,FR) παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές απόλυτου Bias. Η περιοχή ME (Κεντρική Ευρώπη) έχει τη μικρότερη τιμή απόλυτου Bias με μόλις 0.6°C . Αντίθετα οι Άλπεις (AL) και η Μεσόγειος (MD) έχουν τις υψηλότερες τιμές MAGE με 1.5 και 1.4°C αντίστοιχα. Ιδιαίτερα για την περιοχή της Μεσογείου το μοντέλο που τα πηγαίνει ιδιαίτερα άσχημα στην εκτίμηση της θερμοκρασίας είναι το ALADIN53 με Bias -2.1°C και MAGE 2.2°C . Παρουσιάζει δηλαδή σταθερά έντονη υποεκτίμηση στο σύνολο της περιοχής. Λαμβάνοντας υπόψη τον μέσο όρο MAGE από όλες τις περιοχές ανά μοντέλο, το RCA4 παρουσιάζει την καλύτερη εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας με την μικρότερη τιμή MAGE ίση με 0.8°C . Πάντως τα HIRHAM5, REGCM4 και WRF331F ακολουθούν από κοντά με τιμή 0.9°C . Την χειρότερη επίδοση παρουσιάζει το Aladin53 με μέσο απόλυτο Bias 1.3°C .

Όσον αφορά τα πρόσημα του Bias δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα. Τα CCLM4 και HIRHAM5 έχουν αρνητικές τιμές μέσου όρου Bias και στις οκτώ περιοχές Prudence. Ακολουθεί το ALADIN53 το οποίο υποεκτιμά την θερμοκρασία σε έξι υπόπεριοχές. Τα REGCM4 RCA4 εμφανίζουν μοιρασμένα την υποεκτίμησή τους σε τρεις και πέντε υποπεριοχές αντίστοιχα. Στο άλλο άκρο βρίσκεται το WRF331F το οποίο υπερεκτιμά την T σε όλες τις υποπεριοχές πλην της Σκανδιναβίας (SC). Σύμφωνα με τους μέσους όρους ανά περιοχή, έξι από τις οκτώ υποπεριοχές έχουν αρνητικό Bias, η Ανατολική Ευρώπη είναι η μόνη με μικρό θετικό Bias (0.1) ενώ η Μεγάλη Βρετανία παρουσιάζει μηδενικό Bias κατά μέσο όρο, επειδή υπάρχουν ανάμικτα σήματα από τα διάφορα μοντέλα.

Μπορεί λοιπόν να υποστηριχτεί ότι για την εποχή του χειμώνα για το σύνολο της Ευρώπης το συγκεκριμένο ensemble υποεκτιμάει την μέση θερμοκρασία T. Αυτό φαίνεται και από τον μέσο όρο του ensemble για όλη την Ευρώπη που παίρνει την τιμή -0.5°C .

Τυπική Απόκλιση

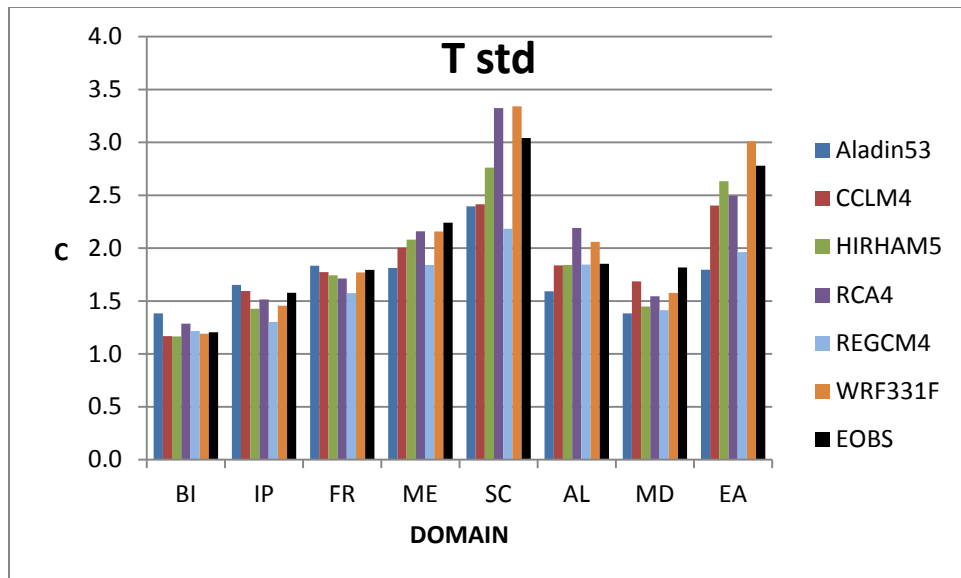
Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση (std). Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε υποπεριοχή prudence.

Η τυπική απόκλιση αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (spread) των δεδομένων. Στην παραπάνω της μορφή εκφράζει ακριβώς το βαθμό διασποράς που έχουν τα δεδομένα των μέσων μηνιαίων τιμών T για κάθε σημείο (πάντα για την εποχή του Χειμώνα) αλλά και συνολικά ως μέσος όρος για όλες τις υποπεριοχές. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να γίνουν συγκρίσεις της διασποράς των δεδομένων τόσο μεταξύ των μοντέλων όσο και των περιοχών αλλά κυρίως να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ του βαθμού της διασποράς και του σφάλματος του μοντέλου (Bias,MAGE).

Πίνακας 3.2.2: Τιμές τυπικής απόκλισης για τον Χειμώνα ανά υποπεριοχή

	ALADIN53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	EOBS	M.O. περιοχής
BI	1.4	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
IP	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.5	1.6	1.5
FR	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.8	1.8	1.7
ME	1.8	2.0	2.1	2.2	1.8	2.2	2.2	2.0
SC	2.4	2.4	2.8	3.3	2.2	3.3	3.0	2.7
AL	1.6	1.8	1.8	2.2	1.8	2.1	1.9	1.9
MD	1.4	1.7	1.4	1.5	1.4	1.6	1.8	1.5
EA	1.8	2.4	2.6	2.5	2.0	3.0	2.8	2.4
	1.7	1.9	1.9	2.0	1.7	2.1	2.0	1.9

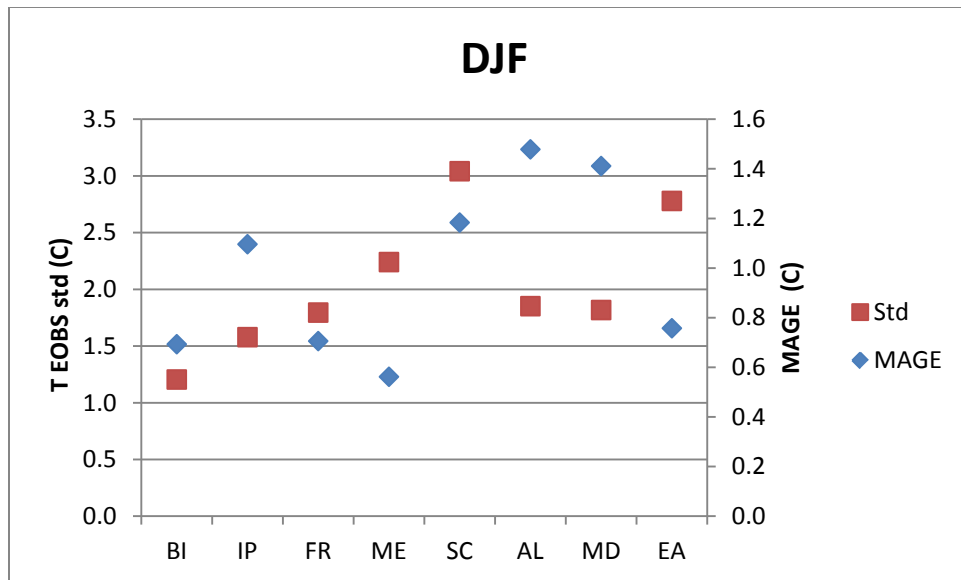
Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 3.2.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Χειμώνας

Η τυπική απόκλιση όλων των μοντέλων τόσο για τους συγκεντρωτικούς μέσους όρους από όλες τις περιοχές όσο και στις επιμέρους περιοχές δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές και βρίσκεται αρκετά κοντά στις τιμές των EOBS. Για παράδειγμα οι συγκεντρωτικοί μέσοι όροι από όλες τις περιοχές ανά μοντέλο κυμαίνονται στο διάστημα 1.7 ως 2.1°C ενώ για τα EOBS η τιμή είναι 2.0°C. Δεν υπάρχει επομένως μια ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της τυπικής απόκλισης. Γενικά πάντως, όπως είναι φανερό από το παραπάνω διάγραμμα, στις περισσότερες υποπεριοχές οι χωρικά μεσοποιημένες τιμές τυπικής απόκλισης των παρατηρήσεων περιλαμβάνονται εντός του εύρους των αντίστοιχων τιμών των μοντέλων.

Η περιοχή με την κατά μέσο όρο μεγαλύτερη τυπική απόκλιση είναι η SC (Σκανδιναβία) και ακολουθεί η EA (Αν.Ευρώπη). Υπενθυμίζεται ότι η SC έχει ένα σχετικά μέτριο MAGE (την τρίτη υψηλότερη τιμή) ενώ η EA παρουσιάζει ακόμα μικρότερη τιμή. Το μεγαλύτερο MAGE το παρουσιάζουν οι Άλπεις (1.5°C) και η Μεσόγειος (1.4°C) οι οποίες δεν έχουν όμως μεγάλες τιμές τυπικής απόκλισης (1.9°C και 1.8°C). Για διαπιστωθεί πιο εύκολα αν υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ μέσου όρου MAGE και μέσου όρου της πραγματικής (των παρατηρήσεων) τυπικής απόκλισης σε περιοχική βάση παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα όπου απεικονίζονται οι αντίστοιχες τιμές ανά υποπεριοχή.



Διάγραμμα 3.2.3.: Μέσοι όροι τυπικής απόκλισης και MAGE ανά υποπεριοχή

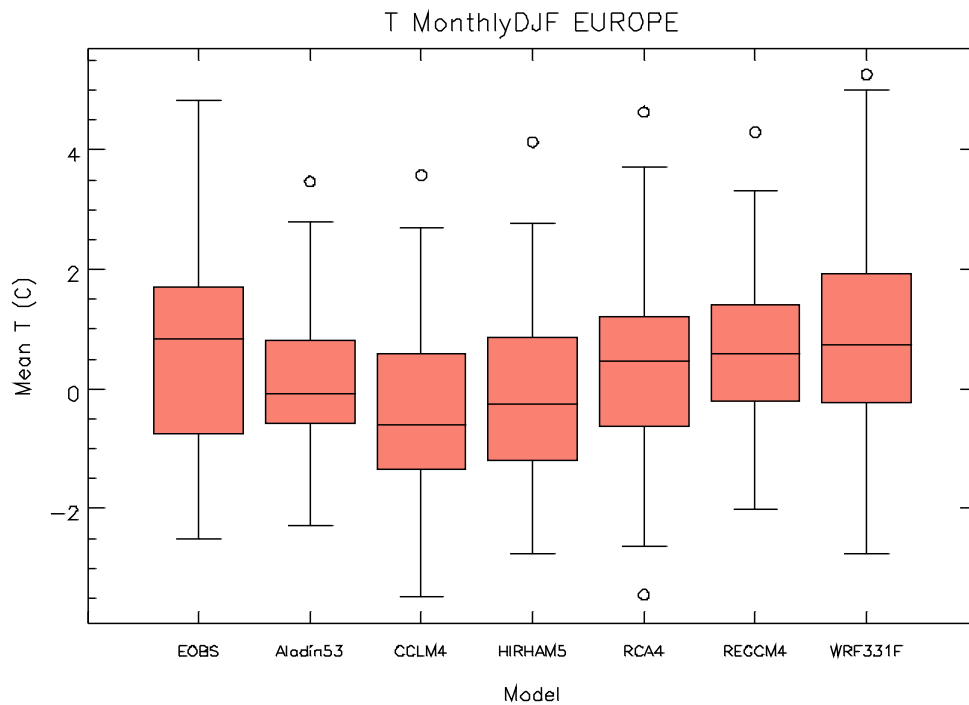
Δεν φαίνεται να υπάρχει ξεκάθαρη σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Υπάρχουν για παράδειγμα υποπεριοχές όπως η BI που συνδυάζουν μικρό MAGE με μικρή τυπική απόκλιση ενώ άλλες όπως η ME έχουν μικρό MAGE με αρκετά μεγαλύτερη std. Πάντως μπορεί να ειπωθεί ότι τα μεγαλύτερα MAGE τα εμφανίζουν υποπεριοχές που έχουν τιμές std οι οποίες βρίσκονται στο άνω μισό του εύρους της τυπικής απόκλισης.

Θηκογράμματα (Boxplots)

Η τυπική απόκλιση που αναλύθηκε παραπάνω προσφέρει κάποιες πληροφορίες σχετικά με τη διασπορά των δεδομένων όμως τα θηκογράμματα μπορούν να παρέχουν πολλές περισσότερες πληροφορίες για ολόκληρη την κατανομή (διασπορά, εύρος, παράτυπα σημεία, λόξωση) τους. Επίσης η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με απλό, άμεσο και συγκεντρωτικό τρόπο ενώ είναι αρκετά εύκολο να διαπιστωθούν οπτικά οι διαφορές μεταξύ των παρατηρήσεων και των μοντέλων.

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η διάστικτη κόκκινη γραμμή επισημαίνει την στάθμη των 0°C . Παρατίθεται απλώς γιατί χωρίζει το εύρος του κάθετου άξονα στη μέση και διευκολύνει τις συγκρίσεις μεταξύ των θηκογραμμάτων και όχι λόγω κάποιας φυσικής σημασίας. Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.



Διάγραμμα 3.2.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης τον Χειμώνα

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των θηκογραμμάτων είναι ότι η διάμεσος όλων των μοντέλων βρίσκεται κάτω από την διάμεσο των παρατηρήσεων. Αυτό συμβαίνει τόσο για την περιοχή της Ευρώπης όσο και για τις περισσότερες υποπεριοχές. Είναι κάτι που αναμενόταν καθώς η κυρίαρχη τάση του ensemble για τον χειμώνα είναι η υποτίμηση της θερμοκρασίας. Σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και το τρίτο τεταρτημόριο κάποιων μοντέλων είναι μικρότερο της διαμέσου των παρατηρήσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τα ALADIN53, CCLM4 και HIRHAM5 για την περιοχή της Ευρώπης. Το μοναδικό μοντέλο το οποίο παρουσιάζει στα περισσότερα διαγράμματα διάμεσο μεγαλύτερη των παρατηρήσεων είναι το WRF331F κάτι που συμφωνεί με τον πίνακα 3.2.1 καθώς είναι το μοναδικό μοντέλο που εμφανίζει θετικό Bias ως μέσο όρο στην περιοχή της Ευρώπης. Επίσης το REGCM4 παρουσιάζει στις περισσότερες περιπτώσεις διάμεσο μεγαλύτερη των άλλων μοντέλων (εκτός του WRF331F). Και αυτό είναι κάτι που αναμενόταν καθώς το REGCM4 έχει αρνητικό Bias αλλά το μικρότερο κατά απόλυτο τιμή.

Γενικά η συμπεριφορά των μοντέλων στα θηκογράμματα όσον αφορά την θέση της διαμέσου ταιριάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό με τους μέσους όρους Bias ανά περιοχή όπως φαίνονται στον πίνακα 3.2.1.

Μεγάλη σύμπτωση υπάρχει και όταν συγκρίνουμε τα ενδοτεταρτημοριακά εύρη (IQR) των θηκογραμμάτων με τους μέσους όρους τυπικής απόκλισης του πίνακα 3.2.2. Δεδομένα με μεγάλους

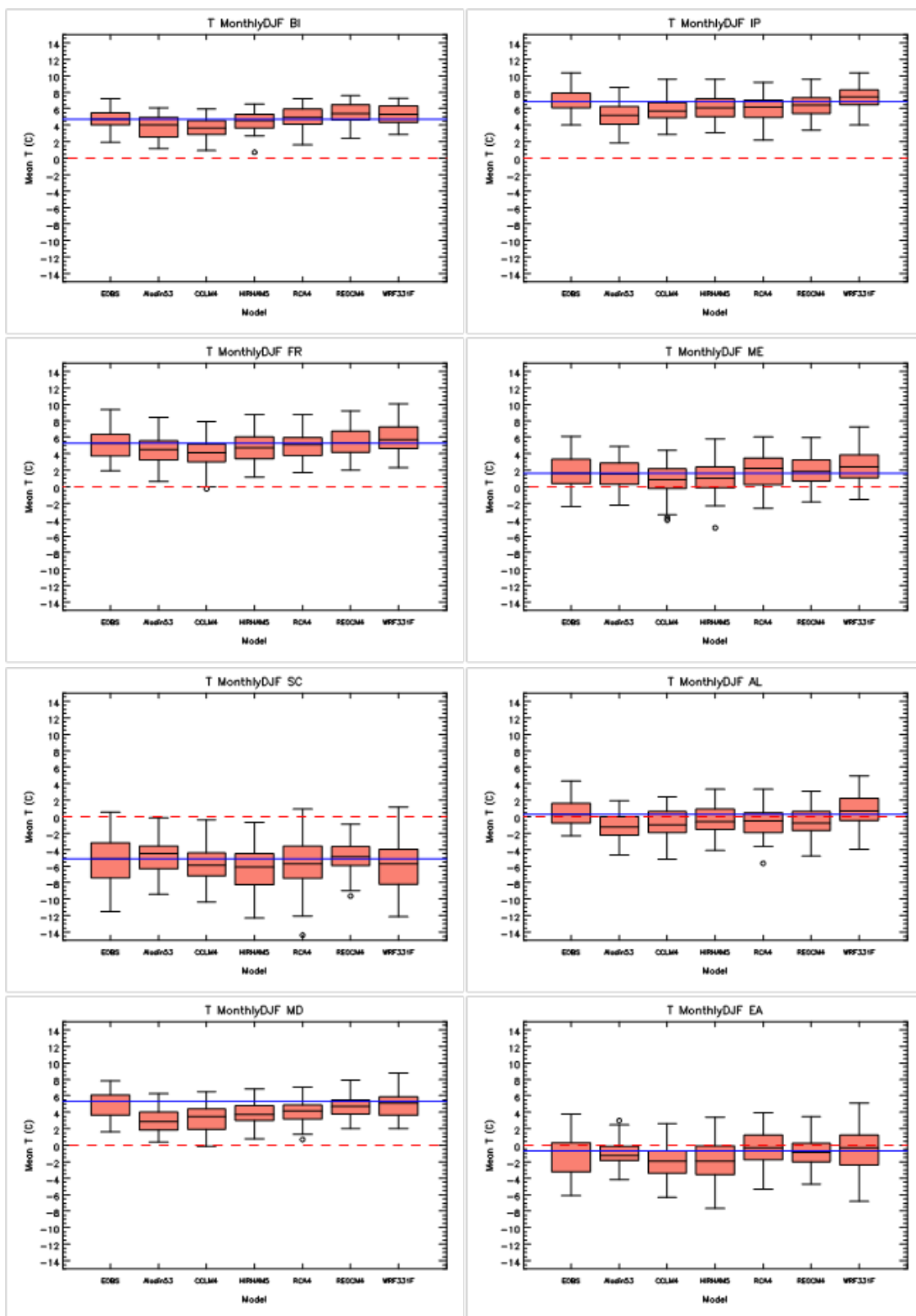
μέσους όρους τυπικής απόκλισης παρουσιάζουν δηλαδή μεγάλο IQR (και άρα μέγεθος κουτιού) και το αντίστροφο. Υπενθυμίζεται ότι και το IQR αποτελεί μέτρο της διασποράς των παρατηρήσεων. Βέβαια η τυπική απόκλιση που παρουσιάστηκε στον προηγούμενο πίνακα 3.2.2 υπολογίστηκε ως ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων όλων των χρονοσειρών μηνιαίων τιμών που αντιστοιχούν σε μια περιοχή. Το IQR δεν υπολογίζεται με τον αντίστοιχο μέσο όρο αλλά από την κατανομή των χωρικά μεσοποιημένων σημείων της χρονοσειράς.

Τόσο η σύμπτωση των τυπικών αποκλίσεων με τα IQR όσο και η συσχέτιση μέσου όρου Bias με την θέση της διαμέσου επιβεβαιώνουν τα βασικά συμπεράσματα που παρουσιάστηκαν κατά την μελέτη του Bias και της Std και αποτελούν κατά κάποιο τρόπο και επαλήθευση των υπολογισμών που έγιναν.

Πάντως όσον αφορά το IQR δεν παρουσιάζονται σοβαρές διαφορές μεταξύ των μοντέλων και των παρατηρήσεων για την ίδια περιοχή. Συνήθως τα μοντέλα εκτιμούν σωστά το ενδοτεταρτομοριακό εύρος, όταν όμως παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις αυτές αφορούν υποεκτίμηση του IQR από το μοντέλο. Παράδειγμα αποτελεί το REGCM4 για την SC. Επίσης για την υποπεριοχή της Μεσογείου (MD) τρία μοντέλα φαίνεται να παρουσιάζουν σημαντική υποεκτίμηση του IQR, τα HIRHAM5, RCA4 και REGCM4. Την πιο ακραία υποεκτίμηση πάντως την κατέχει το ALADIN53 για την περιοχή της ΕΑ, καθώς το ενδοτεταρτομοριακό του εύρος είναι μικρότερο από το μισό του αντίστοιχου IQR για τα παρατηρησιακά δεδομένα. Είναι χαρακτηριστικό ότι και για τα θηκογράμματα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης το IQR των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερο από όλα τα μοντέλα. Εντύπωση προκαλεί πάντως πως για την ιδιαίτερα ορεινή περιοχή των Άλπεων δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των IQR των μοντέλων και των παρατηρήσεων.

Όσον αφορά το εύρος (whisker range) τα μοντέλα προσομοιώνουν σε ικανοποιητικό βαθμό την πραγματικότητα με κάποιες μεμονωμένες εξαιρέσεις όπως π.χ. το HIRHAM5 για την ΒΙ. Αν ληφθεί υπόψη ολόκληρη η περιοχή της Ευρώπης (διάγραμμα 3.2.4) τα ALADIN53, HIRHAM5 και REGCM4 φαίνονται να υποεκτιμούν και να αποκλίνουν περισσότερο από το εύρος των παρατηρήσεων σε σχέση με τα άλλα τρία μοντέλα.

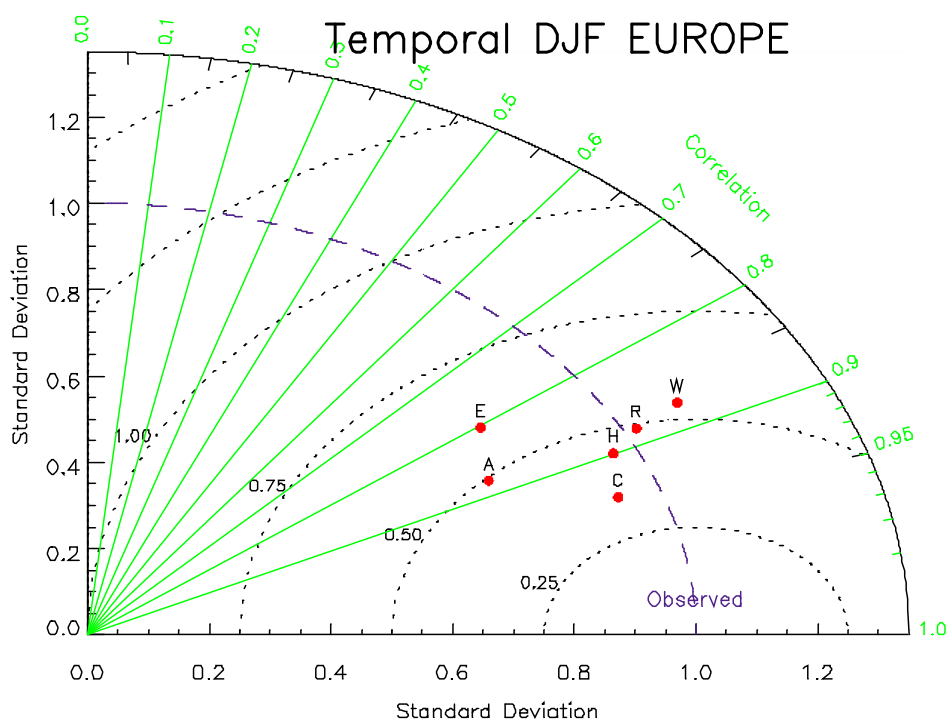
Τα παράτυπα σημεία είναι ελάχιστα. Δεν αναμενόταν κάτι διαφορετικό άλλωστε, καθώς τα σημεία αποτελούν χωρική μεσοποίηση της θερμοκρασίας πάνω σε ολόκληρη την υποπεριοχή. Έτσι στην ουσία δεν μπορούν να θεωρηθούν ως προβληματικά σημεία και επομένως το εύρος πρέπει να επεκταθεί μέχρι αυτά και να πάρει την κλασική του έννοια (min,max). Αν γίνει αυτό τότε οι διαφορές ανάμεσα στα εύρη μοντέλων και παρατηρήσεων μικραίνουν ακόμα περισσότερο.



Διάγραμμα 3.2.5 : Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή

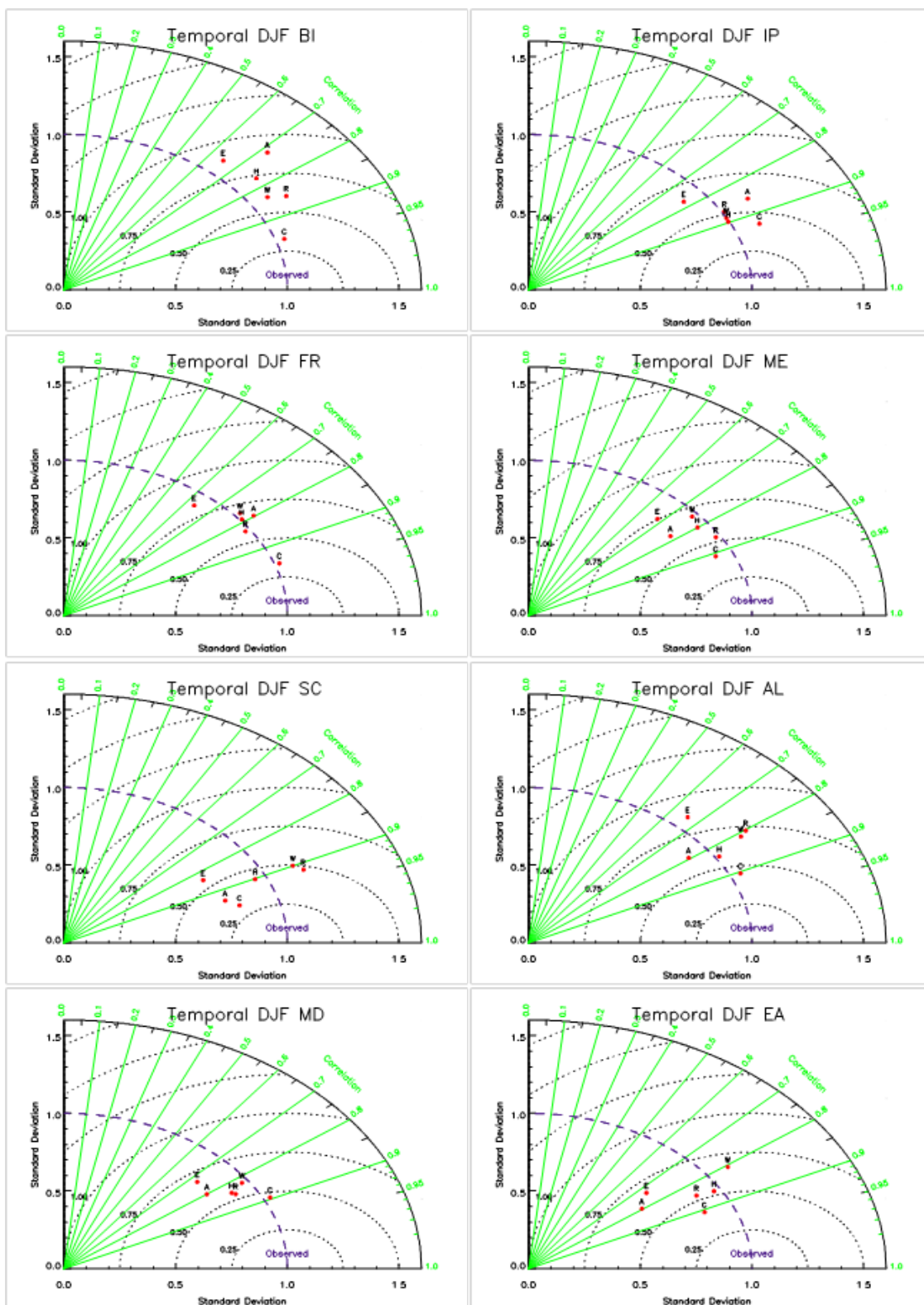
Διαγράμματα Taylor

Τα διαγράμματα Taylor αποτελούν ένα πολύ ισχυρό εποπτικό εργαλείο καθώς συνδυάζουν σε ένα διάγραμμα πληροφορίες για τις επιδόσεις του μοντέλου σε τρία μετρικά, την τυπική απόκλιση, την συσχέτιση και το μέσο κεντρικό τετραγωνικό σφάλμα (CRMS).



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.2.6: Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.2.7.: Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές

Από τα παραπάνω διαγράμματα Taylor τόσο για τις διάφορες υποπεριοχές όσο και για ολόκληρη την Ευρώπη προκύπτει αβίαστα μια βασική εικόνα για την σχετική επίδοση των μοντέλων. Το CCLM4 παρουσιάζει σε όλα τα διαγράμματα το μικρότερο σφάλμα (πάντοτε μικρότερο από 0.5°C) καθώς και τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης (πάνω από 0.9). Επίσης προσεγγίζει πάντοτε αρκετά καλά την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων. Στον αντίποδα βρίσκεται το REGCM4. Παρουσιάζει το μεγαλύτερο σφάλμα, χειρότερο συντελεστή συσχέτισης (στις Άλπεις έχει μόλις 0.65) και από τις μεγαλύτερες διαφορές από την παρατηρούμενη τυπική απόκλιση. Όλα τα υπόλοιπα μοντέλα καταλαμβάνουν τις ενδιάμεσες θέσεις. Το ALADIN53 εμφανίζει σταθερά τις μεγαλύτερες αποκλίσεις στην τυπική απόκλιση με ιδιαίτερα κακή απόδοση στις περιοχές BI, SC και EA. Τα HIRHAM5, RCA4 και WRF331F εμφανίζουν παρόμοιες επιδόσεις με παραπλήσιο σφάλμα, συντελεστή συσχέτισης και εκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Τα HIRHAM5 και RCA4 έχουν πάντως τις καλύτερες εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης ενώ το WRF331F εμφανίζει μια σταθερή υπερεκτίμηση της διασποράς.

Ενδεχομένως να παραξενεύει το γεγονός ότι το CCLM4 παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα ενώ από τον πίνακ 3.2.1 εμφανίζεται να έχει το δεύτερο μεγαλύτερο MAGE κατά μέσο όρο. Στην ουσία όμως πρόκειται για δύο διαφορετικούς τρόπους σύγκρισης των δεδομένων. Στα διαγράμματα Taylor η σύγκριση έγινε σε χρονική βάση (Temporal) αφού συγκρίνονταν χρονικό σημείο με χρονικό σημείο των χωρικά μεσοποιημένων χρονοσειρών. Στον πίνακα 3.2.1 το MAGE υπολογίζεται ως μέσος όρος των MAGE που προκύπτουν από την σύγκριση μεταξύ αντίστοιχων σημείων του πλέγματος. Πρόκειται δηλαδή για χωρική σύγκριση (Spatial).

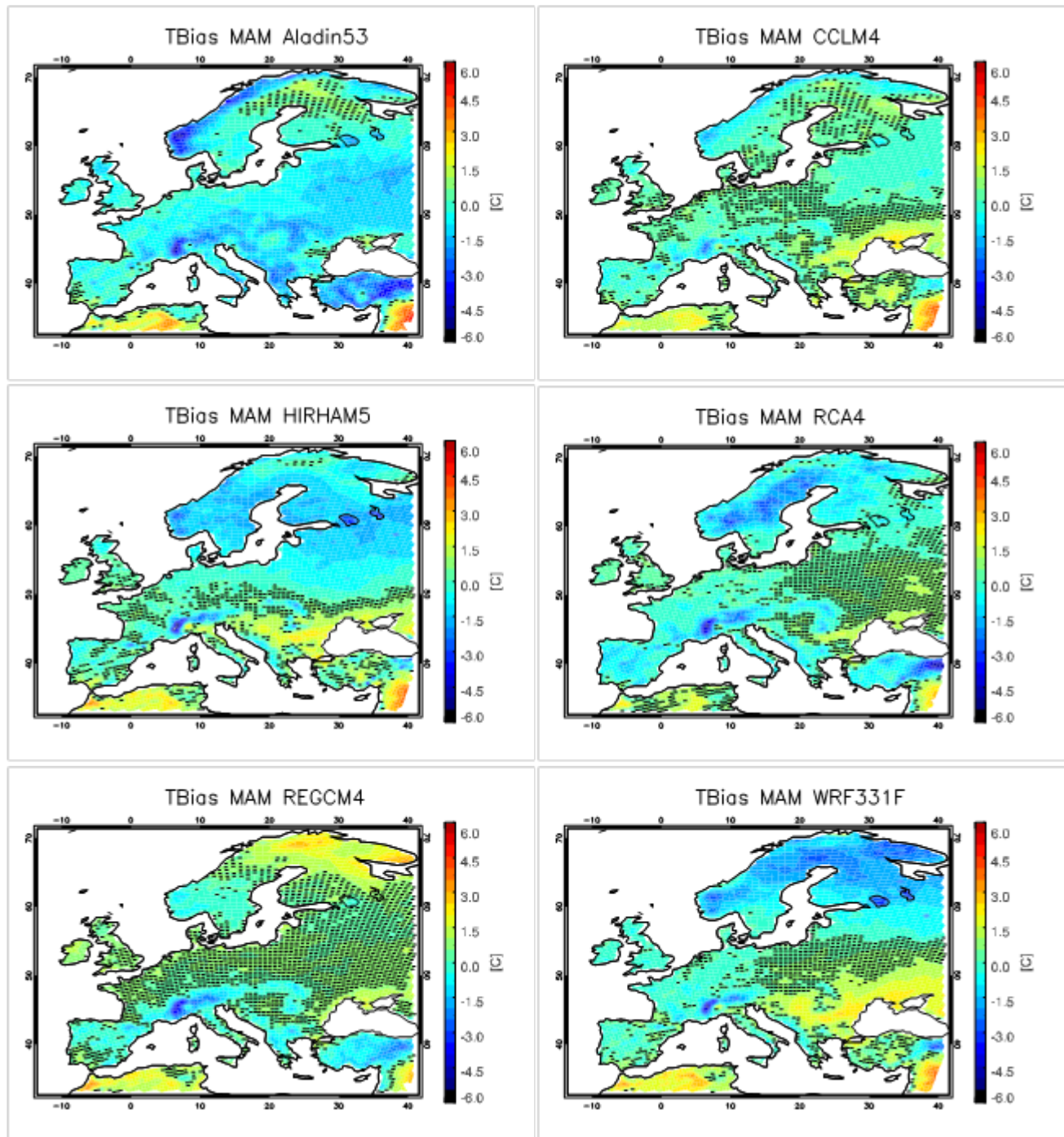
3.3 ΑΝΟΙΞΗ

Περίληψη

Καθαρή υποεκτίμηση της θερμοκρασίας από το ensemble με -0.7°C , καθώς και από όλα τα μοντέλα ξεχωριστά. Πάρα πολύ εκτεταμένες περιοχές μη στατιστικής σημαντικότητας οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης σε όλα τα μοντέλα. Αρκετές ομοιότητες στο χωρικό μοτίβο του Bias. Το μικρότερο μέσο όρο MAGE έχει το CCLM4 με μόλις 0.5°C , το οποίο παρουσιάζει και πολύ καλές επιδόσεις στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις όπως αυτή παρουσιάζεται στα διαγράμματα Taylor. Στην χρονική σύγκριση τα μοντέλα παρουσιάζουν για την Άνοιξη εμφανώς καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με τον Χειμώνα. Το ενδιαφέρον είναι ότι πολύ καλή επίδοση στα διαγράμματα Taylor έχει και το ALADIN53 το οποίο παρουσιάζει το μεγαλύτερο κατά μέσο όρο MAGE με 1.3°C , υπερδιπλάσιο από το MAGE του CCLM4. Από τα θηκογράμματα φαίνεται ότι το ALADIN53 σε αρκετές υποπεριοχές δεν εκτιμάει σωστά την μορφή της κατανομής των καταστάσεων θερμοκρασίας. Δεν υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας από τα μοντέλα. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι Άλπεις με 1.5°C . Το μικρότερο MAGE παρουσιάζουν οι ΒΙ, ΜΕ.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για τον χειμώνα από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 3.3.1 : Bias μέσης θερμοκρασίας των μοντέλων για την Άνοιξη

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Οι τιμές του Bias για την Άνοιξη όπως και για όλες τις εποχές παρουσιάζονται με την ίδια χρωματική κλίμακα που αντιστοιχεί στο εύρος +6 ως -6 °C . Για την εποχή της Άνοιξης πάντως η τιμές του Bias είναι γενικά μικρότερες από του χειμώνα και δεν προσεγγίζουν το παραπάνω εύρος καθώς δύσκολα παρατηρούνται στα διαγράμματα περιοχές με ιδιαίτερα έντονα χρώματα. Στα περισσότερα σημεία το Bias βρίσκεται εντός του εύρους από +3 έως -3 °C .

Όπως και για την εποχή του Χειμώνα το χωρικό μοτίβο στατιστικής σημαντικότητας παρουσιάζει αρκετές διαφορές ανάμεσα στα μοντέλα. Τις πιο εκτεταμένες περιοχές μη στατιστικής σημαντικότητας παρουσιάζει και πάλι το REGCM4 με το μεγαλύτερο κομμάτι της Δυτικής-Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης να καλύπτεται από διάστικτη γραμμή. Το ALADIN53 αντίθετα εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε ολόκληρη την Ευρώπη πλην μιας περιοχής της βόρειας Σκανδιναβίας (SC). Επίσης και για την Άνοιξη η ορεινή περιοχή των Άλπεων (AL) εμφανίζει σε όλα τα μοντέλα στατιστικά σημαντικό Bias.

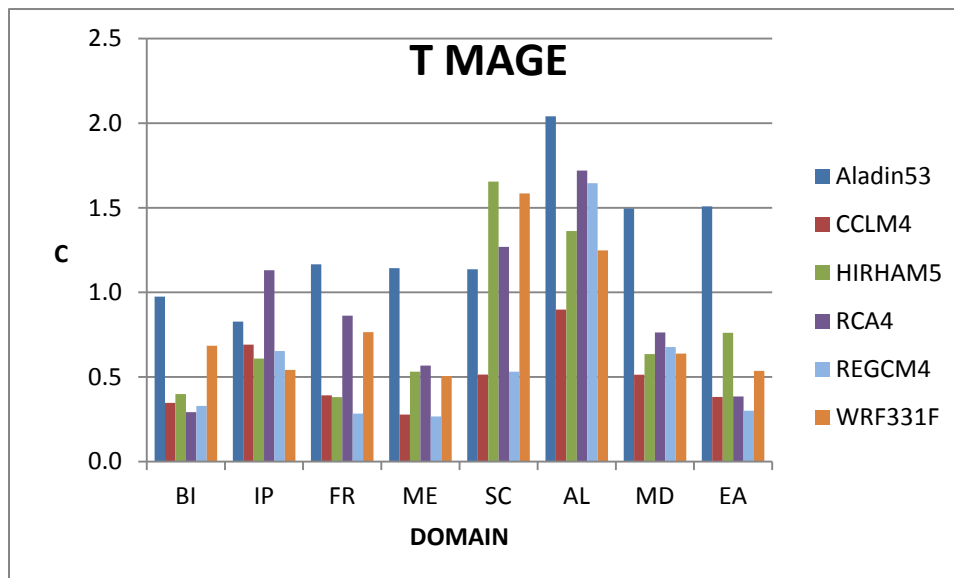
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του Bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) για την θερμοκρασία (T) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου από όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής (μέσος όρος από όλα τα μοντέλα).

Πίνακας 3.3.1: T Bias (°C) για Άνοιξη ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O περιοχής
BI	-1.0 (1.0)	-0.3 (0.3)	-0.4 (0.4)	-0.2 (0.3)	0.3 (0.3)	-0.7 (0.7)	-0.4 (0.5)
IP	-0.7 (0.8)	-0.6 (0.7)	-0.4 (0.6)	-1.1 (1.1)	-0.5 (0.7)	-0.4 (0.5)	-0.6 (0.7)
FR	-1.2 (1.2)	-0.4 (0.4)	-0.4 (0.4)	-0.9 (0.9)	-0.1 (0.3)	-0.7 (0.8)	-0.6 (0.6)
ME	-1.1 (1.1)	-0.2 (0.3)	-0.5 (0.5)	-0.6 (0.6)	0.0 (0.3)	-0.5 (0.5)	-0.5 (0.5)
SC	-1.1 (1.1)	-0.4 (0.5)	-1.7 (1.7)	-1.3 (1.30)	0.0 (0.5)	-1.6 (1.6)	-1.0 (1.1)
AL	-2.0 (2.0)	-0.8 (0.9)	-1.0 (1.4)	-1.7 (1.7)	-1.6 (1.6)	-1.1 (1.2)	-1.4 (1.5)
MD	-1.4 (1.5)	0.0 (0.5)	-0.1 (0.6)	-0.6 (0.8)	-0.4 (0.7)	0.0 (0.6)	-0.4 (0.8)
EA	-1.5 (1.5)	-0.1 (0.4)	-0.3 (0.8)	-0.3 (0.4)	-0.1 (0.3)	0.4 (0.5)	-0.3 (0.6)
M.O Μοντέλου	-1.3 (1.3)	-0.4 (0.5)	-0.6 (0.8)	-0.8 (0.9)	-0.3 (0.6)	-0.6 (0.8)	-0.7 (0.8)

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGΕ για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 3.3.1: Τιμές απόλυτου Bias θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο

Σε γενικές γραμμές είναι φανερό τόσο από τα χρώματα των σχημάτων 3.3.1 όσο και από τις τιμές του πίνακα 3.3.1 ότι υπάρχει υποεκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας από τα μοντέλα για την εποχή της Άνοιξης.

Είναι χαρακτηριστικό ότι για κάθε ένα από τα έξι μοντέλα ο μέσος όρος του Bias για ολόκληρη την Ευρώπη είναι αρνητικός. Επίσης όλα τα μοντέλα σε όλες σχεδόν τις υποπεριοχές εμφανίζουν πάλι αρνητικές τιμές στους μέσους όρους Bias. Έτσι στον πίνακα 3.3.1 μπορούμε να δούμε εκτός από τις αρνητικές τιμές κάποιες μηδενικές (CCLM4 στην MD, REGCM4 στις ME, SC) και μόνο δύο θετικούς μέσους όρους, του REGCM4 για την BI και του WRF331F για την EA. Ακόμα οι τιμές του απόλυτου Bias τις περισσότερες φορές είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες τιμές του Bias κάτι που υποδηλώνει ότι ο μέσος όρος Bias στις περισσότερες υποπεριοχές είναι αποτέλεσμα σταθερής υποεκτίμησης και όχι εξισορρόπησης μεταξύ έντονα θετικών και έντονα αρνητικών τιμών Bias.

Η περιοχή με το μεγαλύτερο MAGΕ αλλά και Bias είναι οι Άλπεις και ακολουθεί η Σκανδιναβία. Παρόλο που η Σκανδιναβία γενικά εμφανίζει MAGΕ άνω του 1°C το REGCM4 έχει μόλις 0.5°C και Bias μηδέν ακριβώς γιατί έχει και κάποιες περιοχές εντός της SC με καθαρά θετικό bias.

Τα REGCM4 και CCLM4 είναι τα μοντέλα με το μικρότερο Bias και MAGΕ όχι μόνο ως μέσο όρο για όλες τις υποπεριοχές αλλά και στις περισσότερες υποπεριοχές ξεχωριστά. Το REGCM4 με Bias -0.3°C και MAGΕ 0.6°C ως μέσο όρο για το σύνολο της Ευρώπης ενώ το CCLM4 με Bias -0.4°C και MAGΕ 0.5°C .

Το ALADIN53 είναι το μοντέλο με το χειρότερο Bias και MAGΕ, με -1.3°C και 1.3°C αντίστοιχα, όχι μόνο ως μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη αλλά σχεδόν και για κάθε υποπεριοχή ξεχωριστά πλην της SC όπου την χειρότερη επίδοση κατέχει το HIRHAM5 με 1.7°C .

Τυπική Απόκλιση

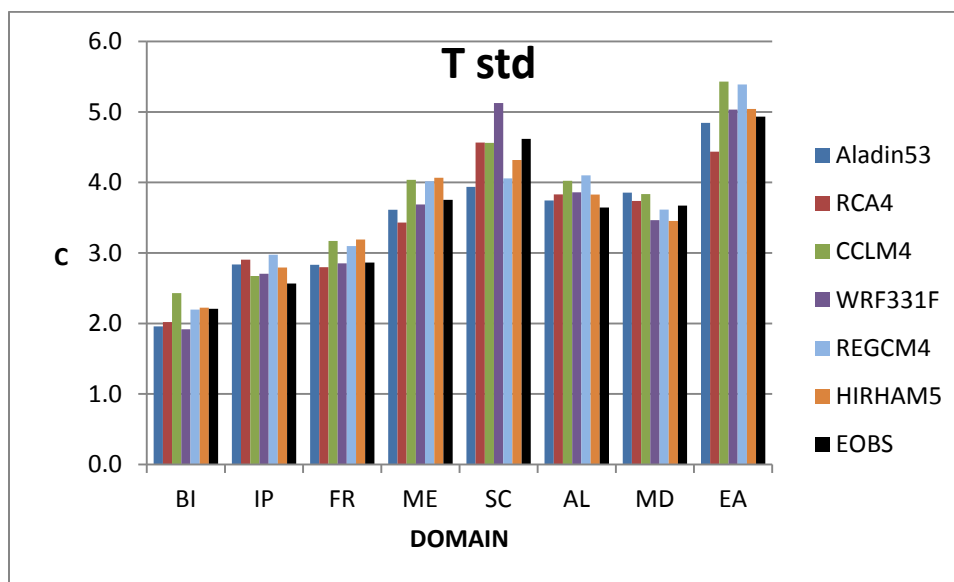
Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

Η τυπική απόκλιση αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (spread) των δεδομένων. Στην παραπάνω της μορφή εκφράζει ακριβώς το βαθμό διασποράς που έχουν τα δεδομένα των μέσων μηνιαίων τιμών T για κάθε σημείο (πάντα για την εποχή του χειμώνα) αλλά και συνολικά ως μέσος όρος για όλες τις υποπεριοχές. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να γίνουν συγκρίσεις της διασποράς των δεδομένων τόσο μεταξύ των μοντέλων όσο και των περιοχών αλλά κυρίως να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ του βαθμού της διασποράς και του σφάλματος του μοντέλου (Bias,MAGE).

Πίνακας 3.3.2: Τιμές τυπικής απόκλισης για την Άνοιξη ανά υποπεριοχή

	ALADIN53	RCA4	CCLM4	WRF331F	REGCM4	HIRHAM5	EOBS	M.O. περιοχής
BI	2.0	2.0	2.4	1.9	2.2	2.2	2.2	2.1
IP	2.8	2.9	2.7	2.7	3.0	2.8	2.6	2.8
FR	2.8	2.8	3.2	2.9	3.1	3.2	2.9	3.0
ME	3.6	3.4	4.0	3.7	4.0	4.1	3.8	3.8
SC	3.9	4.6	4.6	5.1	4.1	4.3	4.6	4.4
AL	3.7	3.8	4.0	3.9	4.1	3.8	3.6	3.9
MD	3.9	3.7	3.8	3.5	3.6	3.5	3.7	3.7
EA	4.8	4.4	5.4	5.0	5.4	5.0	4.9	5.0
M.O μοντέλου	3.5	3.5	3.8	3.6	3.7	3.6	3.5	3.6

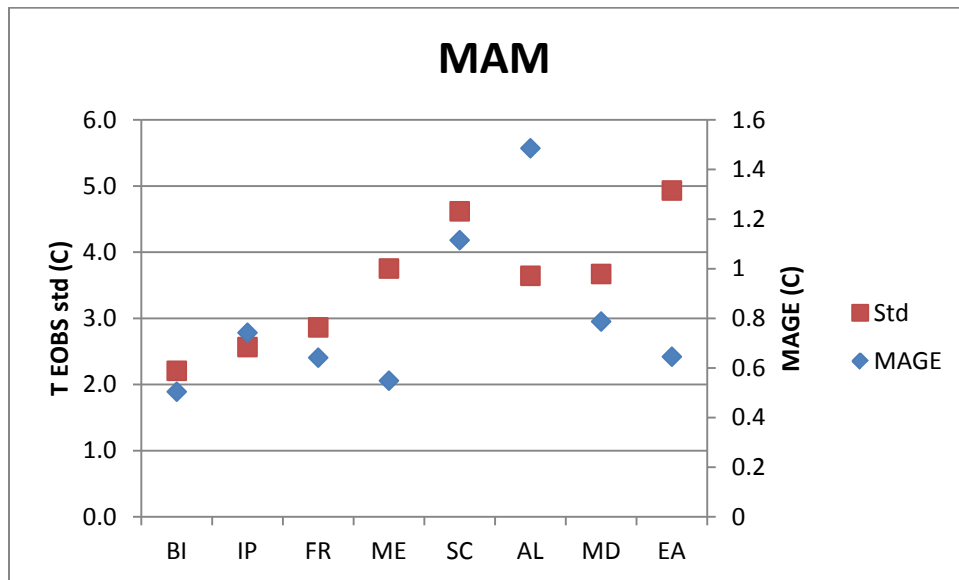
Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 3.3.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Άνοιξη

Η πρώτη παρατήρηση που γίνεται είναι ότι η τυπική απόκλιση (std) των μοντέλων για την Άνοιξη εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τον χειμώνα. Οι τιμές αρχίζουν από τους 2°C για την BI και ξεπερνούν ακόμα και τους 5°C σε MD, EA. Αντίθετα τον χειμώνα οι τιμές σπανίως ξεπερνούσαν τους 2°C . Επίσης οι τιμές std για κάθε υποπεριοχή διαφέρουν πολύ λιγότερο ανάμεσα στα μοντέλα ως ποσοστό επί τις εκατό, σε σχέση με τον Χειμώνα. Επομένως οι εκτιμήσεις των μοντέλων για κάθε υποπεριοχή παρουσιάζουν μεγάλη σύμπτωση. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι τιμές των συγκεντρωτικών μέσων όρων std ανά μοντέλο κυμαίνονται στο περιορισμένο διάστημα 3.5 ως 3.8°C . Η αντίστοιχη τιμή των EOBS είναι 3.5°C κάτι που δείχνει ότι υπάρχει μία μικρή τάση για υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης από τα μοντέλα. Αυτό θα φανεί και παρακάτω στα διαγράμματα Taylor παρόλο που ο τρόπος υπολογισμού της std ανά υποπεριοχή σε αυτά είναι διαφορετικός. Σε όλες τις υποπεριοχές πάντως η μέση τιμή της std των παρατηρήσεων βρίσκεται εντός του εύρους των μέσων τιμών τυπικών αποκλίσεων των μοντέλων. Από όλα τα παραπάνω μπορεί να ειπωθεί ότι όλα τα μοντέλα προσομοιώνουν αρκετά ικανοποιητικά την αυξημένη τυπική απόκλιση κατά την Άνοιξη.

Οι περιοχές με την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση (EOBS) είναι και πάλι οι SC, EA με 4.6 και 4.9°C αντίστοιχα. Την μικρότερη τυπική απόκλιση εμφανίζει η BI, όπως και τον χειμώνα. Ο μέσος όρος από όλα τα μοντέλα για την std στην BI είναι μόλις 2.2°C , κάτω από το μισό δηλαδή των τιμών που εμφανίζονται στις SC, EA. Παρακάτω παρατίθεται και πάλι το διάγραμμα με τους μέσους όρους MAGE και τυπικής απόκλισης των EOBS ανά υποπεριοχή.



Διάγραμμα 3.3.3: Σχέση μέσων τιμών MAGE και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης, Χειμώνας

Για το Φθινόπωρο φαίνεται να υπάρχει μια καλύτερη σχέση μεταξύ μέσων όρων MAGE και std σε σύγκριση με τον Χειμώνα. Οι υποπεριοχές BI, FR, IP με τις μικρότερες τυπικές αποκλίσεις εμφανίζουν από τα μικρότερα MAGE ενώ αντίθετα οι SC, AL, MD συνδυάζουν μεγάλα MAGE με μεγάλες τιμές std. Υπάρχουν βέβαια και οι EA και ME που παρουσιάζουν μικρά MAGE με μεγάλες τυπικές αποκλίσεις. Η EA μάλιστα έχει τον υψηλότερο μέσο όρο std. Πάλι όμως παρατηρείται το γεγονός οι μεγάλοι μέσοι όροι MAGE να παρατηρούνται σε υποπεριοχές οι οποίες έχουν μεγάλες τιμές τυπικής απόκλισης.

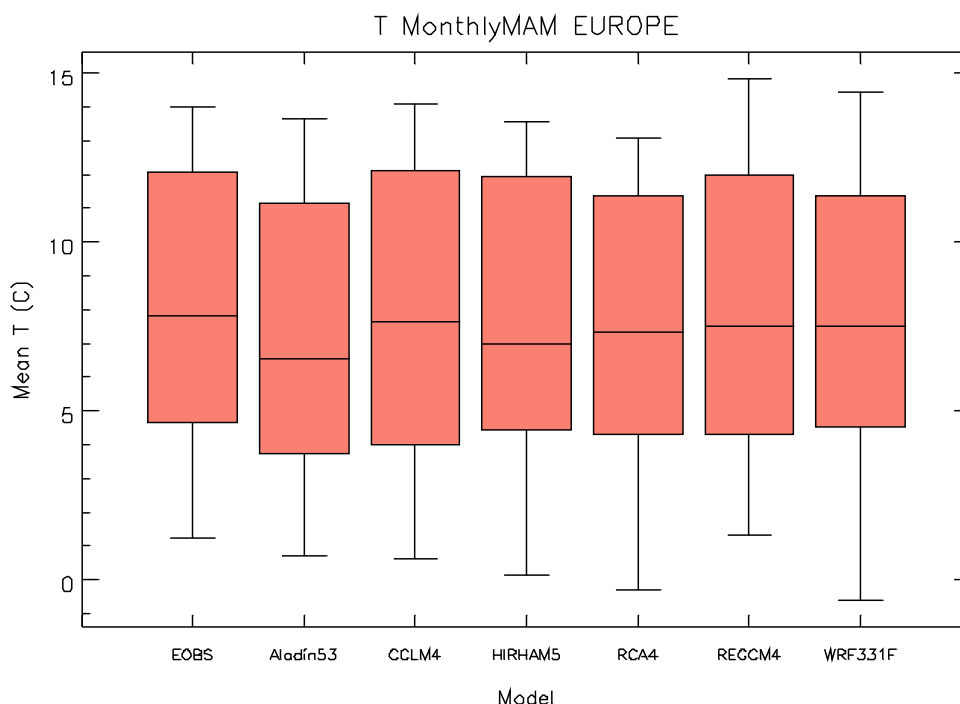
Θηκογράμματα (Boxplots)

Η τυπική απόκλιση που αναλύθηκε παραπάνω προσφέρει κάποιες πληροφορίες σχετικά με τη διασπορά των δεδομένων όμως τα θηκογράμματα μπορούν να παρέχουν πολλές περισσότερες πληροφορίες για ολόκληρη την κατανομή(διασπορά, εύρος, παράτυπα σημεία, λόξωση) τους. Επίσης η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με απλό, άμεσο και συγκεντρωτικό τρόπο ενώ είναι αρκετά εύκολο να διαπιστωθούν οπτικά οι διαφορές μεταξύ των παρατηρήσεων και των μοντέλων.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα θηκογράμματα χρησιμοποιήθηκαν για να δοθεί πληροφορία για την χρονική κατανομή των δεδομένων. Δημιουργήθηκαν θηκογράμματα από τις χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας για τον χειμώνα (57 τιμές=19χρόνια X 3μήνες) ανά υποπεριοχή Prudence και ανά μοντέλο. Για κάθε χρονικό σημείο υπολογίστηκε ο μέσος όρος της θερμοκρασίας για ολόκληρη την υπό εξέταση περιοχή (χωρική μεσοποίηση). Επομένως το κάθε ξεχωριστό θηκογράμμα στα παρακάτω διαγράμματα αναπαριστά μια χρονοσειρά 57 τιμών μέσων όρων για την εκάστοτε υποπεριοχή.

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η διάστικτη κόκκινη γραμμή επισημαίνει την στάθμη των 0°C . Παρατίθεται απλώς γιατί διευκολύνει τις συγκρίσεις μεταξύ των θηκογραμμάτων και όχι λόγω κάποιας φυσικής σημασίας. Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.

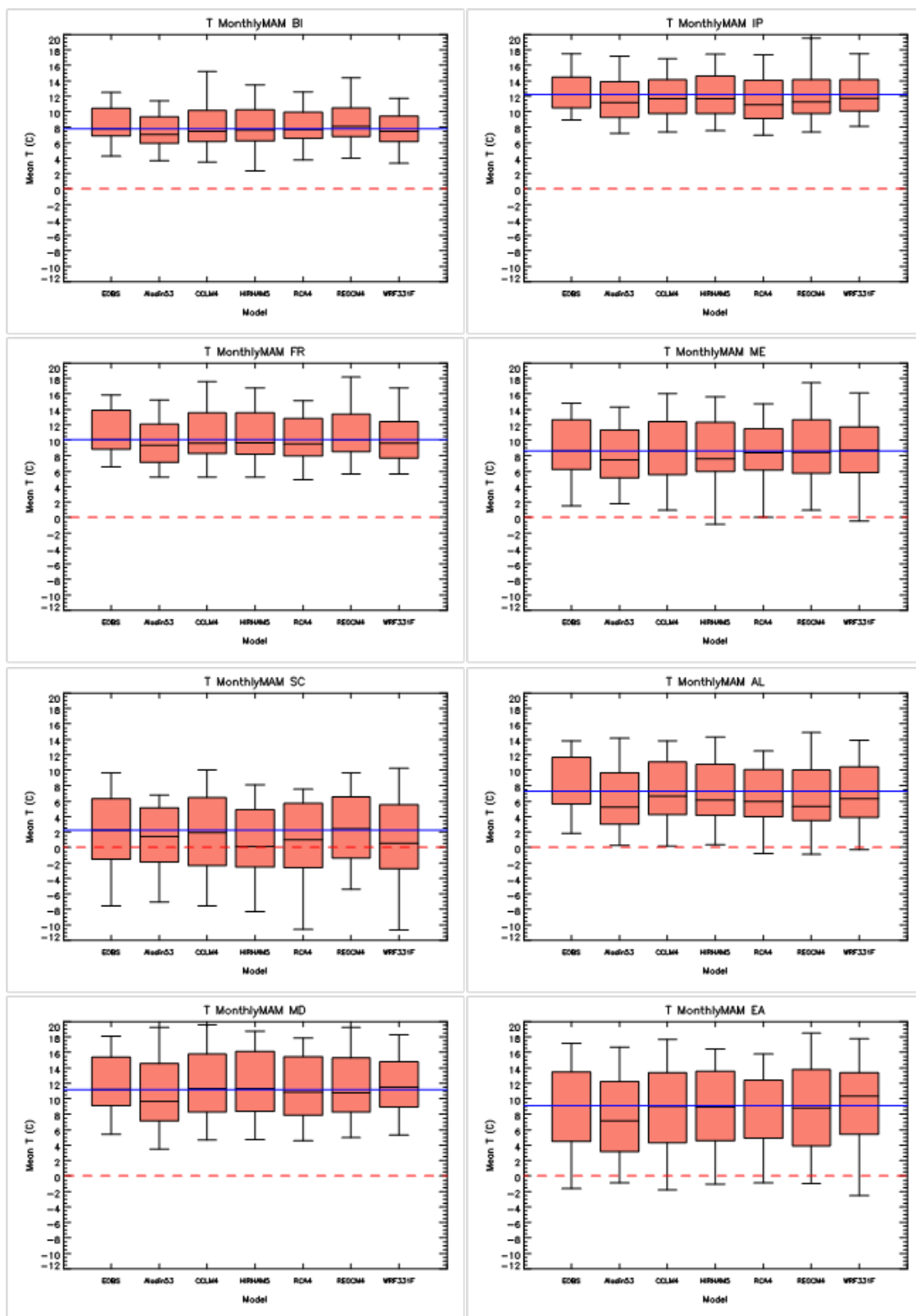


Διάγραμμα 3.3.4: Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης

Όπως δείχτηκε και στο κομμάτι του Bias κυρίαρχη τάση του ensemble και για την Άνοιξη είναι η υποτίμηση της θερμοκρασίας. Σε συμφωνία με το παραπάνω χαρακτηριστικό βρίσκονται και τα θηκογράμματα που παρουσιάζονται εδώ. Έτσι λοιπόν η διάμεσος των όλων των μοντέλων είναι μικρότερη από την διάμεσο των παρατηρήσεων τόσο για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης όσο και για κάθε υποπεριοχή. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το WRF331F για τις υποπεριοχές MD και EA. Αυτό συμφωνεί και με τους μέσους όρους Bias καθώς η MD έχει μηδέν ενώ η EA έχει Bias θετικό. Αν θεωρηθεί ολόκληρη η περιοχή της Ευρώπης το μοντέλο που παρουσιάζει την μεγαλύτερη απόκλιση της διαμέσου από τις παρατηρήσεις είναι το ALADIN53 με περίπου 1.5°C διαφορά. Στις επιμέρους υποπεριοχές το ALADIN53 εμφανίζει διαφορές κοντά στους 2°C στις AL, EA, λίγο μικρότερες MD, ME. Μεγάλες διαφορές επίσης περίπου στους 2°C παρουσιάζουν τα HIRHAM5 και WRF331F για την SC, το REGCM4 για την AL και το WRF331F για την EA με θετική διαφορά $+1.5^{\circ}\text{C}$ περίπου. Γενικά η συμπεριφορά των μοντέλων στα θηκογράμματα όσον αφορά την θέση της διαμέσου ταιριάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό με τους μέσους όρους Bias ανά περιοχή όπως φαίνονται στον πίνακα 3.3.1.

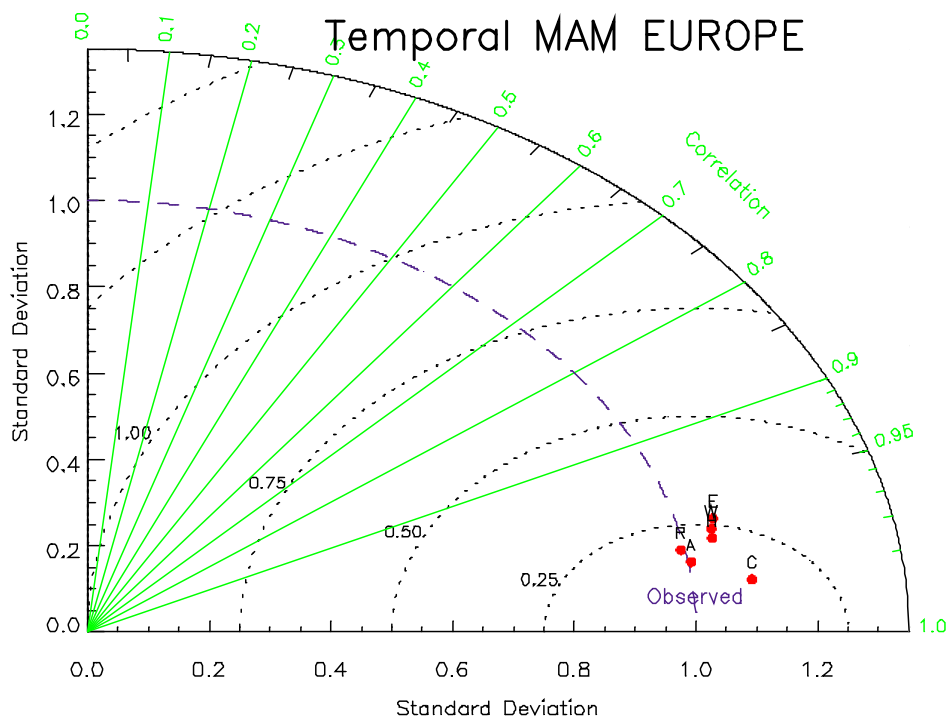
Όσον αφορά τα ενδοτεταρτομοριακά εύρη (IQR), αυτά παρουσιάζουν μεγάλη σύμπτωση με τους μέσους όρους τυπικής απόκλισης του πίνακα 3.3.2, καθώς αποτελούν και αυτά μέτρο της διασποράς των παρατηρήσεων. Για το θηκόγραμμα της Ευρώπης παρουσιάζονται μικρές διαφορές τόσο στο IQR όσο και στο ολικό εύρος μεταξύ μοντέλων και παρατηρήσεων.

Όσον αφορά το εύρος σπάνια παρουσιάζονται αποκλίσεις από τις παρατηρήσεις μεγαλύτερες των 4°C . Επίσης το εύρος των μοντέλων δεν παρουσιάζει συνήθως μεγάλες διαφορές από αυτό των παρατηρήσεων ως ποσοστό επί του αρχικού εύρους. Δηλαδή οι απόλυτες διαφορές είναι συνήθως μικρότερες από 4°C ενώ οι σχετικές διαφορές είναι μικρές. Μεγάλες σχετικές διαφορές έχουμε σε κάποιες περιπτώσεις όπως στα CCLM4 και HIRHAM5 για την BI και στο REGCM4 για την IP. Γενικά πάντως η τάση που υπάρχει είναι μια υπερεκτίμηση του εύρους από τα μοντέλα. Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι δεν έχουμε πουθενά παράτυπα σημεία. Έτσι σε όλα τα θηκογράμματα τα whisker εκτείνονται από το μεγαλύτερη στην μικρότερη τιμή.



Διάγραμμα 3.3.5: Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή, Άνοιξη

Διαγράμματα Taylor



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.3.6: Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, Άνοιξη

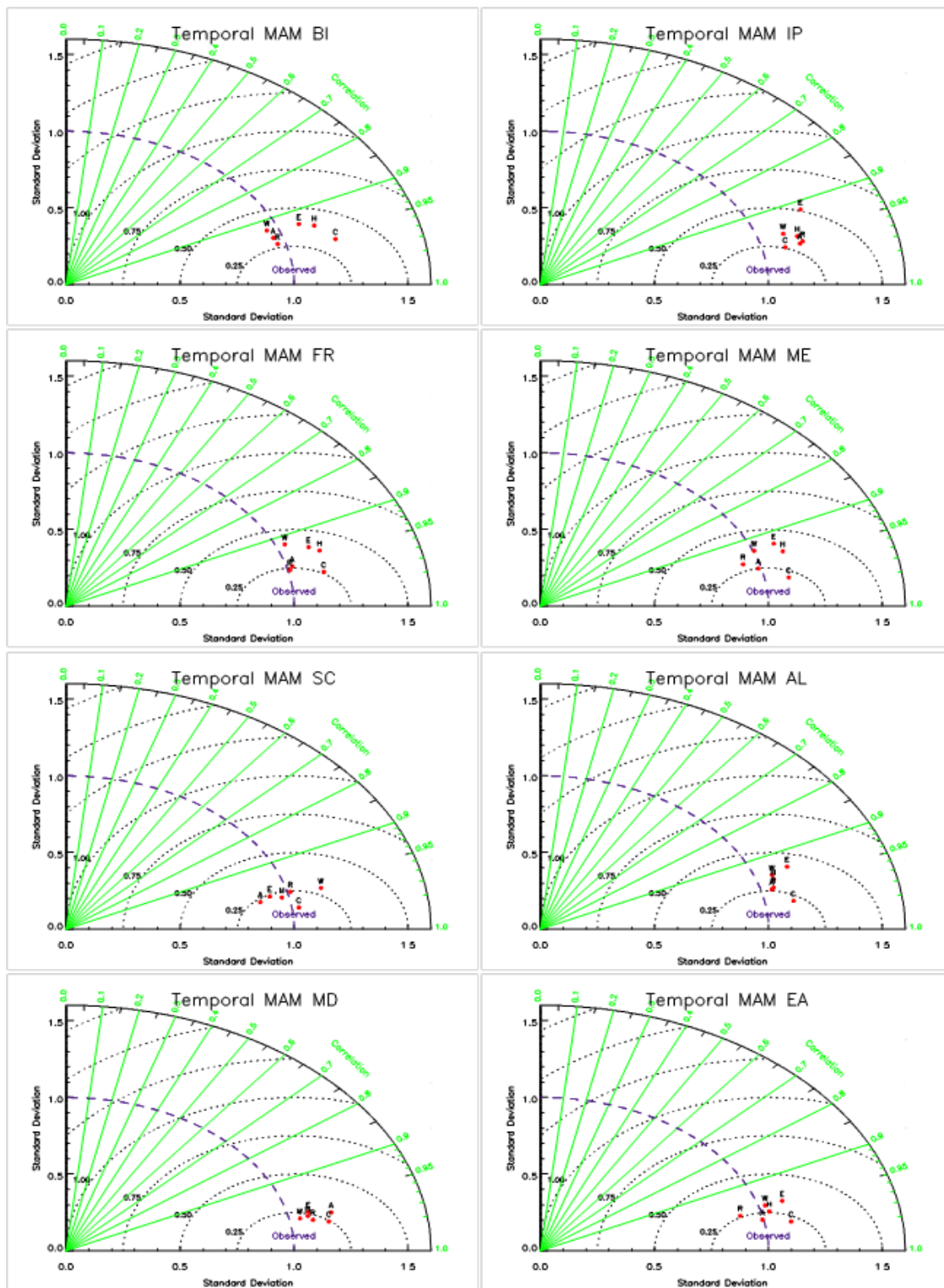
Η γενική εικόνα που αποκομίζεται από τα παραπάνω διαγράμματα είναι ότι όλα τα μοντέλα έχουν πολύ υψηλή συσχέτιση, άνω του 0.9 για κάθε υποπεριοχή, και σφάλμα που για την περιοχή της Ευρώπης είναι κάτω του 0.25°C . Για κάθε μία από τις υπόλοιπες υποπεριοχές το σφάλμα δεν ξεπερνά το 0.5°C . Επίσης η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης είναι πολύ καλή. Σε περιοχές όπως οι SC, BI, EA έχουμε ένα μεγαλύτερο εύρος εκτιμήσεων της τυπικής απόκλισης σε σχέση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές.

Από τα έξι μοντέλα το CCLM4 εμφανίζει σταθερά τα μικρότερα λάθη και την καλύτερη συσχέτιση σε όλα τα διαγράμματα τόσο της Ευρώπης όσο και των υποπεριοχών. Δεν είναι όμως εξίσου ικανό στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης καθώς παρουσιάζει την μεγαλύτερη διαφορά από την παρατηρούμενη τυπική απόκλιση αν θεωρηθεί το σύνολο της Ευρώπης ενώ και στα διαγράμματα των υποπεριοχών κατέχει συχνά μια από τις χειρότερες επιδόσεις. Εξαιρέση αποτελούν οι περιοχές SC, IP όπου εκεί το CCLM4 τα πηγαίνει πολύ καλά συγκριτικά με τα άλλα μοντέλα. Γενικά η διαφορά της τυπικής

απόκλισης του CCLM4 από αυτήν των παρατηρήσεων κυμαίνεται στο διάστημα 0.1-0.2 δηλαδή στο 10-20% της παρατηρούμενης τιμής αφού η τυπική απόκλιση εκφράζεται με κανονικοποιημένη μορφή.

Όσον αφορά την συσχέτιση και το σφάλμα μετά το CCLM4 ακολουθούν σε επιδόσεις τα RCA4 και ALADIN53 τα οποία εμφανίζουν στο σύνολο της Ευρώπης και την καλύτερη εκτίμηση της std. Στις περισσότερες περιοχές παρουσιάζουν επίσης τις καλύτερες επιδόσεις, όχι όμως σε όλες. Το ALADIN53 συγκεκριμένα στις περιοχές SC, MD παρουσιάζει την μεγαλύτερη διαφορά στην τυπική απόκλιση. Μετά τα RCA4, ALADIN53 ακολουθούν τα HIRHAM5, REGCM4, WRF331F τα οποία παρουσιάζουν λίγο χειρότερη συσχέτιση, σφάλμα και εκτίμηση της std από τα RCA4 και ALADIN53.

Πάντως είναι φανερό ότι, όπως λέχθηκε και παραπάνω, όλα τα μοντέλα σε όλες τις υποπεριοχές παρουσιάζουν αρκετά καλές επιδόσεις και στα τρία χρησιμοποιούμενα μετρικά που παρουσιάζονται στα διαγράμματα Taylor.



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.3.7: Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές Prudence, Άνοιξη

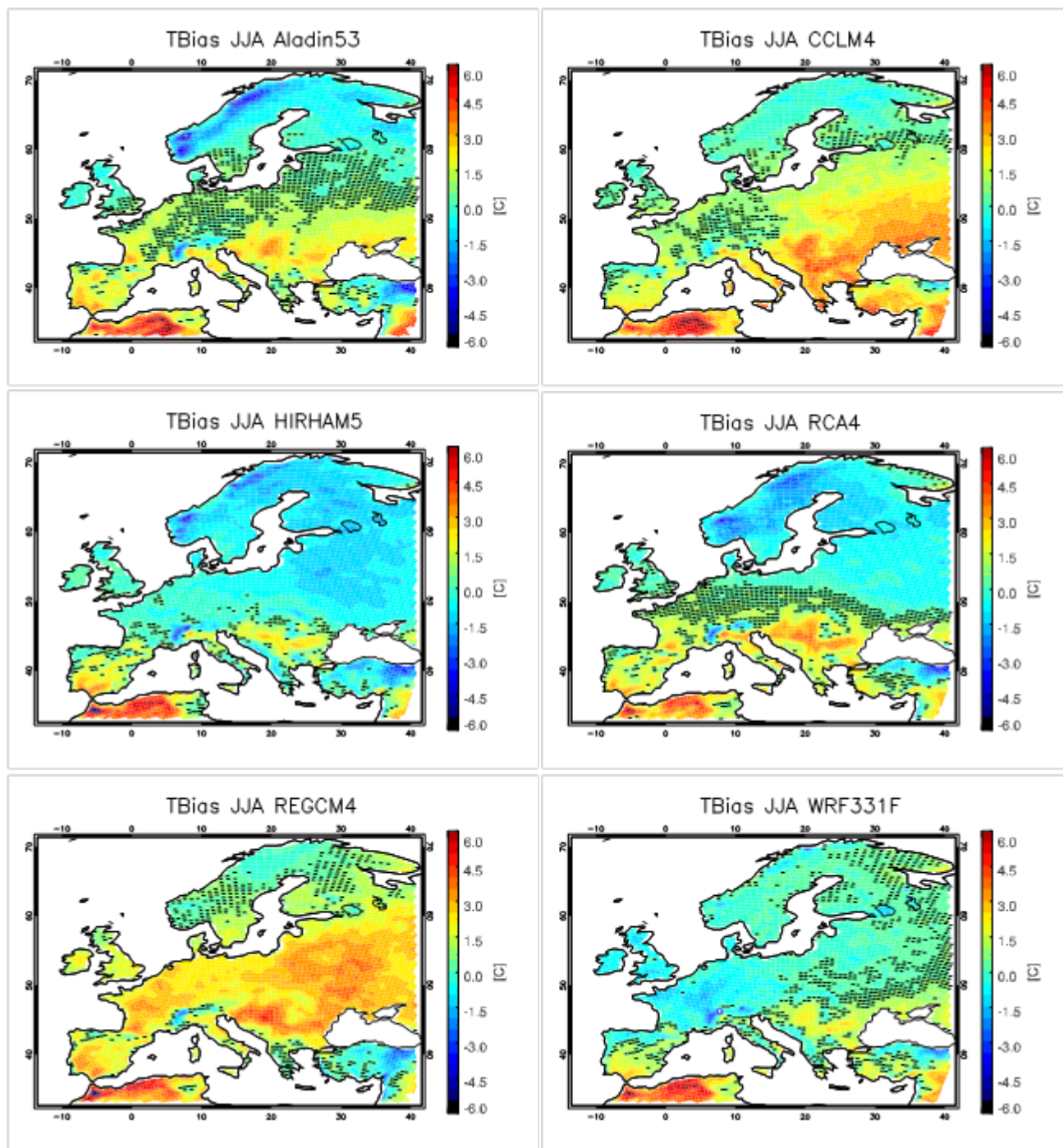
3.4 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Περίληψη

Η τιμή Bias του ensemble για ολόκληρη την Ευρώπη είναι θετική, 0.3°C , όμως δεν μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης της θερμοκρασίας (T). Αντίθετα είναι εμφανές ότι υπάρχει τάση υποεκτίμησης της θερμοκρασίας στην νότια Ευρώπη. Δύο μοντέλα τα HIRHAM5 και WRF331F έχουν αρνητικό μέσο όρο Bias ενώ όλα τα μοντέλα εμφανίζουν μεγάλες εκτάσεις με υποεκτίμηση της T. Το χωρικό μοτίβο του Bias παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων κυρίως μια τάση εμφάνισης αρνητικού Bias στις βορειότερες περιοχές ενώ θετικό Bias να κυριαρχεί στον νότο. Το μοτίβο μη στατιστικής σημαντικότητας διαφέρει αρκετά ανάμεσα στα μοντέλα. Τα περισσότερα μοντέλα παρουσιάζουν πολύ παρόμοιες τιμές μέσου όρου MAGE. Την μικρότερη τιμή εμφανίζει το ALADIN53 με 0.9°C , ενώ την χειρότερη το REGCM4 με 1.5°C . Στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις την καλύτερη συσχέτιση και CRMS πετυχαίνει το CCLM4 το οποίο όμως υπερεκτιμάει την τυπική απόκλιση. Το REGCM4 καταλαμβάνει την τελευταία θέση και στην χρονική σύγκριση. Όλα τα μοντέλα υπερεκτιμούν την τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας. Το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGE εμφανίζουν οι υποπεριοχές MD και EA ενώ τον μικρότερο η BI.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για το καλοκαίρι από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 3.4.1: Bias μέσης θερμοκρασίας των μοντέλων για το Καλοκαίρι

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές **δεν** είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Όπως και στις προηγούμενες εποχές το χωρικό μοτίβο των περιοχών στατιστικής σημαντικότητας παρουσιάζει αρκετές διαφορές μεταξύ των μοντέλων. Στα HIRHAM5, REGCM4 και WRF331F ολόκληρη σχεδόν η έκταση των υποπεριοχών Prudence παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα. Στο REGCM4 μόνο ένα κομμάτι της Σκανδιναβίας είναι μη στατιστικά σημαντικό όπως και κάποια τμήματα της Αν.Ευρώπης για το WRF331F. Τα μοντέλα CCLM4, ALADIN53 και RCA4 εμφανίζουν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές σε τμήματα της Δυτικής-Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης. Τέλος παρόλο που παρουσιάζονται κάποια ψήγματα μη στατιστικής σημαντικότητας, το μεγαλύτερο κομμάτι των ορεινών Άλπεων εμφανίζει σημαντικές διαφορές από τις παρατηρήσεις.

Ακόμα είναι φανερό ότι δεν υπάρχει μια ενιαία συμπεριφορά του Bias της θερμοκρασίας χωρικά για όλα τα μοντέλα. Παρουσιάζονται δηλαδή διαφορές στην τιμή του Bias στις ίδιες περιοχές ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε.

Επίσης το εύρος του Bias παρουσιάζεται αυξημένο σε σχέση με την Άνοιξη καθώς εμφανίζονται στους χάρτες, σε περιορισμένη κλίμακα βέβαια και κυρίως σε ορεινές περιοχές, κάποια έντονα χρώματα τα οποία υποδηλώνουν την ύπαρξη διαφορών μεγαλύτερων των 4°C κατά απόλυτο τιμή. Παράδειγμα αποτελεί το έντονο αρνητικό Bias στις δυτικές Σκανδιναβικές οροσειρές στο ALADIN53 και το ισχυρό θετικό Bias σε όρη των Βαλκανίων στο REGCM4.

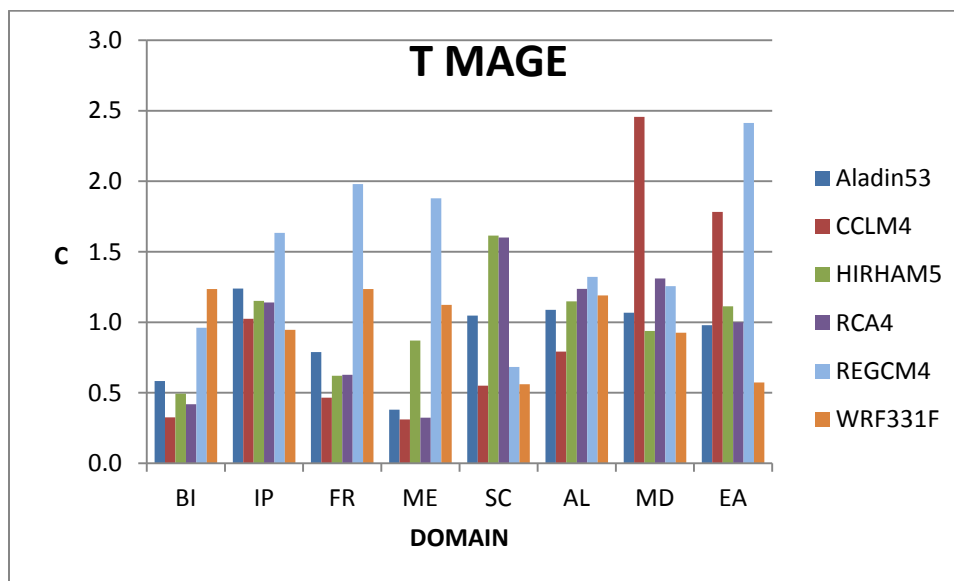
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του T Bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου για όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής.

Πίνακας 3.4.1 : T Bias (°C) για το Καλοκαίρι ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O περιοχής
BI	-0.5 (0.6)	0.0 (0.3)	-0.5 (0.5)	-0.4 (0.4)	0.9 (1.0)	-1.2 (1.2)	-0.3 (0.7)
IP	1.1 (1.2)	0.7 (1.0)	0.9 (1.2)	1.0 (1.1)	1.5 (1.6)	0.3 (0.9)	0.9 (1.2)
FR	0.7 (0.8)	0.5 (0.5)	-0.6 (0.6)	0.6 (0.6)	2.0 (2.0)	-1.2 (1.2)	0.3 (1.0)
ME	0.3 (0.4)	0.3 (0.3)	-0.9 (0.9)	0.0 (0.3)	1.9 (1.9)	-1.1 (1.1)	0.1 (0.8)
SC	-1.0 (1.0)	-0.2 (0.6)	-1.6 (1.6)	-1.6 (1.6)	0.4 (0.7)	-0.6 (0.6)	-0.8 (1.0)
AL	0.1 (1.1)	0.4 (0.8)	-0.6 (1.1)	0.4 (1.2)	0.8 (1.3)	-1.0 (1.2)	0.0 (1.1)
MD	1.0 (1.1)	2.5 (2.5)	0.2 (0.9)	1.2 (1.3)	1.1 (1.3)	0.4 (0.9)	1.1 (1.3)
EA	0.9 (1.0)	1.8 (1.8)	-0.7 (1.1)	0.4 (1.0)	2.4 (2.4)	-0.1 (0.6)	0.8 (1.3)
M.O Μοντέλου	0.3 (0.9)	0.7 (1.0)	-0.5 (1.0)	0.2 (1.0)	1.4 (1.5)	-0.6 (1.0)	0.3 (1.1)

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 3.4.1. : Τιμές απόλυτου Bias θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Καλοκαίρι

Σε αντίθεση με τον Χειμώνα και την Άνοιξη ο μέσος όρος του Bias από όλα τα μοντέλα και από όλες τις περιοχές είναι θετικός (0.3°C) κάτι που σημαίνει ότι σε γενικές γραμμές το ensemble έχει την τάση για υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας. Αν θεωρήσουμε τον μέσο όρο από όλες τις περιοχές για κάθε μοντέλο, μόνο τα HIRHAM5 και WRF331F εμφανίζουν αρνητικό Bias με -0.5°C και -0.6°C αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα μοντέλα που εμφανίζουν θετικό Bias, εμφανίζουν θετικούς μέσους όρους και στις περισσότερες υποπεριοχές ξεχωριστά, ενώ το REGCM4 έχει θετικό μέσο όρο Bias σε όλες τις υποπεριοχές.

Το μεγαλύτερο MAGE ως μέσο όρο από όλες τις περιοχές παρουσιάζει το REGCM4 με 1.5°C . Από το διάγραμμα 3.4.1 φαίνεται καθαρά ότι το συγκριμένο μοντέλο παρουσιάζει και το μεγαλύτερο MAGE σε πέντε από τις οκτώ υποπεριοχές. Ιδιαίτερα άσχημη επίδοση έχει στην υποπεριοχή EA με μέσο MAGE 2.4°C ενώ τα υπόλοιπα μοντέλα εκτός του CCLM4 βρίσκονται στο 1°C . Μεγάλες διαφορές στο MAGE της τάξης του $+1.5^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα παρουσιάζει και στις υποπεριοχές FR και ME.

Οι διαφορές στο MAGE για τα υπόλοιπα μοντέλα είναι ελάχιστες. Τα CCLM4, HIRHAM5, RCA4 και WRF331F έχουν όλα μέσο όρο MAGE από όλες τις περιοχές 1°C ενώ το ALADIN53 παρουσιάζει ελάχιστα μικρότερη τιμή με 0.9°C . Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του CCLM4 για την μεσόγειο

(MD). Εκεί το μοντέλο παρουσιάζει το μεγαλύτερο MAGE από όλα τα μοντέλα με 2.5°C ενώ τα υπόλοιπα μοντέλα παρουσιάζουν τιμές μόλις κοντά στον 1°C .

Οι περιοχές με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι MD, EA με 1.3°C ενώ την μικρότερη τιμή παρουσιάζει η BI με 0.7°C . Οι Άλπεις, δηλαδή η περιοχή με το μεγαλύτερο MAGE τον Χειμώνα και την Άνοιξη, εδώ δεν εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή και έχει MAGE 1.1°C . Είναι ενδιαφέρον ότι το Bias για τις Άλπεις ως μέσος όρος από όλα τα μοντέλα είναι μηδέν γιατί υπάρχουν μοντέλα με αρνητικό Bias (HIRHAM5, WRF331F) αλλά και με μικρό θετικό Bias σε αντίθεση με τον Χειμώνα και την Άνοιξη όπου η τάση όλων σχεδόν των μοντέλων ήταν η σταθερή υποεκτίμηση της θερμοκρασίας στην περιοχή. Πάντως το καθαρά ορεινό κομμάτι των Άλπεων φαίνεται από τα σχήματα 3.4.1 να εμφανίζει όντως αρνητικό Bias σε σταθερή βάση. Υπενθυμίζεται εδώ ότι η υποπεριοχή των Άλπεων (AL) περιλαμβάνει και ένα πεδινό τμήμα της κοιλάδας του Πάδου στην βόρειο Ιταλία. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι για όλα τα μοντέλα έστω και ένα κομμάτι της ορεινής περιοχής των Άλπεων παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές.

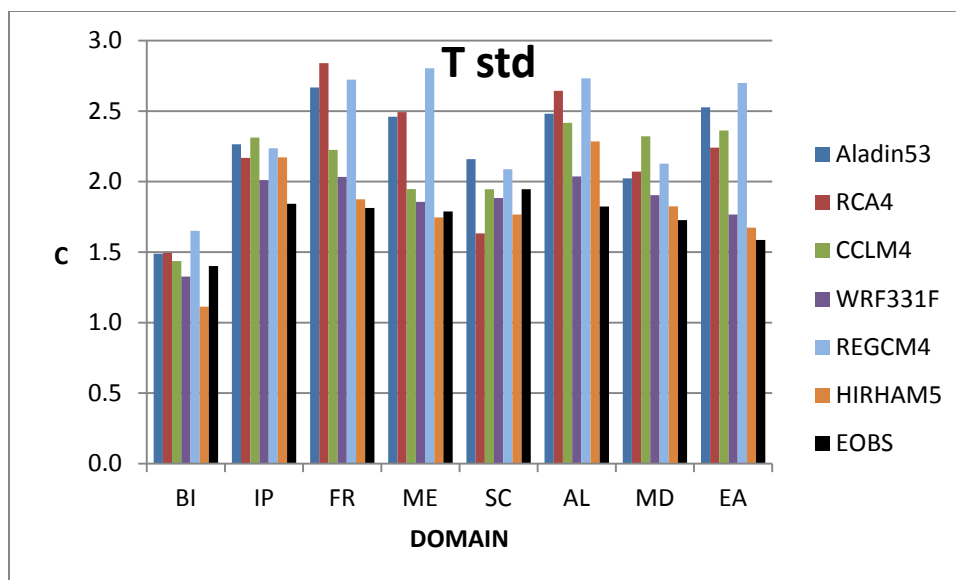
Τυπική Απόκλιση

Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

Πίνακας 3.4.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης για το Καλοκαίρι ανά υποπεριοχή

	ALADIN53	RCA4	CCLM4	WRF331F	REGCM4	HIRHAM5	EOBS	Μ.Ο. περιοχής
BI	1.5	1.5	1.4	1.3	1.7	1.1	1.4	1.4
IP	2.3	2.2	2.3	2.0	2.2	2.2	1.8	2.2
FR	2.7	2.8	2.2	2.0	2.7	1.9	1.8	2.4
ME	2.5	2.5	1.9	1.9	2.8	1.7	1.8	2.2
SC	2.2	1.6	1.9	1.9	2.1	1.8	1.9	1.9
AL	2.5	2.6	2.4	2.0	2.7	2.3	1.8	2.4
MD	2.0	2.1	2.3	1.9	2.1	1.8	1.7	2.0
EA	2.5	2.2	2.4	1.8	2.7	1.7	1.6	2.2
Μ.Ο μοντέλου	2.3	2.2	2.1	1.9	2.4	1.8	1.7	2.1

Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.



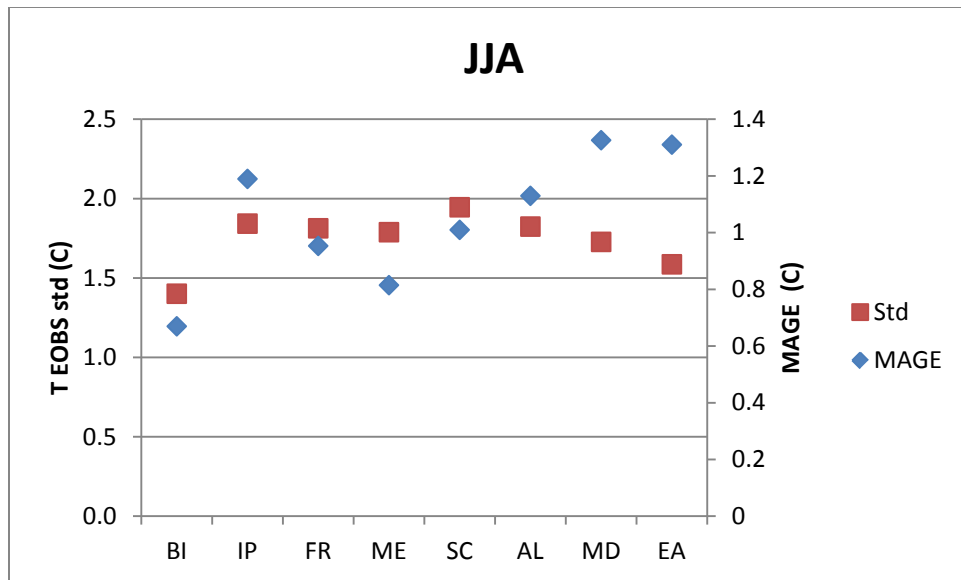
Διάγραμμα 3.4.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Καλοκαίρι

Από τις τιμές του πίνακα 3.4.2 γίνεται φανερό ότι η τυπική απόκλιση το Καλοκαίρι γενικά παίρνει τιμές μεγαλύτερες από αυτές του Χειμώνα και μικρότερες από αυτές της Άνοιξης. Οι τιμές το Καλοκαίρι κυμαίνονται στις περισσότερες περιπτώσεις στο εύρος 1.5-2.5 °C .

Αυτό που είναι ξεκάθαρο είναι ότι το Καλοκαίρι υπάρχει εμφανής υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης από το σύνολο των μοντέλων και για όλες τις υποπεριοχές. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην πλειοψηφία των υποπεριοχών (εκτός BI,ME) η μέση τιμή std των παρατηρήσεων βρίσκεται κάτω από την μικρότερη μέση τιμή τυπικής απόκλισης μεταξύ των μοντέλων. Την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση παρουσιάζουν τα REGCM4, ALADIN53 και RCA4 τόσο ως συνολική μέση τιμή (από όλες τις υποπεριοχές) όσο και στις περισσότερες υποπεριοχές ξεχωριστά. Για παράδειγμα την μεγαλύτερη συνολική μέση τιμή έχει το REGCM4 με 2.4 °C ενώ η αντίστοιχη τιμή των παρατηρήσεων είναι μόλις 1.7 °C .

Η περιοχή με την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, σύμφωνα με τα παρατηρησιακά δεδομένα, είναι η AL με 2.4 °C . Την μικρότερη τυπική απόκλιση εμφανίζει η BI με μόλις 1.4 °C . Υπενθυμίζεται ότι η BI εμφανίζει την μικρότερη τυπική απόκλιση από όλες τις υποπεριοχές τόσο για τον Χειμώνα όσο και για την Άνοιξη.

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα μέσων όρων τυπικής απόκλισης (από τα E OBS) και MAGE ανά υποπεριοχή.



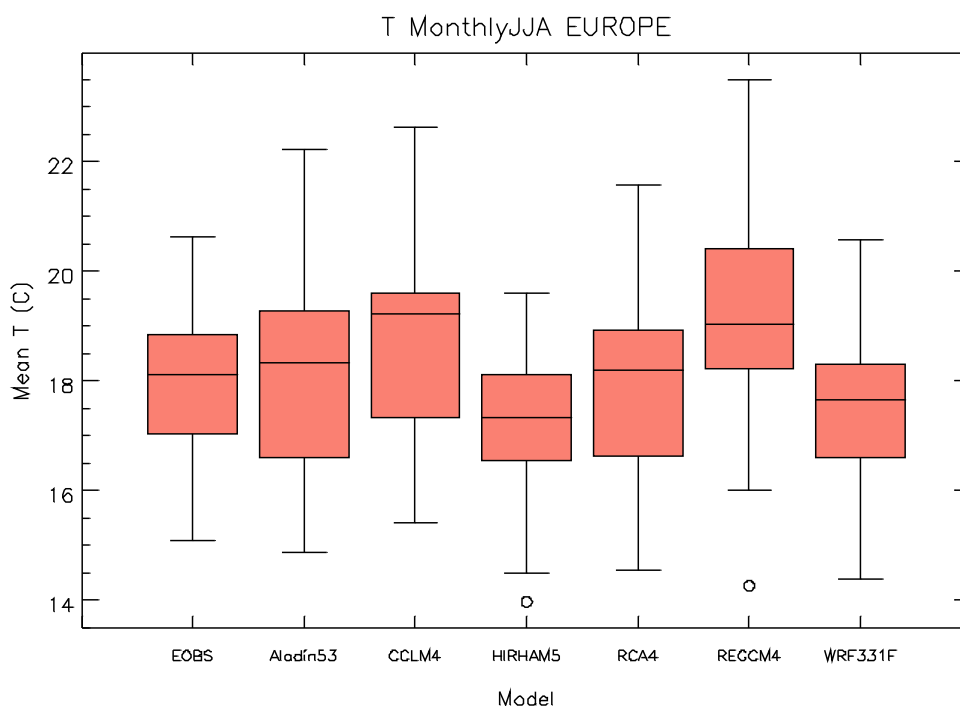
Διάγραμμα 3.4.3 : Σχέση μέσων τιμών MAGE και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης, Καλοκαίρι

Επειδή όλες οι υποπεριοχές εμφανίζουν πολύ παρόμοιες τιμές μέσου όρου τυπικής απόκλισης είναι δύσκολο να διαπιστωθεί αν υπάρχει κάποια ξεκάθαρη σύνδεση με την τιμή του MAGE. Για πρώτη φορά σε σχέση με τις προηγούμενες εποχές, τα μεγαλύτερα MAGE (MD, EA) δεν εμφανίζονται σε υποπεριοχές που έχουν μεγάλες τιμές std σε σχέση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές. Εφόσον όμως η διαφορά στις μέσες τιμές std είναι πολύ μικρή δεν μπορεί να δοθεί ιδιαίτερη σημασία σε αυτό το γεγονός. Για άλλη μια φορά όμως η BI εμφανίζει την μικρότερη τυπική απόκλιση σε συνδυασμό με ένα μικρό MAGE, το μικρότερο ανάμεσα στις υποπεριοχές στην συγκεκριμένη περίπτωση.

Θηκογράμματα (Boxplots)

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.



Διάγραμμα 3.4.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης, Καλοκαίρι

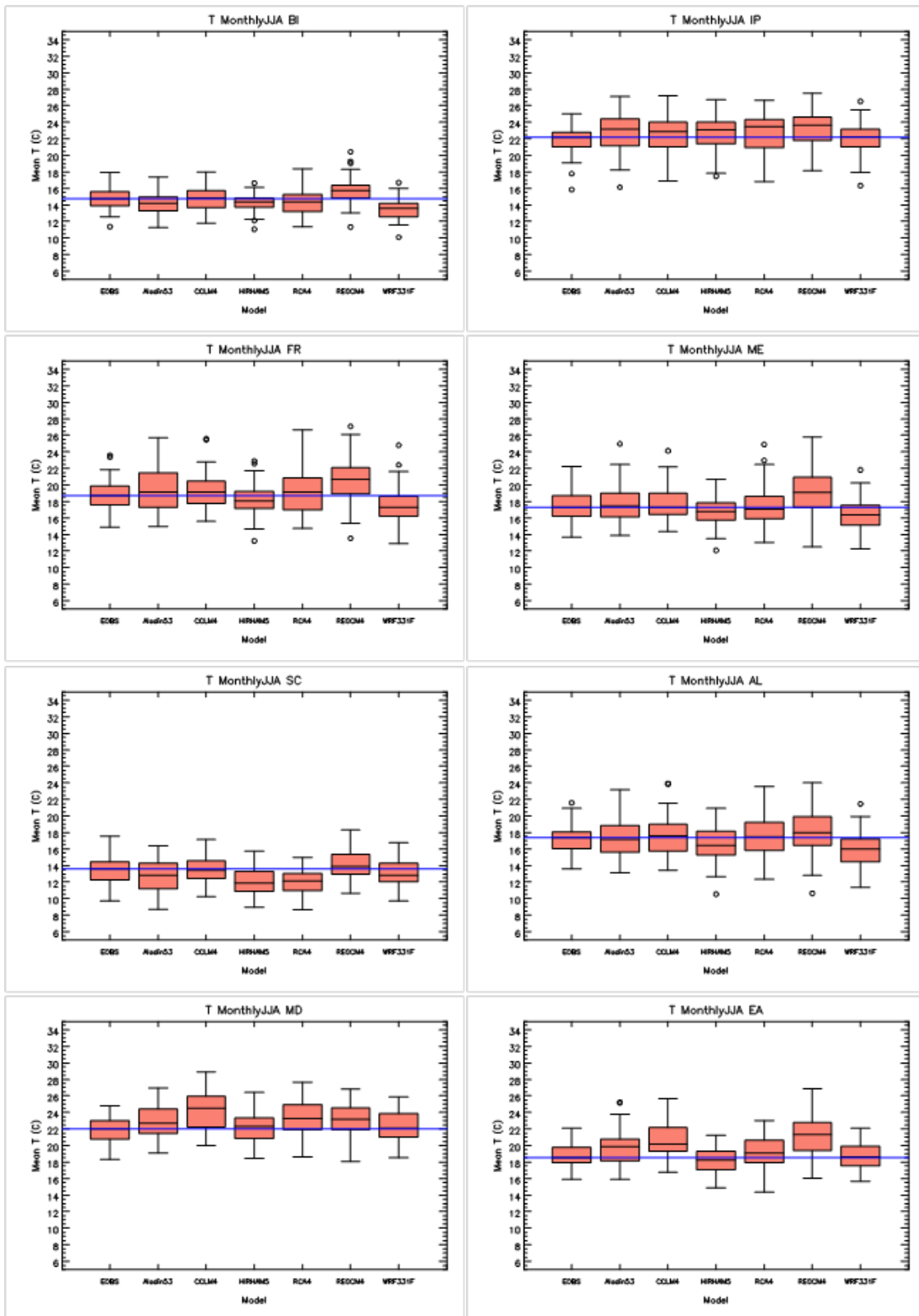
Καταρχάς το πρώτο χαρακτηριστικό που παρατηρείται στο παραπάνω διάγραμμα είναι ότι υπάρχει σύμπτωση της θέσης της διαμέσου της κατανομής του κάθε μοντέλου σε σχέση με τις τιμές Bias που αυτά παρουσιάζουν. Αυτό το χαρακτηριστικό παρουσιάζεται και για τα διαγράμματα κάθε υποπεριοχής ξεχωριστά. Για το διάγραμμα της Ευρώπης, τα CCLM4 και REGCM4 εμφανίζουν διαμέσους σημαντικά μεγαλύτερες από την διάμεσο των παρατηρήσεων ενώ είναι τα δύο μοντέλα με το μεγαλύτερο θετικό Bias. Είναι χαρακτηριστικό ότι για τα μοντέλα αυτά η διάμεσός τους είναι

μεγαλύτερη ακόμα και από το τρίτο τεταρτημόριο των παρατηρησιακών δεδομένων. Επίσης τα HIRHAM5 και WRF331F έχουν διαμέσους αρκετά μικρότερες από τις παρατηρήσεις και όντως είναι τα μόνα μοντέλα τα οποία έχουν αρνητικό Bias. Ακόμα τα ALADIN53 και RCA4 παρουσιάζουν μικρές θετικές τιμές Bias ως μέσο όρο από όλες τις περιοχές και όπως αναμενόταν η διάμεσός τους δεν αποκλίνει σημαντικά από την παρατηρούμενη.

Ένας λόγος που το CCLM4 παρουσιάζει έντονο θετικό Bias είναι και η αδυναμία να εκτιμήσει την μορφή της κατανομής των παρατηρήσεων. Τα δεδομένα EObs παρουσιάζουν μια κατανομή με σχεδόν γκαουσιανή μορφή. Αντίθετα είναι χαρακτηριστικό ότι το CCLM4 παρουσιάζει μια κατανομή με αρνητική λόξωση καθώς η διάμεσος βρίσκεται πολύ κοντύτερα στο τρίτο τεταρτημόριο. Επομένως το μοντέλο υπερεκτιμάει κατά πολύ το ποσοστό των μεγάλων τιμών ιδιαίτερα αυτών που βρίσκονται στο διάστημα 18-19°C.

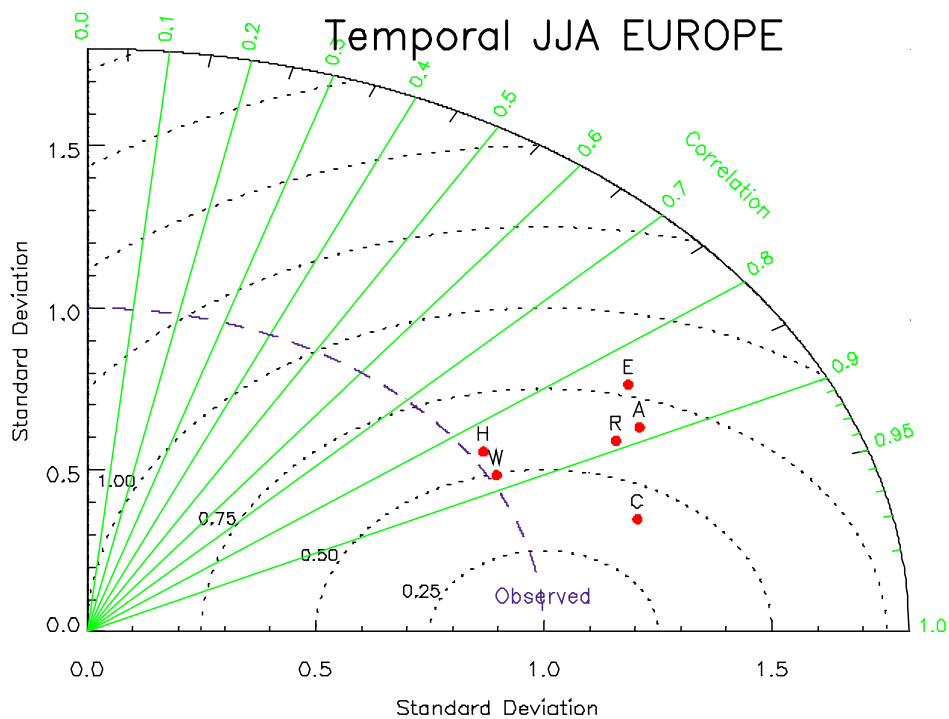
Σε όλα τα διαγράμματα (Ευρώπης και υποπεριοχών) παρουσιάζεται μεγάλη σύμπτωση και όταν συγκρίνονται τα ενδοτεταρτημοριακά εύρη (IQR) των θηκογραμμάτων με τους μέσους όρους τυπικής απόκλισης του πίνακα 3.4.2. Δεδομένα με μεγάλους μέσους όρους τυπικής απόκλισης παρουσιάζουν δηλαδή μεγάλο IQR (και άρα μέγεθος κουτιού) και το αντίστροφο.

Στα θηκογράμματα του Καλοκαιριού παρουσιάζονται αρκετά περισσότερα «παράτυπα» σημεία σε σχέση με τον Χειμώνα ή την Άνοιξη. Η λέξη παράτυπα μπαίνει σε εισαγωγικά γιατί στην ουσία δεν μπορούν να θεωρηθούν ως λάθη καθώς αντιπροσωπεύουν μια μεσοποιημένη κατάσταση θερμοκρασίας για την συγκεκριμένη περιοχή στην οποία αναφέρονται. Απλώς συμβολίζουν σημεία που απέχουν πάνω από 1.5IQR από το πλησιέστερο τεταρτημόριο. Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν και αυτές τις ακραίες καταστάσεις στο συνολικό εύρος τότε μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα ότι σε γενικές γραμμές τα μοντέλα υπερεκτιμούν το εύρος της θερμοκρασίας.



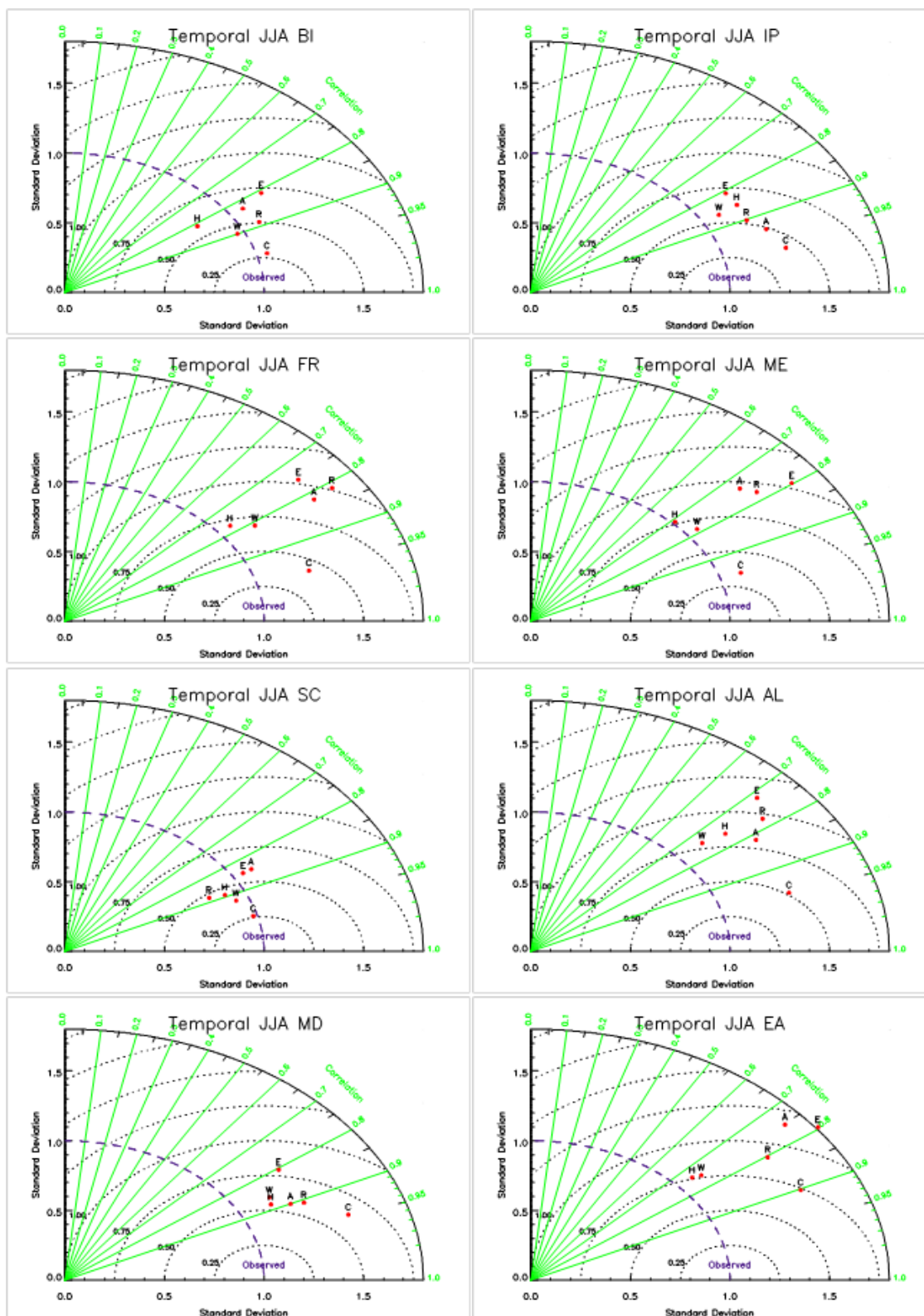
Διάγραμμα 3.4.5: Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή, Καλοκαίρι

Διαγράμματα Taylor



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.4.6 : Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, Καλοκαίρι



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.4.7 : Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές Prudence, Καλοκαίρι

Μια αρχική παρατήρηση που πρέπει να γίνει είναι ότι ο άξονας τιμών της κανονικοποιημένης τυπικής απόκλισης είναι μεγαλύτερος σε σχέση με τον Χειμώνα και την Άνοιξη και φτάνει μέχρι το 1.8, ακριβώς επειδή σε κάποιες περιπτώσεις ορισμένα μοντέλα εμφανίζουν αρκετά μεγάλη διαφορά από την παρατηρούμενη τυπική απόκλιση.

Από τα παραπάνω διαγράμματα Taylor τόσο για τις διάφορες υποπεριοχές όσο και για ολόκληρη την Ευρώπη προκύπτει αβίαστα μια βασική εικόνα για την σχετική επίδοση των μοντέλων. Το CCLM4 παρουσιάζει σε όλα τα διαγράμματα το μικρότερο σφάλμα, πάντοτε μικρότερο από 0.5°C εκτός των υποπεριοχών MD και EA. Επίσης παρουσιάζει και τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης με τιμή πάνω από 0.9 για όλα τα διαγράμματα. Όσον αφορά την τυπική απόκλιση όμως βρίσκεται στη μέση της κατάταξης καθώς σε κάποιες περιοχές πετυχαίνει πολύ μικρές διαφορές από τις παρατηρήσεις (SC, BI, ME) ενώ σε κάποιες άλλες παρουσιάζει την χειρότερη επίδοση (MD, IP). Το μοντέλο που παρουσιάζει τις χειρότερες επιδόσεις όσον αφορά το σφάλμα, την συσχέτιση και την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης είναι το REGCM4, τόσο για ολόκληρη την Ευρώπη όσο και για τις περισσότερες υποπεριοχές. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε έξι από τις οκτώ υποπεριοχές το REGCM4 εμφανίζει τις χειρότερες τιμές από όλα τα μοντέλα και στα τρία παραπάνω μετρικά. Τα υπόλοιπα τέσσερα μοντέλα (HIRHAM5, RCA4, WRF331F, ALADIN53) βρίσκονται περίπου στο ίδιο επίπεδο όσον αφορά το σφάλμα και την συσχέτιση. Όσον αφορά όμως την τυπική απόκλιση τα HIRHAM5 και WRF331F παρουσιάζουν σταθερά τις καλύτερες εκτιμήσεις σε σχέση με όλα τα μοντέλα του ensemble. Είναι χαρακτηριστικό ότι στο διάγραμμα της Ευρώπης τα σημεία των δύο μοντέλων βρίσκονται σχεδόν πάνω στην διάστικτη γραμμή που αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων.

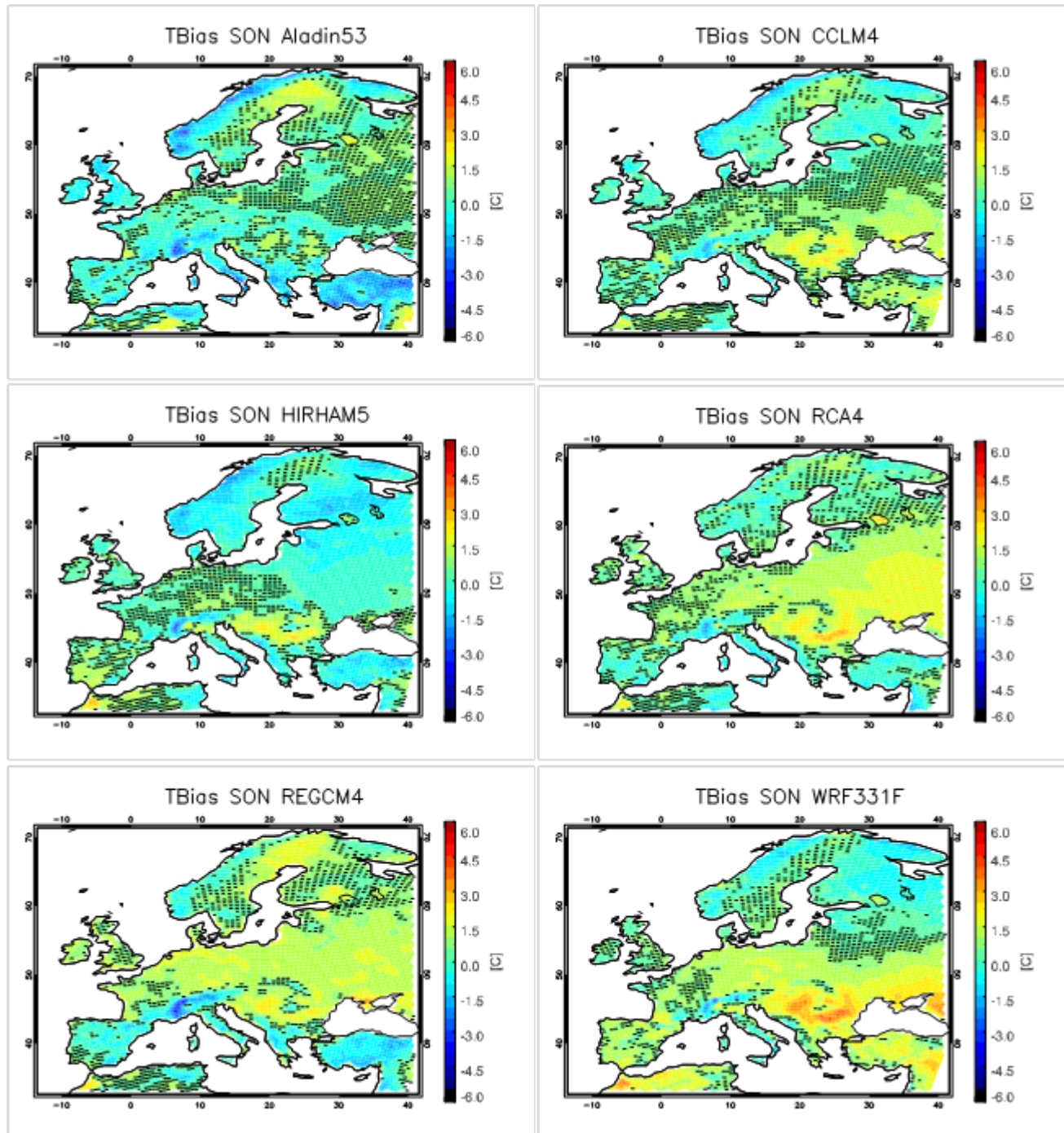
3.5 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

Περίληψη

Η τάση του ensemble είναι η λιγότερο ξεκάθαρη από όλες τις προηγούμενες εποχές. Η τιμή Bias του ensemble είναι μεν αρνητική αλλά με πολύ μικρή απόλυτο τιμή μόλις -0.1°C . Επίσης τα μισά μόνο μοντέλα έχουν αρνητικό μέσο όρο Bias, ενώ όλα σχεδόν τα μοντέλα περιλαμβάνουν περιοχές με θετικό μέσο όρο Bias. Υπάρχουν αρκετές ομοιότητες στο χωρικό μοτίβο του Bias. Πολύ εκτεταμένες περιοχές μη στατιστικής σημαντικότητας για όλα τα μοντέλα οι οποίες καλύπτουν ολόκληρη σχεδόν την Ευρώπη. Το μικρότερο μέσο όρο MAGE παρουσιάζουν τα CCLM4, RCA4 με 0.5°C ενώ το μεγαλύτερο τα ALADIN53 και REGCM4 με 0.8°C . Το εύρος επομένως των μέσων όρων MAGE ανά μοντέλο είναι πολύ μικρό. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGE είναι και πάλι οι Άλπεις ενώ το μικρότερο μέσο όρο παρουσιάζει η FR. Από τα θηκογράμματα είναι εμφανές ότι όλα τα μοντέλα αναπαριστούν αρκετά ικανοποιητικά την κατανομή των καταστάσεων θερμοκρασίας για τις διάφορες υποπεριοχές. Επίσης στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις, όπως παρουσιάζεται από τα διαγράμματα Taylor, όλα τα μοντέλα εμφανίζουν πολύ καλές επιδόσεις σε όλες τις υποπεριοχές, τις καλύτερες από κάθε άλλη εποχή. Το ensemble φαίνεται να υπερεκτιμάει την τυπική απόκλιση με το CCLM4 να παρουσιάζει την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για το Φθινόπωρο από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 3.5.1 : Bias μέσης θερμοκρασίας των μοντέλων για το Φθινόπωρο

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές **δεν** είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Το μοτίβο της στατιστικής σημαντικότητας παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων. Σε όλα τα μοντέλα εκτεταμένη περιοχή της Ανατολικής Σκανδιναβίας παρουσιάζει μη στατιστικά σημαντικές διαφορές. Επίσης σε αρκετά μοντέλα (ALADIN53, CCLM4, HIRHAM5) μη στατιστικά σημαντικές διαφορές εμφανίζονται στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη. Ως συνήθως οι περισσότερες ορεινές περιοχές παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλα ανεξαιρέτως τα μοντέλα.

Χωρικά, απόλυτη σύμπτωση στην συμπεριφορά του Bias μεταξύ των μοντέλων δεν υπάρχει. Παρουσιάζονται όμως μερικές βασικές ομοιότητες, όπως φαίνεται τόσο από την μελέτη των σχημάτων 3.5.1 όσο και του πίνακα 3.5.1 με τους μέσους όρους Bias ανά περιοχή που παρουσιάζεται παρακάτω. Σε όλα τα μοντέλα το Bias στην περιοχή των Άλπεων εμφανίζεται αρνητικό, η ΒΙ παρουσιάζει ελαφρά αρνητικό Bias, οι υποπεριοχές ΕΑ,ΜΕ ελαφρά θετικές τιμές, η δυτική Σκανδιναβία αρνητικές τιμές ενώ το κομμάτι της Sc που αντιστοιχεί στην Σουηδία παρουσιάζει συνήθως θετικό πρόσημο στο Bias.

Όσον αφορά το εύρος του Bias, σχεδόν δεν παρατηρούνται καθόλου τιμές άνω των 3°C κατά απόλυτο τιμή για αυτό και απουσιάζουν τα έντονα χρώματα από τους παραπάνω χάρτες. Μάλιστα το εύρος των τιμών Bias εμφανίζεται μικρότερο και από αυτό της Άνοιξης.

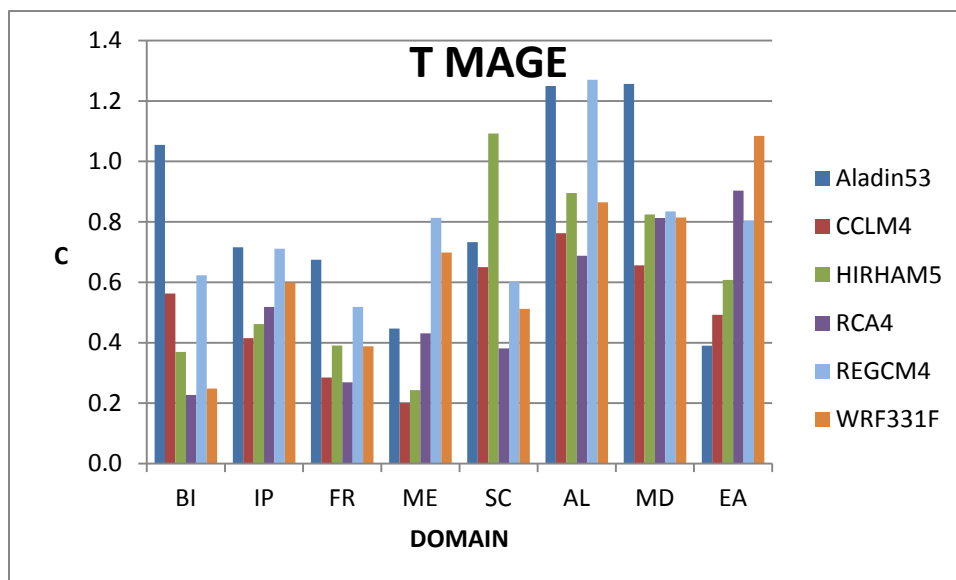
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του T bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου για όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής.

Πίνακας 3.5.1 :T Bias (C) για Φθινόπωρο ανά περιοχή και ανά μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O περιοχής
BI	-1.0 (1.1)	-0.6 (0.6)	-0.3 (0.4)	0.1 (0.2)	0.6 (0.6)	-0.1 (0.2)	-0.1 (0.5)
IP	-0.6 (0.7)	-0.2 (0.4)	0.1 (0.5)	-0.3 (0.5)	-0.6 (0.7)	0.5 (0.6)	-0.2 (0.6)
FR	-0.6 (0.7)	-0.2 (0.3)	-0.3 (0.4)	0.1 (0.3)	0.3 (0.5)	0.2 (0.4)	-0.1 (0.4)
ME	-0.3 (0.4)	0.0 (0.2)	0.0 (0.2)	0.4 (0.4)	0.8 (0.8)	0.7 (0.7)	-0.1 (0.5)
SC	-0.3 (0.7)	-0.6 (0.7)	-1.1 (1.1)	-0.2 (0.4)	0.3 (0.6)	-0.4 (0.5)	-0.4 (0.7)
AL	-1.1 (1.2)	-0.5 (0.8)	-0.5 (0.9)	-0.3 (0.7)	-0.9 (1.3)	-0.1 (0.9)	-0.6 (1.0)
MD	-1.2 (1.3)	0.0 (0.7)	-0.5 (0.8)	-0.4 (0.8)	-0.2 (0.8)	0.3 (0.8)	-0.3 (0.9)
EA	-0.2 (0.4)	0.4 (0.5)	-0.2 (0.6)	0.9 (0.9)	0.8 (0.8)	1.1 (1.1)	0.3 (0.7)
M.O Μοντέλου	-0.7 (0.8)	-0.2 (0.5)	-0.4 (0.6)	0.0 (0.5)	0.1 (0.8)	0.3 (0.7)	-0.1 (0.6)

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 3.5.1 : Τιμές απόλυτου Bias θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο για το Φθινόπωρο

Για το Φθινόπωρο δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη τάση υποεκτίμησης ή υπερεκτίμησης της θερμοκρασίας από τα μοντέλα ως σύνολο (ensemble). Ο μέσος όρος Bias των μέσων όρων των μοντέλων από όλες τις περιοχές είναι αρνητικός αλλά με πολύ μικρή απόλυτο τιμή, μόλις -0.1°C . Τρία μοντέλα, τα ALADIN53, CCLM4, HIRHAM5 έχουν αρνητικό μέσο όρο συγκεντρωτικό από όλες τις υποπεριοχές, το RCA4 έχει μέσο όρο μηδέν ενώ τα WRF331F και REGCM4 μικρούς θετικούς μέσους όρους. Το ALADIN53 μάλιστα έχει αρνητικές τιμές μέσου όρου Bias και σε κάθε υποπεριοχή, ενώ τα CCLM4 και HIRHAM5 σε πέντε και έξι υποπεριοχές αντίστοιχα. Τα υπόλοιπα μοντέλα έχουν παρουσιάζουν θετικό μέσο όρο Bias στις περισσότερες υποπεριοχές.

Η τιμή του MAGE, υπολογισμένο ως μέσο όρο από όλες τις υποπεριοχές για κάθε μοντέλο, κυμαίνεται στο εύρος $0.5-0.8^{\circ}\text{C}$. Δηλαδή η τιμή του MAGE είναι και μικρή αλλά και δεν διαφέρει ιδιαίτερα ανάμεσα στα μοντέλα. Το μεγαλύτερο MAGE παρουσιάζουν τα ALADIN53 και REGCM4 με 0.8°C ενώ τις μικρότερες τιμές παρουσιάζουν τα RCA4 και CCLM4 με 0.5°C . Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα τα ALADIN53 και REGCM4 παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο MAGE και στις περισσότερες υποπεριοχές ξεχωριστά, συχνά με διαφορές που ξεπερνούν τον 0.5°C . Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι τιμές των μοντέλων για την περιοχή των Άλπεων, αλλά και η συμπεριφορά του ALADIN53, στις BI και MD. Επίσης υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις όπου κάποια μοντέλα σε συγκεκριμένες περιοχές εμφανίζουν πολύ μικρό MAGE. Για παράδειγμα το CCLM4 για τις FR, ME, το RCA4 για τις BI και FR και το HIRHAM5 για την ME. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις το MAGE κυμαίνεται στο διάστημα $0.2-0.3^{\circ}\text{C}$.

Εξετάζοντας τους συγκεντρωτικούς μέσους όρους MAGE ανά περιοχή παρατηρείται ότι οι τιμές είναι μικρές και κυμαίνονται στο επίσης περιορισμένο εύρος 0.4-1.0°C . Μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζουν οι Άλπεις ενώ την μικρότερη η FR. Όσον αφορά τους συγκεντρωτικούς μέσους όρους Bias ανά υποπεριοχή, παρατηρούμε ότι σε όλες τις υποπεριοχές εκτός της ΕΑ οι τιμές είναι αρνητικές. Βέβαια σε αρκετές περιπτώσεις (BI, IP, FR,ME)κυρίως στην Κεντρική και Δυτική Ευρώπη οι απόλυτες τιμές του μέσου όρου Bias είναι πολύ μικρές και κυμαίνονται στο εύρος -0.1 με -0.2 °C .

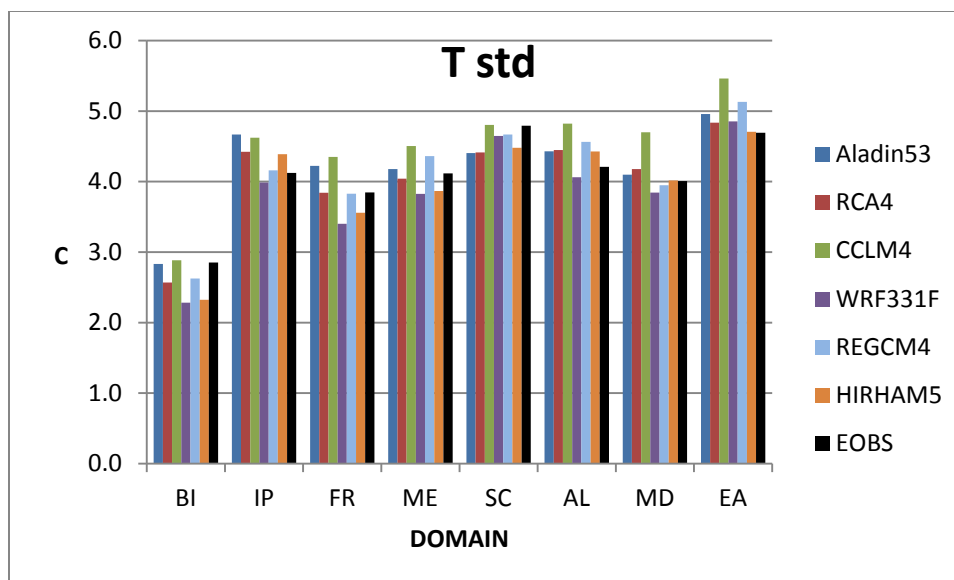
Τυπική Απόκλιση

Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

Πίνακας 3.5.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης για το Φθινόπωρο ανά υποπεριοχή

	Aladin53	RCA4	CCLM4	WRF331F	REGCM4	HIRHAM5	EOBS	M.O. περιοχής
BI	2.8	2.6	2.9	2.3	2.6	2.3	2.9	2.6
IP	4.7	4.4	4.6	4.0	4.2	4.4	4.1	4.4
FR	4.2	3.8	4.4	3.4	3.8	3.6	3.8	3.9
ME	4.2	4.0	4.5	3.8	4.4	3.9	4.1	4.1
SC	4.4	4.4	4.8	4.6	4.7	4.5	4.8	4.6
AL	4.4	4.4	4.8	4.1	4.6	4.4	4.2	4.5
MD	4.1	4.2	4.7	3.8	3.9	4.0	4.0	4.1
EA	5.0	4.8	5.5	4.9	5.1	4.7	4.7	5.0
M.O μοντέλου	4.2	4.1	4.5	3.9	4.2	4.0	4.1	4.1

Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.



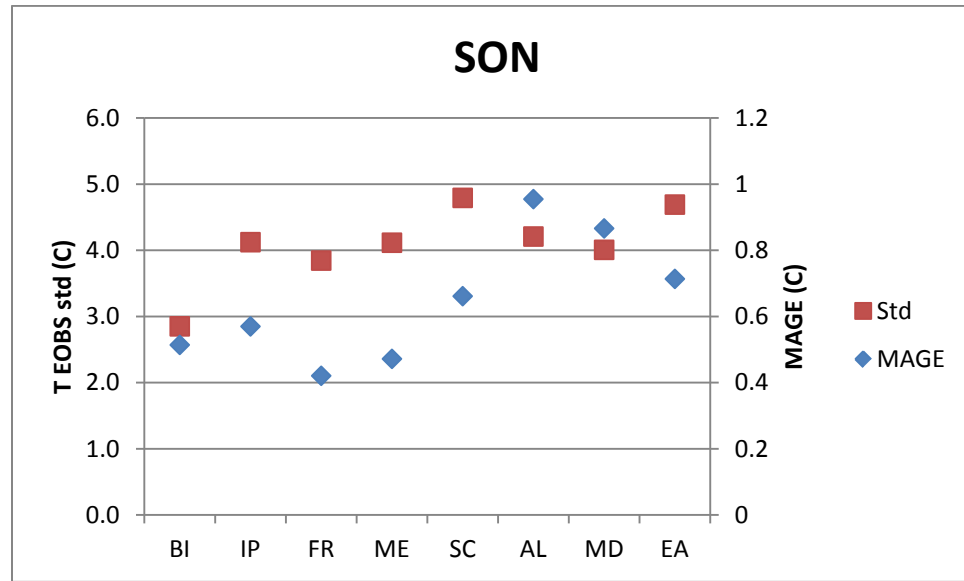
Διάγραμμα 3.5.2: Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο

Οι τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας για το Φθινόπωρο είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του Καλοκαιριού και του Χειμώνα και κυμαίνονται σε εύρος παρόμοιο με αυτό της Άνοιξης, δηλαδή εντός του $2-5.5^{\circ}\text{C}$. Από το διάγραμμα 3.5.2 των τιμών μέσου όρου τυπικής απόκλισης ανά περιοχή γίνεται φανερό ότι παρουσιάζονται μικρές διαφορές, μικρότερες του 0.5°C συνήθως, τόσο μεταξύ των μοντέλων για την ίδια υποπεριοχή όσο και μεταξύ των διαφορετικών υποπεριοχών. Μόνο η υποπεριοχή BI παρουσιάζει αρκετά μικρότερες τιμές, στην περιοχή των $2-3^{\circ}\text{C}$ ενώ η τυπική απόκλιση για τις υπόλοιπες περιοχές παίρνει τιμές συνήθως πάνω από τους 4°C .

Όλα τα μοντέλα φαίνεται να εκτιμούν αρκετά ικανοποιητικά την τυπική απόκλιση. Οι συνολικοί μέσοι όροι για κυμαίνονται στο εύρος $3.9-4.5^{\circ}\text{C}$ αρκετά κοντά στην μέση τιμή των παρατηρήσεων που είναι 4.1°C . Επίσης σε κάθε υποπεριοχή η μέση τιμή των παρατηρήσεων βρίσκεται εντός του εύρους των μέσων τιμών std των μοντέλων. Δεν υπάρχει επομένως μία συγκεκριμένη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της τυπικής απόκλισης.

Είναι ενδιαφέρον ότι ακόμα και μοντέλα όπως τα ALADIN53 και REGCM4 που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα MAGE δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα. Για παράδειγμα στην BI το ALADIN53 έχει τυπική απόκλιση 2.8°C ενώ για τα υπόλοιπα μοντέλα οι τιμές κυμαίνονται από 2.3 ως 2.9°C . Το MAGE όμως του ALADIN53 είναι 1.1°C ενώ για τα υπόλοιπα κυμαίνεται από $0.2-0.6^{\circ}\text{C}$. Δηλαδή το σφάλμα στην θερμοκρασία δεν φαίνεται να οφείλεται στην αδυναμία εκτίμησης της διασποράς των καταστάσεων θερμοκρασίας τόσο για την BI όσο και για τις υπόλοιπες περιοχές.

Όσον αφορά την σχέση μεταξύ MAGE και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης ανά υποπεριοχή από το παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε ότι δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη σύνδεση.



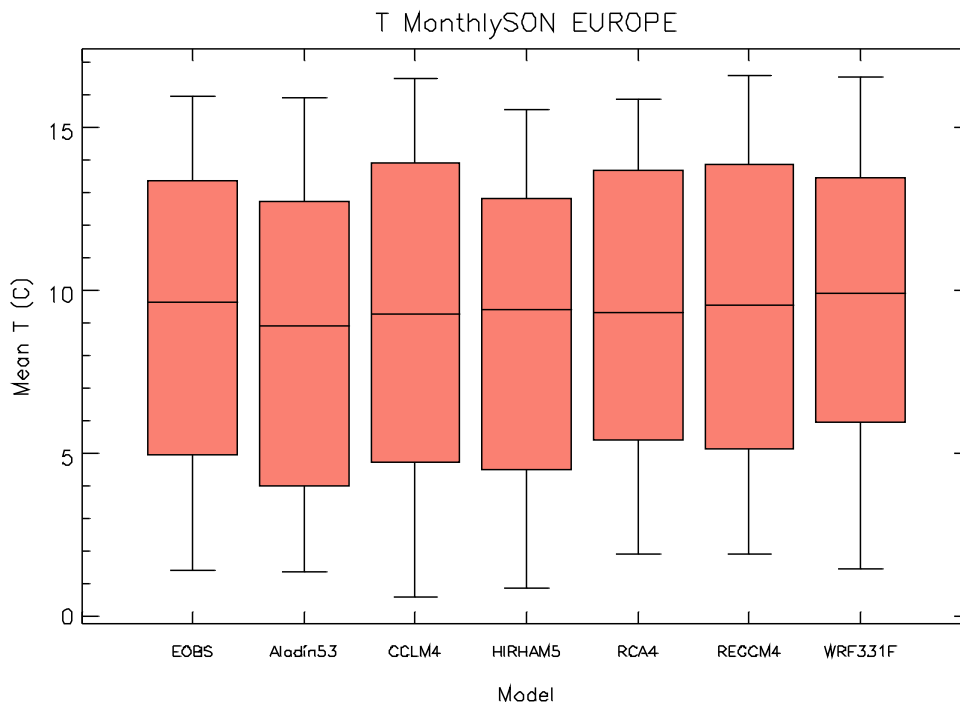
Διάγραμμα 3.5.3 : Σχέση μέσων τιμών MAGE και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης, Φθινόπωρο

Για παράδειγμα οι δύο μεγαλύτεροι μέσοι όροι MAGE εμφανίζονται στις AL, MD ενώ υποπεριοχές με παρόμοια τυπική απόκλιση όπως οι ME, FR εμφανίζουν πολύ μικρότερα MAGE. Αυτό που παραμένει σταθερό πάντως σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές είναι ότι και για το Φθινόπωρο η BI εμφανίζει την μικρότερη τυπική απόκλιση και ένα από τα μικρότερα MAGE μεταξύ των μοντέλων.

Θηκογράμματα (Boxplots)

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.



Διάγραμμα 3.5.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης, Φθινόπωρο

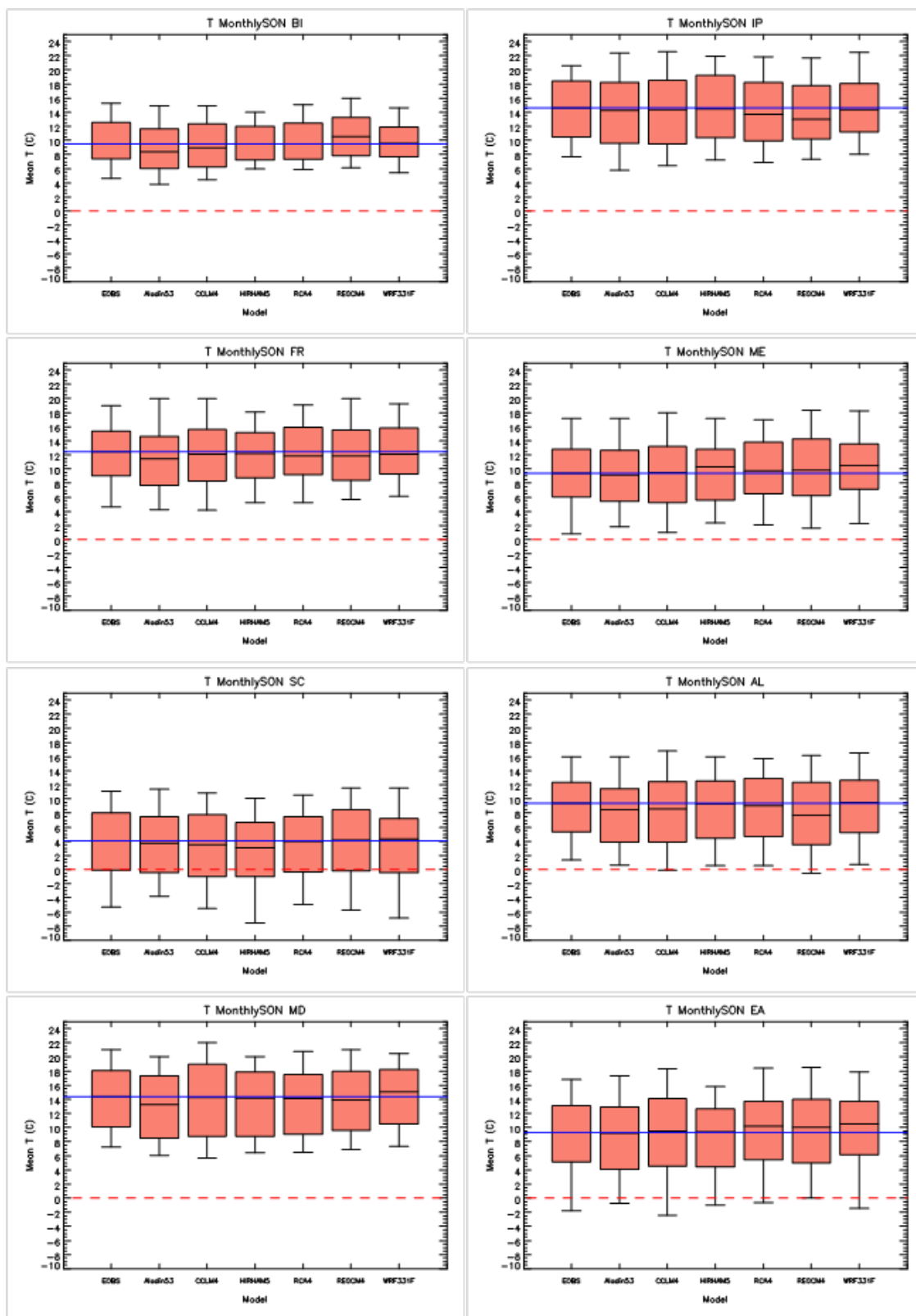
Σύμφωνα με το θηκογράμμα της Ευρώπης παρατηρούνται μικρές διαφορές μεταξύ των μοντέλων και των παρατηρήσεων, τόσο όσον αφορά την θέση της διαμέσου, όσο και του ενδοτεταρτομοριακού εύρους (IQR), του εύρους και της μορφής της κατανομής. Η μορφή της κατανομής προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την κανονική σε μοντέλα και παρατηρήσεις. Ειδικά όσον αφορά την θέση της διαμέσου, αυτή βρίσκεται σε πλήρη σύμπτωση με τα στοιχεία του πίνακα 3.5.1. Για παράδειγμα τα τρία μοντέλα που έχουν ως μέσο όρο από όλες τις υποπεριοχές αρνητικό Bias παρουσιάζουν θέση της διαμέσου λίγο μικρότερη από αυτήν των παρατηρήσεων.

Παρόμοια εικόνα εμφανίζεται και στις υπόλοιπες υποπεριοχές. Με τα θηκογράμματα των μοντέλων στις περισσότερες περιπτώσεις να μην έχουν μεγάλες διαφορές από αυτά των παρατηρήσεων σε όλα τα χαρακτηριστικά τους (διάμεσος, εύρος, IQR, λόξωση).

Παρουσιάζονται ορισμένες ενδιαφέρουσες περιπτώσεις. Αναφέρθηκε προηγουμένως το μεγάλο MAGE που παρουσιάζει το ALADIN53 στην BI παρόλο που η τυπική απόκλιση του είναι πολύ κοντά στην παρατηρούμενη. Παρατηρώντας το αντίστοιχο θηκόγραμμα είναι φανερό ότι όντως το μέγεθος της διασποράς της θερμοκρασίας εκτιμάται σωστά από το μοντέλο όμως όχι και η θέση της κατανομής καθώς η διάμεσος του ALADIN53 είναι περίπου 2°C κάτω από αυτήν των παρατηρήσεων. Έτσι λοιπόν η σωστή εκτίμηση του μεγέθους της τυπικής απόκλισης από ένα μοντέλο μπορεί να είναι παραπλανητική καθώς δεν μας δίνει πληροφορία για την θέση των δεδομένων.

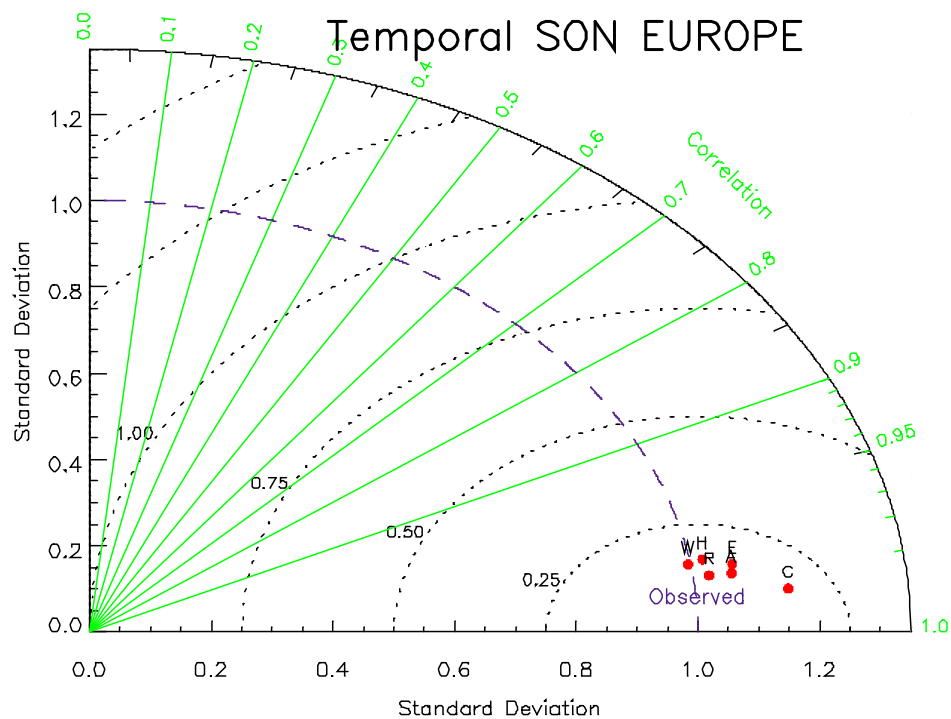
Εξετάζοντας την περιοχή των Άλπεων (AL), η οποία παρουσιάζει το μεγαλύτερο MAGE σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, παρατηρούμε ότι ακόμα και σε αυτήν την περίπτωση δεν εμφανίζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ των θηκογραμμάτων. Μόνο το REGCM4 παρουσιάζει διάμεσο που αποκλίνει περισσότερο από τις παρατηρήσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα και είναι όντως το μοντέλο που έχει το μεγαλύτερο MAGE και δεύτερο μεγαλύτερο αρνητικό Bias στην περιοχή.

Επίσης το REGCM4 στην υποπεριοχή IP όχι μόνο έχει διάμεσο κάτω από τις παρατηρήσεις αλλά παρουσιάζει μια κατανομή με θετική λόξωση δηλαδή με μεγαλύτερη συχνότητα μικρών τιμών ενώ οι παρατηρήσεις προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Το REGCM4 παρουσιάζει στην IP το μεγαλύτερο MAGE 0.7°C και το ισχυρότερο αρνητικό Bias -0.6°C μαζί με το ALADIN53. Επομένως αυτό φαίνεται να οφείλεται και στην υπερεκτίμηση της συχνότητας των καταστάσεων που βρίσκονται κάτω από τους 12°C .



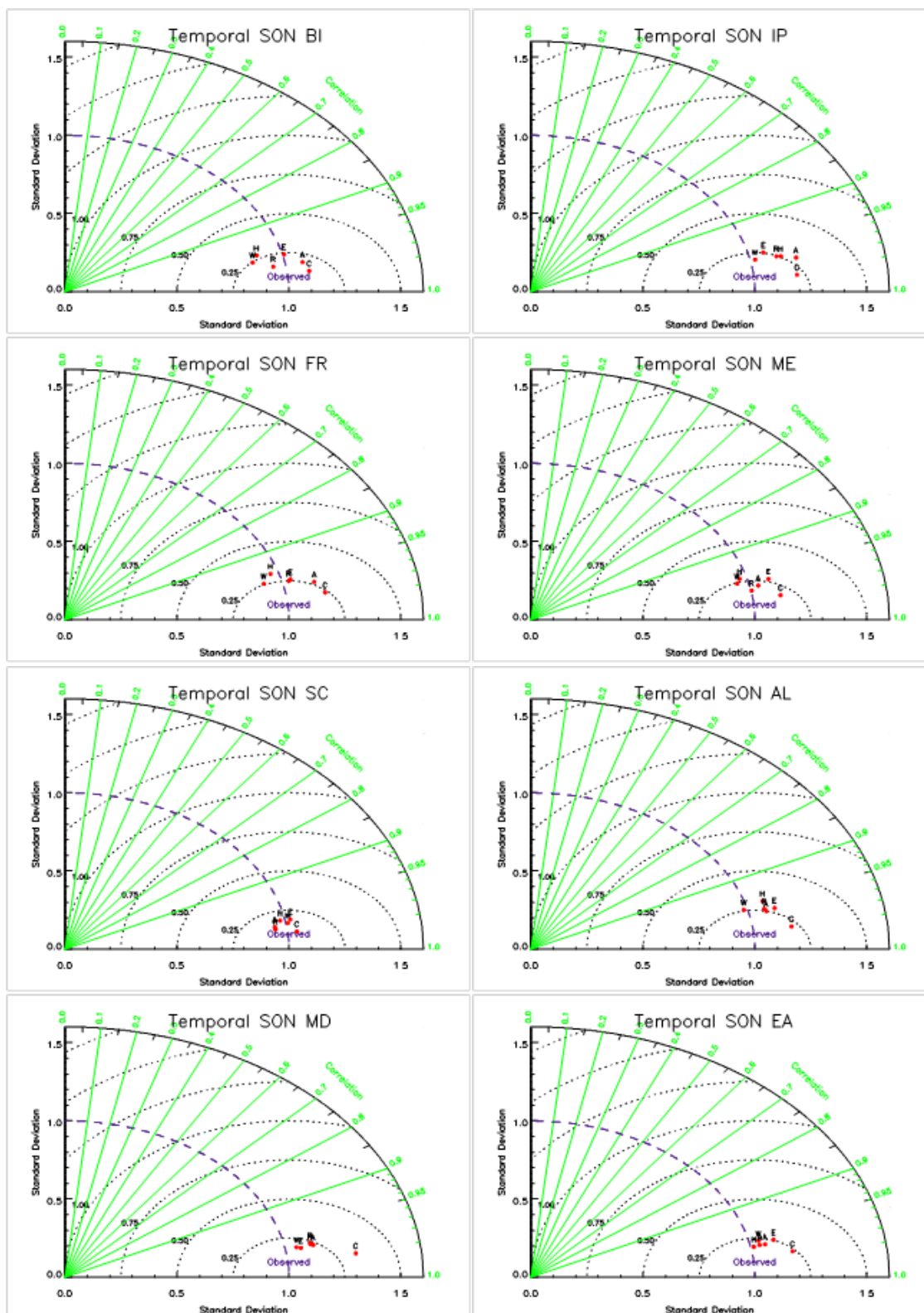
Διάγραμμα 3.5.5 : Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή, Φθινόπωρο

Διαγράμματα Taylor



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.5.6 : Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, Φθινόπωρο



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 3.5.7 : Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές Prudence, Φθινόπωρο

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 3.5.6 και 3.5.7 γίνεται φανερό ότι η μορφή των διαγραμμάτων Taylor για τις υποπεριοχές είναι σχεδόν παρόμοια με την μορφή του διαγράμματος Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης.

Στα διαγράμματα Taylor λοιπόν όλα τα μοντέλα εμφανίζουν πολύ καλή συσχέτιση σε όλες τις περιοχές. Η συσχέτιση είναι πάντοτε καλύτερη του 0.9 και συνήθως καλύτερη ακόμη και από 0.95. Για παράδειγμα μόνο το WRF331F για την FR παρουσιάζει συσχέτιση χειρότερη από 0.95.

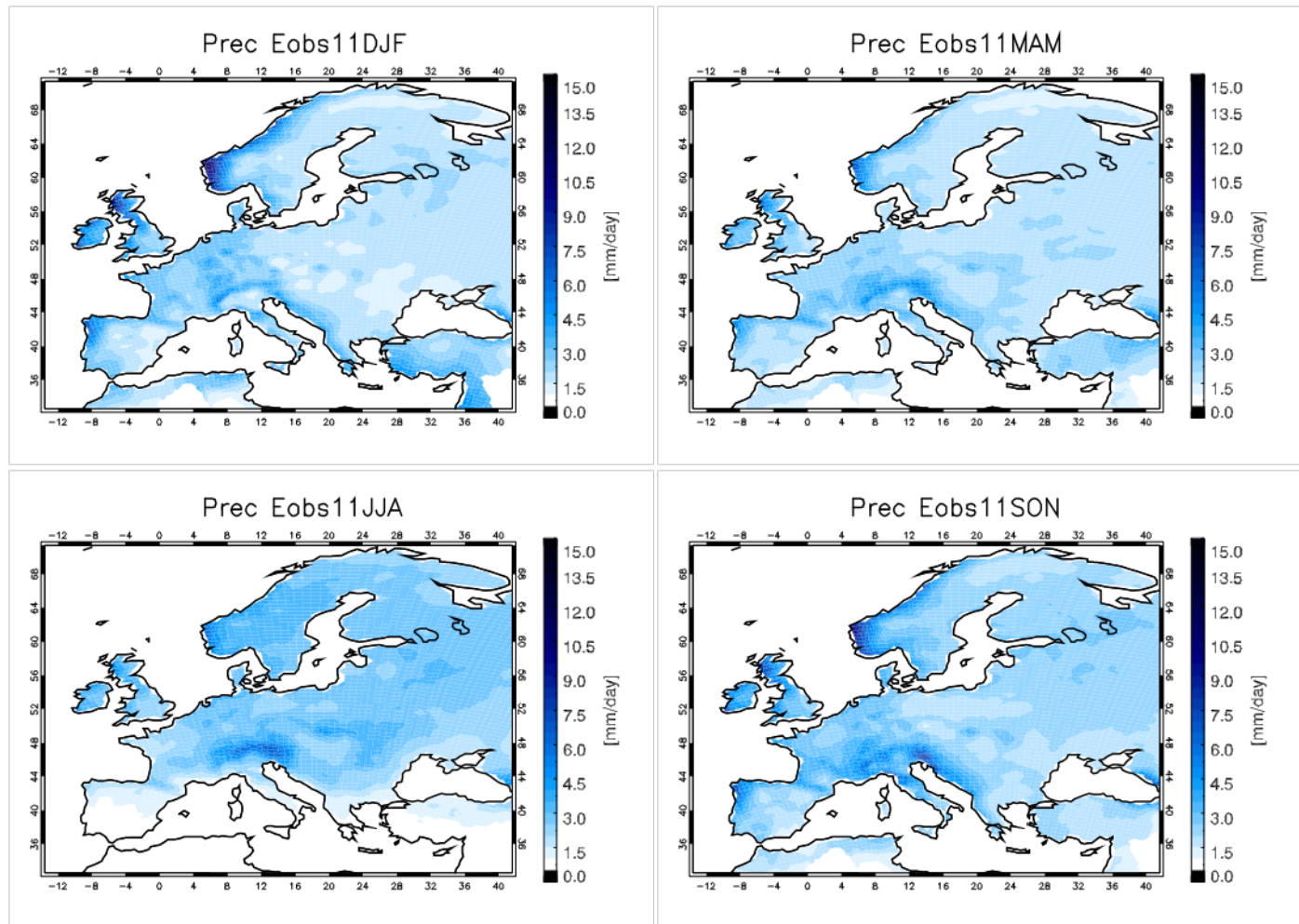
Οι τιμές του σφάλματος για όλα τα μοντέλα είναι πολύ μικρές και παρόμοιες μεταξύ τους. Όλα τα μοντέλα παρουσιάζουν τιμές συνήθως κοντά ή κάτω από τους 0.25°C . Εξαίρεση αποτελεί μόνο το CCLM4 για την περιοχή της MD, όπου εμφανίζει τιμή κοντά στους 0.35°C .

Όσον αφορά την τυπική απόκλιση παρουσιάζεται κυρίως υπερεκτίμηση της std από τα περισσότερα μοντέλα για τις πλειοψηφία των περιοχών. Για παράδειγμα στις υποπεριοχές IP, AL, EA, MD όλα τα μοντέλα υπερεκτιμούν την std. Την καλύτερη εκτίμηση της τυπικής απόκλισης πετυχαίνει τόσο για την Ευρώπη ως σύνολο όσο και για τις περισσότερες υποπεριοχές το WRF331F. Σε ορισμένες περιοχές (ME, SC, AL, IP) το WRF331F εκτιμάει με ελάχιστο σφάλμα την τυπική απόκλιση. Η λιγότερο καλή εκτίμηση του WRF331F βρίσκεται στην υποπεριοχή BI αλλά και εκεί η διαφορά μεταξύ εκτιμώμενης και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης είναι μικρότερη του 20% της παρατηρούμενης. Την χειρότερη εκτίμηση της τυπικής απόκλισης εμφανίζει σταθερά το CCLM4 με τιμές στο εύρος 1.1-1.3 ενώ τα υπόλοιπα μοντέλα εμφανίζουν συνήθως υπερεκτίμηση πάντοτε κάτω από 1.2, δηλαδή μικρότερη από το 20% της παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης.

4. Ανάλυση Βροχόπτωσης

4.1 Εποχιακά Διαγράμματα μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης για τα δεδομένα Eobs

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης σε εποχιακή βάση των δεδομένων αναφοράς EOBS v 11.



Σχήμα 4.1.1: Μέση ημερήσια βροχόπτωση των παρατηρησιακών δεδομένων για την περίοδο 1990-2008

Η εικόνα της βροχόπτωσης για την περιοχή της Ευρώπης που παρουσιάζεται από τα παραπάνω σχήματα δεν εμπεριέχει κάποιο μη αναμενόμενο στοιχείο έτσι ώστε να υπάρξουν υπόνοιες για την ποιότητα των παρατηρησιακών δεδομένων.

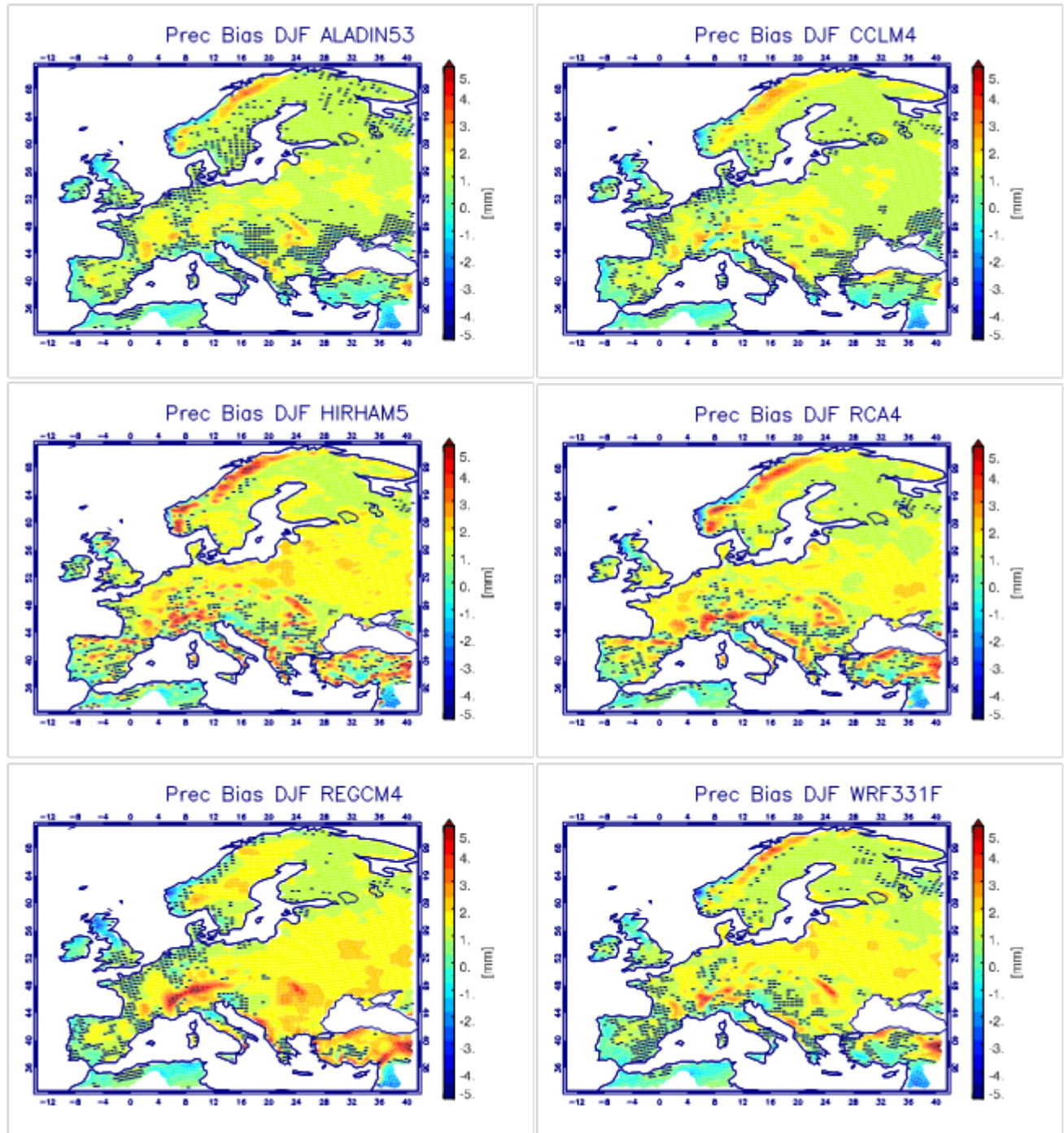
4.2 ΧΕΙΜΩΝΑΣ

Περίληψη

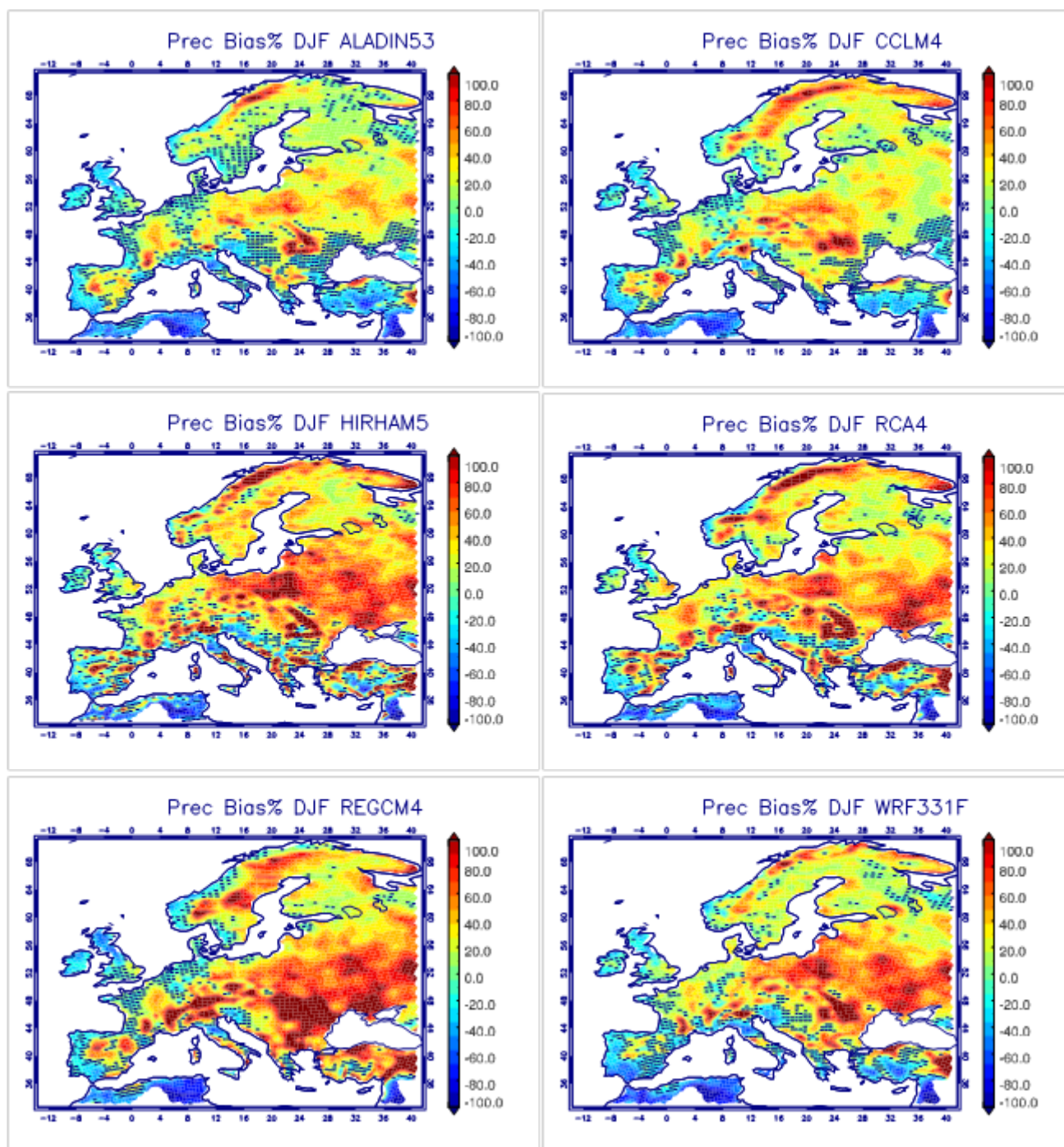
Κυρίαρχη τάση του ensemble για τον Χειμώνα είναι η υπερεκτίμηση. Ο μέσος όρος Bias του ensemble είναι 0.3mm/day (+16%) για ολόκληρη την Ευρώπη. Οι μέσοι όροι όλων ανεξαιρέτως των μοντέλων είναι θετικοί. Η χωρική κατανομή του Bias παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων. Το ίδιο συμβαίνει και με την χωρική κατανομή της στατιστικής σημαντικότητας των διαφορών. Η έκταση των περιοχών μη στατιστικής σημαντικότητας είναι πολύ περιορισμένη. Το μικρότερο μέσο όρο MAGE έχουν τα CCLM4, ALADIN53. Το CCLM4 παρουσιάζει τις καλύτερες επιδόσεις στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις (διαγράμματα Taylor) ενώ οι επιδόσεις του ALADIN53 είναι μέτριες. Το μεγαλύτερο MAGE παρουσιάζει το HIRHAM5 ενώ την χειρότερη επίδοση στα διαγράμματα Taylor το REGCM4 το οποίο εμφανίζει και το δεύτερο μεγαλύτερο σφάλμα. Δεν υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας από τα μοντέλα. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι Άλπεις με τιμή διπλάσια από την μικρότερη τιμή MAGE την οποία μοιράζονται πέντε υποπεριοχές. Όσον αφορά όμως το Bias% η Ανατολική Ευρώπη είναι που παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές με μέσο όρο +53%. Επίσης τα HIRHAM5, RCA4 και δευτερευόντως τα WRF331F, REGCM4 εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές θετικού Bias σε πολλές και διαφορετικές ορεινές εκτάσεις.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της βροχόπτωσης για τον Χειμώνα από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 4.2.1: Bias ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για το Χειμώνα



Σχήμα 4.2.2: Bias% ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για το Χειμώνα

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Το Bias που παρουσιάζεται στα παραπάνω διαγράμματα είναι μέσο ημερήσιο Bias βροχόπτωσης και επομένως εκφράζεται σε μονάδες mm/day. Οι τιμές του Bias για τον χειμώνα στην συντριπτική τους πλειοψηφία κυμαίνονται εντός του εύρους -2.5 ως 5mm/day.

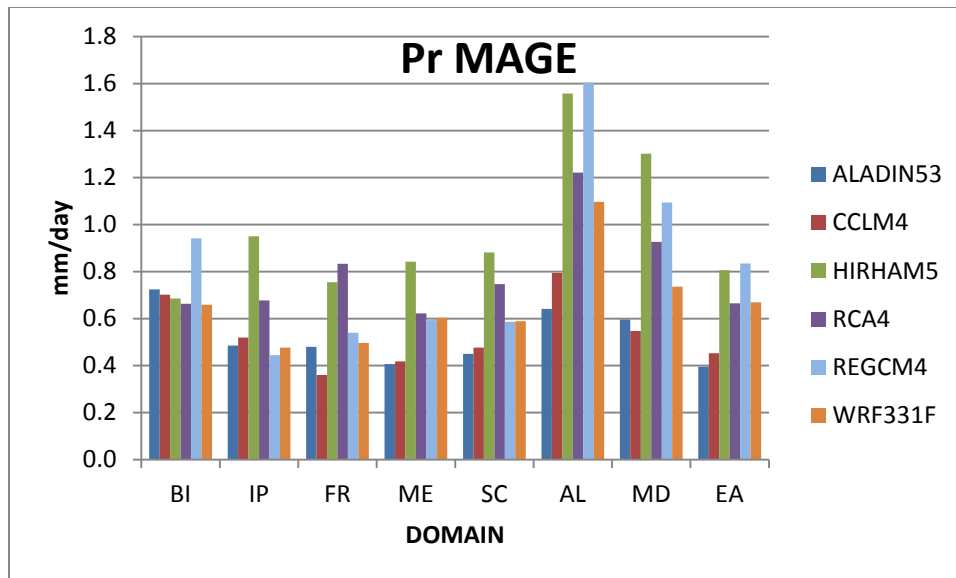
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του Bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου για όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής.

Πίνακας 4.2.1 : Bias μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day) για τον Χειμώνα ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	Μ.Ο περιοχής
BI	-0.6 (0.7) -18%	-0.5 (0.7) -13%	0.0 (0.7) 1%	0.0 (0.7) 1%	-0.7 (0.9) -21 %	-0.4 (0.7) -11%	-0.4 (0.7) -10%
IP	-0.1 (0.5) -3%	-0.1 (0.5) -3%	0.5 (1.0) 24%	0.3 (0.7) 15%	0.1 (0.4) 4%	-0.3 (0.5) -13%	0.1 (0.6) 4%
FR	0.4 (0.5) 17%	0.3 (0.4) 12%	0.7 (0.8) 34%	0.8 (0.8) 39%	0.5 (0.5) 22%	0.4 (0.5) 19%	0.5 (0.6) 27%
ME	0.4 (0.4) 20%	0.3 (0.4) 16%	0.8 (0.8) 42%	0.6 (0.6) 30%	0.5 (0.6) 25%	0.6 (0.6) 29%	0.5 (0.6) 27%
SC	0.2 (0.4) 12%	0.3 (0.5) 16%	0.8 (0.9) 38%	0.5 (0.7) 24%	0.4 (0.6) 18%	0.4 (0.6) 22%	0.4 (0.6) 22%
AL	0.1 (0.6) 2%	0.2 (0.8) 9%	1.2 (1.6) 47%	0.8 (1.2) 32%	1.4 (1.6) 55%	0.5 (1.1) 21%	0.7 (1.2) 28%
MD	-0.1 (0.6) -7%	0.0 (0.5) -2%	0.7 (1.3) 37%	0.4 (0.9) 21%	0.7 (1.1) 33%	0.0 (0.7) 0%	0.3 (0.9) 14%
EA	0.4 (0.4) 32%	0.5 (0.5) 39%	0.8 (0.8) 66%	0.6 (0.7) 54%	0.8 (0.8) 72%	0.7 (0.7) 57%	0.6 (0.6) 53%
Μ.Ο Μοντέλου	0.1 (0.5) 3%	0.1 (0.5) 6%	0.7 (1.0) 32%	0.5 (0.8) 23%	0.4 (0.8) 20%	0.2 (0.7) 11%	0.3 (0.7) 16%

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias, το Bias% συνοδεύεται από το σύμβολο %.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 4.2.1 : Τιμές απόλυτου Bias μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

Σε όλα τα μοντέλα οι περιοχές που εμφανίζουν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές είναι πολύ περιορισμένες σε έκταση. Το χωρικό μοτίβο της στατιστικής σημαντικότητας επίσης παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων. Ιδιαίτερα διακρίνονται κάποια ζευγάρια μοντέλων (ALADIN53-CCLM4, HIRHAM5-RCA4) τα οποία έχουν σχεδόν πανομοιότυπα μοτίβα. Η μόνη περιοχή αξιολογής έκτασης που φαίνεται να παρουσιάζει μη στατιστικά σημαντικές διαφορές στα περισσότερα μοντέλα (ALADIN53, CCLM4, REGCM4, WRF331F) είναι ένα κομμάτι της Βόρειο Δυτικής Γαλλίας (FR). Επίσης σε ορισμένα μοντέλα υπάρχουν τμήματα της Κεντρικής Ευρώπης (ME) και της Ισπανίας (IP) με κάποια αξιολογία έκταση μη στατιστικής σημαντικότητας.

Αυτό που επίσης διαπιστώνεται με μια πρώτη ματιά από τα διαγράμματα του Bias είναι ότι υπάρχουν μεγάλες ομοιότητες και στην συμπεριφορά όχι μόνο της στατιστικής σημαντικότητας αλλά και του ίδιου του μεγέθους του Bias της βροχόπτωσης. Στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης το Bias εμφανίζεται θετικό και κάτω από τα 2mm. Πιο έντονες θετικές διαφορές, ακόμα και πάνω από 5mm σε λίγες όμως περιπτώσεις, εμφανίζονται κυρίως μόνο σε ορεινές περιοχές όπως σε τμήματα των Άλπεων (AL) και των οροσειρών της Νορβηγίας (Σκάνδειες). Αρνητικές τιμές Bias παρουσιάζονται για όλα τα μοντέλα στο βόρειο τμήμα της BI, στην IP, μέρος της Ιταλίας και στο δυτικό παράλιο κομμάτι της Νορβηγίας.

Ως γενική συμπεριφορά είναι φανερό τόσο από τα διαγράμματα όσο και από τις τιμές του πίνακα 4.2.1 ότι η κυρίαρχη τάση των μοντέλων είναι η υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο συγκεντρωτικός μέσος όρος Bias (από όλες τις υποπεριοχές) για κάθε μοντέλο είναι θετικός, ενώ θετικό είναι το Bias και για τις περισσότερες υποπεριοχές για το κάθε μοντέλο. Εξάιρεση αποτελούν οι υποπεριοχές BI, IP στις οποίες τα μοντέλα ALADIN53, CCLM4 και WRF331F εμφανίζουν αρνητικό μέσο όρο Bias, ενώ το REGCM4 εμφανίζει αρνητικό μέσο όρο Bias μόνο για την BI. Η μόνη υποπεριοχή που

έχει αρνητικό συγκεντρωτικό μέσο όρο Bias (από όλα τα μοντέλα) είναι η Μ.Βρετανία (BI) ενώ όλες οι υπόλοιπες παρουσιάζουν θετικές τιμές. Τέλος είναι χαρακτηριστικό ότι ο μέσος όρος Bias του ensemble για ολόκληρη την Ευρώπη (μέσος όρος των συγκεντρωτικών μέσων όρων Bias όλων των μοντέλων) είναι θετικός με τιμή 0.3mm/day και αντιστοιχεί σε υπερεκτίμηση 16% της παρατηρούμενης βροχόπτωσης. Γενικά οι τιμές του %Bias κινούνται στις περισσότερες περιπτώσεις κάτω από το +40%, με την Ανατολική Ευρώπη (EA) να παρουσιάζει κάποιες περιπτώσεις με αρκετά πιο υψηλή τιμή όπως το RECGM4 (+72%).

Λαμβάνοντας υπόψη το συγκεντρωτικό μέσο όρο MAGE (απόλυτο Bias) για την Ευρώπη (μέσος όρος από όλες τις υποπεριοχές) για το κάθε μοντέλο, την μικρότερη τιμή εμφανίζουν τα CCLM4 και ALADIN53 με 0.5mm/day ενώ το μεγαλύτερο MAGE εμφανίζει το HIRHA5 με 1.0mm/day. Όπως φαίνεται εύκολα και από το διάγραμμα 4.2.1 το HIRHAM5 παρουσιάζει από τις υψηλότερες τιμές MAGE (είτε την πρώτη είτε την δεύτερη υψηλότερη) σε όλες τις υποπεριοχές εκτός της BI. Για παράδειγμα στην Ιβηρική (IP) έχει μέσο όρο MAGE 1.0mm/day, ενώ όλα τα άλλα μοντέλα, εκτός του RCA4, έχουν τιμές κοντά στα 0.5mm/day. Επίσης τα ALADIN53 και CCLM4 εμφανίζουν σταθερά τις μικρότερες τιμές μέσου όρου MAGE σε όλες τις υποπεριοχές. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι το HIRHAM5 έχει και αρκετά μεγάλο θετικό Bias 0.7mm/day (αντιστοιχεί σε 32% Bias%). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το μεγάλο MAGE που σε απόλυτη τιμή είναι κοντά στην απόλυτη τιμή του Bias οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει σταθερή υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης από το HIRHAM5 στο μεγαλύτερο κομμάτι της Ευρώπης.

Όσον αφορά το συγκεντρωτικό μέσο όρο MAGE (από όλα τα μοντέλα) για κάθε υποπεριοχή, την μικρότερη τιμή παρουσιάζουν πέντε υποπεριοχές, οι IP,FR,ME,SC και EA, με 0.6mm/day. Η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται στις Άλπεις με 1.2mm/day, είναι δηλαδή διπλάσια από την μικρότερη. Την δεύτερη χειρότερη τιμή εμφανίζει η Μεσόγειος (MD) με 0.9mm/day. Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι τα μοντέλα με τις σταθερά μικρότερες τιμές MAGE, τα ALADIN53 και CCLM4, εμφανίζουν επίσης μικρές τιμές MAGE και στις Άλπεις και την Μεσόγειο (μέσα στο εύρος 0.5-0.8mm/day) όπου άλλα μοντέλα όπως το HIRHAM5 και REGCM4 μπορούν να παρουσιάσουν αρκετά μεγάλες τιμές. Για παράδειγμα και τα δύο μοντέλα φτάνουν τα 1.6mm/day στις Άλπεις και τα 1.3mm/day το HIRHAM5 στην MD. Οι Άλπεις παρουσιάζουν επίσης και ένα έντονο θετικό Bias% με μέσο όρο +28%. Το ενδιαφέρον είναι όμως ότι η EA (Αν.Ευρώπη) παρουσιάζει πολύ υψηλές τιμές Bias%, τις υψηλότερες από κάθε άλλη υποπεριοχή, με μέσο όρο +53%.

Τυπική Απόκλιση

Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

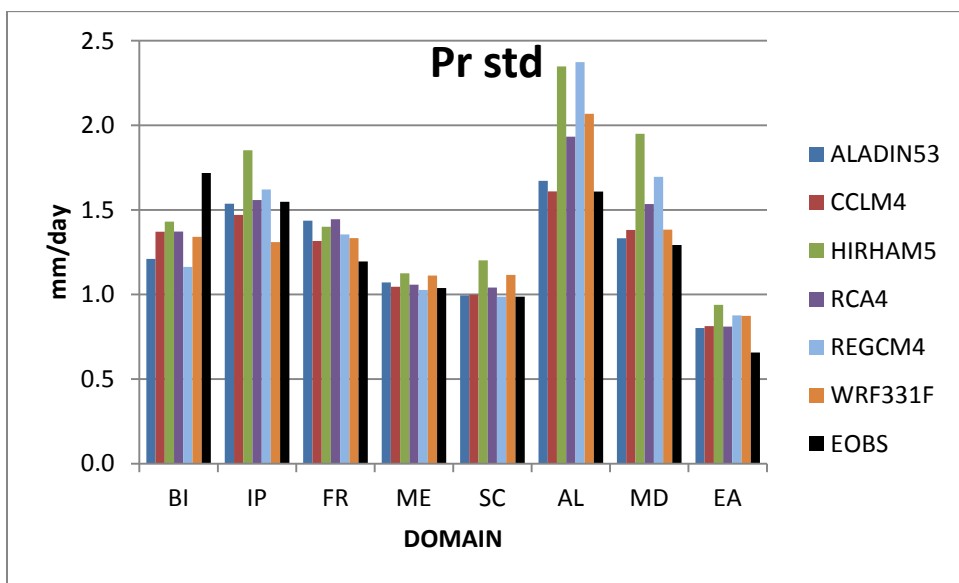
Η τυπική απόκλιση αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (spread) των δεδομένων. Στην παραπάνω της μορφή εκφράζει ακριβώς το βαθμό διασποράς που έχουν τα δεδομένα των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης για κάθε σημείο (πάντα για την εποχή του Χειμώνα) αλλά και συνολικά ως μέσος όρος

για όλες τις υποπεριοχές. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να γίνουν συγκρίσεις της διασποράς των δεδομένων τόσο μεταξύ των μοντέλων όσο και των περιοχών αλλά κυρίως να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ του βαθμού της διασποράς και του σφάλματος του μοντέλου (Bias,MAGE).

Πίνακας 4.2.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης για τον Χειμώνα ανά υποπεριοχή

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	EOBS	M.O. περιοχής
BI	1.2	1.4	1.4	1.4	1.2	1.3	1.7	1.3
IP	1.5	1.5	1.9	1.6	1.6	1.3	1.5	1.6
FR	1.4	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.4
ME	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1
SC	1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1
AL	1.7	1.6	2.3	1.9	2.4	2.1	1.6	2.0
MD	1.3	1.4	1.9	1.5	1.7	1.4	1.3	1.5
EA	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	0.7	0.9
M.O μοντέλου	1.3	1.3	1.5	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3

Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.

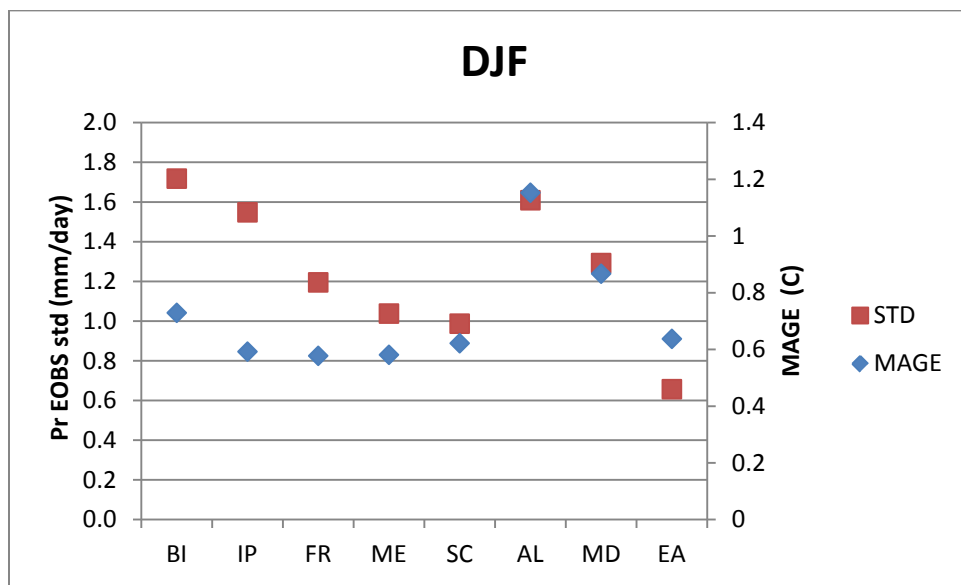


Διάγραμμα 4.2.2. : Τιμές τυπικής απόκλισης μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο

Οι τιμές του πίνακα 4.2.2 (μέσοι όροι τυπικών αποκλίσεων ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο) βρίσκονται εντός του εύρους 0.8-2.4mm/day. Γίνεται φανερό, ειδικά από το διάγραμμα 4.2.2, ότι υπάρχει μεγάλη σύμπτωση των τιμών τυπικών αποκλίσεων των μοντέλων για την ίδια υποπεριοχή. Συνήθως οι διαφορές μεταξύ των μοντέλων είναι μικρές και σπανίως ξεπερνούν τα 0.3mm/day. Εξάιρεση αποτελεί η υποπεριοχή των Άλπεων (AL) και δευτερευόντως της Μεσογείου (MD) και της Ιβηρικής (IP). Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα που λαμβάνουν οι τυπικές αποκλίσεις του HIRHAM5 κατά κύριο λόγο ενώ στις Άλπεις και του REGCM4. Στις Άλπεις για παράδειγμα η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο μοντέλων που υπάρχει φτάνει τα 0.8mm/day και αναφέρεται στο ζευγάρι REGCM4 (2.4mm/day) και CCLM4 (1.6mm/day).

Εξετάζοντας τους συνολικούς μέσους όρους τυπικής απόκλισης ανά μοντέλο παρατηρούμε ότι κυμαίνονται στο εύρος 1.3-1.5mm/day ενώ η συνολική μέση τιμή των παρατηρήσεων είναι αρκετά κοντά με 1.3mm/day. Την μεγαλύτερη τιμή εμφανίζει το HIRHAM5 που έχει επίσης και το μεγαλύτερο MAGE. Γενικά στις περισσότερες υποπεριοχές (εκτός BI,IP) υπάρχει μια τάση υπερεκτίμησης της std καθώς οι μέσες τιμές όλων των μοντέλων είναι μεγαλύτερες από την μέση τιμή των παρατηρήσεων. Οι υποπεριοχές με την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση είναι οι Άλπεις και η Μεσόγειος. Η μόνη υποπεριοχή με υποεκτίμηση είναι η BI, όπου οι μέσες τιμές όλων των μοντέλων είναι μικρότερες από τις παρατηρήσεις.

Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα δεν φαίνεται να υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ τιμής του MAGE και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης ανά υποπεριοχή.

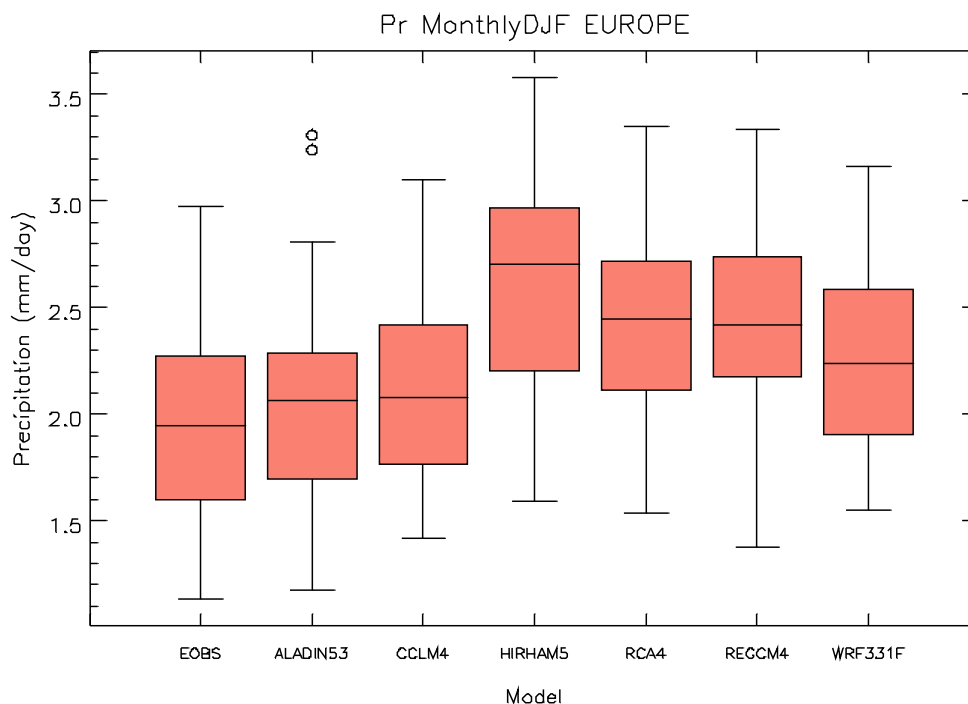


Διάγραμμα 4.2.3 : Σχέση μέσων τιμών MAGE και παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης, Χειμώνας

Για παράδειγμα η BI έχει παρόμοια τιμή MAGE με την EA, η std όμως της BI είναι υπερδιπλάσια. Οι δύο υποπεριοχές με τα μεγαλύτερα MAGE, AL και MD, έχουν μεγάλες σχετικά τυπικές αποκλίσεις η IP όμως με παρόμοια τυπική απόκλιση εμφανίζει πολύ μικρότερο MAGE. Δεν μπορεί επομένως να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα.

Θηκογράμματα (Boxplots)

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή. Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.



Διάγραμμα 4.2.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης τον Χειμώνα

Παρατηρώντας το θηκόγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, γίνεται φανερό ότι η διάμεσος όλων ανεξαιρέτως των μοντέλων είναι μεγαλύτερη από την διάμεσο των παρατηρησιακών δεδομένων. Αυτό είναι κάτι που αναμενόταν καθώς η τάση του ensemble καθώς και του κάθε μοντέλου ξεχωριστά, ως μέσος όρος για ολόκληρη την Ευρώπη, είναι η υπερεκτίμηση της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης. Την μεγαλύτερη απόκλιση από την διάμεσο των παρατηρήσεων παρουσιάζει το HIRHAM5 το οποίο έχει και το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGE. Γενικά ολόκληρη η κατανομή του HIRHAM5 φαίνεται να είναι μετατοπισμένη προς μεγαλύτερες τιμές. Είναι χαρακτηριστικό ότι η τιμή του πρώτου τεταρτημορίου του HIRHAM5 είναι σχεδόν ίδια με την τιμή του τρίτου τεταρτημορίου των παρατηρήσεων. Επίσης η μορφή της κατανομής του μοντέλου παρουσιάζει αρνητική λόξωση (πολλές μεγάλες τιμές) ενώ αυτή των Eobs προσεγγίζει αρκετά την κανονική κατανομή. Όλα σχεδόν τα μοντέλα πλησιάζουν και αυτά σε

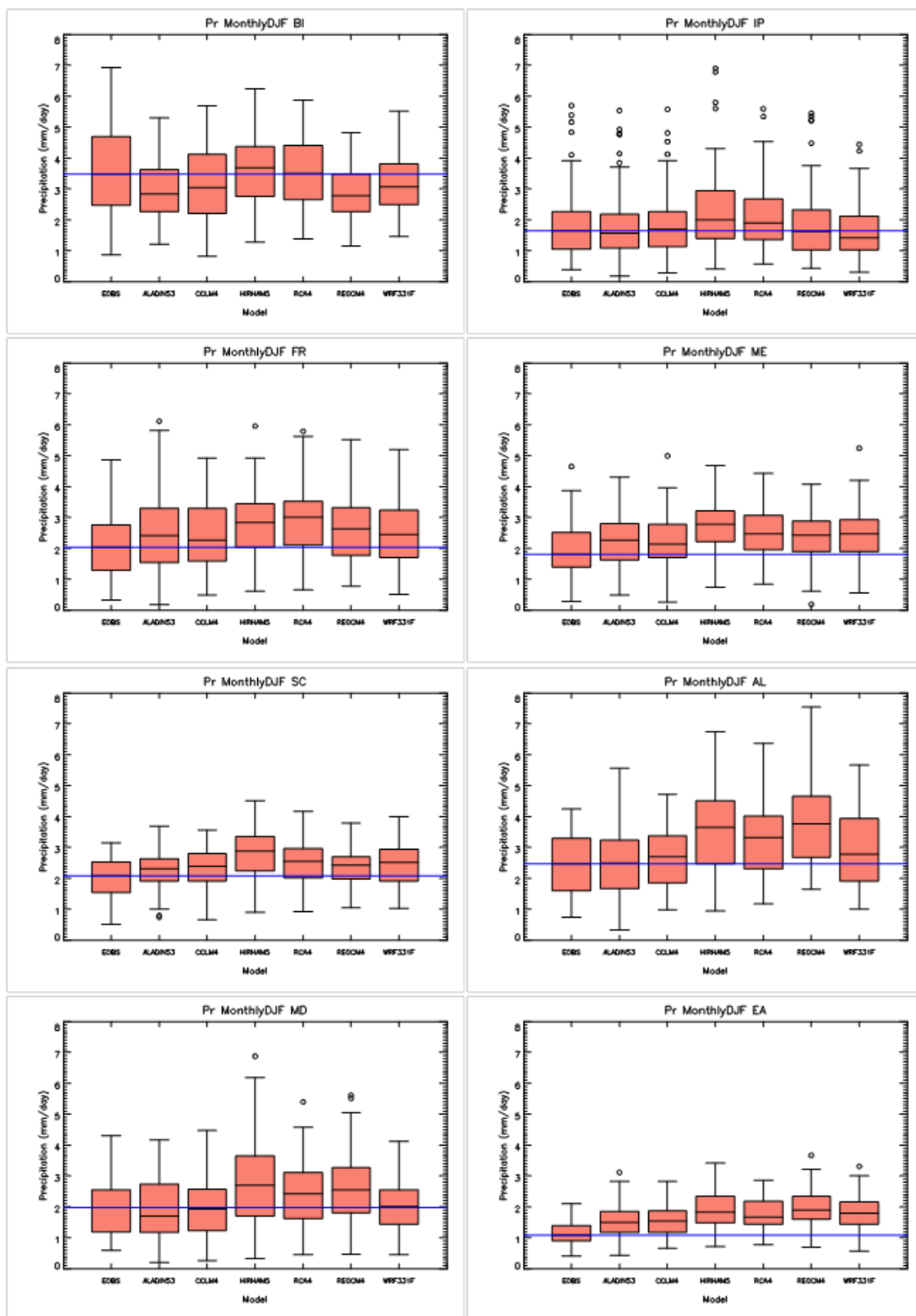
μορφή την κανονική κατανομή, εκτός του ALADIN53 το οποίο εμφανίζει μία μικρή αρνητική λόξωση. Το ALADIN53 έχει και δύο «παράτυπα» σημεία άνω του υψηλότερου whisker. Υπενθυμίζεται εδώ ότι τα σημεία αυτά δεν θεωρούνται προβληματικά, καθώς αντιπροσωπεύουν μέσες καταστάσεις βροχόπτωσης για ολόκληρη την Ευρώπη για ένα συγκεκριμένο μήνα (από τους 57 μήνες του Χειμώνα των 19 χρόνων της περιόδου μελέτης). Απλά συμβολίζουν καταστάσεις που απέχουν αρκετά από τα υπόλοιπα σημεία, πάνω από 1.5IQR από το πλησιέστερο τεταρτημόριο. Έτσι λοιπόν μαζί με τα παράτυπα σημεία το εύρος του ALADIN53 γίνεται το μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα μοντέλα. Γενικά πάντως για το θηκόγραμμα της Ευρώπης μπορεί να ειπωθεί ότι τα περισσότερα μοντέλα προσεγγίζουν ικανοποιητικά την κατανομή των παρατηρήσεων, και δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις από τα Eobs ούτε στο εύρος ούτε κυρίως στο IQR.

Παρόμοια είναι η κατάσταση και για τα διαγράμματα των υποπεριοχών. Η θέση της διαμέσου ταιριάζει με το πρόσημο που έχει ο μέσος όρος Bias για το κάθε μοντέλο. Η μορφή της κατανομής των μοντέλων ακολουθεί γενικά την μορφή των παρατηρήσεων η οποία με την σειρά της συνήθως προσεγγίζει την κανονική κατανομή. Υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις όπως για παράδειγμα το RCA4 για την FR και το ALADIN53 για την MD τα οποία παρουσιάζουν αρκετή αρνητική και θετική λόξωση αντίστοιχα. Επίσης για την EA, τα EObs παρουσιάζουν θετική λόξωση που δεν καταφέρνουν να προσομοιώσουν τα μοντέλα εκτός του RCA4. Η σύμπτωση του ενδοτεταρτομοριακού εύρους γενικά είναι καλή εκτός των υποπεριοχών BI και EA. Στην Μ.Βρετανία (BI) παρατηρείται φανερή υποεκτίμηση από τα μοντέλα ενώ στην Ανατολική Ευρώπη (EA) υπερεκτίμηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στα διαγράμματα Taylor που παρουσιάζονται στην επόμενη παράγραφο. Για την BI ιδιαίτερη περίπτωση υποεκτίμησης αποτελεί το REGCM4. Είναι χαρακτηριστικό ότι το IQR του είναι σχεδόν το μισό από αυτό των παρατηρήσεων ενώ η τιμή του εύρους του είναι περίπου τα 2/3 της τιμής του εύρους των EObs.

Είναι ενδιαφέρον ότι στην υποπεριοχή IP τόσο τα παρατηρησιακά δεδομένα όσο και όλα τα μοντέλα εμφανίζουν παράτυπα σημεία πάνω από το ανώτερο whisker. Αυτό υποδηλώνει την ύπαρξη καταστάσεων υψηλής βροχόπτωσης που απέχουν αρκετά από τις υπόλοιπες καταστάσεις και τις οποίες μπορούν σε κάποιο βαθμό να προσομοιώσουν όλα τα μοντέλα. Η θέση του ανώτερου παράτυπου σημείου είναι παρόμοια για όλα τα μοντέλα στην IP εκτός του HIRHAM5 που την υπερεκτιμάει κατά 1mm και του WRF331F που την υποεκτιμάει κατά την ίδια ποσότητα.

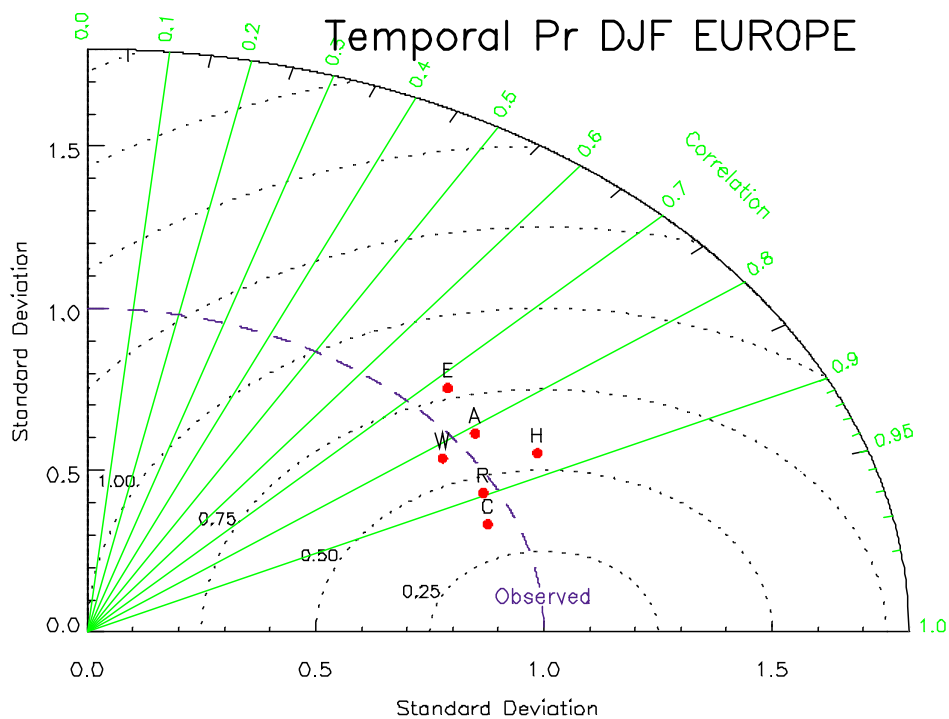
Στις Άλπεις, την περιοχή με το μεγαλύτερο MAGE, τα μοντέλα HIRHAM5, REGCM4 και WRF331F παρουσιάζουν μια εμφανή υπερεκτίμηση του IQR. Επίσης όλα τα μοντέλα εκτός του CCLM4 υπερεκτιμούν το εύρος. Το ενδιαφέρον είναι ότι τα HIRHAM5 και REGCM4, που έχουν το μεγαλύτερο MAGE, υπερεκτιμούν κατά πολύ το άνω όριο των καταστάσεων μεγάλης βροχόπτωσης. Για παράδειγμα τα EObs έχουν ως μέγιστη τιμή του εύρους τα 4.2mm/day ενώ το REGCM4 φτάνει τα 7.5mm/day.

Το HIRHAM5 παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερο εύρος από τις παρατηρήσεις και για την περιοχή της Μεσογείου (MD). Το εύρος του μοντέλου είναι περίπου 50% μεγαλύτερο από των παρατηρήσεων ενώ και η μέγιστη τιμή βροχόπτωσης, αν συνυπολογίσουμε και το παράτυπο σημείο του HIRHAM5, είναι πολύ υψηλότερη φτάνοντας τα 7mm/day ενώ των παρατηρήσεων είναι κάτω από τα 4.5mm/day.

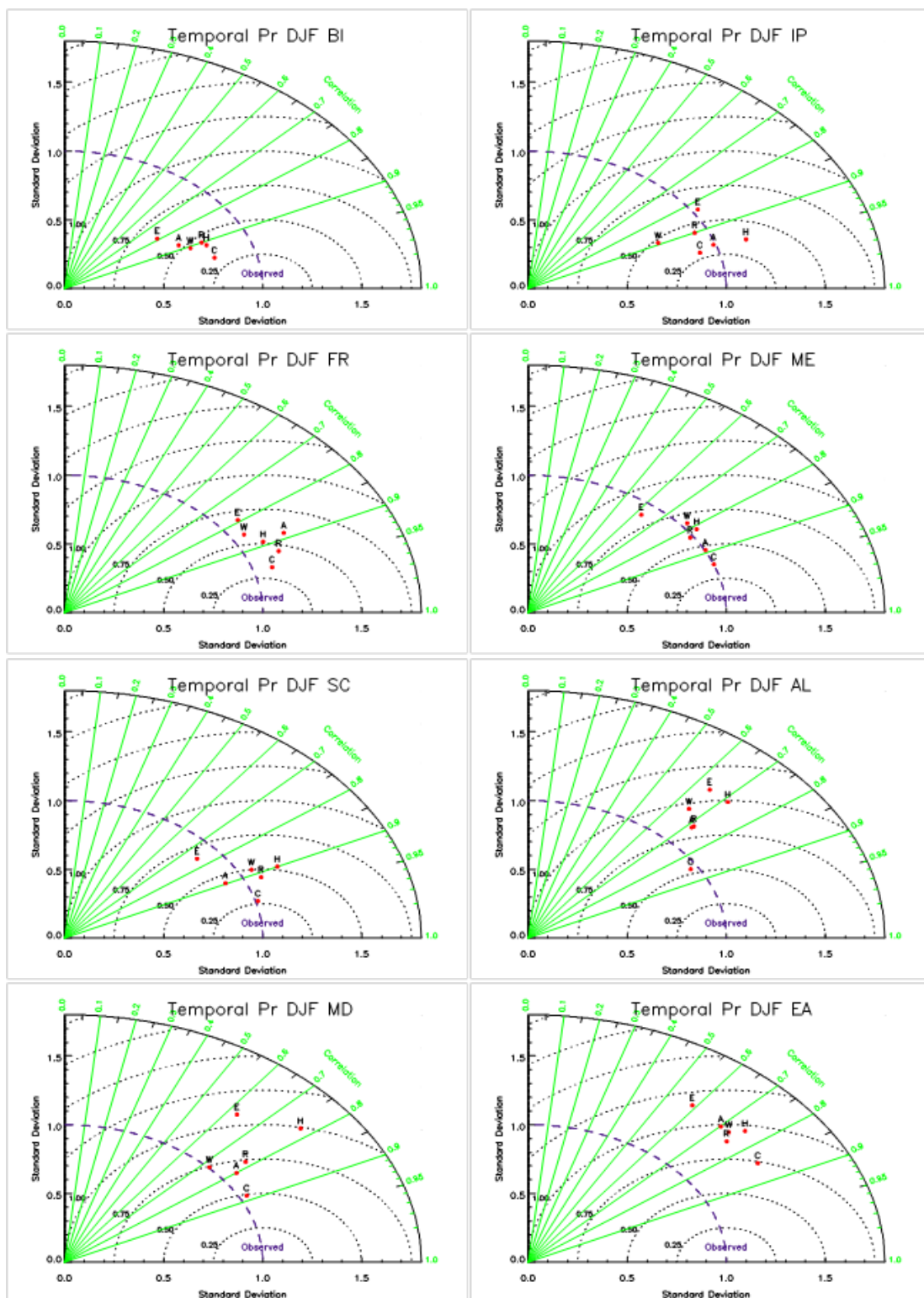


Διάγραμμα 4.2.5 : Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή

Διαγράμματα Taylor



Διάγραμμα 4.2.6 : Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 4.2.7 : Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές

Είναι φανερό ότι στο διάγραμμα της Ευρώπης και στα διαγράμματα των περιοχών κυριαρχεί η ίδια βασική εικόνα σχετικά με το μοντέλο που παρουσιάζει τις καλύτερες και αυτό με τις χειρότερες επιδόσεις. Σε όλα λοιπόν τα παραπάνω διαγράμματα το CCLM4 εμφανίζει το μικρότερο CRMS, την καλύτερη συσχέτιση και μία από τις καλύτερες εκτιμήσεις της παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης. Στην αντίθετη θέση βρίσκεται το REGCM4 με το χειρότερο CRMS και συσχέτιση, ενώ σε αρκετές υποπεριοχές η τυπική του απόκλιση διαφέρει αρκετά από τις παρατήσεις.

Στο διάγραμμα της Ευρώπης το CCLM4 εμφανίζει όπως ειπώθηκε το μικρότερο CRMS με τιμή περίπου 0.35mm/day, την καλύτερη συσχέτιση με συντελεστή κοντά στο 0.92 και πολύ καλή σύμπτωση στην παρατηρούμενη τυπική απόκλιση. Την δεύτερη θέση κατέχει το RCA4 με συσχέτιση 0.9, παρόμοια εκτίμηση της std και σφάλμα λίγο κάτω από τα 0.5mm/day. Το REGCM4 με CRMS 0.75mm/day και συντελεστή συσχέτισης 0.7 έχει τις χειρότερες επιδόσεις. Είναι ενδιαφέρον ότι το HIRHAM5 που έχει το μεγαλύτερο MAGE ως μέσο όρο από όλες τις υποπεριοχές εδώ βρίσκεται σε μία ενδιάμεση θέση στο διάγραμμα Taylor σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα. Υπενθυμίζεται εδώ όμως ότι η ανάλυση που γίνεται μέσω των συγκεκριμένων διαγραμμάτων Taylor είναι σε χρονική βάση, παρουσιάζονται δηλαδή χωρικά μεσοποιημένες χρονοσειρές, ενώ ο υπολογισμός των MAGE είναι σε χωρική κλίμακα καθώς η σύγκριση μεταξύ μοντέλου και παρατηρήσεων γίνεται κελί προς κελί. Γενικά για το διάγραμμα ολόκληρης της Ευρώπης όλα τα μοντέλα πετυχαίνουν καλή εκτίμηση της std και δεν αποκλίνουν πάνω από 10% από την παρατηρούμενη. Βέβαια αυτό είναι εν μέρει αποτέλεσμα αλληλεξουδετέρωσης καθώς στις υπόλοιπες υποπεριοχές αρκετά μοντέλα αποκλίνουν αρκετά τόσο λόγω υπερεκτίμησης όσο και υποεκτίμησης με αποτέλεσμα όταν υπολογιστεί ο μέσος όρος από όλες τις περιοχές οι επιδράσεις αυτές να αλληλοεξουδετερώνονται και το αποτέλεσμα να εμφανίζεται παραπλανητικά καλό. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του REGCM4 το οποίο φαίνεται ότι δεν τα πηγαίνει καλά ούτε στην τυπική απόκλιση καθώς ενώ στο διάγραμμα της Ευρώπης δεν παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις από την παρατηρούμενη, σε άλλες υποπεριοχές (AL,MD,BI) κατέχει τις χειρότερες επιδόσεις.

Για τις υπόλοιπες υποπεριοχές, όσον αφορά το CRMS και την συσχέτιση, η εικόνα είναι παρόμοια με την Ευρώπη με το CCLM να έχει την καλύτερη συσχέτιση και CRMS σφάλμα ενώ το REGCM4 την χειρότερη θέση σε όλες ανεξαιρέτως τις υποπεριοχές. Τα υπόλοιπα μοντέλα καταλαμβάνουν ενδιάμεσες θέσεις. Είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι το CCLM4 παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα στην επίτευξη καλών επιδόσεων. Είναι χαρακτηριστικό ότι για καμία περιοχή δεν έχει συντελεστή συσχέτισης χειρότερο από 0.8 και CRMS σφάλμα μεγαλύτερο από 0.75mm/day. Την χειρότερη επίδοσή του την παρουσιάζει στην Ανατολική Ευρώπη (EA). Μάλιστα για την ίδια υποπεριοχή εμφανίζει και το REGCM4 την χειρότερη συσχέτιση με 0.6 και το μεγαλύτερο CRMS με περίπου 1.2mm/day.

Όσον αφορά την τυπική απόκλιση ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμπεριφορά των μοντέλων σε ορισμένες υποπεριοχές. Στην Μ.Βρετανία (BI) παρουσιάζεται υποεκτίμηση από όλα τα μοντέλα. Όλα ανεξαιρέτως τα μοντέλα εμφανίζουν απόκλιση μεγαλύτερη του 10% από παρατηρήσεις ενώ μάλιστα το REGCM4 φτάνει μέχρι και το 40%. Αντίθετα στις υποπεριοχές FR,MD,EA και AL όλα τα μοντέλα υπερεκτιμούν την τυπική απόκλιση. Στις Άλπεις ιδιαίτερα μόνο το CCLM πετυχαίνει πολύ καλή

εκτίμηση της std ενώ τα υπόλοιπα μοντέλα αποκλίνουν αρκετά, πάνω από 10% της παρατηρούμενης. Στην EA όλα τα μοντέλα αποκλίνουν πολύ περίπου στο διάστημα +30-40%.

Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι από τα διαγράμματα Taylor οι υποπεριοχές που παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα CRMS για όλα τα μοντέλα είναι οι AL, MD και EA. Οι δύο πρώτες είχαν κατά μέσο όρο και τα μεγαλύτερα MAGe (1.2, 0.9) η EA όμως είχε MAGe μόλις 0.6mm. Μάλιστα όλα τα μοντέλα παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές MAGe στην συγκεκριμένη υποπεριοχή. Το 0.6mm είναι η μικρότερη τιμή μέσου όρου MAGe ανά υποπεριοχή, η οποία βέβαια παρουσιάζεται και σε τέσσερις άλλες υποπεριοχές. Έτσι λοιπόν από τους μέσους όρους MAGe φαινόταν ότι για την EA τα μοντέλα πετυχαίνουν μικρές αποκλίσεις και δεν αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα στην σωστή εκτίμηση των τιμών της βροχόπτωσης. Αν όμως ληφθεί υπόψη και το διάγραμμα Taylor γίνεται εμφανές ότι η χρονική σύγκριση των μοντέλων με τις παρατηρήσεις εμφανίζει χειρότερες επιδόσεις σε σχέση με τις περισσότερες υποπεριοχές, εκτός φυσικά των Άλπεων. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι στην συγκεκριμένη υποπεριοχή υπάρχουν διεργασίες οι οποίες δεν προσομοιώνονται επαρκώς από τα μοντέλα και ενδεχομένως το μικρό MAGe να είναι αποτέλεσμα τυχαιότητας και αλληλεξουδετέρωσης λαθών στην περιγραφή τους. Επίσης αποτελεί ένα καλό παράδειγμα ότι ένα metric από μόνο του δεν επαρκεί για την πλήρη περιγραφή μιας κατάστασης, ενώ πρέπει να συνδυάζεται με άλλες μεταβλητές ιδιαίτερα με metrics τέτοιου τύπου που να φανερώνουν και διαφορετικές πτυχές της ίδιας κατάστασης. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το διάγραμμα Taylor προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την σύγκριση του μοντέλου με τις παρατηρήσεις σε χρονική βάση την οποία το metric του MAGe, έτσι όπως υπολογίστηκε, αγνοεί τελείως.

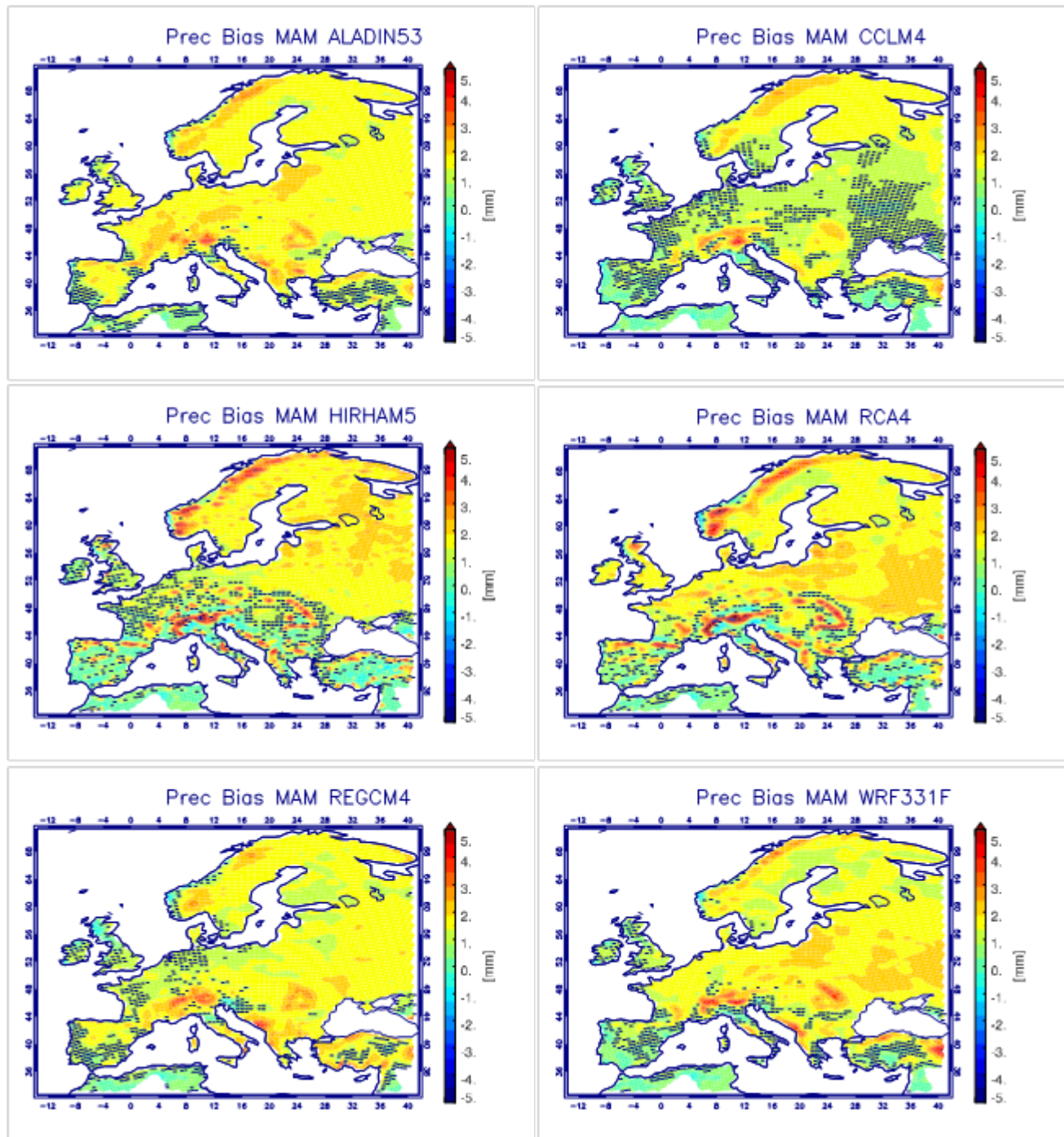
4.3 ΑΝΟΙΞΗ

Περίληψη

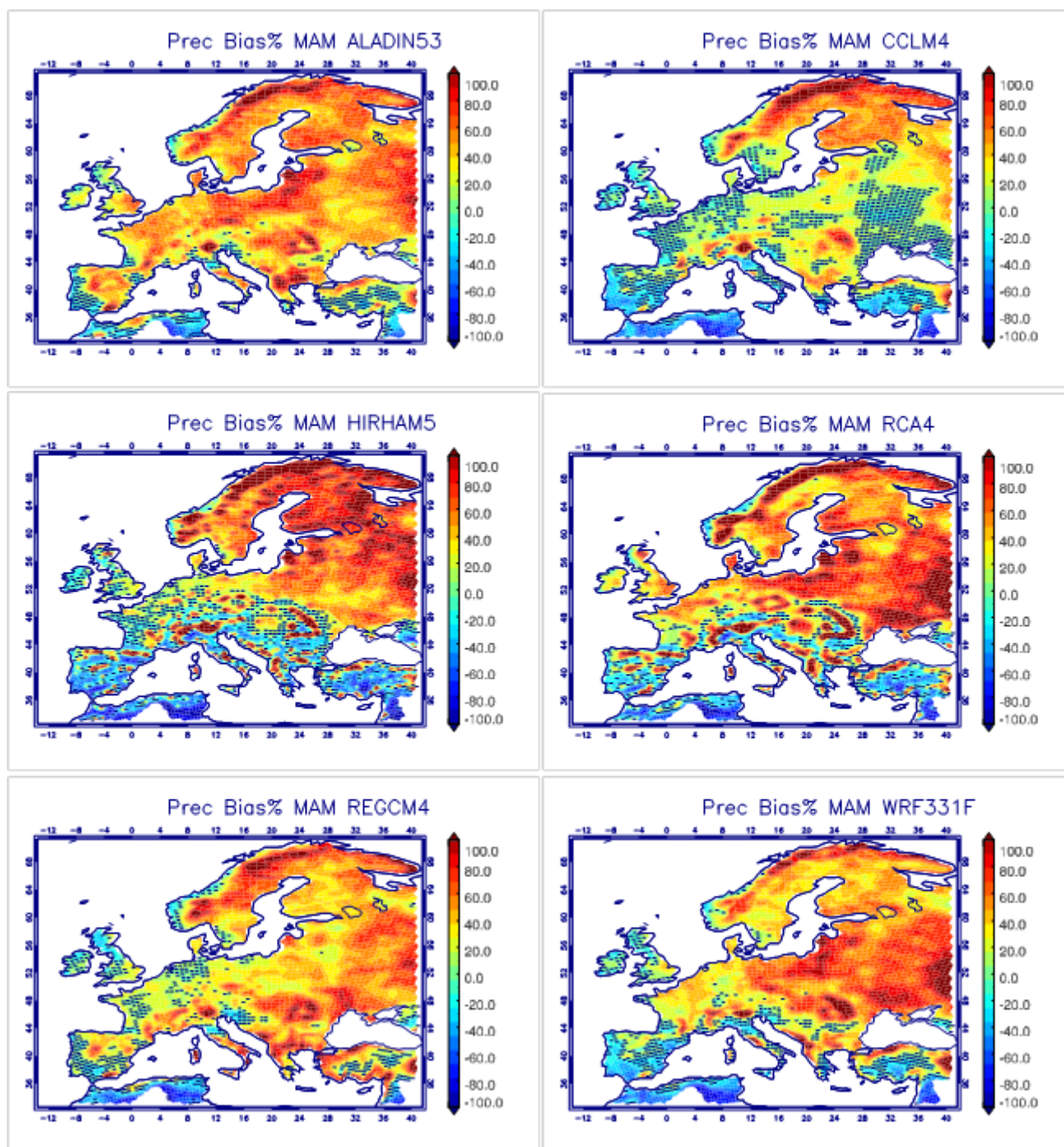
Κυρίαρχη τάση του ensemble για την Άνοιξη είναι η υπερεκτίμηση. Ο μέσος όρος Bias του ensemble είναι 0.6mm για ολόκληρη την Ευρώπη που αντιστοιχεί σε αρκετά μεγάλο Bias% με +30% . Οι Μέσοι όροι όλων ανεξαιρέτως των μοντέλων για ολόκληρη την Ευρώπη είναι θετικοί. Η χωρική κατανομή του Bias παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων με τα HIRHAM5 και RCA4 να εμφανίζουν πολύ μεγάλη υπερεκτίμηση σε ορεινές εκτάσεις. Η έκταση των περιοχών μη στατιστικής σημαντικότητας είναι πολύ περιορισμένη. Το μικρότερο μέσο όρο MAGE έχει το CCLM4 το οποίο παρουσιάζει και τις καλύτερες επιδόσεις στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις (διαγράμματα Taylor). Το μεγαλύτερο MAGE παρουσιάζει το RCA4. Το HIRHAM5 εμφανίζει το δεύτερο υψηλότερο MAGE και μαζί με το REGCM4 την χειρότερη επίδοση στα διαγράμματα Taylor. Το REGCM4 εμφανίζει το δεύτερο μεγαλύτερο σφάλμα. Υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης από τα μοντέλα. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι Άλπεις με διαφορά από τις υπόλοιπες. Την μικρότερη τιμή εμφανίζει η ΒΙ. Το μεγαλύτερο Bias% εμφανίζουν οι ΕΑ και SC με +49%. Υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης από τα μοντέλα.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για τον χειμώνα από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 4.3.1: Bias ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για την Άνοιξη



Σχήμα 4.3.2: Bias% ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για την Άνοιξη

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Οι τιμές του Bias κυμαίνονται στα περισσότερα διαγράμματα από -2 ως +3mm/day. Μόνο τα REGCM4 και RCA4 εμφανίζουν αρκετά υψηλότερες τιμές κυρίως στα ορεινά.

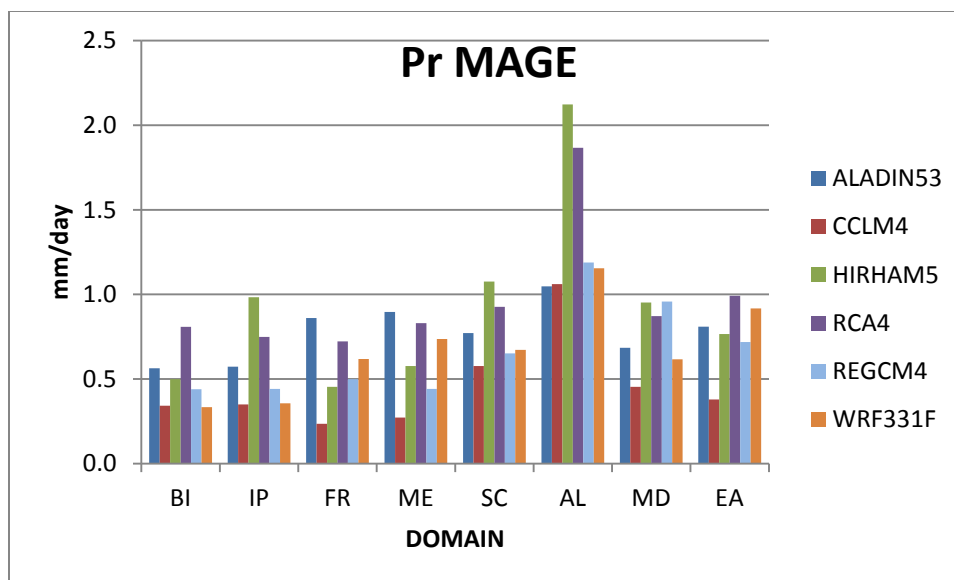
Το μοτίβο στατιστικής σημαντικότητας παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων. Περιοχές όπως η IP, η Βορειοδυτική FR και η βόρεια ME εμφανίζουν σε ορισμένα τμήματά τους αξιολογή έκταση μη στατιστικής σημαντικότητας σε αρκετά μοντέλα. Πάντως η έκταση των περιοχών μη στατιστικής σημαντικότητας είναι αρκετά περιορισμένη. Επίσης στις ορεινές εκτάσεις το Bias εμφανίζεται σχεδόν πάντοτε στατιστικά σημαντικό.

Πίνακας 4.3.1 : Bias βροχόπτωσης (mm/day) για Άνοιξη ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O περιοχής
BI	0.5 (0.6) 19%	-0.1 (0.3) -6%	0.2 (0.5) 7%	0.7 (0.8) 28%	0.0 (0.4) 0%	0.1 (0.3) 3%	0.2 (0.5) 9%
IP	0.4 (0.6) 26%	-0.1 (0.4) -6%	0.2 (1.0) 10%	0.3 (0.7) 18%	0.4 (0.4) 22%	-0.1 (0.4) -5%	0.2 (0.6) 11%
FR	0.9 (0.9) 44%	0.1 (0.2) 7%	0.3 (0.5) 16%	0.7 (0.7) 36%	0.5 (0.5) 25%	0.6 (0.6) 31%	0.5 (0.6) 27%
ME	0.9 (0.9) 51%	0.2 (0.3) 13%	0.5 (0.6) 28%	0.8 (0.8) 44%	0.4 (0.4) 25%	0.7 (0.7) 42%	0.6 (0.6) 34%
SC	0.7 (0.8) 50%	0.5 (0.6) 37%	1.0 (1.1) 69%	0.8 (0.9) 56%	0.6 (0.7) 40%	0.6 (0.7) 43%	0.7 (0.8) 49%
AL	1.0 (1.0) 34%	0.9 (1.1) 30%	1.4 (2.1) 47%	1.2 (1.9) 41%	1.0 (1.2) 36%	1.0 (1.2) 34%	1.1 (1.4) 37%
MD	0.6 (0.7) 38%	0.2 (0.5) 12%	0.4 (1.0) 26%	0.5 (0.9) 32%	0.9 (1.0) 57%	0.5 (0.6) 29%	0.5 (0.8) 32%
EA	0.8 (0.8) 54%	0.4 (0.4) 25%	0.6 (0.8) 43%	0.9 (1.0) 62%	0.7 (0.7) 48%	0.9 (0.9) 61%	0.7 (0.8) 49%
M.O Μοντέλου	0.7 (0.8) 38%	0.3 (0.5) 14%	0.6 (0.9) 30%	0.7 (1.0) 39%	0.6 (0.7) 30%	0.5 (0.7) 28%	0.6 (0.7) 30%

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias, το Bias% συνοδεύεται από το σύμβολο %.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 4.3.1 : Τιμές απόλυτου Bias θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο

Παρατηρείται εμφανής υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης και μάλιστα σε αρκετά μεγάλο βαθμό με το Bias% του ensemble να παίρνει τιμή +30%. Ο μέσος όρος Bias του ensemble, αλλά και οι μέσοι όροι ανά μοντέλο και ανά περιοχή όλοι θετικοί.

Στον προηγούμενο πίνακα μόνο τρεις τιμές είναι αρνητικές. Το CCLM4 για BI, IP και το WRF331F για IP. Ακόμα οι τιμές του απόλυτου Bias τις περισσότερες φορές είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες του Bias κάτι που υποδηλώνει ότι ο μέσος όρος Bias στις περισσότερες υποπεριοχές είναι αποτέλεσμα σταθερής υποεκτίμησης και όχι εξισορρόπησης μεταξύ έντονα θετικών και έντονα αρνητικών τιμών Bias.

Το χωρικό μοτίβο του Bias της βροχόπτωσης είναι παρόμοιο για όλα τα μοντέλα. Θετικές τιμές Bias για το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης που συνήθως δεν ξεπερνούν τα 2mm/day. Μικρότερες τιμές Bias κάτω από 1mm/day και σε κάποιες περιπτώσεις αρνητικές σε τμήματα της IP, MD, βόρειας BI. Τα HIRHAM5 και RCA4 παρουσιάζουν ιδιαίτερα έντονο θετικό Bias σε ορεινές εκτάσεις που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνάει τα 5mm/day. Υπενθυμίζεται ότι το ίδιο συνέβαινε και για τον Χειμώνα. Επίσης στα δύο αυτά μοντέλα φαίνεται να υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ Βορρά με θετικό Bias και Νότου με λιγότερο θετικό ή και κατά περιοχές αρνητικό Bias.

Το μοντέλο με το μικρότερο MAGE το CCLM4 με 0.5mm/day. Το μεγαλύτερο MAGE κατέχει RCA4 με 1.0mm/day και ακολουθεί το HIRHAM5 με 0.9mm/day. Το CCLM4 εμφανίζει το μικρότερο MAGE και σε όλες τις υποπεριοχές, ενώ το RCA4 έχει σταθερά μία από τις χειρότερες επιδόσεις εμφανίζοντας είτε το μεγαλύτερο είτε το δεύτερο μεγαλύτερο MAGE σε όλες τις υποπεριοχές. Εκεί όμως που το RCA4 μαζί με το HIRHAM5 εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερο MAGE σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα είμαι οι Άλπεις (AL). Συγκεκριμένα μέσους όρους 1.9 και 2.1mm/day αντίστοιχα όταν οι μέσοι όροι των άλλων μοντέλων κυμαίνονται στο διάστημα 1.0-1.2mm/day. Είναι επίσης φανερό ότι μεγάλες τιμές θετικού

Bias τα RCA4 και HIPHAM5 εμφανίζουν σε πολλές ορεινές περιοχές. Σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα αυτές προσεγγίζουν ακόμα και τα 10mm/day. Ακόμα στην περίπτωση των Άλπεων έχει ενδιαφέρον το γεγονός ότι τα RCA4, HIPHAM5 εμφανίζουν θετικές διαφορές στα ορεινά τμήματα της υποπεριοχής αλλά στα πεδινά οι διαφορές παίρνουν συχνά αρνητικές τιμές. Για τον λόγο αυτό οι τιμές Bias που έχουν τα δύο αυτά μοντέλα στην AL είναι 1.2 και 1.4mm/day, αρκετά μικρότερες από το αντίστοιχο MAGΕ και πλησιάζουν τις τιμές Bias των άλλων μοντέλων 0.9-1.0mm/day. Όσον αφορά το Bias% οι συγκεντρωτικοί μέσοι όροι των μοντέλων κυμαίνονται στο διάστημα +30-40% που είναι αρκετά υψηλές τιμές με το CCLM4 να είναι το μοντέλο με την μικρότερη τιμή με 14%.

Η περιοχή με το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGΕ είναι οι Άλπεις (AL) με διαφορά μάλιστα από τις άλλες υποπεριοχές. Η τιμή του μέσου όρου είναι 1.4mm/day ενώ είναι χαρακτηριστικό όλα τα μοντέλα στην συγκεκριμένη υποπεριοχή εμφανίζουν MAGΕ πάνω από 1.0mm/day. Αντίθετα η επόμενη μεγαλύτερη τιμή συγκεντρωτικού μέσου όρου MAGΕ σε μια υποπεριοχή είναι μόλις 0.8mm/day και εμφανίζεται για τις SC,MD,EA. Την μικρότερη τιμή MAGΕ έχει η BI με 0.5mm/day με όλα τα μοντέλα στην συγκεκριμένη υποπεριοχή να παρουσιάζουν αρκετά μικρές τιμές (CCLM4, WRF331F μόλις 0.3mm/day) ενώ μόνο το RCA4 έχει μια κάπως υψηλότερη τιμή στα 0.8mm/day.

Οι Άλπεις έχουν επίσης υψηλό Bias% με +39% όμως οι υποπεριοχές με την μεγαλύτερη τιμή είναι οι SC και EA με +49%. Υπενθυμίζεται ότι η Αν.Ευρώπη (EA) παρουσιάζει και το μεγαλύτερο Bias% για την εποχή του Χειμώνα.

Τέλος η τιμή του ensemble για ολόκληρη την Ευρώπη (μέσος όρος των μέσων όρων όλων των υποπεριοχών) είναι 0.6mm (+30%) για το Bias και 0.7mm/day για το MAGΕ. Φαίνεται καθαρά και από εδώ ότι η τάση όλων των μοντέλων είναι η υπερεκτίμηση και μάλιστα η σταθερή υπερεκτίμηση καθώς η απόλυτη τιμή του Bias και του MAGΕ είναι πάρα πολύ κοντά.

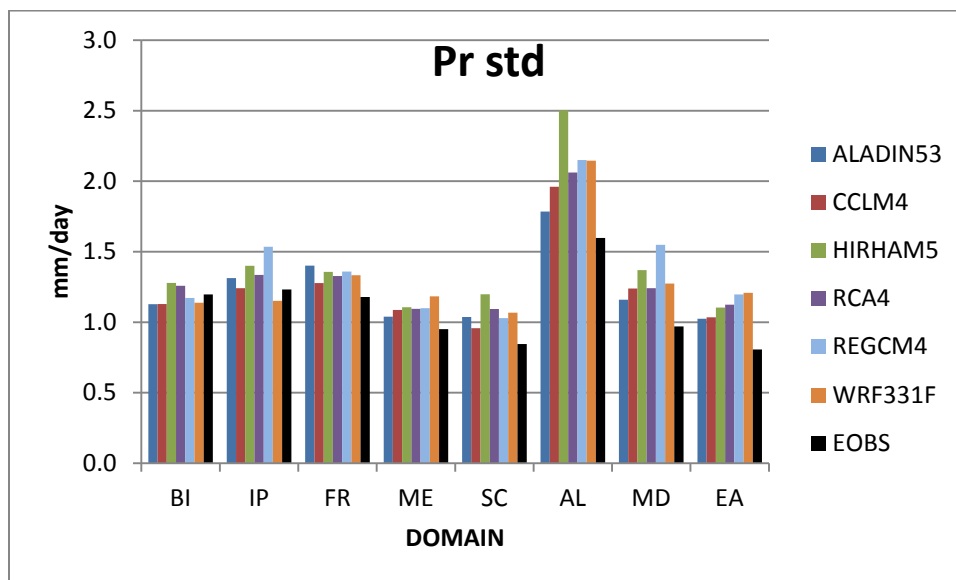
Τυπική Απόκλιση

Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

Πίνακας 4.3.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης για την Άνοιξη ανά υποπεριοχή

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	EOBS	M.O. περιοχής
BI	1.1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2
IP	1.3	1.2	1.4	1.3	1.5	1.2	1.2	1.3
FR	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3
ME	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1
SC	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1	0.8	1.1
AL	1.8	2.0	2.5	2.1	2.2	2.1	1.6	2.1
MD	1.2	1.2	1.4	1.2	1.5	1.3	1.0	1.3
EA	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2	0.8	1.1
M.O μοντέλου	1.2	1.2	1.4	1.3	1.4	1.3	1.1	1.3

Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.

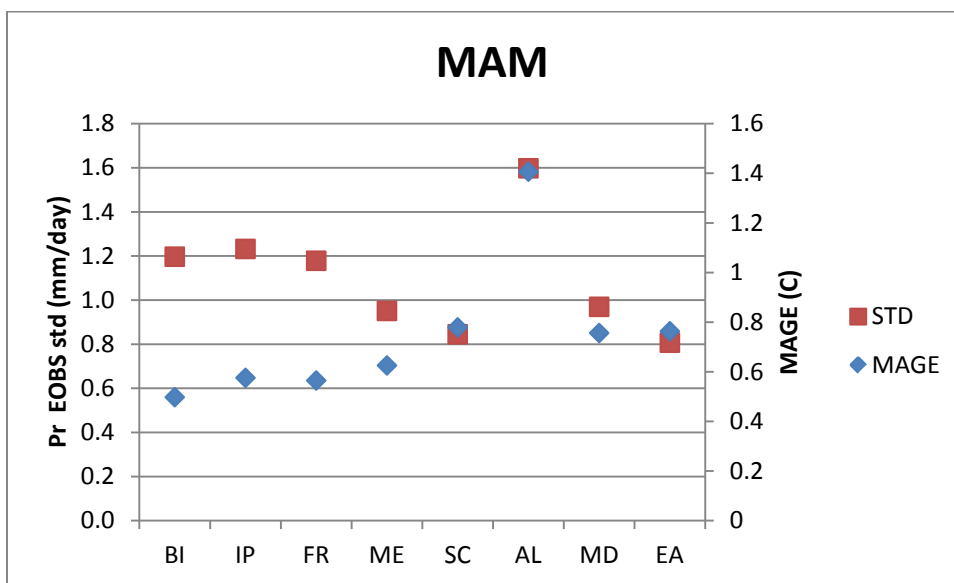


Διάγραμμα 4.3.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Άνοιξη

Η συμπεριφορά της τυπικής απόκλισης για την Άνοιξη είναι αρκετά παρόμοια με αυτήν του Χειμώνα. Οι τιμές των μοντέλων για όλες τις υποπεριοχές εκτός των Άλπεων βρίσκονται εντός του εύρους 1.0-1.5mm. Στις Άλπεις εμφανίζονται μεγαλύτερες τυπικές αποκλίσεις με τις τιμές να βρίσκονται κοντά στα 2.0mm. Γενικά τα διάφορα μοντέλα δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές (κάτω του 0.3mm) μεταξύ τους στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης για την ίδια υποπεριοχή. Εξάίρεση αποτελούν οι Άλπεις.

Στις περισσότερες υποπεριοχές (πλην BI) φαίνεται να υπάρχει υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Σχεδόν πάντοτε η μέση τιμή των EOBS ανά υποπεριοχή είναι μικρότερη από την μικρότερη μέση τιμή μεταξύ των μοντέλων. Επίσης οι συνολικοί μέσοι όροι std των μοντέλων κυμαίνονται στο διάστημα 1.2-1.4mm/day ενώ η αντίστοιχη τιμή των παρατηρήσεων είναι 1.1 mm/day, μικρότερη δηλαδή από το εύρος αυτό.

Την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση παρουσιάζει η AL η οποία εμφανίζει και την μεγαλύτερη μέση τιμή std σύμφωνα με τις παρατηρήσεις. Το μοντέλο που εμφανίζει την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση στην AL είναι το HIRHAM5 το οποίο έχει και το μεγαλύτερο MAGE στην υποπεριοχή, με τιμή σχεδόν υπερδιπλάσια σε σχέση με τα περισσότερα μοντέλα.



Διάγραμμα 4.3.3 : Μέσοι όροι τυπικής απόκλισης και MAGE ανά υποπεριοχή

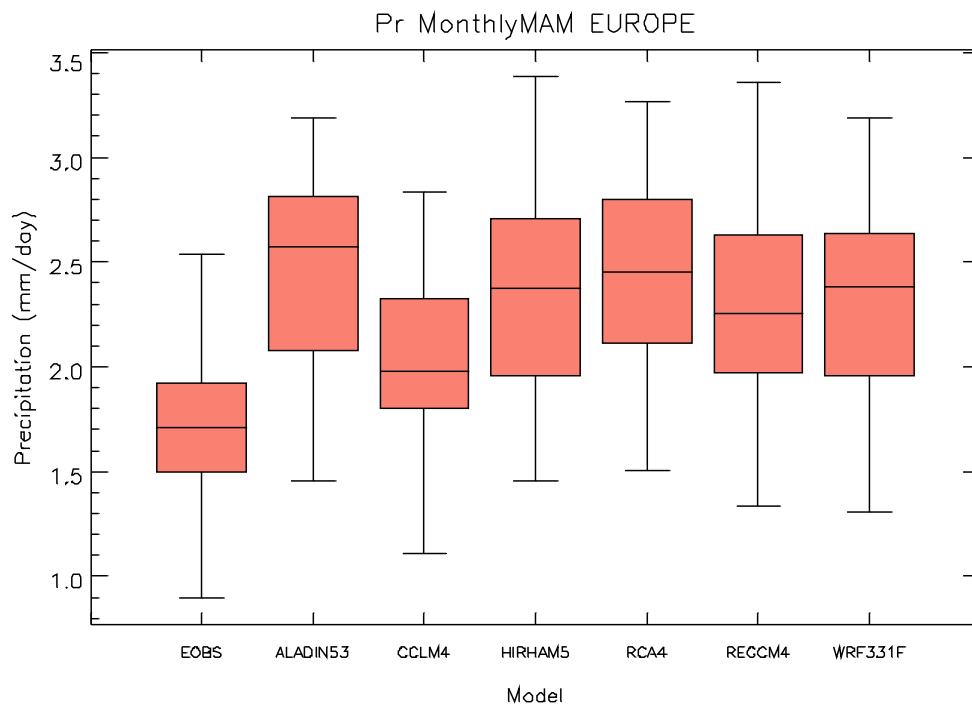
Το διάγραμμα μέσων τιμών MAGE και std (EOBS) ανά υποπεριοχή είναι αρκετά παρόμοιο με αυτό του Χειμώνα και δείχνει ότι δεν υπάρχει εμφανής σύνδεση μεταξύ των δύο μεγεθών. Η μεγαλύτερη μέση τιμή MAGE ταυτίζεται πάντως με την μεγαλύτερη μέση std (AL). Από εκεί και πέρα υπάρχουν περιπτώσεις όπως της BI με μεγάλη std και μικρό MAGE και κάποιες άλλες με αρκετά μικρότερη τυπική απόκλιση συνδυαζόμενη με αρκετά μεγαλύτερο MAGE.

Θηκογράμματα (Boxplots)

Η τυπική απόκλιση που αναλύθηκε παραπάνω προσφέρει κάποιες πληροφορίες σχετικά με τη διασπορά των δεδομένων όμως τα θηκογράμματα μπορούν να παρέχουν πολλές περισσότερες πληροφορίες για ολόκληρη την κατανομή(διασπορά, εύρος, παράτυπα σημεία, λόξωση) τους. Επίσης η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με απλό, άμεσο και συγκεντρωτικό τρόπο ενώ είναι αρκετά εύκολο να διαπιστωθούν οπτικά οι διαφορές μεταξύ των παρατηρήσεων και των μοντέλων.

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.



Διάγραμμα 4.3.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης

Από τα θηκογράμματα όλων των υποπεριοχών αλλά κυρίως από το θηκόγραμμα για ολόκληρη την Ευρώπη, φαίνεται ξεκάθαρα η τάση υπερεκτίμησης που παρουσιάζει το συγκεκριμένο ensemble. Η διάμεσος των παρατηρησιακών δεδομένων βρίσκεται μονίμως χαμηλότερα από τις διαμέσους των μοντέλων εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων (π.χ. CCLM4 για BI). Ιδιαίτερα για την περιοχή της Ευρώπης είναι χαρακτηριστικό της μετατόπισης προς υψηλότερες τιμές που έχουν οι κατανομές των μοντέλων, ότι σε

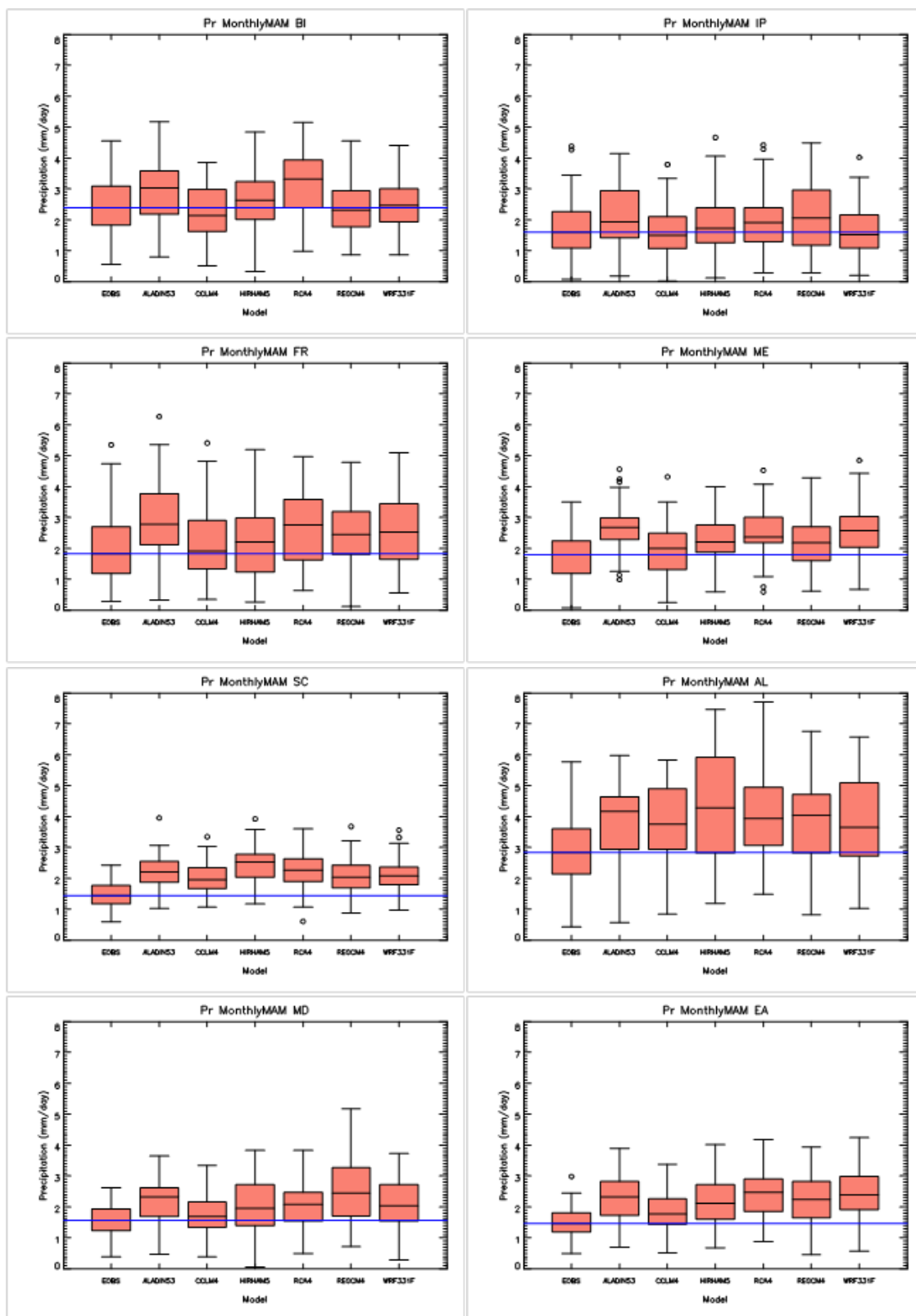
όλα εκτός του CCLM4 το πρώτο τεταρτημόριο των μοντέλων βρίσκεται υψηλότερα από το τρίτο τεταρτημόριο των παρατηρησιακών δεδομένων.

Είναι ενδιαφέρον ότι για το θηκόγραμμα της Ευρώπης το μοντέλο το οποίο έχει την μεγαλύτερη απόκλιση από την διάμεσο των παρατηρήσεων δεν είναι το RCA4 ή το HIRHAM5 που έχουν τους μεγαλύτερους μέσους όρους MAGΕ με 1.0 και 0.9mm/day αντίστοιχα αλλά το ALADIN53 το οποίο έχει το τρίτο σε μέγεθος MAGΕ με 0.8mm/day. Το ALADIN53 μάλιστα παρουσιάζει και μια έντονη αρνητική λόξωση (περισσότερες υψηλές τιμές) στην μορφή της κατανομής. Αναμένεται επομένως το ALADIN53 να παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση και κυρίως καλύτερο CRMS με τα ΕOBS από τα HIRHAM5, RCA4 για να βγάλει μικρότερο σφάλμα, και όντως από τα Taylor είναι φανερό ότι αυτό όντως συμβαίνει.

Η μορφή της κατανομής των παρατηρησιακών δεδομένων για τα θηκογράμματα όλων των υποπεριοχών και για την Ευρώπη συνολικά προσεγγίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την κανονική κατανομή. Τα μοντέλα συνήθως εκτιμούν καλά την μορφή των παρατηρήσεων. Κάποιες εμφανείς εξαιρέσεις αποτελούν τα ALADIN53, CCLM4 για την περιοχή της Ευρώπης, το ALADIN53 για τις BI,IP, AL ενώ το RCA4 για την ME εμφανίζει πολύ έντονη θετική λόξωση (περισσότερες χαμηλές τιμές). Το RCA4 μάλιστα έχει το δεύτερο μεγαλύτερο MAGΕ στην υποπεριοχή με 0.8mm, κάτι που πρέπει να συνδέεται με την λάθος εκτίμηση της κατανομής των παρατηρήσεων που περιγράφηκε παραπάνω.

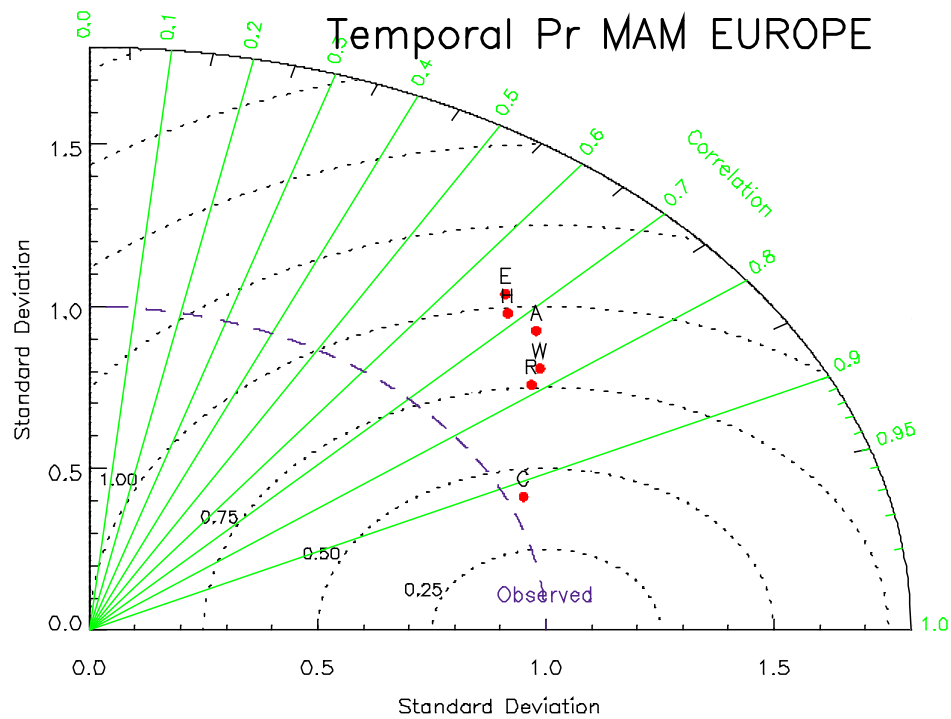
Όσον αφορά το ενδοτεταρτομοριακό εύρος (IQR) δεν φαίνεται να υπάρχει μια συγκεκριμένη τάση υποεκτίμησης ή υπερεκτίμησης από τα μοντέλα για όλες τις υποπεριοχές. Στην BI για παράδειγμα φαίνεται να υπάρχει αρκετά καλή σύμπτωση από όλα τα μοντέλα με τις παρατηρήσεις (τόσο στο IQR όσο και στην τιμή του εύρους). Αντίθετα στην EA υπάρχει εμφανής υπερεκτίμηση του IQR από τα μοντέλα. Οι διαφορές τάσεις στην εκτίμηση της διασποράς των παρατηρήσεων ανά υποπεριοχή θα φανούν ξεκάθαρα στα διαγράμματα Taylor που ακολουθούν στην επόμενη παράγραφο.

Όσον αφορά το εύρος στις περισσότερες περιπτώσεις δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στην εκτίμηση της τιμής του εύρους από τα μοντέλα. Στις υποπεριοχές MD και EA όμως υπάρχει υπερεκτίμηση του εύρους η οποία σε κάποιες περιπτώσεις φτάνει και στο 50% του εύρους των παρατηρήσεων. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του REGCM4 για την MD το οποίο παρουσιάζει στην συγκεκριμένη υποπεριοχή και το μεγαλύτερο MAGΕ μαζί με το HIRHAM5 με 1.0mm/day. Όσον αφορά τα όρια του εύρους και εδώ σε πολλές περιπτώσεις τα μοντέλα δεν διαφέρουν πολύ από τις παρατηρήσεις, συνήθως κάτω από 1mm/day. Η μεγαλύτερη διαφορά εμφανίζεται στην υποπεριοχή των Άλπεων για τα HIRHAM5 και RCA4. Ενώ το άνω όριο της κατανομής των παρατηρήσεων μόλις που φτάνει τα 6mm, τα παραπάνω μοντέλα εκτιμούν την ύπαρξη καταστάσεων βροχόπτωσης που αγγίζουν τα 8mm/day. Υπενθυμίζεται ότι η AL είναι η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGΕ ενώ τα HIRHAM5 και RCA4 εμφανίζουν τα μεγαλύτερα σφάλματα με αρκετή διαφορά από τα υπόλοιπα μοντέλα. Η υπερεκτίμηση των μεγίστων καταστάσεων βροχόπτωσης φαίνεται να είναι ένας λόγος ύπαρξης των παραπάνω σφαλμάτων.

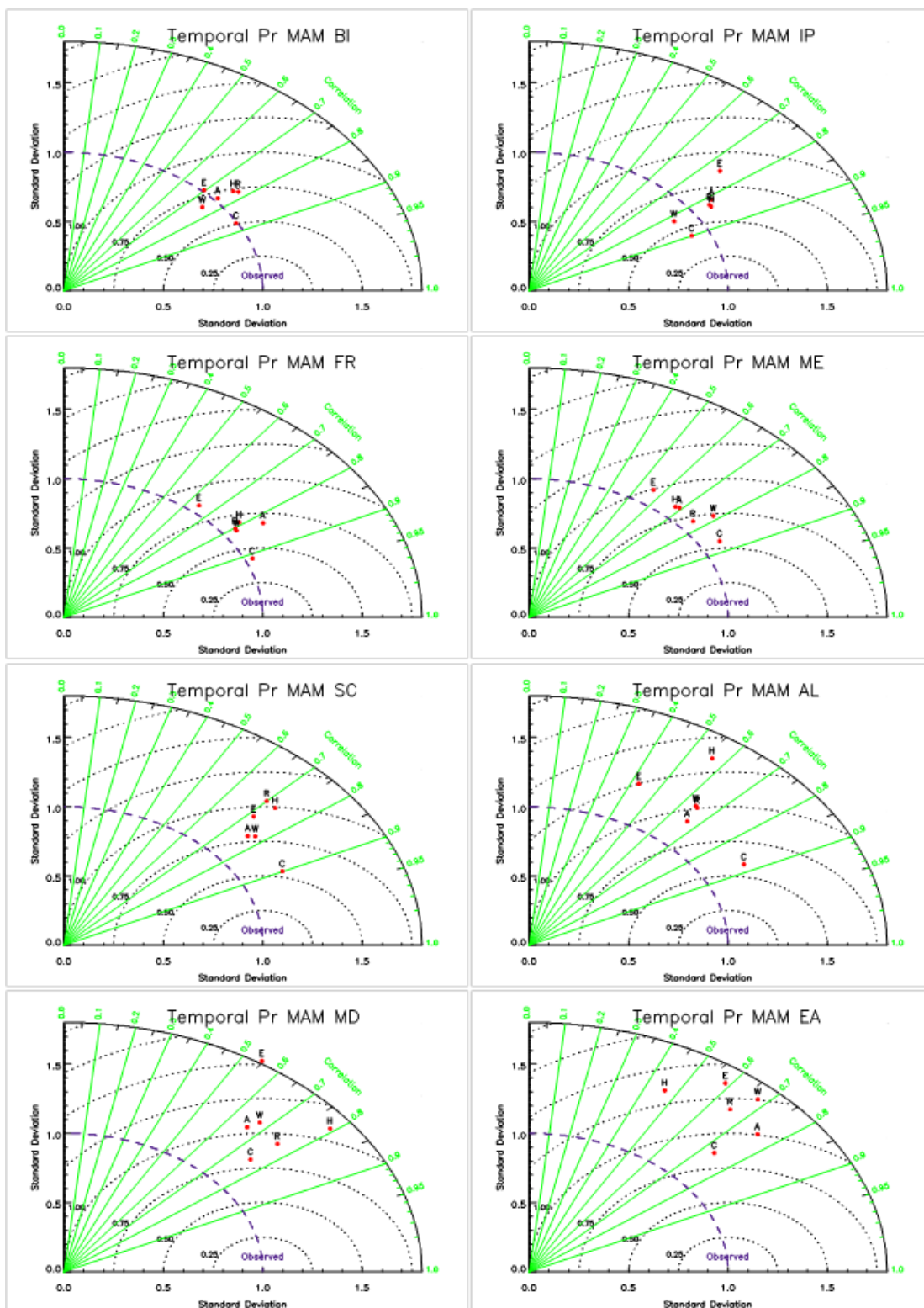


Διάγραμμα 4.3.5: Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή, Άνοιξη

Διαγράμματα Taylor



Διάγραμμα 4.3.6 : Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, Άνοιξη



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 4.3.7 : Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές Prudence, Άνοιξη

Η βασική εικόνα που αποκομίζεται από τα παραπάνω διαγράμματα (Ευρώπης και υποπεριοχών) είναι παρόμοια με αυτήν που παρουσιάστηκε για την εποχή του Χειμώνα. Έτσι λοιπόν το μοντέλο που παρουσιάζει τις καλύτερες επιδόσεις είναι το CCLM4. Έχει το μικρότερο CRMS, την καλύτερη συσχέτιση αλλά και την καλύτερη εκτίμηση της παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης, τόσο στο διάγραμμα της Ευρώπης όσο και στις περισσότερες υποπεριοχές. Στην αντίθετη θέση βρίσκεται το REGCM4 με το χειρότερο CRMS, συσχέτιση και εκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Το ενδιαφέρον είναι ότι το REGCM4 είναι ένα από τα μοντέλα με το χαμηλότερο μέσο όρο MAGΕ. Για την ακρίβεια έχει την δεύτερη χαμηλότερη τιμή με 0.7mm μαζί με το WRF331F. Αυτό σημαίνει ότι το μικρό αυτό MAGΕ είναι εν μέρει αποτέλεσμα αλληλεξουδετέρωσης λαθών και αν εξεταστεί από μόνο του χωρίς άλλες πληροφορίες μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα. Το CCLM4 αντίθετα εκτός από τις καλύτερες επιδόσεις στα Taylor έχει και τον μικρότερο μέσο όρο MAGΕ από τα υπόλοιπα μοντέλα με 0.5mm.

Όσον αφορά την συσχέτιση το CCLM4 έχει σε όλες τις υποπεριοχές καλές επιδόσεις καθώς τις περισσότερες φορές έχει συντελεστή συσχέτισης κοντά στο 0.9 ενώ ακόμα και στην χειρότερή του επίδοση, στις MD, EA ο συντελεστής προσεγγίζει το 0.75. Τα υπόλοιπα μοντέλα όμως ενώ γενικά εμφανίζουν τιμές ικανοποιητικές στο διάστημα 0.7-0.8 έχουν κάποιες περιοχές στις οποίες η συσχέτιση είναι αρκετά χειρότερη. Αυτό γίνεται κυρίως για τις MD, EA και AL. Στις Άλπεις για παράδειγμα όλα τα μοντέλα εκτός του CCLM4 έχουν συντελεστή μικρότερο του 0.7 ενώ το REGCM4 παρουσιάζει πολύ άσχημη συσχέτιση με τιμή κοντά στο 0.4.

Ένα γενικό χαρακτηριστικό όλων των μοντέλων είναι ότι υπερεκτιμούν την τυπική απόκλιση. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις υποπεριοχές SC,AL,MD και EA με την υπερεκτίμηση να φτάνει ακόμα και στο +80% σε σχέση με την παρατηρούμενη τιμή (REGCM4 για την MD).

Επίσης οι υποπεριοχές στις οποίες τα μοντέλα φαίνεται να εμφανίζουν τις χειρότερες επιδόσεις συνολικά είναι οι MD, EA,SC και φυσικά η AL. Αυτές είναι και οι υποπεριοχές που εμφανίζουν τους μεγαλύτερους μέσους όρους MAGΕ. Από την ταύτιση των παραπάνω δεδομένων μπορεί να ειπωθεί με μεγάλη ασφάλεια ότι σε αυτές τις υποπεριοχές τα μοντέλα παρουσιάζουν την μεγαλύτερη δυσκολία στην εκτίμηση της βροχόπτωσης.

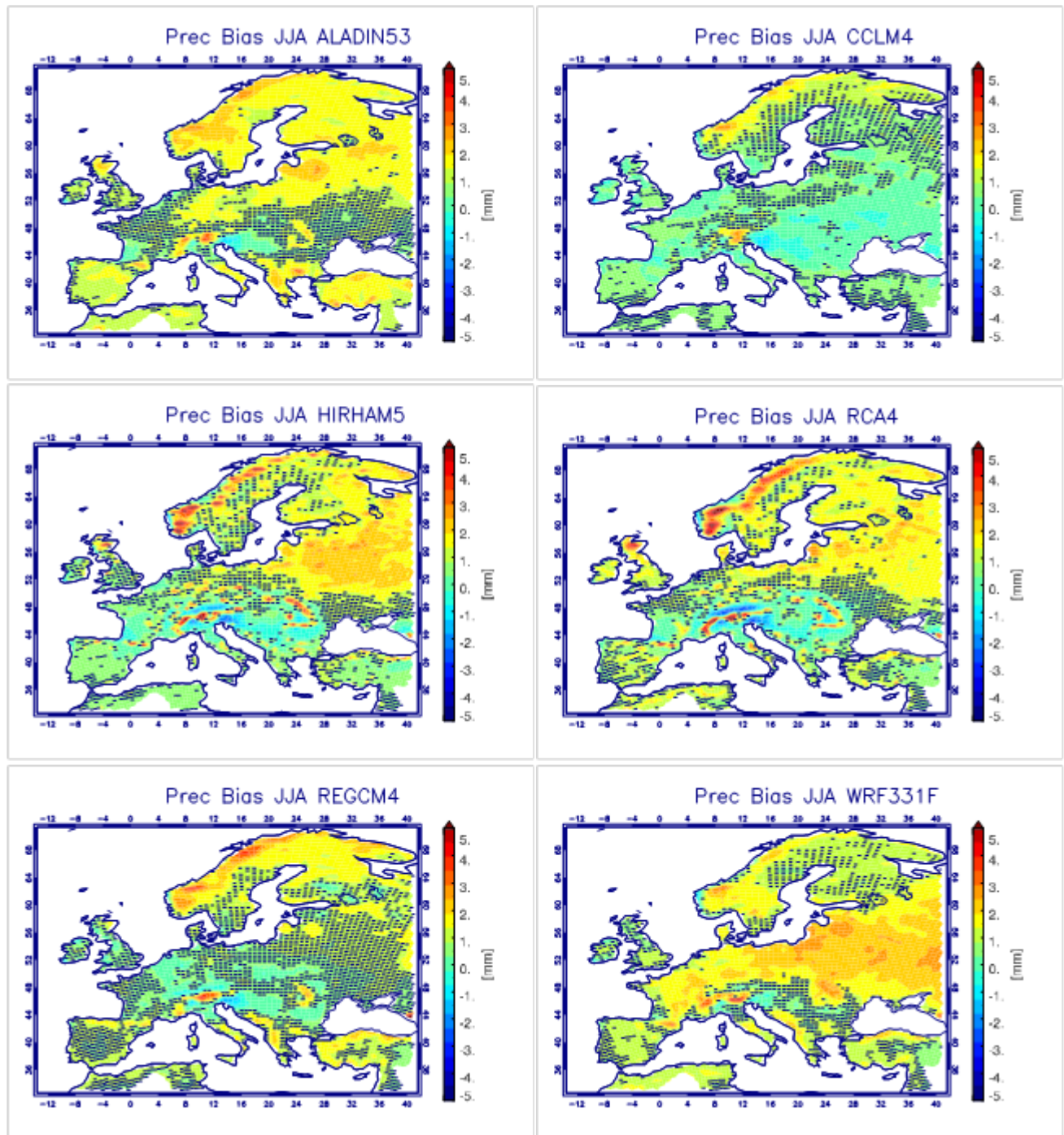
4.4 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Περίληψη

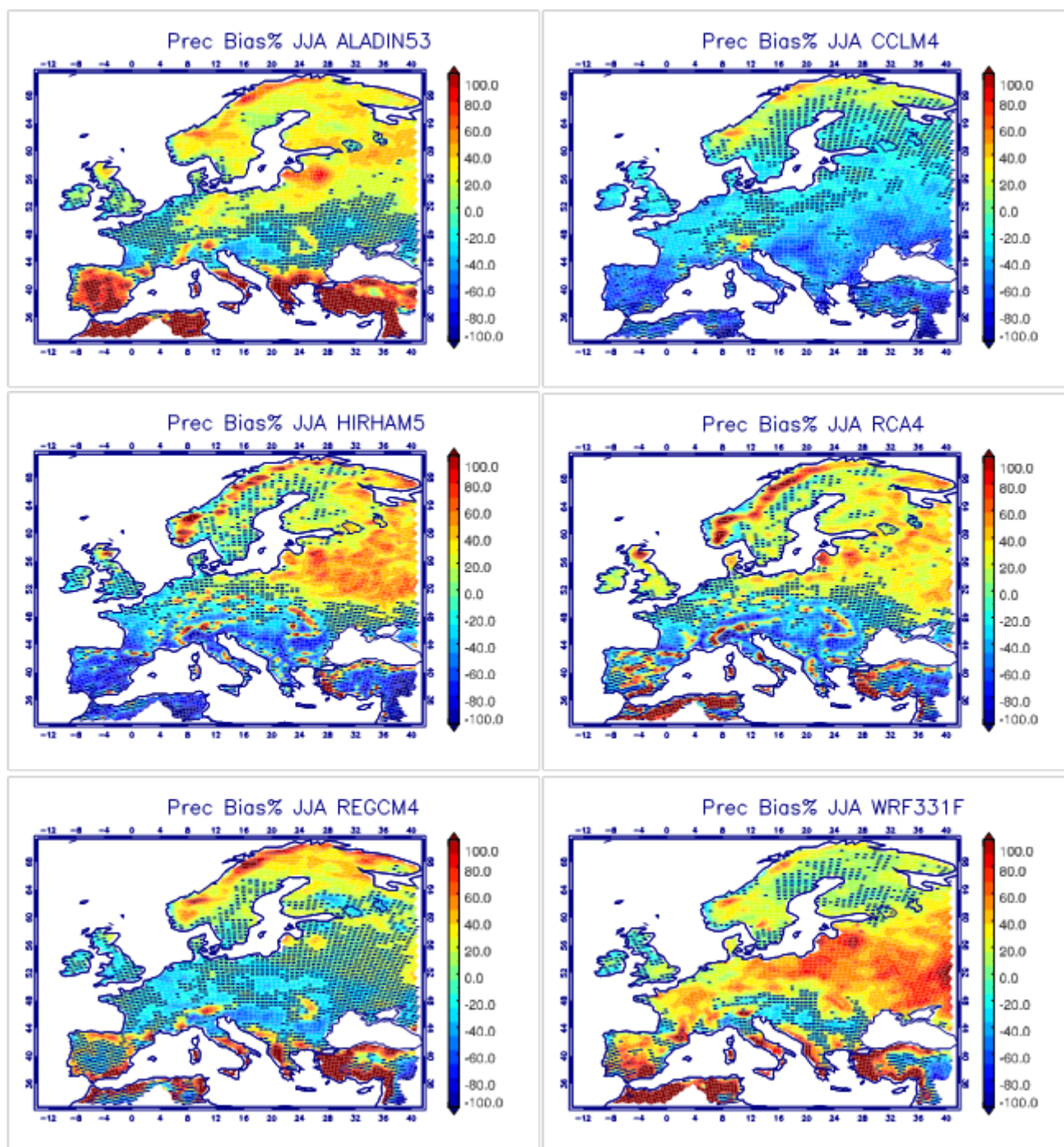
Για την Ευρώπη ως σύνολο φαίνεται να υπάρχει πολύ μικρή τάση υπερεκτίμησης της βροχόπτωσης. Ο μέσος όρος Bias του ensemble είναι 0.1mm (+3%) για ολόκληρη την Ευρώπη. Αυτό που είναι ξεκάθαρο είναι η τάση υπερεκτίμησης στο Βορρά και η υποεκτίμηση στις νότιες υποπεριοχές. Τα HIRHAM5 και RCA4 να εμφανίζουν πολύ μεγάλη υπερεκτίμηση στις ορεινές εκτάσεις. Η έκταση των περιοχών μη στατιστικής σημαντικότητας είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το Χειμώνα και την Άνοιξη. Το μικρότερο μέσο όρο MAGE έχει το REGCM4 ενώ το μεγαλύτερο τα HIRHAM5, RCA4. Στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις (διαγράμματα Taylor) όλα τα μοντέλα παρουσιάζουν παραπλήσιες επιδόσεις οι οποίες ως σύνολο είναι χειρότερες σε σχέση με την Άνοιξη και τον Χειμώνα. Το μεγαλύτερο MAGE παρουσιάζει το RCA4. Το HIRHAM5 εμφανίζει το δεύτερο υψηλότερο MAGE και μαζί με το REGCM4 την χειρότερη επίδοση στα διαγράμματα Taylor. Υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης από τα μοντέλα. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι Άλπεις με διαφορά από τις υπόλοιπες. Την μικρότερη τιμή εμφανίζει η FR. Η υποπεριοχή με την σταθερότερη υπερεκτίμηση είναι η SC με +22%. Υπάρχει τάση υπερεκτίμησης της τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης από τα μοντέλα.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για το καλοκαίρι από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 4.4.1: Bias ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για το Καλοκαίρι



Σχήμα 4.4.2: Bias% ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για το Καλοκαίρι

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Όσον αφορά την στατιστική σημαντικότητα η έκταση των περιοχών που εμφανίζουν μη στατιστικά σημαντικές διαφορές παρουσιάζεται μεγαλύτερη για το Καλοκαίρι σε σχέση με τον Χειμώνα και την Άνοιξη. Υπάρχουν κάποιες ομοιότητες στο μοτίβο της στατιστικής σημαντικότητας. Για παράδειγμα στα ALADIN53, RCA4, REGCM4 μια εκτεταμένη περιοχή της Βορειοδυτικής Γαλλίας (FR) παρουσιάζει μη στατιστική σημαντικότητα ενώ το ίδιο συμβαίνει στα RCA4, REGCM4 και WRF331F για περιοχή της Ιβηρικής (IP). Επίσης μη στατιστική σημαντικότητα εμφανίζεται σε όλα τα μοντέλα πλην του ALADIN53 σε μεγάλες περιοχές της Σουηδίας. Τέλος όπως και στις προηγούμενες εποχές σε ιδιαίτερα ορεινές εκτάσεις το Bias είναι σχεδόν πάντοτε στατιστικά σημαντικό.

Αντίθετα σε σχέση με το ίδιο το Bias υπάρχει ένα γενικό χωρικό μοτίβο το οποίο εμφανίζεται. Έτσι λοιπόν σε στα περισσότερα μοντέλα ένα κομμάτι των υποπεριοχών FR,ME,AL,EA εμφανίζει αρνητικό Bias, κοντά στο -1mm/day, ενώ οι υπόλοιπες περιοχές έχουν θετικό Bias, κάτω των 2mm/day. Σε όλα τα μοντέλα η Σκανδιναβία (SC) παρουσιάζει θετικό Bias.

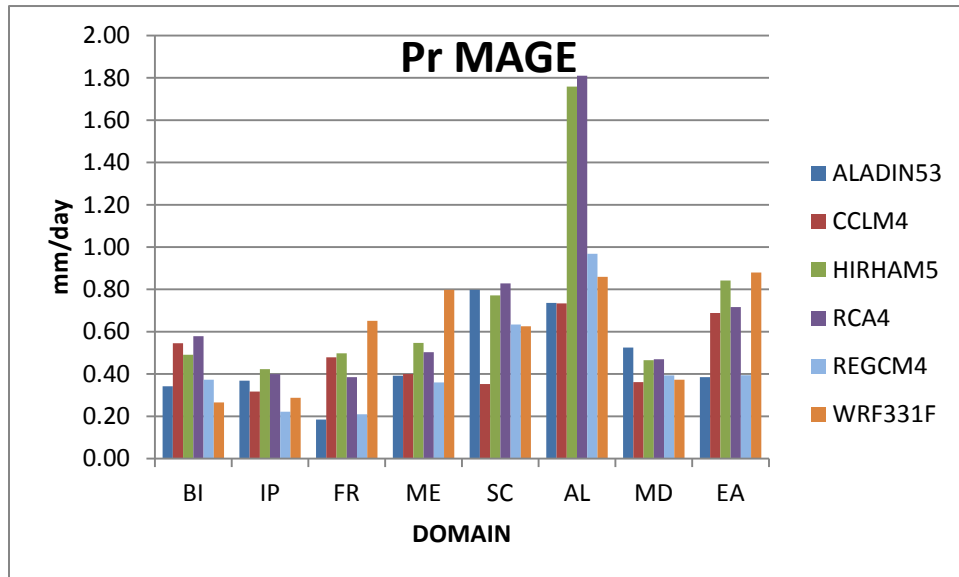
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του Bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου για όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής.

Πίνακας 4.4.1 : Bias μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day) για το Καλοκαίρι ανά υποπεριοχή για κάθε μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O περιοχής
BI	0.1 (0.3) 5%	-0.5 (0.5) -22%	0.0 (0.5) 0%	0.5 (0.6) 18%	-0.3 (0.4) -11%	0.0 (0.3) -1%	0.0 (0.4) -2%
IP	0.3 (0.4) 40%	-0.3 (0.3) -46%	-0.2 (0.4) -31%	0.1 (0.4) 11%	0.2 (0.2) 24%	0.2 (0.3) 35%	0.0 (0.3) 5%
FR	-0.1 (0.2) -7%	-0.5 (0.5) -27%	-0.4 (0.5) -21%	-0.2 (0.4) -11%	-0.2 (0.2) -9%	0.6 (0.7) 36%	-0.1 (0.4) -7%
ME	0.3 (0.4) 11%	-0.4 (0.4) -16%	0.0 (0.5) 2%	0.1 (0.5) 2%	-0.3 (0.4) -14%	0.8 (0.8) 33%	0.1 (0.5) 3%
SC	0.8 (0.8) 31%	0.0 (0.4) 0%	0.6 (0.8) 25%	0.7 (0.8) 28%	0.5 (0.6) 22%	0.5 (0.6) 22%	0.5 (0.7) 22%
AL	0.1 (0.7) 4%	-0.2 (0.7) -7%	-0.2 (1.8) -5%	-0.5 (1.8) -14%	-0.2 (1.0) -6%	0.5 (0.9) 15%	-0.1 (1.1) -2%
MD	0.5 (0.5) 56%	-0.4 (0.4) -43%	-0.2 (0.5) -24%	-0.1 (0.5) -9%	0.3 (0.4) 34%	0.3 (0.4) 42%	0.1 (0.4) 9%
EA	0.2 (0.4) 7%	-0.7 (0.7) -31%	0.2 (0.8) 10%	0.0 (0.7) -2%	-0.2 (0.4) -11%	0.8 (0.9) 34%	0.0 (0.7) 1%
M.O Μοντέλου	0.3 (0.5) 13%	-0.4 (0.5) -18%	0.0 (0.7) 0%	0.1 (0.7) 3%	0.0 (0.4) -1%	0.5 (0.6) 23%	0.1 (0.6) 3%

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias, το Bias% συνοδεύεται από το σύμβολο %.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 4.4.1: Τιμές απόλυτου Bias μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Καλοκαίρι

Για την εποχή του Καλοκαιριού η συνολική τάση του ensemble σχετικά με το πρόσημο του Bias δεν είναι ξεκάθαρα εμφανής. Η τιμή του ensemble ως μέσος όρος από όλες τις υποπεριοχές είναι θετική, με τιμή 0.1mm/day, πολύ κοντά όμως στο μηδέν. Επίσης από τα έξη μοντέλα μόνο το CCLM4 έχει αρνητικό συνολικό μέσο όρο Bias από όλες τις υποπεριοχές. Υπάρχουν όμως άλλα δύο μοντέλα, το HIRHAM5 και το REGCM4, που έχουν μέσο όρο μηδέν ακριβώς επειδή έχουν εκτεταμένες περιοχές με θετικές και αρνητικές τιμές. Έτσι λοιπόν στα μοντέλα ως σύνολο υπάρχει μια πολύ μικρή τάση για υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης, ανάλογα όμως με το μοντέλο και την υποπεριοχή εμφανίζονται και αρκετές περιπτώσεις υποεκτίμησης. Διαφαίνεται από τα διαγράμματα ότι η υποεκτίμηση της θερμοκρασίας εντοπίζεται στην Νότια και Νοτιοανατολική Ευρώπη.

Το μεγαλύτερο MAGE ως μέσο όρο από όλες τις περιοχές το παρουσιάζουν δύο μοντέλα, τα HIRHAM5 και RCA4 με 0.7mm/day. Πάντως τα υπόλοιπα μοντέλα δεν παρουσιάζουν πολύ μικρότερα MAGE. Η μικρότερη τιμή είναι 0.4mm/day και ανήκει στο REGCM4. Επίσης από το διάγραμμα 4.4.1 φαίνεται πως τα MAGE των HIRHAM5 και RCA4 δεν είναι πάντοτε τα μικρότερα στην κάθε υποπεριοχή και γενικά βρίσκονται πολύ κοντά στα MAGE των άλλων μοντέλων. Εκεί που αποκλίνουν εμφανώς και πολύ είναι για την υποπεριοχή των Άλπεων. Τα δύο αυτά μοντέλα έχουν τιμή MAGE 1.8mm/day ενώ η αμέσως μικρότερη τιμή είναι μόλις 1.0mm/day. Το REGCM4 από την άλλη μεριά εμφανίζει σταθερά μικρές τιμές σε όλες τις υποπεριοχές χωρίς όμως να έχει απαραίτητα κάθε φορά και την μικρότερη τιμή από όλα τα μοντέλα.

Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGE είναι με διαφορά η AL με 1.1mm/day και ακολουθούν οι SC, EA με 0.7mm/day. Το μικρότερο MAGE παρουσιάζουν η IP με 0.3mm/day και οι BI,MD με 0.4mm/day.

Οι Άλλες με την FR είναι οι μόνες υποπεριοχές που εμφανίζουν αρνητικό μέσο όρο Bias, αν και μικρό κατά απόλυτη τιμή, με -0.1mm/day. Επίσης οι EA,BI, IP έχουν μέσο όρο Bias μηδέν κάτι που συμβαίνει λόγω εξισορρόπησης των θετικών και αρνητικών μέσων όρων που παρουσιάζουν τα μοντέλα σε αυτές τις υποπεριοχές.

Το Bias% είναι αρκετά χαμηλό σε όλες τις περιπτώσεις. Τόσο όσον αφορά τους συγκεντρωτικούς μέσους όρους ανά μοντέλο όσο και ανά υποπεριοχή. Ολόκληρο το ensemble παρουσιάζει μόλις +3% υπερεκτίμηση με τους συγκεντρωτικούς μέσους όρους ανά μοντέλο να κυμαίνονται από -18% (CCLM4) μέχρι +23% (WRF331F). Οι τιμές γενικά δεν είναι μεγάλες κυρίως γιατί δεν φαίνεται να υπάρχουν ξεκάθαρες τάσεις υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης για ολόκληρο το ensemble με αποτέλεσμα να υπάρχουν θετικές και αρνητικές τάσεις ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα για την ίδια υποπεριοχή και με την μεσοποίηση να εμφανίζεται μικρός μέσος όρος Bias και κατά επέκταση μικρή τιμή Bias%. Η υποπεριοχή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή Bias% είναι η SC με +22% και φαίνεται να είναι η υποπεριοχή με την σταθερότερη υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης.

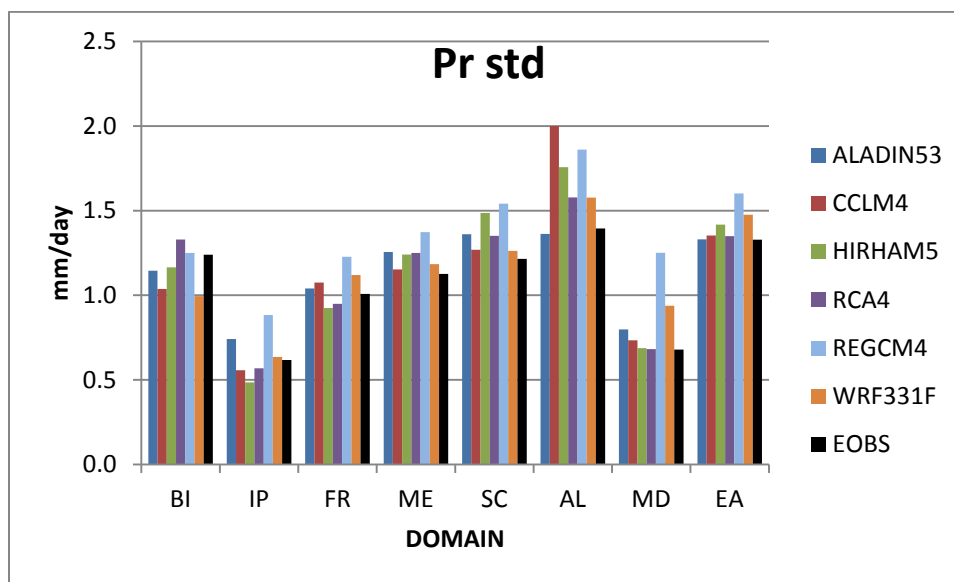
Τυπική Απόκλιση

Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

Πίνακας 4.4.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης για το Καλοκαίρι ανά υποπεριοχή

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	EOBS	M.O. περιοχής
BI	1.1	1.0	1.2	1.3	1.3	1.0	1.2	1.2
IP	0.7	0.6	0.5	0.6	0.9	0.6	0.6	0.6
FR	1.0	1.1	0.9	0.9	1.2	1.1	1.0	1.1
ME	1.3	1.2	1.2	1.2	1.4	1.2	1.1	1.2
SC	1.4	1.3	1.5	1.4	1.5	1.3	1.2	1.4
AL	1.4	2.0	1.8	1.6	1.9	1.6	1.4	1.7
MD	0.8	0.7	0.7	0.7	1.3	0.9	0.7	0.8
EA	1.3	1.4	1.4	1.3	1.6	1.5	1.3	1.4
M.O μοντέλου	1.1	1.1	1.1	1.1	1.4	1.1	1.1	1.2

Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.



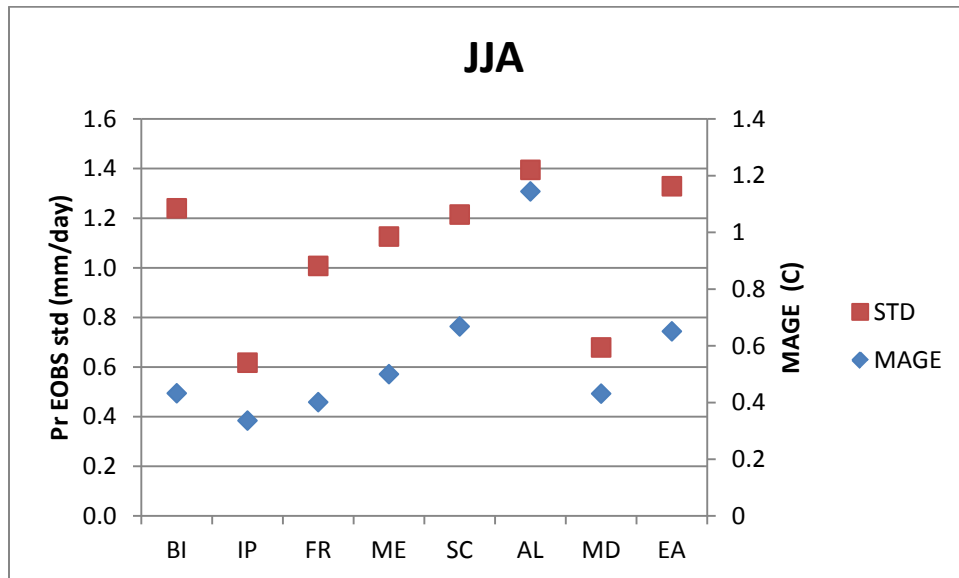
Διάγραμμα 4.4.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο, Καλοκαίρι

Εξετάζοντας τις τιμές των συνολικών μέσων όρων των μοντέλων παρατηρούμε ότι πέντε από τα έξι μοντέλα έχουν μέση τιμή 1.1mm/day ενώ μόνο το REGCM4 παρουσιάζει διαφορετική τιμή με 1.4mm/day. Η μέση τιμή των παρατηρήσεων είναι επίσης 1.1mm/day επομένως η πλειοψηφία των μοντέλων παρουσιάζει σε γενικές γραμμές πολύ καλή σύμπτωση με τα παρατηρησιακά δεδομένα.

Πάντως παρά την σύμπτωση των συνολικών μέσων όρων η κυρίαρχη τάση των μοντέλων είναι η υπερεκτίμηση. Στις περισσότερες υποπεριοχές η μέση τιμή των παρατηρήσεων είναι μικρότερη από την μικρότερη μέση τιμή μεταξύ των μοντέλων. Το REGCM4 έχει την σταθερότερη υπερεκτίμηση παρουσιάζοντας μία από τις μεγαλύτερες τιμές std σε όλες τις υποπεριοχές. Πάντως οι τιμές των μοντέλων ανά συγκεκριμένη υποπεριοχή δεν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους με εξαίρεση ίσως τις Άλπεις και την μέση τιμή που παίρνει το REGCM4 για την MD. Η Μεσόγειος (MD) και η Ιβηρική (IP) πάντως εμφανίζουν σύμφωνα με τις παρατηρήσεις πολύ μικρότερες μέσες τιμές std σε σχέση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές. Όλα τα μοντέλα πάντως πλην του REGCM4 προσομοιώνουν αρκετά ικανοποιητικά αυτήν την μικρότερη φυσική τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης.

Είναι ενδιαφέρον πάντως ότι για τις Άλπεις ενώ τα μοντέλα HIPHAM5 και RCA4 εμφανίζουν την μεγαλύτερη μέση τιμή MAGE, υπερδιπλάσια μάλιστα των υπόλοιπων μοντέλων, δεν έχουν μεγαλύτερη αστοχία στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης σε σχέση με τα άλλα μοντέλα. Είναι χαρακτηριστικό ότι η μέσες τιμές std που παρουσιάζουν στην υποπεριοχή, 1.8 και 1.6mm/day, βρίσκονται πολύ κοντά στην μέση τιμή του ensemble (1.7mm/day). Επίσης προκαλεί εντύπωση το γεγονός ότι το μοντέλο με το μικρότερο συνολικό μέσο όρο MAGE είναι το REGCM4, το οποίο εμφανίζει όπως ειπώθηκε το μεγαλύτερο σφάλμα στην εκτίμηση της παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης.

Τέλος όσον αφορά την σχέση μεταξύ των μέσων τιμών MAGE και παρατηρούμενης std ανά υποπεριοχή για το Καλοκαίρι φαίνεται να υπάρχει μια κάποια σύνδεση. Αν λοιπόν από το παρακάτω διάγραμμα εξαιρεθεί η BI η οποία παρουσιάζει μικρό MAGE και μεγάλο std, φαίνεται να υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ μεγάλης τιμής MAGE και μεγάλης τυπικής απόκλισης και το αντίστροφο. Είναι χαρακτηριστικό ότι η AL έχει το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGE και την μεγαλύτερη τυπική απόκλιση ενώ στην EA συμβαίνει το αντίθετο παρουσιάζοντας τις μικρότερες μέσες τιμές και στα δύο μεγέθη.

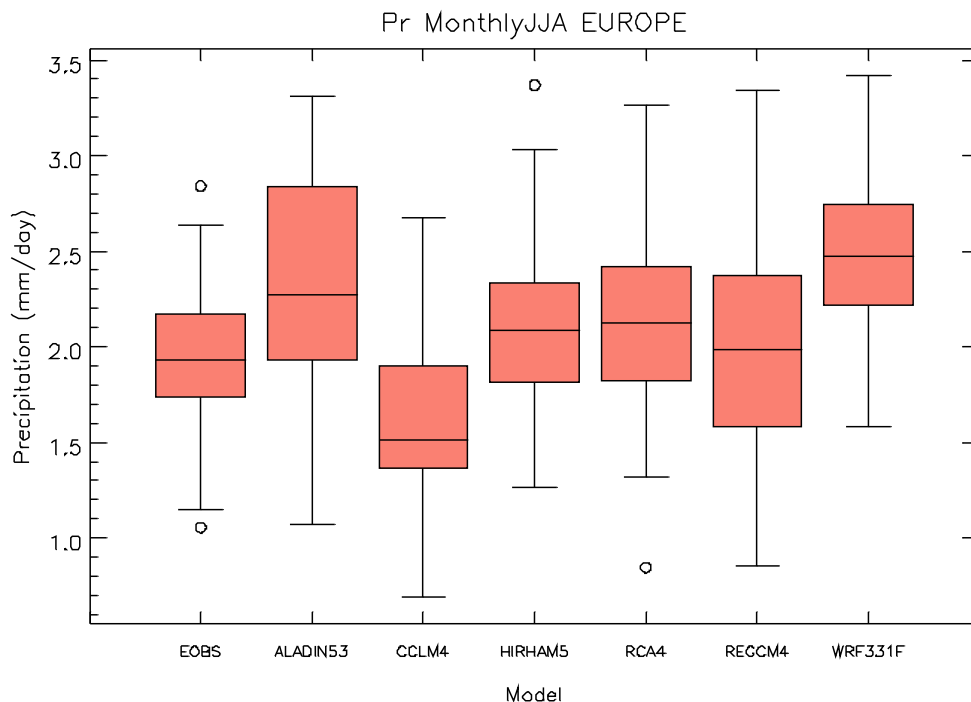


Διάγραμμα 4.4.3: Μέσοι όροι τυπικής απόκλισης και MAGE ανά υποπεριοχή

Θηκογράμματα (Boxplots)

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων EOBS.



Διάγραμμα 4.4.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης, Καλοκαίρι

Όπως ισχύει και για τις προηγούμενες εποχές, παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι υπάρχει σύμπτωση της θέσης της διαμέσου της κατανομής του κάθε μοντέλου σε σχέση με τις τιμές μέσου όρου Bias που αυτά παρουσιάζουν. Με μια πρώτη ματιά φαίνεται αυτό που ειπώθηκε και στην παράγραφο του Bias ότι δηλαδή δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης για όλα τα μοντέλα.

Για το θηκόγραμμα της Ευρώπης τα περισσότερα μοντέλα εκτιμούν σωστά την μορφή της κατανομής των παρατηρήσεων που προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό την κανονική. Εξαιρέσεις αποτελούν τα CCLM4 και ALADIN53 τα οποία παρουσιάζουν μια λόξωση προς τις μικρότερες τιμές. Ιδιαίτερα για το CCLM4, το οποίο είναι το μοναδικό μοντέλο με αρνητικό μέσο όρο Bias, η λόξωση είναι πιο έντονη. Επομένως το αρνητικό Bias οφείλεται όχι μόνο στην γενικότερη μετατόπισης της κατανομής του μοντέλου προς

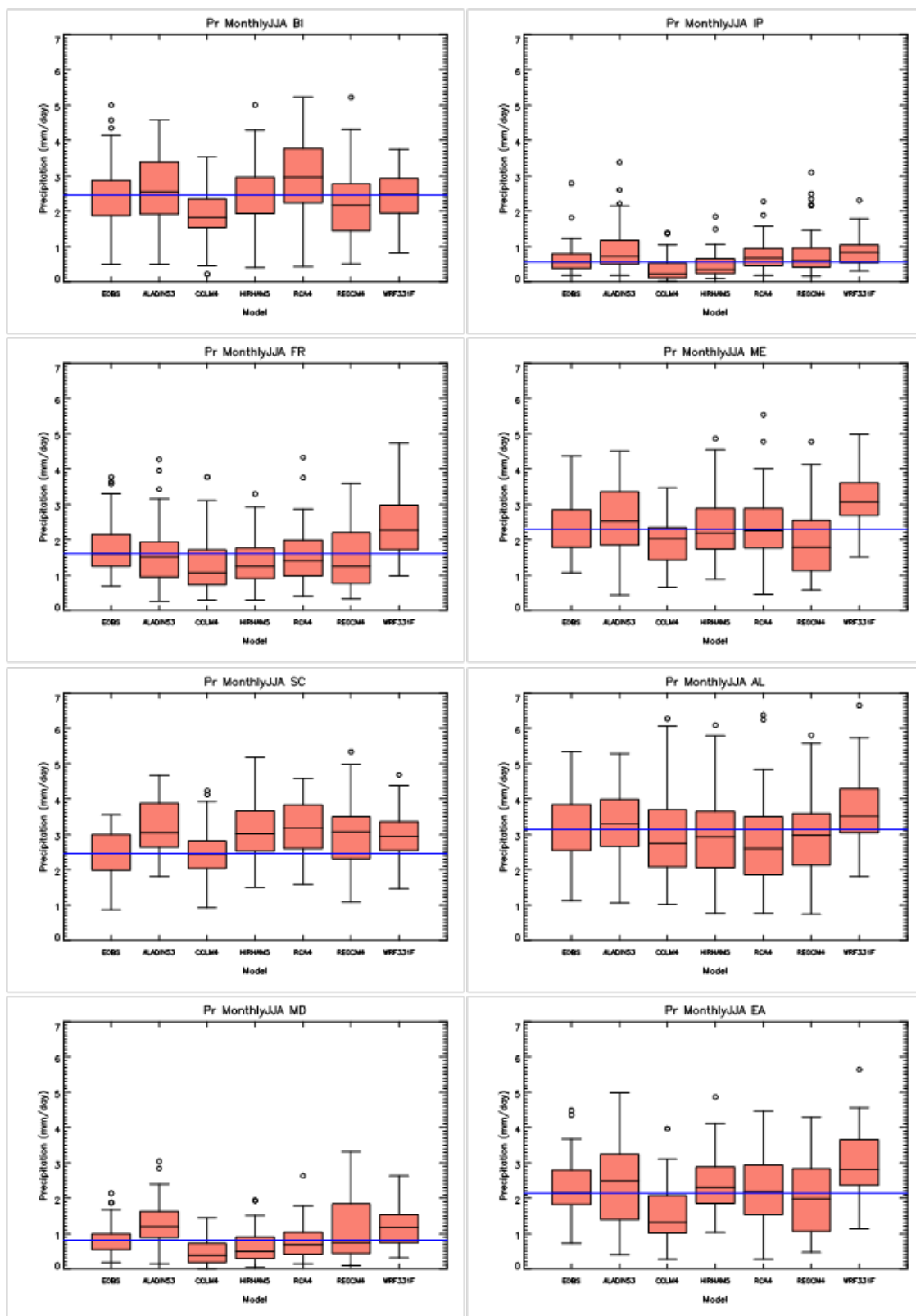
μικρότερες τιμές, όπως φαίνεται από την θέση της διαμέσου, αλλά και από την υπερεκτίμηση του αριθμού των καταστάσεων που εμφανίζουν μικρές τιμές βροχόπτωσης.

Από τα διαγράμματα των υποπεριοχών ξεχωρίζουν κάποιες συγκεκριμένες περιπτώσεις.

Στην Μεσόγειο (MD) το REGCM4 παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερο ενδοτεταρτομοριακό εύρος (IQR) από τις παρατηρήσεις και τα υπόλοιπα μοντέλα. Επίσης η κατανομή του παρουσιάζει λόξωση προς τις μικρές τιμές ενώ των αυτή των παρατηρήσεων έχει μια μικρή αρνητική λόξωση (προς μεγαλύτερες τιμές). Παρόλα αυτά το MAGE του REGCM4, με τιμή 0.4mm/day, είναι παρόμοιο με αυτό των άλλων μοντέλων το οποίο κινείται στο εύρος 0.4-0.5mm/day.

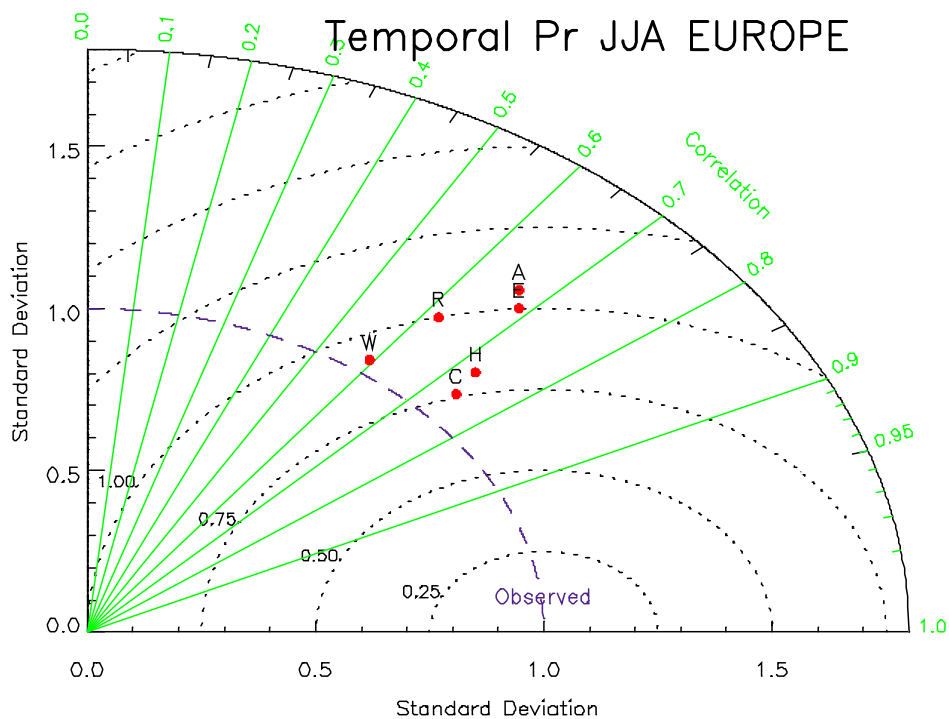
Στις περισσότερες υποπεριοχές παρατηρείται μια υπερεκτίμηση του IQR η οποία είναι πιο εμφανής στα διαγράμματα Taylor που δίνονται στην επόμενη παράγραφο. Επίσης όλα τα μοντέλα έχουν εκτιμήσει την ύπαρξη σημαντικά μικρότερης διασποράς στην υποπεριοχή της IP, με διαφορετικούς βαθμούς επιτυχίας βέβαια.

Στην υποπεριοχή των Άλπεων τα δύο μοντέλα με το μεγαλύτερο MAGE είναι τα HIRHAM5 και RCA4. Το RCA4 παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερο IQR από τις παρατηρήσεις, το εύρος του είναι παρόμοιο με τα EOBS ενώ και η μορφή της κατανομής προσεγγίζει αρκετά αυτήν των παρατηρήσεων. Απλώς η κατανομή εμφανίζεται μετατοπισμένη προς αρνητικές τιμές σε σχέση με τις παρατηρήσεις, όπως φαίνεται και από την θέση των διαμέσων. Το HIRHAM5 έχει και αυτό παρόμοια μορφή κατανομής με τις παρατηρήσεις, λίγο μεγαλύτερο IQR, και μια μετατόπιση προς αρνητικές τιμές, μικρότερη όμως με αυτήν του RCA4. Το HIRHAM5 όμως έχει μεγαλύτερο εύρος από τις παρατηρήσεις, ιδιαίτερα στις καταστάσεις υψηλότερης βροχόπτωσης. Βέβαια και το RCA4 έχει δύο παράτυπα σημεία εκτός του ανώτερου whisker που συμβολίζουν καταστάσεις βροχόπτωσης τιμών 6-6.5mm/day ενώ οι παρατηρήσεις σταματούν κάτω από τα 5.5mm/day.

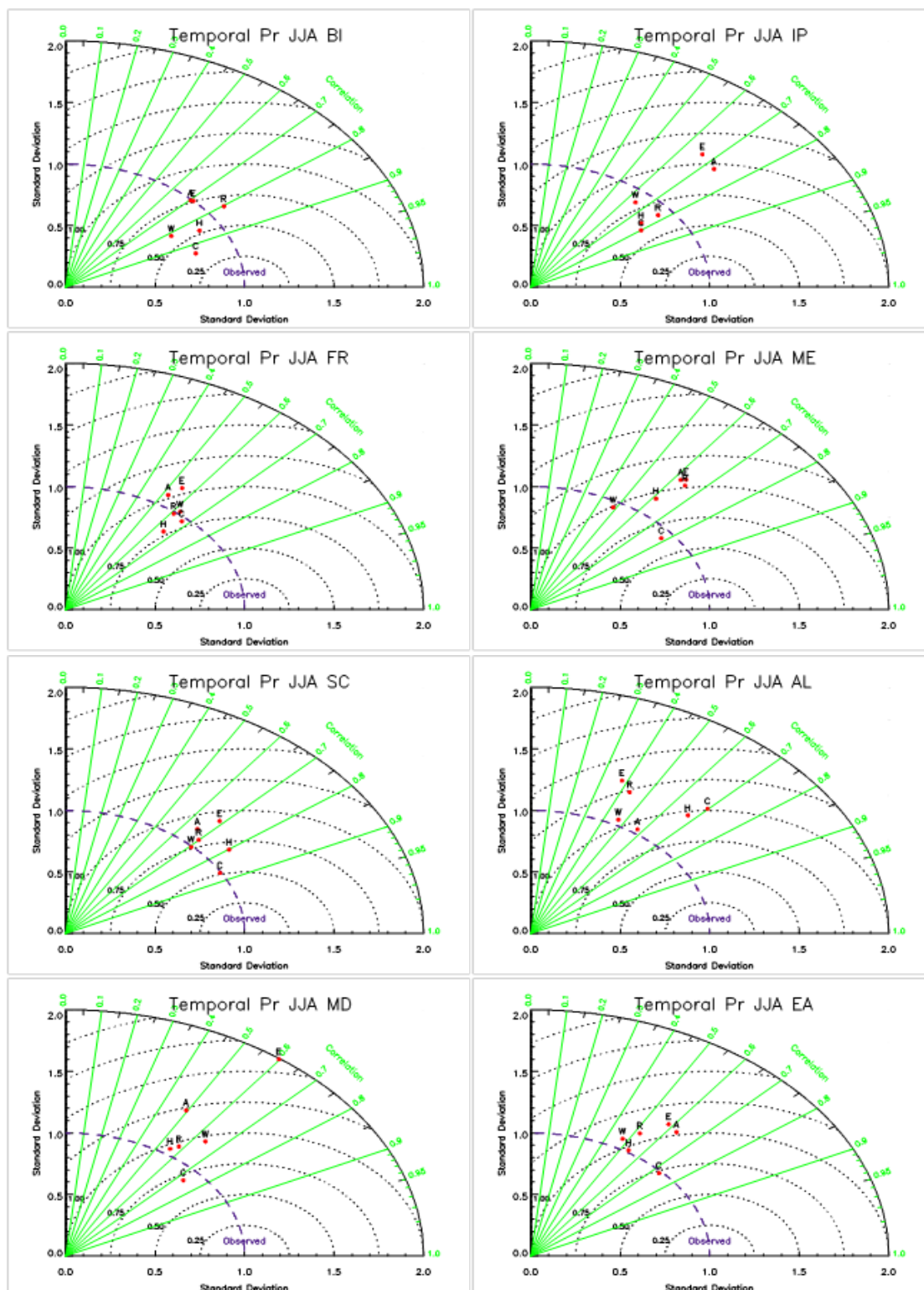


Διάγραμμα 4.4.5 : Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή, Καλοκαίρι

Διαγράμματα Taylor



Διάγραμμα 4.4.6 : Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, Καλοκαίρι



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 4.4.7 : Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές Prudence, Καλοκαίρι

Ο άξονας τιμών της κανονικοποιημένης τυπικής απόκλισης στα διαγράμματα των υποπεριοχών φτάνει μέχρι την τιμή 2.0 ακριβώς επειδή σε κάποιες περιπτώσεις ορισμένα μοντέλα εμφανίζουν σημαντική διαφορά από την παρατηρούμενη std. Υπενθυμίζεται ότι η μέγιστη τιμή στους άξονες της τυπικής απόκλισης που είχαν τα διαγράμματα Taylor για το Καλοκαίρι ήταν 1.8 ενώ για τον Χειμώνα και την Άνοιξη η μέγιστη τιμή έφτανε το 1.5 καθώς δεν υπήρχαν περιπτώσεις σημείων με μεγαλύτερη υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης.

Το μοντέλο το οποίο παρουσιάζει την καλύτερη επίδοση είναι όπως και για τις προηγούμενες εποχές το CCLM4. Το μοντέλο αυτό παρουσιάζει στα περισσότερα διαγράμματα το μικρότερο CRMS και την καλύτερη συσχέτιση, ενώ και σε αυτά που δεν έχει τις καλύτερες τιμές (AL,FR) βρίσκεται πάρα πολύ κοντά στις επιδόσεις του εκάστοτε βέλτιστου μοντέλου. Ο συντελεστής συσχέτισης του μοντέλου δεν είναι ποτέ μικρότερος από 0.7 ενώ και το CRMS συνήθως δεν παίρνει μικρότερη τιμή από 0.75mm/day εκτός της περίπτωσης της AL όπου παίρνει τιμή 1.0mm/day. Όσον αφορά την τυπική απόκλιση το CCLM4 παρουσιάζει κα πάλι μία από τις καλύτερες επιδόσεις. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πέντε από τις οκτώ περιοχές (FR,ME,SC,MD,EA) η διαφορά του από την παρατηρούμενη τυπική απόκλιση είναι αρκετά μικρότερη του 10% επί της παρατηρούμενης τιμής. Την μεγαλύτερη αστοχία στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης την εμφανίζει στις Άλπεις (AL) με τιμή 1.4 (δηλαδή 40% υπερεκτίμηση). Υπενθυμίζεται ότι το CCLM4 έχει και έναν από τους μικρότερους μέσους όρους MAGE με 0.4mm/day.

Ο προσδιορισμός του μοντέλου με τις χειρότερες επιδόσεις δεν είναι ξεκάθαρος όπως ήταν συνήθως στις προηγούμενες εποχές. Από το διάγραμμα για το σύνολο της Ευρώπης φαίνεται ότι το μοντέλο με το χειρότερο CRMS είναι το ALADIN53 με τιμή λίγο πάνω από 1.0mm, ενώ ακολουθούν από πολύ κοντά τα REGCM4 και RCA4. Την χειρότερη συσχέτιση εμφανίζει το WRF331F με 0.6, πολύ κοντά του βρίσκεται το RCA4 ενώ τα ALADIN53 και REGCM4 έχουν λίγο καλύτερες τιμές μεταξύ του 0.65 και 0.7. Στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης τα ALADIN53 και REGCM4 εμφανίζουν την μεγαλύτερη απόκλιση ενώ αντίθετα πολύ καλές είναι οι επιδόσεις του WRF331F. Το μοντέλο αυτό έχει και στις επιμέρους υποπεριοχές αρκετά καλή εκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Επομένως η καλή του θέση κοντά στην διάστικτη γραμμή της παρατηρούμενης τυπικής απόκλισης στο διάγραμμα της Ευρώπης οφείλεται σε γενικότερη ικανότητα του μοντέλου να προσομοιώνει σωστά την τυπική απόκλιση και όχι λόγω αλληλεξουδετέρωσης αντίθετων τάσεων στην εκτίμηση της std στις διάφορες υποπεριοχές.

Είναι πάντως εμφανής η τάση που έχει το ensemble για υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε πέντε υποπεριοχές (ME,SC,AL,MD,EA) όλα σχεδόν τα μοντέλα εμφανίζουν υπερεκτίμηση. Η πιο ακραία περίπτωση υπερεκτίμησης, αλλά και γενικότερου λάθους στην τυπική απόκλιση, παρουσιάζεται στην MD για το REGCM4 όπου η τιμή της κανονικοποιημένης τυπικής απόκλισης του παίρνει τιμή 2.0, είναι δηλαδή διπλάσια από την παρατηρούμενη.

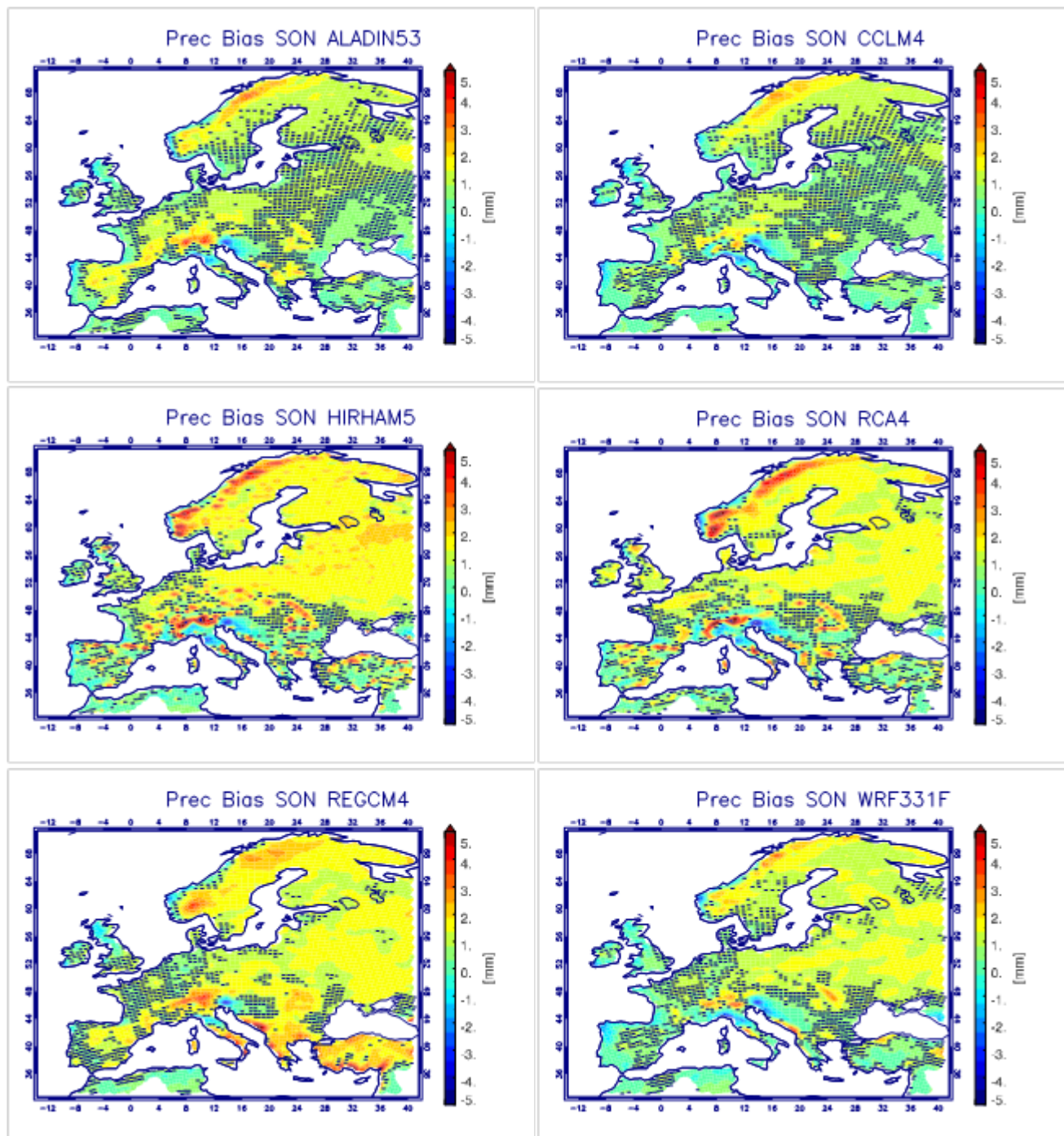
4.5 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

Περίληψη

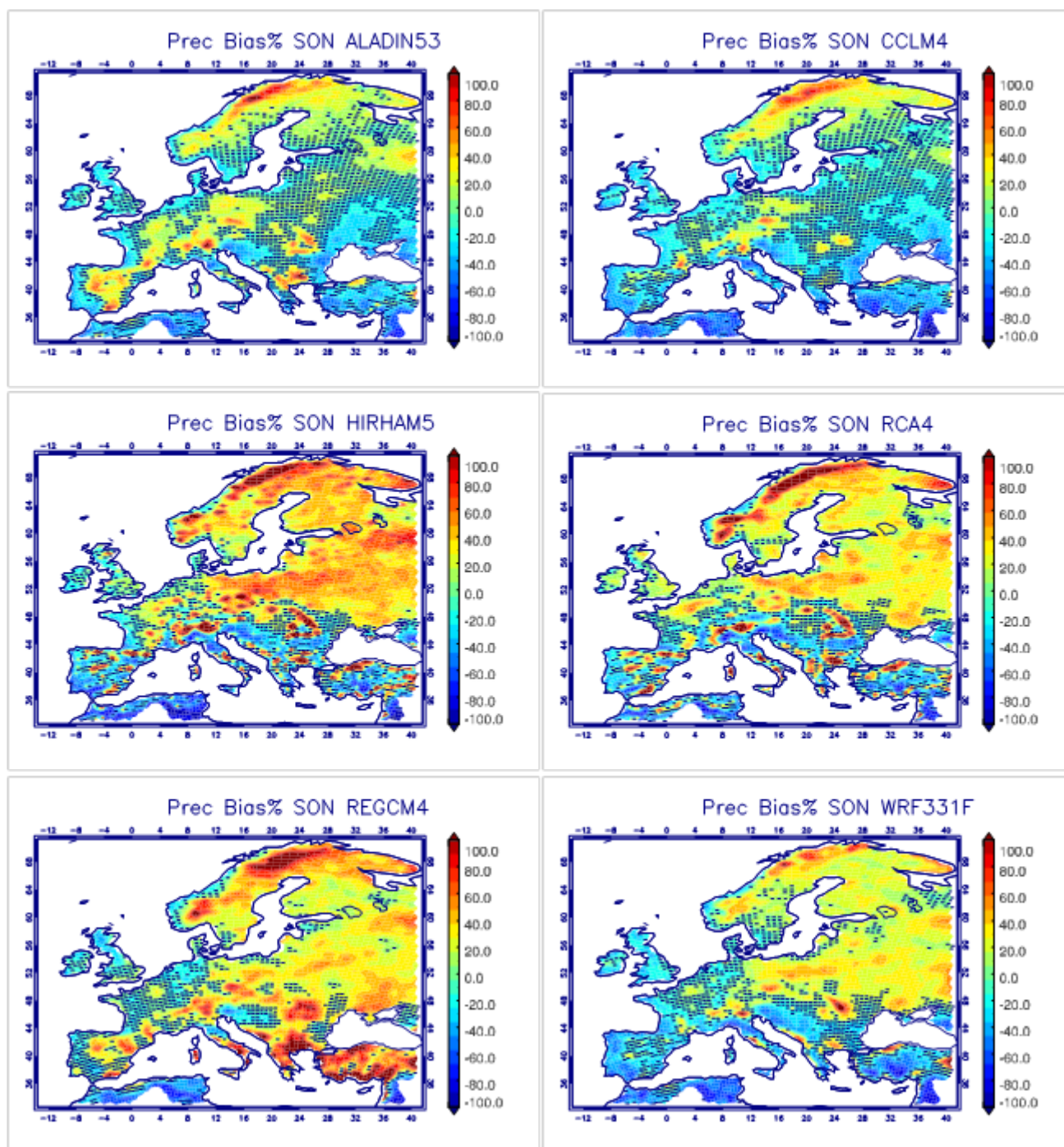
Για την Ευρώπη ως σύνολο φαίνεται να υπάρχει πολύ μικρή τάση υπερεκτίμησης της βροχόπτωσης. Μέσος όρος Bias του ensemble είναι 0.1mm/day (+4%) για ολόκληρη την Ευρώπη. Όπως και για το Καλοκαίρι υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης στον Βορρά και μικρότερης υπερεκτίμησης ή ακόμα και υποεκτίμησης σε εκτεταμένες περιοχές του Νότου. Επίσης τα HIRHAM5 και RCA4 εμφανίζουν πολύ μεγάλη υπερεκτίμηση στις ορεινές εκτάσεις. Το μικρότερο MAGE παρουσιάζουν τα CCLM4, ALADIN53 ενώ το μεγαλύτερο το HIRHAM5. Τις καλύτερες επιδόσεις στα διαγράμματα Taylor παρουσιάζει το CCLM4 ενώ τις χειρότερες τα REGCM4 και HIRHAM5. Η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE είναι οι Άλπεις με διαφορά από τις υπόλοιπες. Την μικρότερη τιμή εμφανίζουν οι FR, ME. Η SC εμφανίζει την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση με +20% ενώ η BI την μεγαλύτερη υποεκτίμηση με -10%. Η τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης προσομοιώνεται αρκετά ικανοποιητικά χωρίς να υπάρχει ξεκάθαρη τάση του ensemble για υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση.

Bias

Παραθέτονται παρακάτω τα διαγράμματα Bias της θερμοκρασίας για το Φθινόπωρο από όλα τα μοντέλα.



Σχήμα 4.5.1: Bias ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για το Φθινόπωρο



Σχήμα 4.5.2: Bias% ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για το Φθινόπωρο

Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τα σημεία στα οποία οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο 0.05 (95%).

Το ενδιαφέρον χαρακτηριστικό σχετικά με το μοτίβο στατιστικής σημαντικότητας είναι ότι ενώ στο σύνολο των μοντέλων παρουσιάζει μεγάλες διαφορές τόσο στο σχήμα όσο και στην έκταση, υπάρχουν πολύ μεγάλες ομοιότητες μεταξύ ορισμένων μοντέλων αν αυτά τοποθετηθούν σε δυάδες. Συγκεκριμένα λοιπόν το μοτίβο στατιστικής σημαντικότητας του ALADIN53 ταιριάζει πάρα πολύ με αυτό του CCLM4, αυτό του HIRHAM5 με το RCA4 και τέλος το μοτίβο του REGCM4 με του WRF331F. Γενικά πάντως οι υποπεριοχές που φαίνεται να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο μεγαλύτερο τμήμα τους και στα περισσότερα μοντέλα είναι οι Άλπεις (AL), η Μεσόγειος (MD) και η Σκανδιναβία (SC).

Το χωρικό μοτίβο του Bias τώρα φαίνεται να παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων. Σε όλες τις περιπτώσεις η Βόρεια Ευρώπη εμφανίζεται με θετικό Bias ενώ αρνητικό Bias παρουσιάζεται κυρίως σε ορισμένες περιοχές του Νότου, λιγότερο ή περισσότερο εκτεταμένες (SC) ανάλογα με το μοντέλο. Η Μ.Βρετανία (BI) είναι αρνητική στις περισσότερες περιπτώσεις ενώ η Σκανδιναβία έχει εμφανώς θετικές τιμές με μία μικρή παράλια λωρίδα στα δυτικά να εμφανίζει αρνητικό Bias. Τα HIRHAM5 και RCA4 μάλιστα υπερεκτιμούν πολύ την βροχόπτωση στο ορεινό κομμάτι της SC αλλά και των Άλπεων.

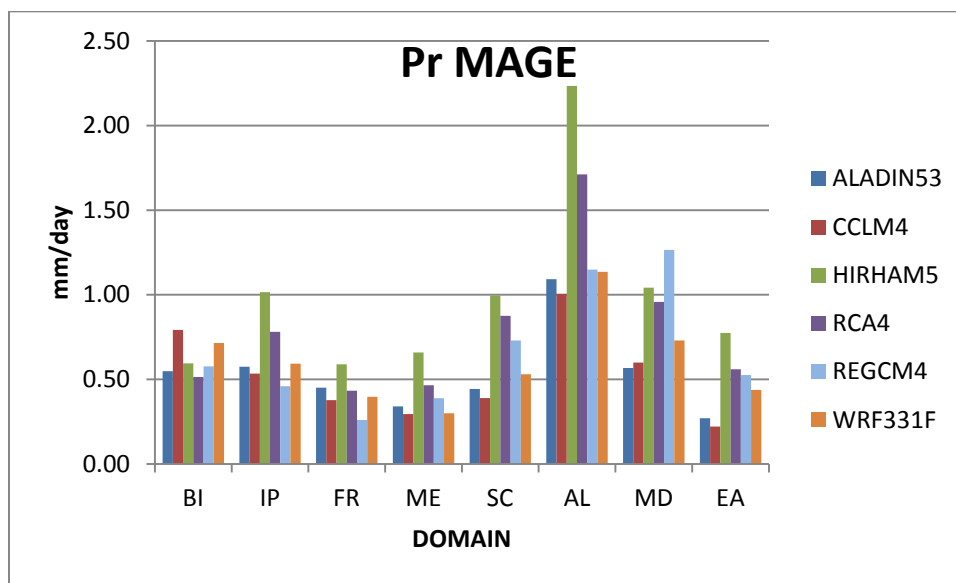
Για την διευκόλυνση ποσοτικών συγκρίσεων παραθέτονται παρακάτω οι μέσοι όροι του Bias και του Mean Absolute Gross Error (MAGE, η απόλυτη τιμή του Bias) ανά περιοχή και ανά μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης υπολογίστηκαν ο μέσος όρος Bias και MAGE του κάθε μοντέλου για όλες τις περιοχές (στην ουσία αποτελεί τον μέσο όρο για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο) καθώς επίσης και ο συγκεντρωτικός μέσος όρος κάθε περιοχής.

Πίνακας 4.5.1 :T Bias (C) για Φθινόπωρο ανά περιοχή και ανά μοντέλο

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	Μ.Ο περιοχής
BI	-0.5 (0.5) -15%	-0.8 (0.8) -22%	-0.1 (0.6) -2%	0.2 (0.5) 6%	-0.3 (0.6) -9%	-0.7 (0.7) -20%	-0.4 (0.6) -10%
IP	0.0 (0.6) 0%	-0.4 (0.5) -19%	0.1 (1.0) 3%	0.1 (0.8) 2%	0.3 (0.5) 12%	-0.5 (0.6) -25%	-0.1 (0.7) -4%
FR	0.1 (0.5) 3%	-0.2 (0.4) -8%	0.3 (0.6) 10%	0.2 (0.4) 8%	0.2 (0.3) 6%	-0.2 (0.4) -8%	0.0 (0.4) 2%
ME	0.2 (0.3) 10%	0.0 (0.3) 0%	0.6 (0.7) 29%	0.4 (0.5) 18%	0.2 (0.4) 11%	0.2 (0.3) 8%	0.3 (0.4) 12%
SC	0.2 (0.4) 7%	0.1 (0.4) 5%	0.9 (1.0) 37%	0.7 (0.9) 29%	0.6 (0.7) 25%	0.4 (0.5) 15%	0.5 (0.7) 20%
AL	0.1 (1.1) 4%	-0.3 (1.0) -7%	0.9 (2.2) 24%	0.1 (1.7) 2%	0.6 (1.1) 15%	-0.2 (1.1) -6%	0.2 (1.4) 5%
MD	-0.1 (0.6) -6%	-0.5 (0.6) -23%	0.0 (1.0) -1%	0.2 (1.0) 9%	1.0 (1.3) 46%	-0.2 (0.7) -11%	0.1 (0.9) 2%
EA	0.1 (0.3) 3%	-0.1 (0.2) -6%	0.6 (0.8) 34%	0.3 (0.6) 20%	0.5 (0.5) 30%	0.3 (0.4) 15%	0.3 (0.5) 16%
Μ.Ο Μοντέλου	0.0 (0.5) 0%	-0.3 (0.5) -11%	0.4 (1.0) 16%	0.3 (0.8) 10%	0.4 (0.7) 15%	-0.1 (0.6) -6%	0.1 (0.7) 4%

Σε παρένθεση το MAGE, με έντονο μαύρο χρώμα το Bias, το Bias% συνοδεύεται από το σύμβολο %.

Παρακάτω παρατίθεται και ραβδόγραμμα των δεδομένων MAGE για την καλύτερη εποπτική τους παρουσίαση.



Διάγραμμα 4.5.1 : Τιμές απόλυτου Bias θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο για το Φθινόπωρο

Ο μέσος όρος του συνόλου των μοντέλων για ολόκληρη την Ευρώπη είναι μόλις 0.1mm/day οπότε από αυτό και μόνο δεν φαίνεται να είναι ξεκάθαρο αν υπάρχει μια συγκεκριμένη τάση στο Bias. Τα περισσότερα βέβαια μοντέλα έχουν θετικούς μέσους όρους με μικρές όμως απόλυτες τιμές. Επίσης έξι από τις οκτώ υποπεριοχές έχουν θετικό μέσο όρο Bias. Επομένως μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης σε γενικές γραμμές το Φθινόπωρο και κυρίως στις Βόρειες περιοχές της Ευρώπης. Από τα μοντέλα μόνο το CCLM4 και WRF331F εμφανίζουν αρνητικό Bias, με το πρώτο να έχει την μεγαλύτερη υποεκτίμηση και να έχει αρνητικό μέσο όρο σε έξι από τις οκτώ υποπεριοχές. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρούνται μέσοι όροι Bias ίσοι με μηδέν πχ. ALADIN53 στην BI, CCLM4 στην ME, HIRHAM5 στην MD. Το ALADIN53 μάλιστα έχει μέσο όρο από όλες τις υποπεριοχές μηδέν. Προφανώς πρόκειται για φαινόμενο εξισορρόπησης λόγω των αντίθετων τάσεων Bias που εμφανίζονται καθώς τα MAGS σε αυτές τις περιπτώσεις είναι διαφορετικά του μηδενός. Γενικά λοιπόν τόσο το Bias όσο και το Bias% εμφανίζεται πολύ μικρό με το 0.1mm για το ensemble να αντιστοιχεί σε +4%.

Το μεγαλύτερο MAGS, υπολογισμένο ως μέσο όρο από όλες τις υποπεριοχές εμφανίζει το HIRHAM5 με 1.0mm/day και ακολουθεί το RCA4 με 0.8mm/day. Την μικρότερη τιμή εμφανίζουν τα ALADIN53 και CCLM4 με 0.5mm/day, η οποία είναι υποδιπλάσια του μεγίστου MAGS. Όσον αφορά τους μέσους όρους ανά μοντέλο για τις επιμέρους υποπεριοχές εντύπωση προκαλεί το πολύ μεγάλο MAGS του HIRHAM5 για τις Άλπεις με 2.2mm/day ενώ στα περισσότερα μοντέλα η τιμή του MAGS είναι υποδιπλάσια. Γενικά το HIRHAM5 και RCA4 υπερεκτιμούν κατά πολύ την βροχόπτωση σε ορεινές περιοχές κάτι που είναι ιδιαίτερα εμφανές στα διαγράμματα για τις Άλπεις και τις οροσειρές της Σκανδιναβίας. Το HIRHAM5 παρουσιάζει και στις περισσότερες υποπεριοχές τον μεγαλύτερο μέσο όρο MAGS ενώ και το RCA4 έχει γενικά υψηλές τιμές. Τα CCLM4 και ALADIN53 έχουν γενικά από τις χαμηλότερες τιμές με εξαίρεση το CCLM4 στην BI. Ιδιαίτερα στην EA παρουσιάζουν πολύ μικρότερο MAGS από τα υπόλοιπα μοντέλα με τιμές μόλις 0.2 και 0.3mm/day.

Εξετάζοντας τους συγκεντρωτικούς μέσους όρους MAGS ανά υποπεριοχή την μεγαλύτερη τιμή 1.4mm εμφανίζει η AL (Άλπεις) με αρκετή διαφορά από την δεύτερη MD (0.9mm/day). Το μικρότερο MAGS παρουσιάζεται στις FR, ME (0.4mm/day) και έπειτα στις EA, BI (0.5mm/day). Σε σχέση με τον μέσο όρο Bias οι υποπεριοχές BI, IP είναι οι μόνες με αρνητικές τιμές, με την BI να εμφανίζει την μεγαλύτερη υποεκτίμηση. Στην BI μάλιστα πέντε από τα έξι μοντέλα έχουν αρνητικό μέσο όρο Bias (RCA4 θετικό) ενώ στην IP μόλις δύο μοντέλα. Το Bias% μάλιστα της BI είναι -10%. Επίσης η FR παρουσιάζει μέσο όρο Bias μηδέν με δύο μοντέλα με αρνητικό μέσο όρο. Επομένως η μόνη υποπεριοχή στην οποία υπάρχει ξεκάθαρη τάση υποεκτίμησης είναι η Μ.Βρετανία (BI). Αντίθετα η SC και η EA είναι οι υποπεριοχές με την σταθερότερη και μεγαλύτερη υπερεκτίμηση με +20% και +16% αντίστοιχα και όλα τα μοντέλα (πλην του CCLM4 για την EA) να εμφανίζουν θετικούς μέσους όρους Bias σε αυτές.

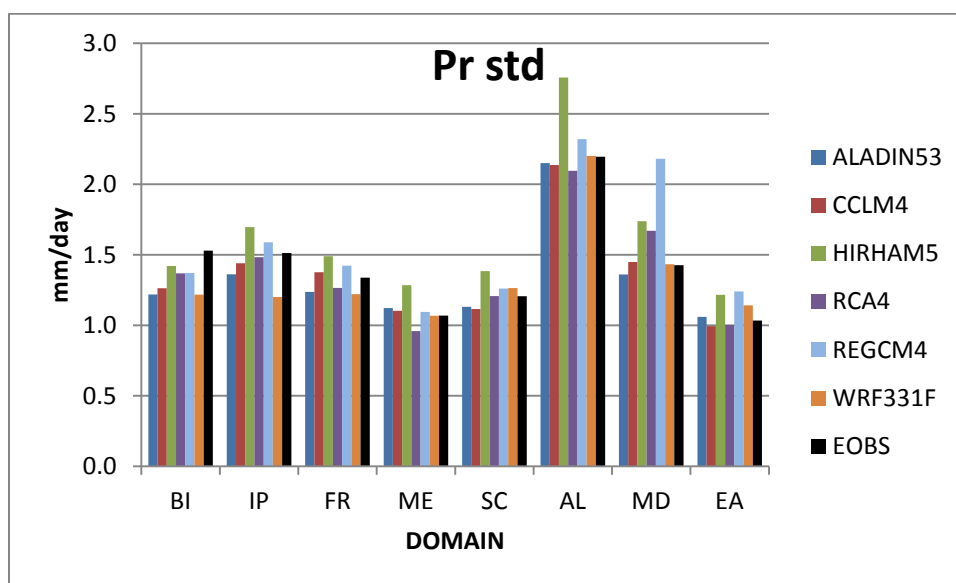
Τυπική Απόκλιση

Βοηθητικά με το metric του Bias χρησιμοποιείται και η τυπική απόκλιση. Υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση από χρονοσειρές μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, για το διάστημα 1990-2008 και για κάθε σημείο του πλέγματος. Ο υπολογισμός αυτός έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά. Έπειτα έγιναν μεσοποιήσεις των τιμών std για κάθε περιοχή prudence.

Πίνακας 4.5.2 : Τιμές τυπικής απόκλισης για το Φθινόπωρο ανά υποπεριοχή

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	EOBS	M.O. περιοχής
BI	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.2	1.5	1.3
IP	1.4	1.4	1.7	1.5	1.6	1.2	1.5	1.5
FR	1.2	1.4	1.5	1.3	1.4	1.2	1.3	1.3
ME	1.1	1.1	1.3	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
SC	1.1	1.1	1.4	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2
AL	2.2	2.1	2.8	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3
MD	1.4	1.4	1.7	1.7	2.2	1.4	1.4	1.6
EA	1.1	1.0	1.2	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1
M.O μοντέλου	1.3	1.4	1.6	1.4	1.6	1.3	1.4	1.4

Παρατίθεται και το ραβδόγραμμα των παραπάνω τιμών τυπικής απόκλισης ανά περιοχή και μοντέλο για την πιο εποπτική τους παρουσίαση.



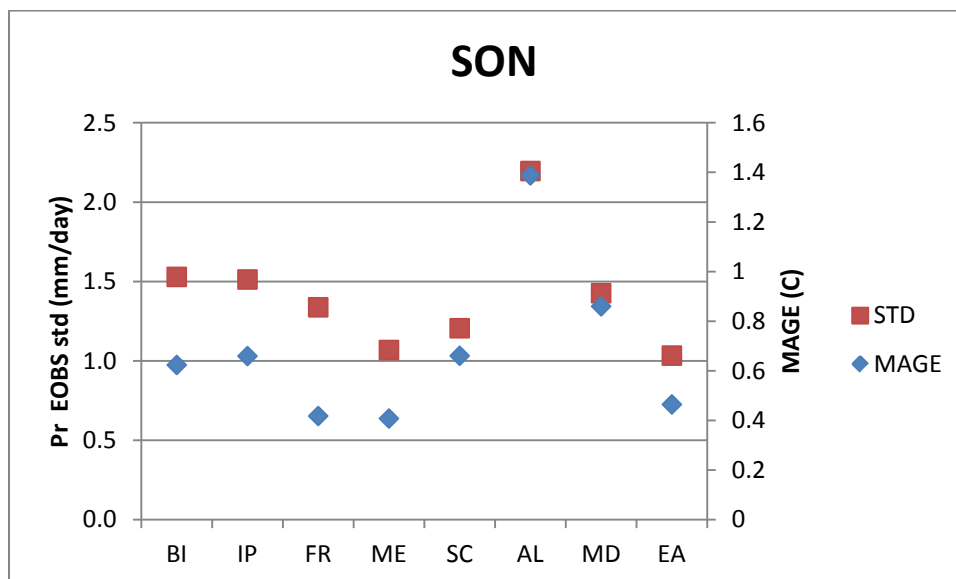
Διάγραμμα 4.5.2: Τιμές τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας ανά υποπεριοχή και ανά μοντέλο

Η έκταση των τιμών τυπικής απόκλισης της βροχόπτωσης για το Φθινόπωρο είναι αρκετά παρόμοια με αυτήν των προηγούμενων εποχών. Στις περισσότερες υποπεριοχές ο μέσος όρος τυπικής απόκλισης δεν ξεπερνά τα 1.5mm ενώ στις Άλπεις η τυπική απόκλιση εμφανίζεται αυξημένη με τιμές άνω των 2.0mm. Όλα τα μοντέλα προσομοιώνουν ικανοποιητικά τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Σε όλες τις υποπεριοχές οι διαφορές μεταξύ μοντέλων και παρατηρήσεων αλλά και μεταξύ των μοντέλων μεταξύ τους είναι μικρές.

Δεν φαίνεται να υπάρχει ξεκάθαρη τάση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης της τυπικής απόκλισης. Οι συνολικοί μέσοι των μοντέλων κυμαίνονται από 1.3 ως 1.6mm/day ενώ η αντίστοιχη τιμή των παρατηρήσεων είναι 1.4mm/day. Επίσης στις περισσότερες υποπεριοχές η μέση τιμή των παρατηρήσεων βρίσκεται εντός του εύρους των μέσων τιμών των μοντέλων.

Το HIRHAM5 είναι το μοντέλο που εμφανίζει το μεγαλύτερο συνολικό μέσο όρο MAGE αλλά και τυπικής απόκλισης, ενώ στις Άλπεις η πολύ υψηλότερη τιμή MAGE που έχει σε σχέση με τα άλλα μοντέλα συνοδεύεται και από την μεγαλύτερη και με διαφορά μέση τιμή τυπικής απόκλισης. Επομένως είναι αρκετά πιθανό το μεγάλο του σφάλμα να σχετίζεται με την υπερεκτίμηση της διασποράς της βροχόπτωσης.

Γενικά πάντως οι διαφορές μεταξύ των μοντέλων στις μέσων τιμές std ανά συγκεκριμένη υποπεριοχή είναι μικρές. Εξαίρεση αποτελούν το HIRHAM5 στις Άλπεις και το REGCM4 στην Μεσόγειο (MD) όπου η διαφορά από τα υπόλοιπα μοντέλα ξεπερνάει τα 0.5mm/day.



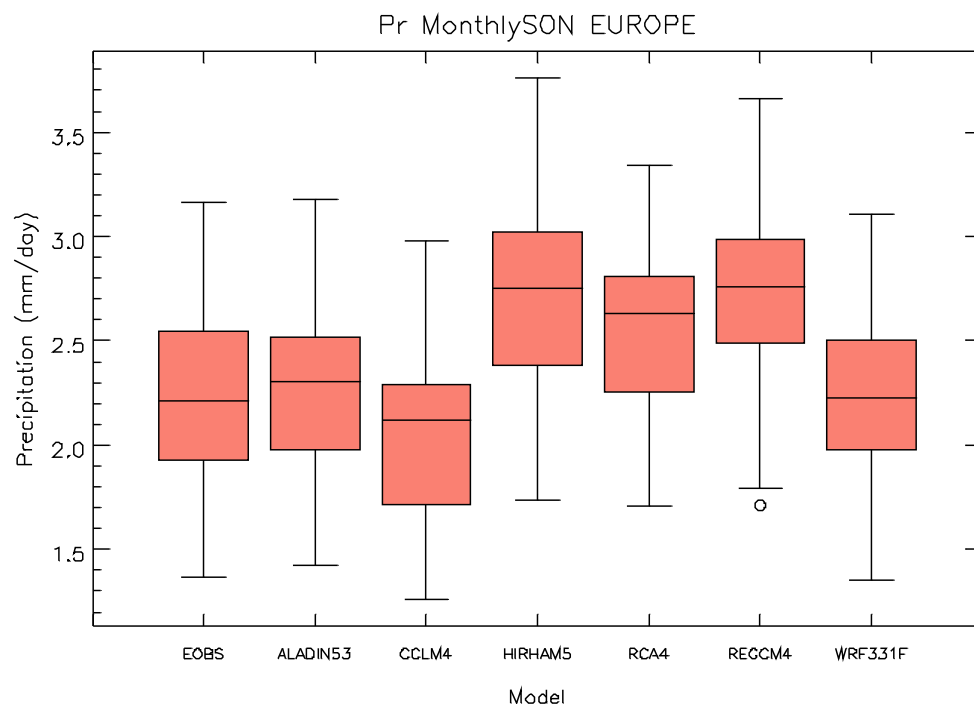
Διάγραμμα 4.5.3 : Μέσοι όροι τυπικής απόκλισης και MAGE ανά υποπεριοχή

Είναι αρκετά ενδιαφέρον το γεγονός ότι για το Φθινόπωρο φαίνεται να υπάρχει αρκετά ισχυρή σύνδεση μεταξύ μέσων τιμών MAGE και τυπικής απόκλισης (EOBS) ανά υποπεριοχή. Αυτό φαίνεται αρκετά καθαρά από το παραπάνω διάγραμμα. Είναι χαρακτηριστικό ότι το υψηλότερο MAGE συμπίπτει με την μεγαλύτερη std ενώ σε όλες τις υποπεριοχές η ύπαρξη μεγάλης ή μικρής μέσης τυπικής απόκλισης συμπίπτει με την ύπαρξη μεγάλου ή μικρού μέσου MAGE αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι το Φθινόπωρο το συγκεκριμένο ensemble παρουσιάζει μεγαλύτερη δυσκολία εκτίμησης του κλίματος της βροχόπτωσης στις περιοχές με αυξημένη διασπορά.

Θηκογράμματα (Boxplots)

Αρχικά παρατίθεται το διάγραμμα για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης και στην συνέχεια για κάθε υποπεριοχή.

Η μπλε γραμμή συμβολίζει την διάμεσο των δεδομένων παρατηρήσεων Eobs.



Διάγραμμα 4.5.4 : Θηκογράμματα για την περιοχή της Ευρώπης, Φθινόπωρο

Από το θηκόγραμμα της Ευρώπης είναι εμφανές ότι τα μοντέλα που εμφανίζουν τους μεγαλύτερους μέσους όρους MAGΕ και θετικού Bias, δηλαδή τα HIRHAM5, RCA4 και REGCM4, έχουν ολόκληρη την κατανομή τους αρκετά μετατοπισμένη προς μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης, με την διάμεσό τους να είναι εμφανώς υψηλότερα από την διάμεσο των EOBS. Το CCLM4 αντίθετα παρουσιάζει την κατανομή του και την διάμεσό του μετατοπισμένες προς μικρότερες τιμές μιας και είναι ένα μοντέλο με υποεκτίμηση της βροχόπτωσης. Όλα πάντως τα μοντέλα εκτιμούν αρκετά σωστά τις τιμές του εύρους και του ενδοτεταρτομοριακού εύρους (IQR), οπότε τα σφάλματα που παρουσιάζουν φαίνεται να συνδέονται με την αδυναμία εκτίμησης της θέσης της κατανομής που περιγράφηκε προηγουμένως. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η σωστή εκτίμηση της μορφής της κατανομής που στα παρατηρησιακά δεδομένα των καταστάσεων βροχόπτωσης προσεγγίζει αρκετά την κανονική κατανομή. Τα περισσότερα μοντέλα εκτιμούν αρκετά ικανοποιητικά την κατανομή των παρατηρήσεων. Τα RCA4 και CCLM4 όμως εμφανίζουν μια λόξωση προς τις μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης υπερεκτιμώντας τον αριθμό τους. Το ενδιαφέρον είναι ότι για το CCLM4 η αστοχία αυτή ενδεχομένως να οδηγεί σε μείωση του MAGΕ και του Bias, σε σχέση με το αν η κατανομή του ήταν κανονική, καθώς το μοντέλο έχει τάση να υποεκτιμάει την βροχόπτωση. Επομένως η υπερεκτίμηση του αριθμού των καταστάσεων βροχόπτωσης μεταξύ 2.1-2.3mm/day, καταστάσεων που βρίσκονται πολύ κοντά στην διάμεσο των παρατηρήσεων είναι πολύ πιθανό να μειώνει το σφάλμα. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι τα θηκογράμματα των ALADIN53, WRF331F προσομοιώνουν καλύτερα από όλα τα μοντέλα το θηκόγραμμα των παρατηρήσεων.

Για τα θηκογράμματα των υπόλοιπων υποπεριοχών δίνονται παρακάτω κάποιες ενδιαφέρουσες περιπτώσεις. Γενικά πάντως τις περισσότερες φορές γίνεται ικανοποιητική εκτίμηση του σχήματος της κατανομής των καταστάσεων βροχόπτωσης από τα μοντέλα.

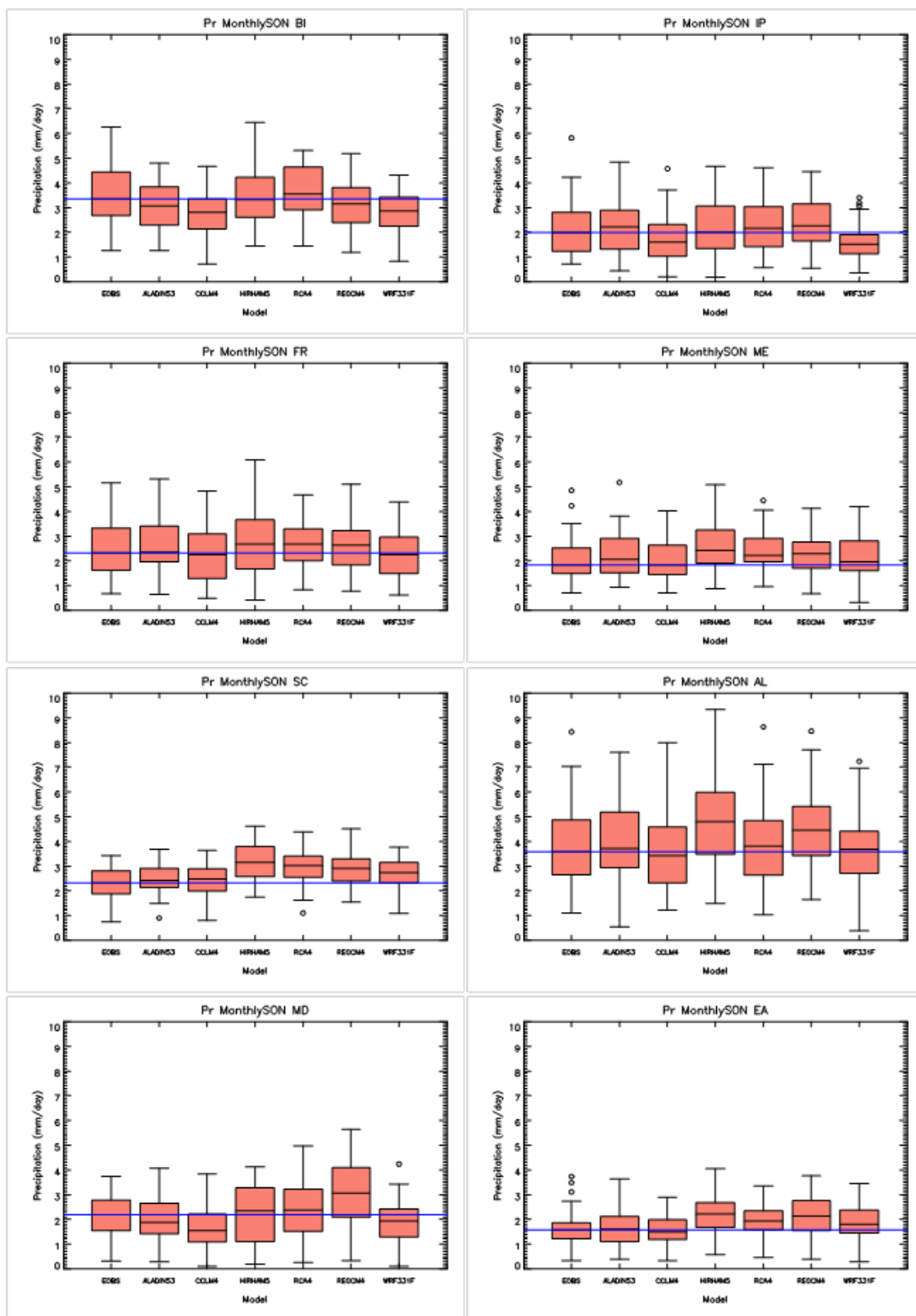
Στην υποπεριοχή των Άλπεων (AL) το HIRHAM5 παρουσιάζει το μεγαλύτερο MAGΕ και έντονο θετικό Bias με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα μοντέλα. Στο θηκόγραμμα είναι εμφανές ότι ενώ το σχήμα της κατανομής είναι σωστό, ολόκληρη η κατανομή είναι μετατοπισμένη προς υψηλότερες τιμές. Είναι χαρακτηριστικό ότι το όχι μόνο η διάμεσος αλλά και το πρώτο τεταρτημόριο του μοντέλου βρίσκεται πάνω από την διάμεσο των παρατηρήσεων. Επίσης το μοντέλο υπερεκτιμάει αρκετά το άνω όριο του εύρους της βροχόπτωσης, καθώς εμφανίζει καταστάσεις ακόμη και πάνω από τα 9mm/day ενώ το ανώτερο σημείο των EOBS σταματά στα 7mm/day.

Αντίθετη περίπτωση αποτελεί το WRF331F. Το τρίτο τεταρτημόριο του μοντέλου βρίσκεται κάτω της διαμέσου των παρατηρήσεων, με αποτέλεσμα να υποεκτιμάει τον αριθμό των καταστάσεων βροχόπτωσης άνω των 2.0mm/day κατά πολύ. Όντως το συγκεκριμένο μοντέλο παρουσιάζει αρκετά μεγάλο αρνητικό Bias στην IP με -0.7mm/day.

Στην ΜΕ (Κεντρική Ευρώπη) η κατανομή των παρατηρήσεων εμφανίζει μία λόξωση προς τις μικρότερες τιμές. Τα περισσότερα μοντέλα προσομοιώνουν σωστά το σχήμα της κατανομής εκτός του REGCM4 το οποίο εμφανίζει μικρή αρνητική λόξωση. Το μοντέλο πάντως δεν εμφανίζει ιδιαίτερα μεγάλο MAGΕ η Bias στην συγκεκριμένη υποπεριοχή.

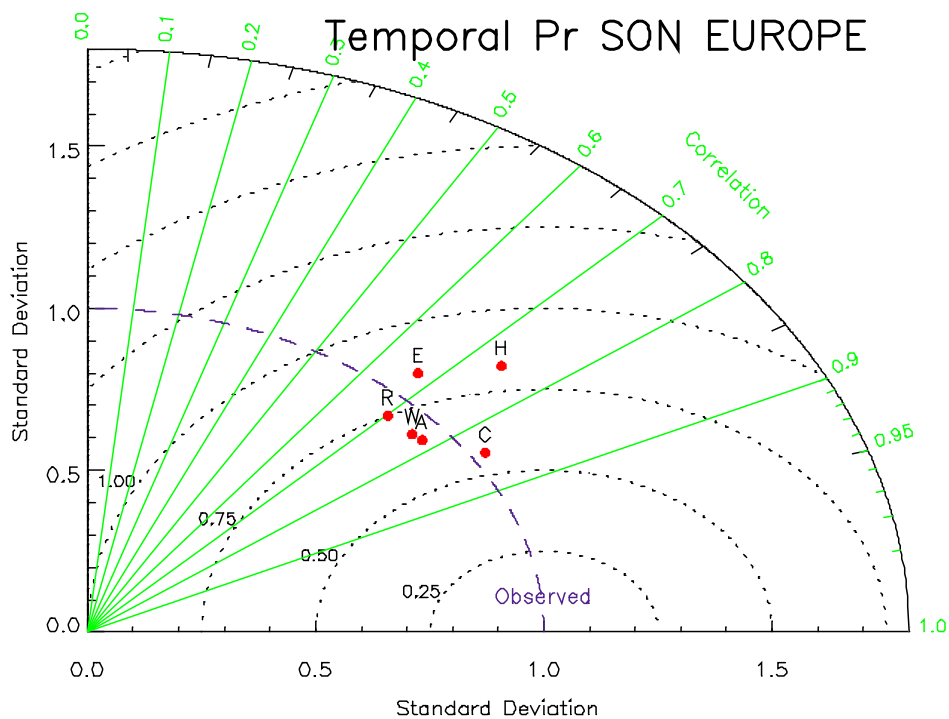
Το REGCM4 παρουσιάζει στην MD αρκετά μεγάλο MAGE και θετικό Bias με το θηκόγραμμα του μοντέλο να δείχνει ότι ακόμα και το πρώτο τεταρτημόριό του είναι πάνω από την διάμεσο των παρατηρήσεων. Επίσης το μοντέλο υπερεκτιμάει αρκετά και το IQR αλλά και το εύρος. Το άνω όριο του εύρους για παράδειγμα φτάνει μέχρι και τα 6mm/day ενώ οι παρατηρήσεις σταματούν μόλις στα 4mm/day.

Τέλος στην BI αρκετά μοντέλα εμφανίζουν αρνητικό μέσο όρο Bias με αυτό να φαίνεται στα θηκογράμματα όπου σε τέσσερα μοντέλα η διάμεσός τους είναι κάτω της διαμέσου των παρατηρήσεων. Επίσης τα περισσότερα μοντέλα πλην του HIRHAM5 φαίνεται να υποεκτιμούν την ύπαρξη καταστάσεων υψηλής βροχόπτωσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι ενώ το άνω όριο του εύρους στα EOBS φτάνει τα 6.3mm/day σε όλα τα μοντέλα εκτός του HIRHAM5 το άνω όρο περιορίζεται κάτω από τα 5mm/day.



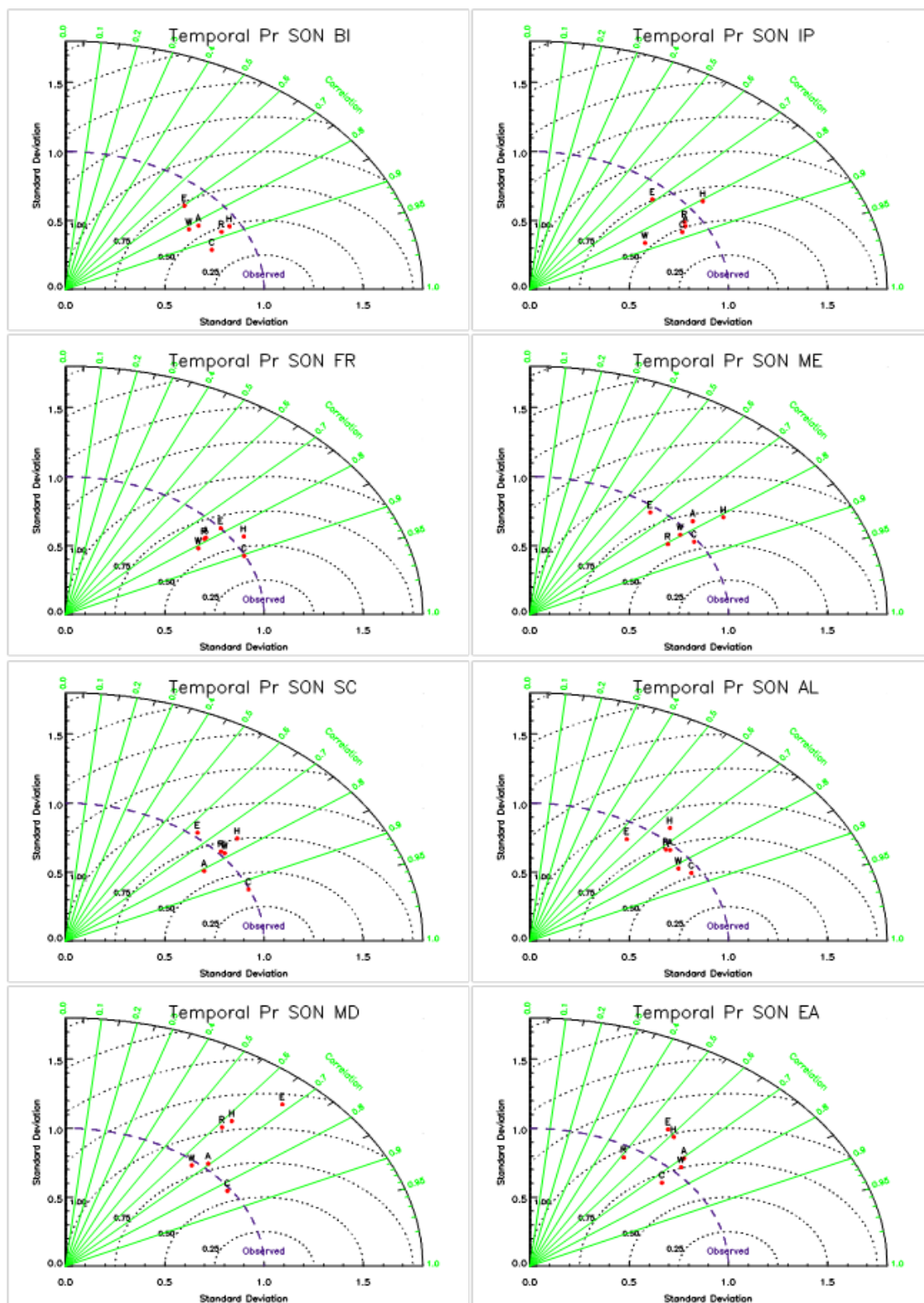
Διάγραμμα 4.5.5: Θηκογράμματα για κάθε υποπεριοχή, Φθινόπωρο

Διαγράμματα Taylor



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 4.5.6 : Διάγραμμα Taylor για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης, Φθινόπωρο



A: Aladin53, C: CCLM4, H: HIRHAM5, R: RCA4, E: REGCM4, W: WRF331F

Διάγραμμα 4.5.7 : Διαγράμματα Taylor για τις υποπεριοχές Prudence, Φθινόπωρο

Είναι εμφανές από τα διαγράμματα Taylor για την Ευρώπη και για τις υποπεριοχές ότι το Φθινόπωρο παρουσιάζεται το ίδιο μοτίβο με τις προηγούμενες εποχές. Έτσι λοιπόν την καλύτερη επίδοση και στα τρία metrics εμφανίζει σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις το CCLM4 ενώ τις χειρότερες επιδόσεις κατέχουν τα HIRHAM5 και REGCM4. Υπενθυμίζεται ότι το CCLM4 κατέχει το μικρότερο μέσο όρο MAGE ενώ το HIRHAM5 τον μεγαλύτερο ενώ το Bias% τους σε απόλυτη τιμή είναι παραπλήσιο. Επομένως είναι ξεκάθαρο ότι τα δύο αυτά μοντέλα αντιπροσωπεύουν την καλύτερη και χειρότερη επίδοση στην εποχή του Φθινοπώρου.

Επίσης μια γενική παρατήρηση αφορά τον συντελεστή συσχέτισης. Οι τιμές του συντελεστή κατά το Φθινόπωρο (τυπικό εύρος 0.65-0.85) είναι παρόμοιες με αυτές τις Άνοιξης, μικρότερες από του Χειμώνα που εμφανίζει την καλύτερη συσχέτιση (τυπικός εύρος 0.7-0.95) και μεγαλύτερες του Καλοκαιριού (τυπικό εύρος 0.6-0.75)

Η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης είναι αρκετά καλή σε πολλές υποπεριοχές (AL, SC, FR, ME). Είναι ενδιαφέρον ότι όλα τα μοντέλα εκτιμούν πάρα πολύ καλά την τυπική απόκλιση στις Άλπεις που είναι και η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο MAGE. Γενικά πάντως τόσο στις Άλπεις όσο και στην SC, που είναι η υποπεριοχή με το μεγαλύτερο Bias%, τα μοντέλα δεν παρουσιάζουν χειρότερες επιδόσεις στα Taylor σε σχέση με τις υπόλοιπες υποπεριοχές. Στην BI όλα τα μοντέλα υποεκτιμούν την τυπική απόκλιση και αυτό σε συνδυασμό με την μετατόπιση των κατανομών τους προς μικρότερες τιμές όπως φάνηκε και από τα ηχογράμματα είναι πολύ πιθανό να ευθύνεται εν μέρει για την σταθερή υποεκτίμηση της βροχόπτωσης στην υποπεριοχή (-10%). Στην MD τέλος το REGCM4 έχει το μεγαλύτερο CRMS και αρκετά μεγάλη υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την γενικότερη μετατόπισή της κατανομής του προς υψηλότερες τιμές, όπως φαίνεται και από το αντίστοιχο ηχογράμμα, βοηθούν στην κατανόηση του γιατί το συγκεκριμένο μοντέλο παρουσιάζει το μεγαλύτερο MAGE και Bias% στην υποπεριοχή.

5. Συμπεράσματα Μέσης Θερμοκρασίας

Καταρχάς μπορεί να ειπωθεί ότι όλα τα μοντέλα προσομοιώνουν τα βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος της Ευρώπης καθώς και την μεταβλητότητα του σε χρονική και χωρική βάση. Οι τιμές του Bias στο μεγαλύτερο κομμάτι της Ευρώπης εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές, υπάρχουν όμως και περιοχές όπως το βόρειο κομμάτι των FR, ME, EA και μέρος της SC που παρουσιάζουν σε αρκετές περιπτώσεις αξιόλογες εκτάσεις μη στατιστικής σημαντικότητας. Κατά την Χειμερινή περίοδο (Χειμώνας-Άνοιξη) όλα τα μοντέλα είναι μετατοπισμένα προς ψυχρότερες κλιματικές καταστάσεις με μέσο όρο Bias -0.6°C . Οι τιμές του Bias βρίσκονται σε συμφωνία με βιβλιογραφικές αναφορές στα πλαίσια του Cordex (Kotlarski et al, 2014). Η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης είναι πολύ καλή για όλες τις εποχές εκτός του Καλοκαιριού όπου υπάρχει σταθερή υπερεκτίμησή της. Επίσης σε όλες τις εποχές εμφανίζεται αρκετά υψηλή χρονική συσχέτιση με τιμή συντελεστή συνήθως πάνω από 0.8.

Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό του ensemble για την μέση θερμοκρασία είναι η ξεκάθαρη εικόνα υποεκτίμησης που παρουσιάζεται για τον Χειμώνα και την Άνοιξη (μέσοι όροι Bias του ensemble -0.5°C και -0.7°C αντίστοιχα). Όλα τα μοντέλα (πλην του WRF331F για τον Χειμώνα) εμφανίζονται ψυχρά την συγκεκριμένη περίοδο. Ενδιάμεση είναι η εικόνα για το Καλοκαίρι και το Φθινόπωρο. Το Καλοκαίρι το ensemble εμφανίζει μικρή θετική τιμή Bias 0.3°C , ενώ το Φθινόπωρο μόλις -0.1°C . Τα μεγαλύτερα MAGÉ εμφανίζονται τον Χειμώνα και το Καλοκαίρι (MAGÉ ensemble 1.0°C και 1.1°C αντίστοιχα), ενώ το Φθινόπωρο έχει εμφανώς μικρότερη τιμή (0.6°C).

Συγκεκριμένα για το Καλοκαίρι υπάρχει ένα θετικό Bias στην νότια και νοτιοανατολική Ευρώπη από όλα σχεδόν τα μοντέλα. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι κάτι που εμφανίζεται στην βιβλιογραφία (Kotlarski et al. 2014) και έχει προταθεί ότι συνδέεται με την υποεκτίμηση της βροχόπτωσης τους καλοκαιρινούς μήνες για τις συγκεκριμένες περιοχές (Seneviratne et al., 2010). Η ιδέα είναι ότι η μικρότερη βροχόπτωση οδηγεί σε μικρότερη υγρασία του εδάφους που με την σειρά της οδηγεί σε μικρότερη εξάτμιση. Έτσι μειώνεται η ενέργεια που θα αποθηκευόταν ως λανθάνουσα θερμότητα και διατίθεται στην αισθητή ροή θερμότητας οδηγώντας σε αύξηση της θερμοκρασίας. Στην παρούσα εργασία υπάρχει όντως υποεκτίμηση της βροχόπτωσης σε εκτεταμένες περιοχές του κεντρικού και νότιου τμήματος της Ευρώπης την συγκεκριμένη περίοδο για αρκετά μοντέλα.

Στην συνέχεια εξετάζεται η συμπεριφορά μεμονωμένων μοντέλων. Για μεγαλύτερη ευκολία δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας με τις τιμές μέσου όρου Bias και MAGÉ για ολόκληρη την Ευρώπη ανά μοντέλο για κάθε εποχή. Με κόκκινο επισημαίνονται οι αρνητικές τιμές.

Πίνακας 5.1 : Μέσες τιμές Bias και MAGE της μέσης θερμοκρασίας (°C) ανά μοντέλο για όλες τις εποχές

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O ensemble
Χειμώνας	-0.8 (1.3)	-1.1 (1.2)	-0.8 (0.9)	-0.3 (0.8)	-0.1 (0.9)	0.3 (0.9)	-0.5 (1.0)
Άνοιξη	-1.3 (1.3)	-0.4 (0.5)	-0.6 (0.8)	-0.8 (0.9)	-0.3 (0.6)	-0.6 (0.8)	-0.7 (0.8)
Καλοκαίρι	0.3 (0.9)	0.7 (1.0)	-0.5 (1.0)	0.2 (1.0)	1.4 (1.5)	-0.6 (1.0)	0.3 (1.1)
Φθινόπωρο	-0.7 (0.8)	-0.2 (0.5)	-0.4 (0.6)	0.0 (0.5)	0.1 (0.8)	0.3 (0.7)	-0.1 (0.6)

Με κόκκινο παριστάνονται οι αρνητικές τιμές Bias ενώ με μαύρο χρώμα οι θετικές. Μέσα σε παρένθεση το MAGE (απόλυτο Bias).

Φαίνεται λοιπόν ότι το HIRHAM5 παρουσιάζει σταθερή υποεκτίμηση όλο τον χρόνο. Είναι το μοναδικό μοντέλο με αρνητικό μέσο όρο Bias και στις τέσσερις εποχές. Επίσης παρουσιάζει αρνητικούς μέσους όρους και στις περισσότερες υποπεριοχές για την εκάστοτε εποχή.

Το ALADIN53 είναι ένα μοντέλο με αυξημένο MAGE. Σε τρεις από τις τέσσερις εποχές (εκτός Καλοκαιριού) εμφανίζει το μεγαλύτερο MAGE από όλα τα μοντέλα. Στην χρονική σύγκριση με τις παρατηρήσεις (διαγράμματα Taylor) πάντως εμφανίζει ικανοποιητικές επιδόσεις. Υστερεί μονάχα στην εκτίμηση της τυπικής απόκλισης κυρίως για τον Χειμώνα (υποεκτίμηση) και το Καλοκαίρι (υπερεκτίμηση).

Αντιθέτως το CCLM4 παρουσιάζει ένα από τα μικρότερα MAGE για όλες τις εποχές πλην του Χειμώνα. Επίσης παρουσιάζει σταθερά την καλύτερη θέση στην σύγκριση σε χρονική βάση, κυρίως στο CRMS και την συσχέτιση. Στην τυπική απόκλιση έχει μία τάση να υπερεκτιμάει σχεδόν ποτέ όμως δεν εμφανίζει πολύ μεγάλες διαφορές (το Καλοκαίρι μόνο σε ορισμένες υποπεριοχές π.χ. EA,MD) από τις παρατηρήσεις. Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω θα μπορούσε να κριθεί ως το πιο επιτυχημένο μοντέλο.

Την χειρότερη θέση στα διαγράμματα Taylor, και για τα τρία metrics που έχουν, κατέχει στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το REGCM4, ιδιαίτερα για τον Χειμώνα και το Καλοκαίρι. Την Άνοιξη το φαινόμενο είναι λιγότερο εμφανές ενώ το Φθινόπωρο όλα τα μοντέλα έχουν έτσι και αλλιώς πολύ κοντινές θέσεις και καλές επιδόσεις. Το ενδιαφέρον είναι ότι το REGCM4 παρουσιάζει το μεγαλύτερο μέσο όρο MAGE για το Καλοκαίρι αλλά και το Φθινόπωρο ενώ για τον Χειμώνα και την Άνοιξη έχει μία από τις μικρότερες τιμές.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι δεν υπάρχει πάντοτε αντιστοιχία μεταξύ ικανότητας στην χρονική σύγκριση (θέσης στο Taylor) και τιμής του MAGE. Τα διαγράμματα Taylor παρουσιάζουν την σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις ενώ το μέγεθος του MAGE εφόσον βασίζεται σε κελί προς κελί σύγκριση με τις παρατηρήσεις αποτελεί χωρική σύγκριση. Θεωρητικά μια μειωμένη ικανότητα του μοντέλου στην χρονική σύγκριση θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγάλο σφάλμα χωρίς όμως αυτό να είναι απολύτως απαραίτητο. Επίσης ένα μοντέλο μπορεί να έχει πολύ καλή χρονική σύγκριση και όμως να εμφανίζει ιδιαίτερα μεγάλο MAGE. Πολύ μεγάλο ρόλο στο MAGE παίζει όχι μόνο η σωστή μορφή της κατανομής

των δεδομένων του μοντέλου, η καλή συσχέτιση και εκτίμηση της διασποράς αλλά και το αν η κατανομή του μοντέλου είναι λιγότερο ή περισσότερο μετατοπισμένη σε σχέση με αυτήν των παρατηρήσεων. Έτσι κανένα metric δεν είναι επαρκές από μόνο του, ενώ μαζί με το MAGE και την χρονική σύγκριση πρέπει σίγουρα να λαμβάνεται υπόψη και το θηκόγραμμα.

Επίσης ως γενικό συμπέρασμα από την χρονική σύγκριση των μοντέλων προκύπτει ότι η χρονική συσχέτιση είναι πολύ καλή σε όλες τις εποχές και για την πλειοψηφία των μοντέλων. Οι καλύτερες τιμές χρονικής συσχέτισης παρουσιάζονται την Άνοιξη και το Φθινόπωρο με τιμές συντελεστή πάνω από 0.95. Τον Χειμώνα και το Καλοκαίρι η συσχέτιση είναι λίγο χειρότερη, αλλά πάντοτε σε πολύ καλά επίπεδα, με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 0.8 και 0.95. Επίσης το Φθινόπωρο και την Άνοιξη οι τιμές MAGE του ensemble (0.6°C και 0.8°C) είναι σαφώς μικρότερες από τις τιμές του Χειμώνα και του Καλοκαιριού (1.0°C και 1.1°C). Είναι επομένως προφανές ότι το συγκεκριμένο ensemble παρουσιάζει την καλύτερη σύμπτωση με τις παρατηρήσεις τις εποχές του Φθινοπώρου και της Άνοιξης και επομένως οι μελλοντικές κλιματικές προσομοιώσεις του μπορούν να θεωρηθούν περισσότερο αξιόπιστες

Εξετάζοντας την συμπεριφορά των υποπεριοχών Prudence στις διάφορες εποχές προκύπτει ότι η υποπεριοχή με την σταθερότερη υποεκτίμηση είναι η SC. Η Σκανδιναβία είναι μάλιστα η μοναδική υποπεριοχή που έχει αρνητικό μέσο όρο Bias σε όλες τις εποχές.

Αντίθετα η EA είναι η υποπεριοχή με την πιο σταθερή υπερεκτίμηση. Παρουσιάζει αρνητικό μέσο όρο Bias μόνο σε μία εποχή, την Άνοιξη.

Είναι χαρακτηριστικό πάντως ότι όλες οι υπόλοιπες υποπεριοχές έχουν αρνητικό μέσο όρο Bias σε τρεις από τις τέσσερις εποχές. Μάλιστα σε υποπεριοχές όπως οι BI, AL το Bias της τέταρτης εποχής δεν είναι θετικό αλλά μηδέν οπότε είναι ακόμη πιο φανερή η υποεκτίμηση. Τα νούμερα αυτά παρουσιάζονται περισσότερο εποπτικά και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.2 : Μέσες τιμές Bias και MAGE ($^{\circ}\text{C}$) του ensemble στην μέση θερμοκρασία ανά υποπεριοχή για όλες τις εποχές

	BI	IP	FR	ME	SC	AL	MD	EA
Χειμώνας	0.0 (0.7)	-0.8 (1.1)	-0.2 (0.7)	-0.1 (0.6)	-0.3 (1.2)	-1.1 (1.5)	-1.0 (1.4)	0.1 (0.8)
Άνοιξη	-0.4 (0.5)	-0.6 (0.7)	-0.6 (0.6)	-0.5 (0.5)	-1.0 (1.1)	-1.4 (1.5)	-0.4 (0.8)	-0.3 (0.6)
Καλοκαίρι	-0.3 (0.7)	0.9 (1.2)	0.3 (1.0)	0.1 (0.8)	-0.8 (1.0)	0.0 (1.1)	1.1 (1.3)	0.8 (1.3)
Φθινόπωρο	-0.1 (0.5)	-0.2 (0.6)	-0.1 (0.4)	-0.1 (0.5)	-0.4 (0.7)	-0.6 (1.0)	-0.3 (0.9)	0.3 (0.7)

Με κόκκινο παριστάνονται οι αρνητικές τιμές Bias ενώ με μαύρο χρώμα οι θετικές. Μέσα σε παρένθεση το MAGE (απόλυτο Bias).

Η υποπεριοχή που παρουσιάζει σταθερά το μεγαλύτερο MAGΕ είναι οι Άλπεις. Εμφανίζει το μεγαλύτερο σφάλμα από όλα τα μοντέλα σε τρεις από τις τέσσερις εποχές, εκτός του καλοκαιριού. Ακόμη και τότε όμως η τιμή του MAGΕ είναι κοντά στις υψηλότερες τιμές που εμφανίζονται. Ειδικά τον Χειμώνα και την Άνοιξη το MAGΕ των Άλπεων είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με τις περισσότερες υπόλοιπες υποπεριοχές. Εκτός των Άλπεων οι υποπεριοχές που εμφανίζουν τα υψηλότερα MAGΕ είναι κυρίως η MD και σε κάποιες εποχές οι ΕΑ,SC. Το ότι οι Άλπεις και η Σκανδιναβία είναι υποπεριοχές με μεγάλα MAGΕ ήταν μάλλον αναμενόμενο. Πρόκειται για δύο υποπεριοχές με αρκετά ορεινό ανάγλυφο σε μεγάλη έκτασή τους. Συνήθως σε ορεινές περιοχές η διαφορά μεταξύ της ορογραφίας των παρατηρήσεων με αυτήν του μοντέλου είναι μεγαλύτερη. Η διόρθωση της θερμοκρασίας που έγινε αντιμετωπίζει το πρόβλημα διαφοράς ορογραφίας αλλά εφόσον χρησιμοποιείται για όλες τις περιοχές η ίδια κατακόρυφη θερμοβαθμίδα ($-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$) δεν αποτελεί παρά μια υπεραπλούστευση. Ιδιαίτερα σε πολύ ορεινές συνθήκες όπου η κατακόρυφη πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να είναι αρκετά διαφορετική. Επίσης τόσο στις βόρειες όσο και στις ορεινές περιοχές σημαντικό ρόλο στην κλιματική κατάσταση παίζει η ύπαρξη χιονοκάλυψης για εκτεταμένα χρονικά διαστήματα. Έτσι αυξημένα σφάλματα σε αυτές τις περιοχές μπορεί να σχετίζονται και με αδυναμία προσομοίωσης της επίδρασης της χιονοκάλυψης στο περιβάλλον. Είναι γνωστό ότι η χιονοκάλυψη έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην ανακλαστικότητα του εδάφους με αποτέλεσμα να ρυθμίζει το ποσό της ακτινοβολίας που διατίθεται σε αυτό προς απορρόφηση κάτι που έχει φυσικά πολύ μεγάλη σημασία στο καθεστώς της θερμοκρασίας.

Από την άλλη οι υποπεριοχές με τους μικρότερους μέσους όρους MAGΕ είναι οι ΒΙ,FR και ΜΕ. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε όλες τις εποχές τόσο το μικρότερο όσο και το δεύτερο μικρότερο MAGΕ τα εμφανίζουν κάποιες από τις παραπάνω υποπεριοχές.

Εξετάζοντας την τυπική απόκλιση, παρατηρούμε ότι αν θεωρηθεί ο μέσος όρος του ensemble για ολόκληρη την Ευρώπη, τότε οι τιμές των μοντέλων παρουσιάζουν μεγάλη σύμπτωση με αυτές των παρατηρήσεων. Το Καλοκαίρι μόνο φαίνεται να υπάρχει η μεγαλύτερη διαφορά με τις παρατηρήσεις με εμφανή υπερεκτίμηση από όλα τα μοντέλα. Η υπερεκτίμηση αυτή έχει παρατηρηθεί και σε αρκετές άλλες περιπτώσεις στην βιβλιογραφία (Lenderink et al. 2007, Vidale et al. 2007, Kotlarski et al.2014). Εάν ληφθεί υπόψη ότι σύμφωνα με τα παρατηρησιακά δεδομένα το Φθινόπωρο και η Άνοιξη εμφανίζουν αυξημένη, σχεδόν διπλάσια, τυπική απόκλιση από τις υπόλοιπες εποχές μπορεί να ειπωθεί ότι όλα τα μοντέλα προσομοιώνουν με ικανοποιητικό τρόπο αυτήν την αυξημένη διασπορά της θερμοκρασίας.

Πίνακας 5.3 : Μέσοι όροι τυπικής απόκλισης ($^{\circ}\text{C}$) για την μέση θερμοκρασία για ολόκληρη την Ευρώπη

Εποχή	T std EOBS	T std Ensemble
Χειμώνας	2.0	1.9 (1.7-2.1)
Άνοιξη	3.5	3.6 (3.5-3.8)
Καλοκαίρι	1.7	2.1 (1.8-2.4)
Φθινόπωρο	4.1	4.1 (3.9-4.5)

Σε παρένθεση δίνεται το εύρος των μέσων τιμών τυπικής απόκλισης των μοντέλων για την εκάστοτε εποχή.

6. Συμπεράσματα Βροχόπτωσης

Όπως και για την μέση θερμοκρασία έτσι και για την βροχόπτωση όλα τα μοντέλα μπορούν και προσομοιώνουν τα βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος της Ευρώπης καθώς και την μεταβλητότητα του σε χρονική και χωρική βάση. Οι τιμές του Bias στο μεγαλύτερο κομμάτι της Ευρώπης εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές, ανάλογα όμως με την εποχή και το μοντέλο σε πολλές υποπεριοχές μπορεί να υπάρξουν αξιόλογες εκτάσεις μη στατιστικά σημαντικών διαφορών. Τα περισσότερα μοντέλα παρουσιάζονται υγρά για όλες τις εποχές περισσότερο έντονο όμως είναι το φαινόμενο για την εποχή της Άνοιξης. Επίσης την ίδια εποχή υπάρχει εμφανής υπερεκτίμηση της τυπικής απόκλισης. Η χρονική σύγκριση με τις παρατηρήσεις είναι χειρότερη σε σχέση με την θερμοκρασία ενώ τον Χειμώνα υπάρχει καλύτερη χρονική συσχέτιση σε σχέση με το Καλοκαίρι.

Η γενική εικόνα που διαφαίνεται εξετάζοντας το Bias είναι ότι υπάρχει υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι περισσότεροι μέσοι όροι Bias για όλες τις εποχές και όλα τα μοντέλα παίρνουν θετικές τιμές ενώ και οι μέσοι όροι του ensemble για όλες τις εποχές είναι θετικοί. Η τάση υπερεκτίμησης είναι πολύ πιο εμφανής και ισχυρή για την Άνοιξη με μέσο όρο Bias% 30% και δευτερευόντως για τον Χειμώνα (16%).

Το Καλοκαίρι εμφανίζεται σε όλα σχεδόν τα μοντέλα ένα συγκεκριμένο χωρικό μοτίβο στο Bias με θετικές τιμές στον Βορρά και αρνητικές τιμές, άρα υποεκτίμηση, στον Νότο αλλά και σε εκτεταμένα τμήματα της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης. Υπενθυμίζεται ότι αρκετά μοντέλα εμφανίζονται θερμά στις αντίστοιχες περιοχές και ότι έχει προταθεί στην βιβλιογραφία η ενδεχόμενη σύνδεση της υπερεκτίμησης της θερμοκρασίας με την υποεκτίμηση της βροχόπτωσης. Είναι ενδιαφέρον ότι το ALADIN53 φαίνεται να αποτελεί την εξαίρεση στην παραπάνω κατάσταση. Το μοντέλο αυτό σε αντίθεση με τα υπόλοιπα παρουσιάζεται έντονα υγρό στις νότιες περιοχές το Καλοκαίρι, (+56% στην MD, +40% στην IP) αλλά ταυτόχρονα είναι και θερμό στις ίδιες τοποθεσίες. Δεν φαίνεται λοιπόν στο συγκεκριμένο μοντέλο και στις συγκεκριμένες περιοχές η βροχόπτωση να επηρεάζει ισχυρά την θερμοκρασία. Επειδή, όπως ειπώθηκε και στην παράγραφο των συμπερασμάτων της θερμοκρασίας, ένας προτεινόμενος μηχανισμός συνδέει τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση μέσω της υγρασίας του εδάφους η προηγούμενη κατάσταση μπορεί να αποτελεί ένδειξη διαφοροποίησης στο σχήμα και στις παραμετροποιήσεις με τις οποίες σχετίζεται η προσομοίωση της υγρασίας του εδάφους από το ALADIN53. Θα είχε επομένως ενδιαφέρον να διερευνηθεί η συγκεκριμένη μεταβλητή, αλλά και άλλες μεταβλητές που επηρεάζουν την θερμοκρασία (π.χ. ακτινοβολία, νεφοκάλυψη) για να διαπιστωθούν οι λόγοι και βαθύτεροι μηχανισμοί οι οποίοι οδηγούν στην συγκεκριμένη αύξηση της θερμοκρασίας παρά την υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης.

Πίνακας 6.1 : Μέσες τιμές Bias, Bias% και MAGE της ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day) ανά μοντέλο για όλες τις εποχές

	Aladin53	CCLM4	HIRHAM5	RCA4	REGCM4	WRF331F	M.O ensemble
Χειμώνας	0.1 (0.5) 3%	0.1 (0.5) 6%	0.7 (1.0) 32%	0.5 (0.8) 23%	0.4 (0.8) 20%	0.2 (0.7) 11%	0.3 (0.7) 16%
Άνοιξη	0.7 (0.8) 38%	0.3 (0.5) 14%	0.6 (0.9) 30%	0.7 (1.0) 39%	0.6 (0.7) 30%	0.5 (0.7) 28%	0.6 (0.7) 30%
Καλοκαίρι	0.3 (0.5) 13%	-0.4 (0.5) -18%	0.0 (0.7) 0%	0.1 (0.7) 3%	0.0 (0.4) -1%	0.5 (0.6) 23%	0.1 (0.6) 3%
Φθινόπωρο	0.0 (0.5) 0%	-0.3 (0.5) -11%	0.4 (1.0) 16%	0.3 (0.8) 10%	0.4 (0.7) 15%	-0.1 (0.6) -6%	0.1 (0.7) 4%

Με κόκκινο παριστάνονται οι αρνητικές τιμές Bias ενώ με μαύρο χρώμα οι θετικές. Μέσα σε παρένθεση το MAGE (απόλυτο Bias).

Πίνακας 6.2 : Μέσες τιμές Bias, Bias% και MAGE (mm/day) του ensemble στην ημερήσια βροχόπτωση ανά υποπεριοχή για όλες τις εποχές

	BI	IP	FR	ME	SC	AL	MD	EA
Χειμώνας	-0.4 (0.7) -10%	0.1 (0.6) 4%	0.5 (0.6) 27%	0.5 (0.6) 27%	0.4 (0.6) 22%	0.7 (1.2) 28%	0.3 (0.9) 14%	0.6 (0.6) 53%
Άνοιξη	0.2 (0.5) 9%	0.2 (0.6) 11%	0.5 (0.6) 27%	0.6 (0.6) 34%	0.7 (0.8) 49%	1.1 (1.4) 37%	0.5 (0.8) 32%	0.7 (0.8) 49%
Καλοκαίρι	0.0 (0.4) -2%	0.0 (0.3) 5%	-0.1 (0.4) -7%	0.1 (0.5) 3%	0.5 (0.7) 22%	-0.1 (1.1) -2%	0.1 (0.4) 9%	0.0 (0.7) 1%
Φθινόπωρο	-0.4 (0.6) -10%	-0.1 (0.7) -4%	0.0 (0.4) 2%	0.3 (0.4) 12%	0.5 (0.7) 20%	0.2 (1.4) 5%	0.1 (0.9) 2%	0.3 (0.5) 16%

Με κόκκινο παριστάνονται οι αρνητικές τιμές Bias ενώ με μαύρο χρώμα οι θετικές. Μέσα σε παρένθεση το MAGE (απόλυτο Bias).

Από τους παραπάνω πίνακες γίνεται φανερό ότι στην συντριπτική τους πλειοψηφία οι μεσοποιημένες τιμές Bias είναι θετικές.

Εξετάζοντας τις τιμές των υποπεριοχών η μόνη που φαίνεται να παρουσιάζει μια αξιόλογη υποεκτίμηση είναι η BI η οποία εμφανίζει αρνητικό Bias% σε τρεις εποχές με τον Χειμώνα και το Φθινόπωρο η τιμή να φτάνει το -10%.

Η υποπεριοχή με την μεγαλύτερη και σταθερότερη υπereκτίμηση είναι η SC. Σε όλες τις εποχές η τιμή του Bias είναι αρκετά κοντά στην τιμή του MAGΕ, κάτι που σημαίνει εκτεταμένη και σταθερή υπereκτίμηση, ενώ το Bias% δεν πέφτει κάτω από 20%. Επίσης η ΕΑ πλην του Καλοκαιριού εμφανίζει αρκετά σταθερή υπereκτίμηση με τιμές Bias% αρκετά αυξημένες για το Χειμώνα και την Άνοιξη (53% και 49% αντίστοιχα).

Οι Άλπεις είναι η υποπεριοχή η οποία σταθερά κατέχει σε όλες τις εποχές το μεγαλύτερο MAGΕ. Αυτό είναι ως ένα βαθμό αναμενόμενο λόγω της πολύ ιδιόμορφης χωρικής μεταβλητότητας της ορογραφίας της υποπεριοχής. Το αυξημένο MAGΕ όμως δεν συνδυάζεται σε όλες τις εποχές και με αυξημένο θετικό Bias% καθώς το Καλοκαίρι και το Φθινόπωρο οι πεδινές περιοχές της AL εμφανίζουν επί το πλείστον αρνητικό Bias το οποίο σε συνδυασμό με το έντονο θετικό Bias των ορεινών εκτάσεων οδηγεί στην εμφάνιση μικρών τιμών Bias και κατά επέκταση και Bias%.

Το μοντέλο που φαίνεται να παρουσιάζει σε κάποιο βαθμό υποεκτίμηση είναι το CCLM4. Το συγκεκριμένο εμφανίζει αρνητικό μέσο όρο Bias για το Καλοκαίρι και το Φθινόπωρο με τα μη αμελητέα ποσοστά -18% και -11%. Επίσης για τις υπόλοιπες εποχές το CCLM4 εμφανίζει θετικό Bias αλλά με τις μικρότερες τιμές ανάμεσα στα μοντέλα. Όσον αφορά το MAGΕ το CCLM4 εμφανίζει την μικρότερη τιμή για όλες τις εποχές πλην του Καλοκαιριού όπου και πάλι έχει την δεύτερη μικρότερη. Επίσης είναι το μοντέλο που παρουσιάζει σταθερά σε όλες τις εποχές την καλύτερη θέση στην σύγκριση σε χρονική βάση με τις παρατηρήσεις και στα τρία metrics που χρησιμοποιούνται (CRMS, correlation, std). Ακόμα η κατανομή των καταστάσεων βροχόπτωσης του CCLM4 είναι από τις εγγύτερες στην κατανομή των παρατηρήσεων σε όλες τις εποχές. Έτσι λοιπόν λόγω όλων των παραπάνω μπορεί να ειπωθεί ότι το CCLM4 είναι το πιο επιτυχημένο μοντέλο.

Στην αντίθετη θέση όσον αφορά το MAGΕ βρίσκεται το HIRHAM5. Παρουσιάζει σε τρεις εποχές την μεγαλύτερη τιμή εκτός της Άνοιξης όπου έχει την δεύτερη μεγαλύτερη. Στην χρονική σύγκριση δεν μπορεί να ειπωθεί κάτι γενικό για το HIRHAM5 καθώς παρουσιάζει από πολύ καλές έως άσχημες επιδόσεις ανάλογα με την εποχή. Το μοντέλο με την σταθερά χειρότερη θέση για όλες τις εποχές στα διαγράμματα Taylor, και στα τρία metric, είναι το REGCM4. Η άσχημη χρονική σύγκριση δεν μεταφράζεται σε ιδιαίτερα μεγάλα μεσοποιημένα σφάλματα. Οι μέσοι όροι MAGΕ είναι μέτριου μεγέθους ενώ και οι τιμές του Bias% δεν είναι από τις μεγαλύτερες.

Πάντως είναι χαρακτηριστικό ότι το βασικό μοτίβο στα διαγράμματα Taylor είναι το ίδιο για κάθε εποχή, με ακόμη πιο απόλυτο τρόπο από ότι στην θερμοκρασία, με το CCLM4 να κατέχει την καλύτερη επίδοση, το REGCM4 την χειρότερη και με τα υπόλοιπα μοντέλα να εναλλάσσονται στις ενδιάμεσες θέσεις.

Κλείνοντας το κομμάτι των επιδόσεων για τα μοντέλα μεμονωμένα πρέπει να γίνει αναφορά σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα HIRHAM5 και RCA4. Τα συγκεκριμένα μοντέλα εμφανίζουν πολύ υψηλό θετικό Bias σε πολλές και διαφορετικές ορεινές εκτάσεις με αποτέλεσμα η

συγκεκριμένη αστοχία να μπορεί να θεωρηθεί ως ένα γενικό πρόβλημα εκτίμησης της βροχόπτωσης σε ορεινές περιοχές. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε όλες τις εποχές οι περισσότερες μεγάλες οροσειρές τις Ευρώπης σκιαγραφούνται με μεγάλη ακρίβεια στα διαγράμματα του Bias με έντονα κόκκινα χρώματα. Οι τιμές του Bias σε αυτές τις περιοχές ξεπερνούν πολλές φορές τα 5mm/day ποσό που αντιστοιχεί σε υπερεκτίμηση άνω του 200%. Τόσο υψηλές τιμές εμφανίζονται σπάνια στα υπόλοιπα μοντέλα ακόμα και στις εκτάσεις με μεγάλο υψόμετρο. Εξετάστηκε μήπως η αιτία του προβλήματος ήταν η αυξημένη διαφορά στις τιμές της ορογραφίας μεταξύ των συγκεκριμένων μοντέλων και των παρατηρησιακών δεδομένων αλλά τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Υπολογίστηκε το Bias στο υψόμετρο μεταξύ μοντέλων και παρατηρήσεων και φάνηκε ότι τα συγκεκριμένα μοντέλα στις ορεινές περιοχές δεν έχουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με τα EOBS. Υπάρχουν μάλιστα μοντέλα όπως το CCLM4 που παρουσιάζουν αρκετά μεγαλύτερες διαφορές στην ορογραφία σε σχέση με τα παραπάνω. Επίσης αυτή η υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης για τα HIRHAM5 και RCA4 δεν φαίνεται να σχετίζεται με μεγάλα Bias και MAGE στην θερμοκρασία καθώς αυτά τα μοντέλα δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα διαφορετική συμπεριφορά στις ορεινές εκτάσεις σε σχέση με τα υπόλοιπα για την μέση θερμοκρασία.

Κάτι που παρουσιάζει ενδιαφέρον στα διαγράμματα Taylor είναι ότι τον Χειμώνα παρατηρείται σαφέστατα καλύτερη συσχέτιση για όλα τα μοντέλα από ότι το Καλοκαίρι. Είναι χαρακτηριστικό ότι το τυπικό εύρος των συντελεστών συσχέτισης για τον Χειμώνα είναι 0.7-0.95 ενώ για το Καλοκαίρι μόλις 0.6-0.75. Αυτό είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην φύση των φαινομένων που καθορίζουν τις ποσότητες της βροχόπτωσης για κάθε εποχή. Έτσι λοιπόν επειδή συνήθως θεωρείται ότι τον Χειμώνα το κλίμα της Ευρώπης κυριαρχείται από φαινόμενα μεγάλης και συνοπτικής κλίμακας είναι πιο εύκολο σε ένα κλιματικό μοντέλο να αποδώσει την χρονική τους εξέλιξη. Αντίθετα το Καλοκαίρι μεγάλη επίδραση έχουν και πολλές διεργασίες τοπικής κλίμακας τις οποίες μάλιστα κλιματικά μοντέλα ιδιαίτερα αυτά με μικρή ανάλυση όπως το συγκεκριμένο ensemble ($0.44^\circ \sim 50\text{km}$), έχουν δυσκολίες να εκτιμήσουν με απόλυτη ακρίβεια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η θερμική ανωμεταφορά (Convection) η οποία μπορεί να είναι πολύ μικρής κλίμακας και ιδιαίτερα έντονη το Καλοκαίρι.

Εξετάζοντας την τυπική απόκλιση γίνεται φανερό ότι γενικά υπάρχει αρκετά καλή σύμπτωση των εκτιμήσεων με τις παρατηρήσεις. Την εποχή της Άνοιξης όμως παρουσιάζεται εμφανής υπερεκτίμηση από όλα τα μοντέλα. Επομένως η ισχυρά υγρή μετατόπιση του κλίματος που περιγράφουν τα μοντέλα για την Άνοιξη είναι πολύ πιθανό να συνδέεται με αδυναμία εκτίμησης της διασποράς της βροχόπτωσης. Από τα θηκογράμματα φαίνεται ότι το πρόβλημα στην τυπική απόκλιση συνδέεται κυρίως με αδυναμία εκτίμησης του ενδοτεταρτομοριακού εύρους (IQR) και όχι της έκτασης του εύρους η οποία είναι παρόμοια με των παρατηρήσεων. Όσον αφορά το εύρος όμως είναι εμφανές ότι είναι μετατοπισμένο προς υγρότερες καταστάσεις με τα άνω όρια ειδικά να εκτείνονται σε καταστάσεις αρκετά μεγαλύτερης βροχόπτωσης σε σχέση με τις παρατηρήσεις.

Πίνακας 6.3: Μέσοι όροι τυπικής απόκλισης (mm/day) για την ημερήσια βροχόπτωση για ολόκληρη την Ευρώπη

Εποχή	Pr std EOBS	Pr std Ensemble
Χειμώνας	1.3	1.3 (1.3-1.5)
Άνοιξη	1.1	1.3 (1.2-1.4)
Καλοκαίρι	1.1	1.2 (1.1-1.4)
Φθινόπωρο	1.4	1.4 (1.3-1.6)

Σε παρένθεση δίνεται το εύρος των μέσων τιμών τυπικής απόκλισης των μοντέλων για την εκάστοτε εποχή.

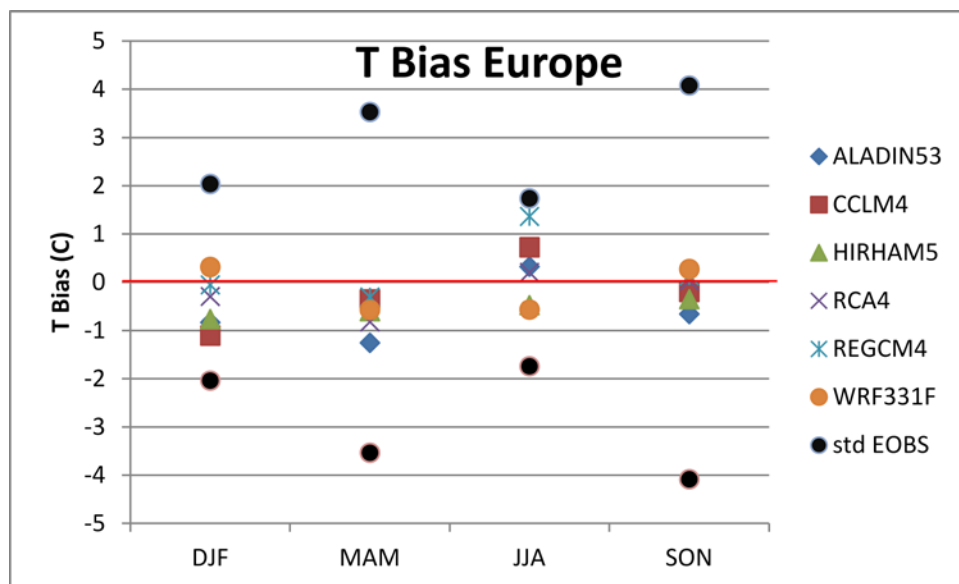
7. Αναγκαιότητα χρήσης ensemble

Από όλα σχεδόν τα στάδια της ανάλυσης στην παρούσα εργασία, γίνεται φανερό ότι οι διαφορετικές προσομοιώσεις παρουσιάζουν σε πολλές περιπτώσεις πολύ διαφορετικά αποτελέσματα τα οποία μάλιστα κάποιες φορές είναι εκ διαμέτρου αντίθετα. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 5.1, το WRF331F είναι θερμό για το Χειμώνα ενώ όλα τα υπόλοιπα μοντέλα εμφανίζονται ψυχρά. Ακόμα μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ προσομοιώσεων εμφανίζονται στις υποπεριοχές. Ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί η βροχόπτωση για το Καλοκαίρι, όπου το ALADIN53 εμφανίζεται υγρό με +56% Bias ενώ το CCLM4 έχει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά με αρνητικό Bias -43%. Επίσης οι διαφορές μεταξύ των προσομοιώσεων του ensemble δεν περιορίζονται μόνο στο Bias αλλά επεκτείνονται και σε όλους τους τομείς που μελετήθηκαν όπως είναι η διασπορά των δεδομένων, η μορφή της κατανομής τους (θηκογράμματα) και η χρονική σύγκριση με τις παρατηρήσεις (Taylor).

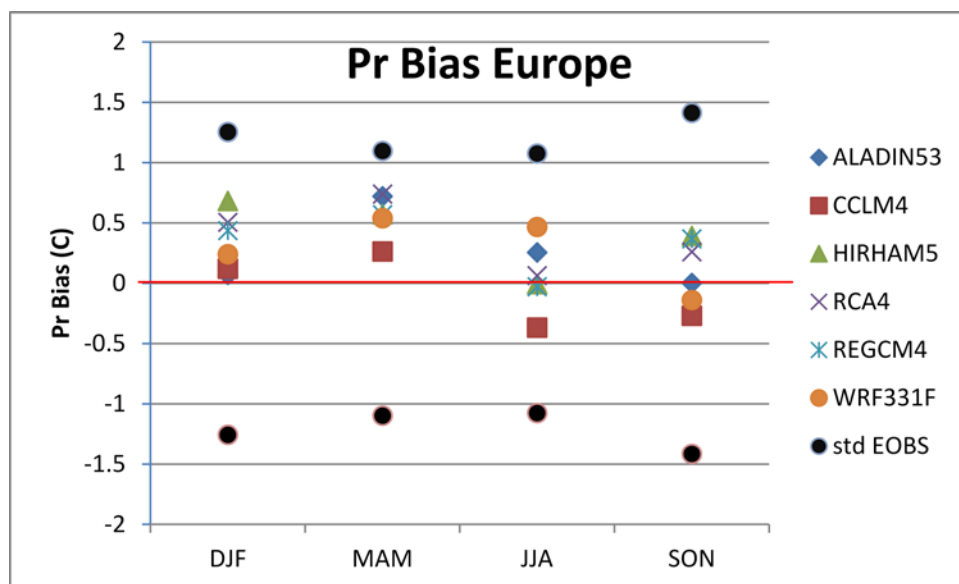
Γυρίζοντας πίσω στο Bias έγινε μία προσπάθεια να καθοριστεί καλύτερα το μέγεθος του εύρους των διαφορετικών συμπεριφορών των μοντέλων συγκρίνοντάς το με την διασπορά των παρατηρήσεων. Αυτό φαίνεται πολύ καθαρά στα διαγράμματα 7.1-7.2 και 7.3-7.4. Στα διαγράμματα 7.1,7.2 παριστάνονται οι μέσοι όροι Bias των μοντέλων (για ολόκληρη την Ευρώπη) για κάθε εποχή. Προφανώς η τιμή μηδέν Bias που παριστάνεται με κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στις παρατηρήσεις. Επίσης πάνω και κάτω από την γραμμή των παρατηρήσεων έχει παρασταθεί με μαύρο κύκλο η μέση τιμή τυπικής απόκλισης των παρατηρήσεων. Έτσι τα διαγράμματα αυτά προσφέρουν με μία ματιά μία εικόνα για το μέγεθος του εύρους του Bias των μοντέλων σε σχέση με την διασπορά των παρατηρήσεων. Τα διαγράμματα 7.3 και 7.4 απλά παριστάνουν με στήλες τις τιμές του εύρους του Bias και της τυπικής απόκλισης των παρατηρήσεων για την καλύτερη σύγκρισή τους. Φαίνεται λοιπόν ότι σε αρκετές περιπτώσεις, Καλοκαίρι-Χειμώνας για την θερμοκρασία και για όλες τις εποχές για την βροχόπτωση, το εύρος του Bias είναι συγκρίσιμο με την τυπική απόκλιση. Ακόμη και όταν αποτελεί ένα μικρό κλάσμα της τυπικής απόκλισης, για παράδειγμα το μισό της τυπικής απόκλισης όπως συμβαίνει στην βροχόπτωση την Άνοιξη, είναι αρκετό για να θεωρηθεί ότι το εύρος των διαφορετικών συμπεριφορών

των μοντέλων (το εύρος του Bias δηλαδή) είναι μεγάλο καθώς αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν κλιματικές προσομοιώσεις οι μέσοι όροι των οποίων για την υπό εξέταση μεταβλητή βρίσκονται σε αρκετά διαφορετικά σημεία της κατανομής των παρατηρήσεων. Επί της ουσίας η σύγκριση του εύρους του Bias με την διασπορά των παρατηρήσεων μας επιτρέπει να αποφανθούμε με πιο απόλυτο τρόπο ότι σε πολλές περιπτώσεις οι διαφορές μεταξύ των κλιματικών προσομοιώσεων που εξετάστηκαν είναι μεγάλες.

Επομένως αφού υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην εκτίμηση του παρελθοντικού κλίματος είναι πιθανό αυτές να επηρεάσουν και την μελλοντική προσομοίωσή του. Έτσι οι τάσεις και η εικόνα του μελλοντικού κλίματος που παρουσιάζει το κάθε μοντέλο μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές, με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η χρησιμοποίηση όλων των διαθέσιμων προσομοιώσεων με στόχο να διερευνηθούν όλες οι δυνατές μελλοντικές κλιματικές καταστάσεις. Γίνεται δηλαδή φανερό πόσο σημαντική και αναγκαία είναι η χρήση ensemble σε σχέση με μεμονωμένες κλιματικές προσομοιώσεις.

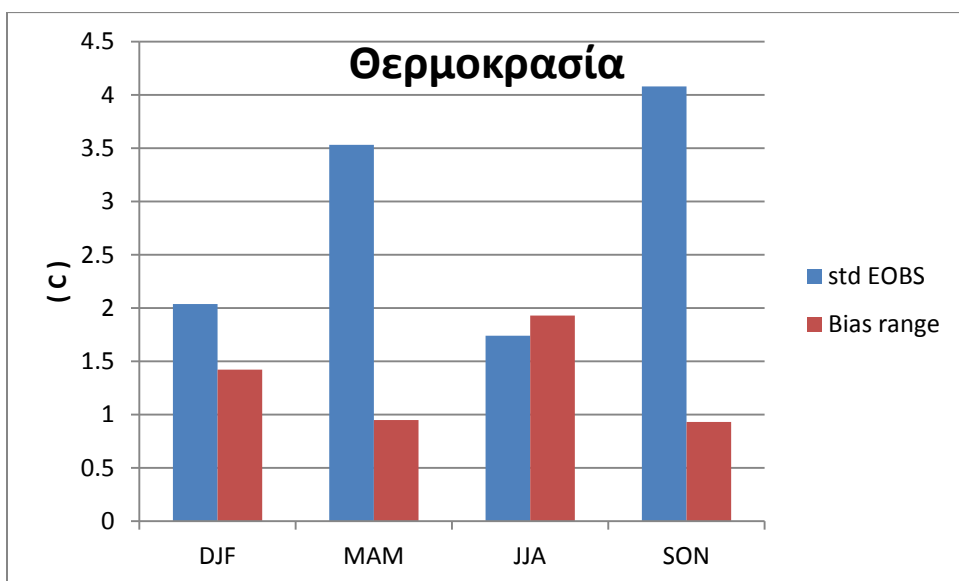


Διάγραμμα 7.1 : Μέσοι όροι Bias μέσης θερμοκρασίας των μοντέλων για κάθε εποχή και τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων

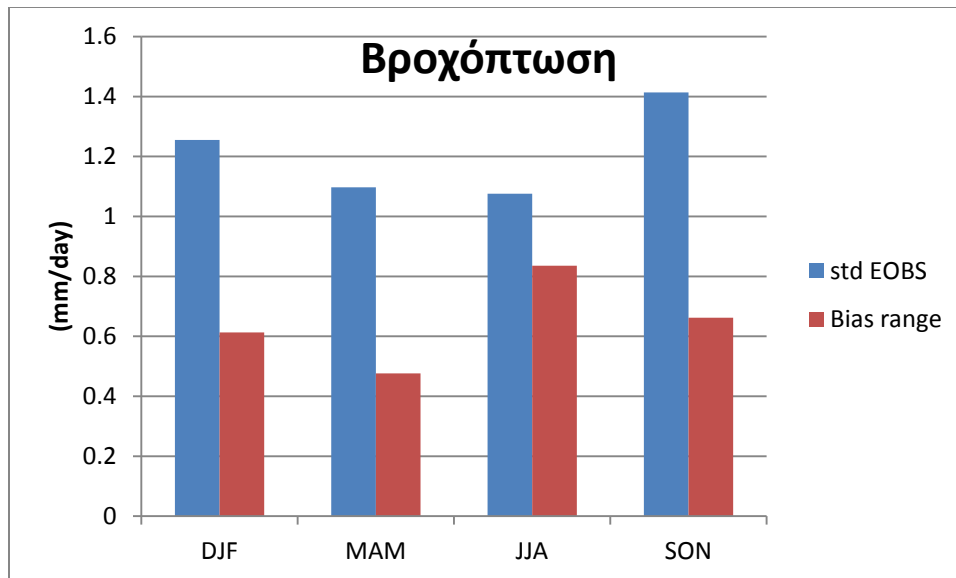


Διάγραμμα 7.2 : Μέσοι όροι Bias ημερήσιας βροχόπτωσης των μοντέλων για κάθε εποχή και τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων.

Με μαύρους κύκλους η μέση τιμή τυπικής απόκλισης των παρατηρήσεων πάνω και κάτω από το μηδέν. Η κόκκινη γραμμή μηδενικού Bias ταυτίζεται με τα παρατηρησιακά δεδομένα. Με τα υπόλοιπα σύμβολα οι μέσοι όροι Bias του κάθε μοντέλου για ολόκληρη την περιοχή της Ευρώπης.



Διάγραμμα 7.3 : Το εύρος του Bias στην μέση θερμοκρασία σε σχέση με την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων για κάθε εποχή



Διάγραμμα 7.4 : Το εύρος του Bias στην ημερήσια βροχόπτωση σε σχέση με την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων για κάθε εποχή

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τα διαγράμματα 7.3 και 7.4 είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και για τα 7.1 και 7.2, δηλαδή οι μέσοι όροι Bias των μοντέλων για ολόκληρη την Ευρώπη και η μέση τιμή τυπικής απόκλισης των παρατηρήσεων. Το εύρος του Bias υπολογίστηκε ως η μέγιστη μείον την ελάχιστη μέση τιμή Bias, μεταξύ των μέσων τιμών Bias των μοντέλων για την εκάστοτε εποχή.

8. Επίλογος-Θέματα για επέκταση

Βασικός στόχος της εργασίας ήταν να καταδειχθεί ο βαθμός αναπαραγωγής των χαρακτηριστικών του παρελθοντικού κλίματος από το συγκεκριμένο ensemble προσομοιώσεων και να αναδειχθούν τα συστηματικά σφάλματα και οι τομείς με τα μεγαλύτερα προβλήματα. Ο στόχος αυτός σε πολύ μεγάλο βαθμό επιτεύχθηκε. Παρουσιάστηκαν εκτενώς τα χαρακτηριστικά της κάθε προσομοίωσης τόσο σε χωρική όσο και σε χρονική σύγκριση με τις παρατηρήσεις για όλες τις εποχές. Επίσης καταδείχτηκαν οι βασικοί τομείς στους οποίους το συγκεκριμένο ensemble παρουσιάζει τα μεγαλύτερα προβλήματα. Δηλαδή οι μεταβλητές, περιοχές, εποχές, καθώς και τα μοντέλα με τις μεγαλύτερες αδυναμίες προσομοίωσης του παρελθοντικού κλίματος. Τέλος φάνηκε σε όλη την διάρκεια της ανάλυσης πόσο σημαντική είναι η χρήση ομάδων προσομοιώσεων σε συνδυασμό με τη μελέτη μεμονωμένων κλιματικών προσομοιώσεων.

Στο σημείο αυτό έχει πολύ ενδιαφέρον να αναφερθούν ορισμένες κατευθύνσεις στις οποίες θα μπορούσε να κινηθεί η μελλοντική έρευνα επεκτείνοντας τα αποτελέσματα και συμπεράσματα της παραπάνω εργασίας.

Η μία αφορά την αξιολόγηση και άλλων μεταβλητών πέρα της μέσης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Οι μεταβλητές που θα είχαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι αυτές της ακτινοβολίας, νεφοκάλυψης, παγοκάλυψης και υγρασίας εδάφους. Η μελέτη των συγκεκριμένων μεταβλητών θα μπορούσε να εξηγήσει καλύτερα ορισμένα προβλήματα που εμφανίζονται στην θερμοκρασία και την βροχόπτωση αποκαλύπτοντας παράλληλα και τους φυσικούς μηχανισμούς στους οποίους οι κλιματικές προσομοιώσεις παρουσιάζουν αδυναμίες οδηγώντας στα παραπάνω προβλήματα.

Τέλος η δεύτερη κατεύθυνση αφορά την μελέτη των ακραίων τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς των προσομοιώσεων και στις ακραίες τιμές είναι πολύ σημαντική καθώς οι ακραίες τιμές απασχολούν ιδιαίτερα τις μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε την βάση δεδομένων E-OBS από το πρόγραμμα EU-FP6 ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) και τον πάροχο των δεδομένων, το πρόγραμμα ECA&D (<http://www.ecad.eu>).

Ευχαριστούμε το πρόγραμμα EURO-CORDEX στο οποίο εντάσσονται οι προσομοιώσεις που μελετήθηκαν.

Ευχαριστούμε το Earth System Grid Federation (ESGF) από την ιστοσελίδα του οποίου έγινε δυνατή η απόκτηση των δεδομένων των προσομοιώσεων που μελετήθηκαν.

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, κ.Κατράγκου Ελένη, κ.Καρακώστα Θεόδωρο και κ. Ζάνη Πρόδρομο για την πολύτιμη βοήθεια που παρείχαν και την αμέριστη συμπαράσταση και κατανόηση που επέδειξαν σε κάθε βήμα της παρούσης διατριβής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bellprat, O., S. Kotlarski, D. Lüthi, and C. Schär (2012), Objective calibration of regional climate models, *J. Geophys. Res.*, 117, D23115, doi:10.1029/2012JD018262.

Chen, F.-W. Chen, W.-L., Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan, *Paddy Water Environ* (2012) 10:209–222, doi 10.1007/s10333-012-0319-1

Christensen, J. H., Carter, T. R., Rummukainen, M., and Amanatidis, G.: Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project, *Climatic Change*, 81, 1–6, 2007.

Christensen, J. H., Kjellström, E., Giorgi, F., Lenderink, G., and Rummukainen, M.: Weight assignment in regional climate models, *Clim. Res.*, 44, 179–194, 2010.

Colin, J., M. Déqué, R. Radu and S. Somot, 2010 : Sensitivity study of heavy precipitation in Limited Area Model climate simulations: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique, *Tellus-A*, 62-5, 591–604.

García-Díez, Markel, Fernández, J., and Vautard, R.: An RCM Multi-Physics Ensemble over Europe: Multi-Variable Evaluation to Avoid Error Compensation, *Clima. Dynam.*, 1–16. doi:10.1007/s00382-015-2529-x, 2015.

Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T., Tawfik, A., Shalaby, A., Zakey, A., Steiner, A., Stordal, F., Sloan, L. and Brankovic, C.: RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains, *Clim. Res.*, 52, 7–29, doi:10.3354/cr01018, 2012.

Gleckler, P. J., K. E. Taylor, and C. Doutriaux (2008), Performance metrics for climate models, *J. Geophys. Res.*, 113, D06104, doi:10.1029/2007JD008972.

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., and New, M.: A European daily highresolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006, *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201, 2008.

Hofstra, N., M. Haylock, M. New, and P. D. Jones (2009), Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature, *J. Geophys. Res.*, 114, D21101, doi:10.1029/2009JD011799.

Katragkou, E., García-Díez, M., Vautard, R., Sobolowski, S., Zanis, P., Alexandri, G., Cardoso, R. M., Colette, A., Fernandez, J., Gobiet, A., Goergen, K., Karacostas, T., Knist, S., Mayer, S., Soares, P. M. M., Pytharoulis, I., Tegoulis, I., Tsikerdekis, A., and Jacob, D., Regional climate hindcast simulations within EURO-CORDEX: evaluation of a WRF multi-physics ensemble *Geosci. Model Dev.*, 8, 603–618, 2015

Kjellström, E., Boberg, F., de Castro, M., Christensen, J. H., Nikulin, G., and Sánchez, E.: Daily and monthly temperature and precipitation statistics as performance indicators for regional climate models, *Clim. Res.*, 44, 135–150, 2010. doi:10.3354/cr00932

Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O. B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., and Wulfmeyer, V.: Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble, *Geosci. Model Dev.*, 7, 1297–1333, doi:10.5194/gmd-7-1297-2014, 2014.

Seneviratne, S. I., Lüthi, D., Litschi, M., and Schär, C.: Land-atmosphere coupling and climate change in Europe, *Nature*, 443, 205–209, 2006. doi:10.1038/nature05095

Taylor, K. E.: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *J. Geophys. Res.*, 106, 7183, doi:10.1029/2000JD900719, 2001.

Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D., Belda, M., Colette, A., Déqué, M., Fernández, J., García-Díez, M., Goergen, K., Güttler, I., Halenka, T., Karacostas, T., Katragkou, E., Keuler, K., Kotlarski, S., Mayer, S., Meijgaard, E., Nikulin, G., Patarčić, M., Scinocca, J., Sobolowski, S., Suklitsch, M., Teichmann, C., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V., and Yiou, P.: The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project, *Clim. Dynam.*, 41, 2555–2575, doi:10.1007/s00382-013-1714-z, 2013.