

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Μελέτη Επιπτώσεων Κλιματικής Μεταβολής Σε Βασικές
Υδρολογικές Παραμέτρους Και Ο Ρόλος Του
Μεροληπτικού Σφάλματος

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Εκπονήθηκε για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων για την
απόκτηση

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ /
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Από τον

Γρυλλάκη Γ. Εμμανουήλ

ΧΑΝΙΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μελέτη Επιπτώσεων Κλιματικής Μεταβολής Σε Βασικές Υδρολογικές Παραμέτρους Και Ο Ρόλος Του Μεροληπτικού Σφάλματος

Η διδακτορική διατριβή κρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 10^η Νοεμβρίου 2014 όπου συνήλθε σε συνεδρίαση στα Χανιά, στο Πολυτεχνείο Κρήτης και παρακολούθησε τη δημόσια υποστήριξη της διατριβής του κ Γρυλλάκη Εμμανουήλ. Η επταμελής επιτροπή αποτελούταν από τα μέλη:

1. Καθηγητή **Δρ. Τσάνη Ιωάννη** Πολυτεχνείου Κρήτης (επιβλέπων)
2. Καθηγητή **Δρ. Χριστόπουλο Διονύσιο** Πολυτεχνείου Κρήτης
3. Καθηγητή **Δρ. Λαζαρίδη Μιχαήλ** Πολυτεχνείου Κρήτης
4. Καθηγητή **Δρ. Καρατζά Γεώργιο** Πολυτεχνείου Κρήτης
5. Επίκουρη καθηγήτρια **Δρ. Κολοκοτσά Διονυσία** Πολυτεχνείου Κρήτης
6. Αναπληρωτή Καθηγητή **Δρ. Τσούτσο Θεοχάρη** Πολυτεχνείου Κρήτης
7. Καθηγητή **Δρ. Λουκά Αθανάσιο** Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (εξωτερικό μέλος)

Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από τη Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμών του συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)

Το παρόν αντίγραφο της διατριβής παρέχεται υπό την προϋπόθεση ότι οιοσδήποτε συμβουλευεται το περιεχόμενό της κατανοεί ότι τα πνευματικά δικαιώματα ανήκουν στο συγγραφέα. Κάθε παράθεση κειμένου ή πληροφορίας που προκύπτει από την εργασία πρέπει να γίνεται με την συναίνεση του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει σκοπό την διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής σε βασικές υδρο-μετεωρολογικές παραμέτρους και κατ' επέκταση στην επιφανειακή υδρολογία. Αναπόσπαστο τμήμα της μελέτης είναι η επίπτωση της στατιστικής διόρθωσης σφάλματος μεροληψίας των εξαγόμενων δεδομένων των κλιματικών μοντέλων στην προσομοίωση της επιφανειακής υδρολογίας. Το θέμα της διατριβής ήταν αποτέλεσμα της μακροχρόνιας ερευνητικής συνεργασίας μου με το Εργαστήριο Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η οικονομική στήριξη της ερευνητικής δουλειάς έγινε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω των ερευνητικών προγραμμάτων WATCH FP6, COMBINE FP7, IMPACT2C FP7 και ECLISE FP7.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον καθηγητή Ιωάννη Κ. Τσάνη, όπου επέβλεψε, στήριξε αλλά προπαντός ενέπνευσε την παρούσα ερευνά.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης σε όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής, αλλά ιδιαίτερα στους φίλους και συνεργάτες Δρ. Αριστείδη Κουτρούλη για την πολυετή στενή συνεργασία στην έρευνα των επιπτώσεων της μεταβολής του κλίματος, τον Δρ. Ιωάννη Δαλιακόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια του στα θέματα υδρολογίας και υδρολογικής προσομοίωσης, τον Κωνσταντίνο Σειραδάκη για την τεχνογνωσία και υποστήριξη στην διαχείριση μεγάλων δεδομένων που προσέφερε και τέλος στον Σωτήριο Τσιτσιλώνη για την τεχνική υποστήριξη.

Αφιερωμένη στους γονείς μου, Γιώργο και Πόπη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΓΕΝΙΚΑ	19
2	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
3	ΜΕΘΟΔΟΙ	34
3.1	Υδρολογικός Κύκλος.....	34
3.1.1	Μέθοδος FAO Penman-Monteith	36
3.1.2	Μέθοδος Blaney-Criddle	37
3.2	Πολυτμηματική στατιστική διόρθωση μεροληπτικού σφάλματος κατακρήμνισης.....	40
3.2.1	Προετοιμασία των παρατηρούμενων δεδομένων κατακρήμνισης.....	41
3.2.2	Προσαρμογή του αριθμού των υγρών ημερών στα δεδομένα του GCM.....	43
3.2.3	Διόρθωση σφάλματος μεροληψίας στην περίοδο βαθμονόμησης - εκτίμηση παραμέτρων της εξίσωσης μεταφοράς	43
3.2.4	Εφαρμογή της διόρθωσης στη περίοδο τεκμηρίωσης	45
3.2.5	Επιλογή βέλτιστου αριθμού τμημάτων	46
3.3	Διόρθωση σφάλματος στα δεδομένα θερμοκρασίας.....	48
3.4	Δείκτες στατιστικής ομοιότητας κλιματικών δεδομένων	48
3.5	Το Υδρολογικό μοντέλο IHMS-HBV	51
3.5.1	Κατακρήμνιση και συσσώρευση χιονιού	52
3.5.2	Ρουτίνα χιονιού	53
3.5.3	Ρουτίνα εδαφικής υγρασίας	54
3.5.4	Ρουτίνα απόκρισης.....	55
3.5.5	Συνάρτηση μετασχηματισμού.....	57
3.5.6	Αναπαράσταση χρήσεων γης.....	57
3.6	Δείκτες αξιολόγησης υδρολογικών προσομοιώσεων.....	58
3.6.1	Nash-Sutcliffe	58
3.6.2	Log Nash-Sutcliffe	58
3.6.3	Αθροιστική διαφορά όγκου απορροής.....	59
3.6.4	Σφάλμα ετήσιας παροχής αιχμής.....	59
3.6.5	Οπτική αξιολόγηση υδρογραφημάτων	60
3.7	Χωρική παρεμβολή κλιματικής πληροφορίας	60
3.8	Περίοδοι μελέτης	61
3.9	Μεθοδολογία έρευνας.....	61
4	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	63
4.1	Λεκάνες απορροής	63

4.1.1	Υδρολογική λεκάνη Spencer Creek – Ontario – Canada	66
4.1.2	Υδρολογική λεκάνη Exeter - UK.....	67
4.1.3	Υδρολογική λεκάνη Πλατύ - Κρήτη	70
4.1.4	Υδρολογική λεκάνη Yellow - Florida.....	72
4.2	Κλιματικά δεδομένα.....	75
4.2.1	Δεδομένα παρατηρήσεων.....	76
4.2.2	Δεδομένα από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας CMIP3 – CMIP5.....	76
4.2.3	Δεδομένα από μοντέλα περιοχικών κλιματικών πειραμάτων	77
4.3	Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.....	82
4.4	Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HBV – IHMS στις περιοχές μελέτης.....	86
4.5	Συγκέντρωση μεθόδων και δεδομένων.....	87
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	89
5.1	Τεκμηρίωση μεθόδου διόρθωσης σφάλματος μεροληψίας στα δεδομένα κατακρήμνισης.....	89
5.1.1	Βαθμονόμηση της μεθόδου σε ιστορικά δεδομένα	91
5.1.2	Τεκμηρίωση της μεθόδου σε ιστορικά δεδομένα	93
5.1.3	Αποτελέσματα της μεθόδου διόρθωσης στα ανώτερα ποσοστημόρια της αθροιστικής κατανομής πιθανότητας.....	95
5.1.4	Σύγκριση της μεθόδου MSBC με άλλη μέθοδο διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος για την κατακρήμνιση	96
5.2	Βαθμονόμηση – Τεκμηρίωση υδρολογικών μοντέλων.....	97
5.3	Αποτελέσματα κλιματικών και υδρολογικών προσομοιώσεων	105
5.3.1	Αξιολόγηση κλιματικών πειραμάτων ιστορικής περιόδου και επίδρασης τους στην προσομοίωση της παροχής.....	106
5.3.2	Εκτίμηση ικανότητας κλιματικών πειραμάτων να αναπαραστήσουν την κατακρήμνιση μεγάλης έντασης.....	119
5.3.3	Ανάλυση τάσεων στις μελλοντικές κλιματικές προσομοιώσεις και επίδρασης τους στις υδρολογικές παραμέτρους.....	120
5.3.4	Αλλαγής τις μέσες τιμές των υδρολογικών παραμέτρων σε μελλοντικές περιόδους.....	134
5.3.5	Αλλαγή στην εποχικότητα των υδρολογικών παραμέτρων σε μελλοντικές περιόδους.....	139
5.3.6	Μεταβολή στις ακραίες τιμές των υδρολογικών παραμέτρων σε μελλοντικές περιόδους.....	146
6	Συμπεράσματα	152
6.1	Περίληψη και βασικά συμπεράσματα.....	152

6.2	Καινοτόμα σημεία	158
6.3	Προτάσεις μελλοντικής έρευνας.....	159
7	Βιβλιογραφία.....	161
	Παράρτημα Α - Χαρακτηριστικά των κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν	176
	Παράρτημα Β - Χαρακτηριστικά δεδομένων παρατήρησης που χρησιμοποιήθηκαν	182
	Παράρτημα Γ – χρονοσειρές υδρολογικών παραμέτρων εισόδου και εξόδου από τα υδρολογικά μοντέλα.	184

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σενάρια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ισορροπία κάθε σεναρίου μεταξύ περιβάλλοντος και οικονομίας, παγκόσμιας και τοπικής ανάπτυξης.....	25
Εικόνα 2: Αλλαγή στην μέση παγκόσμια θερμοκρασία (και εύρος μίας τυπικής απόκλισης στις σκιαγραφημένες περιοχές) και αβεβαιότητα για τον 20ο και 21ο αιώνα, σχετικά με την περίοδο 1986-2005, για τα SRES και RCP σενάρια. Στις παρενθέσεις δίδονται ο αριθμός των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό. Τα boxplots δεξιά δίνουν τη μέση τιμή, το εύρος μίας τυπικής απόκλισης όπως επίσης το μέγιστο και ελάχιστο για την περίοδο 2080–2099, για τα μοντέλα του CMIP5 (χρωματιστά) και τα αποτελέσματα του MAGICC βαθμονομημένο για 19 CMIP3 μοντέλα (μαύρο), τρέχοντας τα RCPs (Πηγή Knutti και Sedláček, 2012).	26
Εικόνα 3: Απεικόνιση υδρολογικού ισοζυγίου (Illustration by John M. Evans, Howard Perlman, USGS Greek translation by Demetris Koutsoyiannis, National Technical University of Athens)35	
Εικόνα 4: Διαδικασία διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος, α) CDF δεδομένων περιόδου βαθμονόμησης, b) προετοιμασία παρατηρημένης κατακρήμνισης, c) διόρθωση αριθμού υγρών ημερών στα δεδομένα του GCM για την περίοδο της βαθμονόμησης, d) ορισμός τμημάτων για τα παρατηρημένα και GCM δεδομένα στη περίοδο βαθμονόμησης, e) διόρθωση αριθμού υγρών ημερών στα δεδομένα του GCM για την περίοδο της τεκμηρίωσης, και f) ορισμός τμημάτων για τα δεδομένα του GCM στην περίοδο της τεκμηρίωσης.	42
Εικόνα 5: Διόρθωση ποσοστημοριακή αντιστοίχισης με χρήση Γάμμα κατανομής α) Περίοδος βαθμονόμησης στα δεδομένα του GCM. Στη πρώτη στήλη παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, παρατηρημένα και GCM δεδομένα για την περίοδο βαθμονόμησης. Στη δεύτερη στήλη γίνεται εκτίμηση των παραμέτρων της Γάμμα κατανομής για τα δεδομένα της πρώτης στήλης βάση της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας (MLE). Στη τρίτη στήλη η GCM κατακρήμνιση μετατρέπεται σε CDF βάσει των παραμέτρων της MLE των ίδιων δεδομένων (δεύτερη στήλη). Στη τέταρτη στήλη υπολογίζεται η αντίστροφη CDF της CDF από τον προηγούμενο υπολογισμό, με χρήση των παραμέτρων της MLE των παρατηρημένων δεδομένων. Το προϊόν του υπολογισμού είναι η διορθωμένη κατακρήμνιση της περιόδου βαθμονόμησης.	45
Εικόνα 6: Δομή του μοντέλου HBV. Τα βέλη ορίζουν τις βασικές ροές μεταξύ των διεργασιών του μοντέλου (πηγή: IHMS-HBV manual).....	52
Εικόνα 7: Η ρουτίνα της εδαφικής υγρασίας. Αριστερά, ο λόγος συνεισφοράς στην συνάρτηση απόκρισης με την εδαφική υγρασία. Δεξιά, ο λόγος της τιμής της πραγματικής προς την δυνητική εξατμισοδιαπνοή.	54
Εικόνα 8: Γραφική αναπαράσταση της ρουτίνας απόκρισης.	56
Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση της συνάρτησης μετασχηματισμού	57
Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.	62
Εικόνα 11: Κλιματική ταξινόμηση του κόσμου και των περιοχών μελέτης κατά Köppen-Geiger για την περίοδο 1951 – 2000 (πηγή: Kottek et al., 2006)	65
Εικόνα 12: Η υδρολογική λεκάνη του Spencer Creek. Διακρίνονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί και οι σταθμηγράφοι, καθώς και τα πλέγματα διάφορων περιοχικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος NARCCAP (πηγή: Grillakis et al., 2011).	67
Εικόνα 13: Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Exe. Διακρίνεται η θέση του σταθμηγράφου, το υδρογραφικό δίκτυο, το πλέγμα των δεδομένων E-OBS καθώς επίσης και τα κεντροειδή των στοιχείων του πλέγματος.	68
Εικόνα 14: Γεωλογικός χάρτης (αριστερά) και χάρτης χρήσεων γης (δεξιά) για την λεκάνη του ποταμού Exe. (Πηγή: Center of Ecology and hydrology – NRFA, www.ceh.ac.uk).....	69

Εικόνα 15: Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πλατύ (κόκκινο περίγραμμα) και τα υψόμετρα εντός της λεκάνης.....	71
Εικόνα 16: Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Yellow. Διακρίνεται η θέση του σταθμηγράφου, το υδρογραφικό δίκτυο, το πλέγμα των δεδομένων παρατήρησης καθώς επίσης και τα κεντροειδή των στοιχείων του πλέγματος.....	73
Εικόνα 17: Περιοχές διαφορετικών κλιματικών πειραμάτων του CORDEX. Με κόκκινο σημειώνονται τα πειράματα από τα οποία αντλήθηκαν δεδομένα.	78
Εικόνα 18: Μέση μηνιαία θερμοκρασία κάθε περιοχής μελέτης.....	84
Εικόνα 19: Σύγκριση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Penman-Monteith (PM_{ET}) και της βαθμονομημένης εξίσωσης Blaney-Criddle mBC_{ET} για τις τέσσερις περιοχές μελέτης.....	85
Εικόνα 20: Χρονοσειρά εξατμισοδιαπνοής [mm/day] κατά την αρχική Blaney Criddle (μπλε), και η αντίστοιχη εξατμισοδιαπνοή όπως αυτή υπολογίστηκε από την βαθμονομημένη εξίσωση του Blaney Criddle (κόκκινο). Οι χρονοσειρές εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Penman-Monteith παρουσιάζονται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή.	86
Εικόνα 21: Σχηματική απεικόνιση των πηγών δεδομένων και πως αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην υδρολογική προσομοίωση.	88
Εικόνα 22: α) Αριθμός τμημάτων για την διόρθωση του μεροληπτικού σφάλματος όπως αυτά καθορίστηκαν από την διαδικασία βαθμονόμηση για κάθε ημερολογιακό μήνα. β) Μέσος ετήσιος αριθμός τμημάτων. Παρουσιάζεται τέλος και η περιοχική διακριτοποίηση που υιοθετήθηκε για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.	90
Εικόνα 23: Εναπομένον σφάλμα RB (πάνω) και ο δείκτης ομοιότητας (S_{SCORE}) (κάτω) μεταξύ παρατηρημένης διορθωμένης μέσης κατακρήμνισης για την περίοδο βαθμονόμησης (α, c) και τεκμηρίωσης (b, d).	93
Εικόνα 24: Περιοχικός δείκτης ομοιότητας (μεσαία γραμμή) και τυπική απόκλιση (πάνω και κάτω γραμμές) για την μέση (α) και 95 ^ο ποσοστημοριακή (b) κατακρήμνιση.	94
Εικόνα 25: Εναπομένον σφάλμα RB (πάνω) και ο δείκτης ομοιότητας (S_{SCORE}) (κάτω) μεταξύ παρατηρημένης διορθωμένης κατακρήμνισης 95 ^{ου} ποσοστημορίου για την περίοδο βαθμονόμησης (α, c) και τεκμηρίωσης (b, d).....	96
Εικόνα 26: α) Μέση ετήσια κατακρήμνιση ανά γεωγραφικό πλάτος του πλανήτη στα καταγεγραμμένα δεδομένα (WFD) και τα τρία GCMs που αναλύθηκαν από τους Tsanis et al., (2013). β) Εναπομένον σφάλμα (%) των διορθωμένων δεδομένων από τα τρία GCMs για τις δύο μεθόδους (MSBC - μπλε, WSBC – κόκκινο).	97
Εικόνα 27: Μέση μηνιαία κατανομή κατακρήμνισης, εξατμισοδιαπνοής και απορροής όπως αυτή προέκυψε από το βαθμονομημένο υδρολογικό μοντέλο HBV, για τις περιοχές μελέτης στο σύνολο της παρελθούσας περιόδου.	101
Εικόνα 28: Μέσοι μηνιαίοι μέσοι όροι πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στις περιοχές μελέτης.....	102
Εικόνα 29: Ημερήσιες τιμές καταγεγραμμένης (x-axis) και προσομοιωμένης (y-axis) απορροής για την περίοδο βαθμονόμησης (αριστερά) και τεκμηρίωσης (δεξιά).	103
Εικόνα 30: Box plot συνιστωσών υδρολογικού ισοζυγίου – κατακρήμνισης, πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, απορροής - των τεσσάρων υπό μελέτη περιοχών. Όλες οι ποσότητες είναι ανηγμένες σε mm/μήνα.	104
Εικόνα 31: Απόκλιση στη μέση τιμή κάθε κλιματικής μεταβλητής (και της παροχής) από τον κλιματικό μέσο όρο των καταγεγραμμένων δεδομένων. Με πράσινο είναι το κλιματικό πείραμα με την μικρότερη απόκλιση σε κάθε περιοχή και μεταβλητή. Οι μπάρες σφάλματος συμβολίζουν το \pm κάθε συνόλου κλιματικών προσομοιώσεων.	110
Εικόνα 32: Αδιάστατος δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} για τα δεδομένα κατακρήμνισης, θερμοκρασίας και προσομοιωμένης παροχής. Παρουσιάζεται ο δείκτης για τις διορθωμένες (δεξιές στήλες) και μη (αριστερές στήλες) από μεροληπτικά σφάλματα μεταβλητές. Η τυπική απόκλιση του	

δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε κάθε κλιματικό πείραμα δίνεται (όπου είναι διαθέσιμο) με μπάρα σφάλματος.	113
Εικόνα 33: Δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου (S) για τα δεδομένα κατακρήμνισης, θερμοκρασίας και προσομοιωμένης παροχής. Παρουσιάζεται ο δείκτης για τις διορθωμένες (δεξιές στήλες) και μη (αριστερές στήλες) από μεροληπτικά σφάλματα μεταβλητές. Η τυπική απόκλιση του δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε κάθε κλιματικό πείραμα δίνεται (όπου είναι διαθέσιμο) με μπάρα σφάλματος.....	117
Εικόνα 34: Αδιάστατος δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} για τα δεδομένα ημερήσιας κατακρήμνισης πάνω από το 95 ^ο ποσοστημόριο. Παρουσιάζεται ο δείκτης για τις διορθωμένες (δεξιές στήλες) και μη (αριστερές στήλες) από μεροληπτικά σφάλματα μεταβλητές. Η τυπική απόκλιση του δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε κάθε κλιματικό πείραμα δίνεται (όπου είναι διαθέσιμο) με μπάρα σφάλματος.	119
Εικόνα 35: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρυσών κλιματικών παραμέτρων (P, T, PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Πλατύ. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος. ..	124
Εικόνα 36: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P, Q, AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Πλατύ. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.	125
Εικόνα 37: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρυσών κλιματικών παραμέτρων (P, T, PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Exeter. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος. ..	126
Εικόνα 38: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P, Q, AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Exeter. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.	127
Εικόνα 39: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρυσών κλιματικών παραμέτρων (P, T, PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Yellow. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος. ..	128
Εικόνα 40: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P, Q, AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Yellow. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.	129
Εικόνα 41: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρυσών κλιματικών παραμέτρων (P, T, PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Spencer Creek. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.	130
Εικόνα 42: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P, Q, AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Spencer Creek. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.	131

Εικόνα 43: Ετήσια συμμεταβολή κατακρήμνισης και θερμοκρασίας για την περιοχή του Exeter (πάνω) σύμφωνα με το EUR-44, και για τον Πλατύ σύμφωνα με το EUR-11, για τα τρία κλιματικά σενάρια RCP26 RCP45 και RCP85 για τις τρεις μελλοντικές περιόδους 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100	138
Εικόνα 44: Ετήσια συμμεταβολή κατακρήμνισης και θερμοκρασίας για την περιοχή του Yellow (πάνω), και για το Spencer Creek σύμφωνα με τα κλιματικά πειράματα NARCCAP και NAM-44, για τα τρία κλιματικά σενάρια A2 RCP45 και RCP85, για τις τρεις μελλοντικές περιόδους 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100.	139
Εικόνα 45: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m ³ /s] για την λεκάνη απορροής του Exeter, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.	140
Εικόνα 46: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m ³ /s] για την λεκάνη απορροής του Πλατύ, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.	142
Εικόνα 47: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m ³ /s] για την λεκάνη απορροής του Yellow, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.	144
Εικόνα 48: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m ³ /s] για την λεκάνη απορροής του Spencer, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.	145
Εικόνα 49: Αλλαγή στα ανώτερα ποσοστημόρια της κατακρήμνισης και της απορροής για τις περιοχές μελέτης του Exeter (αριστερά) και του Πλατύ (δεξιά).	148
Εικόνα 50: Αλλαγή στα ανώτερα ποσοστημόρια της κατακρήμνισης και της απορροής για τις περιοχές μελέτης του Yellow (αριστερά) και του Spencer (δεξιά).	151

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέσο ημερήσιο ποσοστό της ετήσιας ηλιοφάνειας για κάθε γεωγραφικό πλάτος (-60 έως 60).	39
Πίνακας 2: Μέση ετήσια κατακρήμνιση, θερμοκρασία, απορροή και άλλα χαρακτηριστικά για τις τέσσερις περιοχές μελέτης.	75
Πίνακας 3: Λίστα των 17 συζευγμένων κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES που χρησιμοποιήθηκαν.	79
Πίνακας 4: Λίστα των 11 συζευγμένων κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος NARCCAP που χρησιμοποιήθηκαν.....	80
Πίνακας 5: Λίστα των συζευγμένων κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος EURO - CORDEX σε χωρική ανάλυση 0.44° και 0.11° που χρησιμοποιήθηκαν.	81
Πίνακας 6: Στοιχεία του συζευγμένου κλιματικού μοντέλου του κλιματικού πειράματος NA-CORDEX που χρησιμοποιήθηκε.	81
Πίνακας 7: Περιοχικά κλιματικά πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία αυτών.	82
Πίνακας 8: Το γεωγραφικό πλάτος της κάθε λεκάνης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του συντελεστή p , και ο συντελεστής p	83
Πίνακας 9: Οι συντελεστές a , b της τροποποιημένης εξίσωσης του Blaney-Criddle καθώς και το RMS που επιτεύχθηκε μεταξύ PM_{ET} και mBC_{ET}	84
Πίνακας 10: Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE) για την μέση κατακρήμνιση (στήλη 3) και για το 95° ποσοστημόριο (στήλη 4) για τις κλιματικές περιοχές των Giorgi and Bi [2005].	92
Πίνακας 11: Περίοδος αρχικοποίησης, βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης του υδρολογικού μοντέλου.	98
Πίνακας 12: Δείκτες απόδοσης NS, logNS, AccDiff και PE για τις τέσσερις περιοχές μελέτης για τις περιόδους βαθμονόμησης (Βαθμ.) και τεκμηρίωσης (Τεκμ.).	98
Πίνακας 13: Μέσες τιμές κατακρήμνισης, πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET). Δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET) και παροχής όπως αυτές προσομοιώθηκαν από το υδρολογικό μοντέλο IHMS-HBV. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή και η παροχή δίδονται και σε ποσοστό επί της μέσης ετήσιας κατακρήμνισης.....	100
Πίνακας 14: Αριθμός προσομοιώσεων ανά περιοχή μελέτης και ανά κλιματικό πείραμα. Ο αριθμός αντιστοιχεί στα πειράματα μόνο διορθωμένων ή μη διορθωμένων δεδομένων.	106
Πίνακας 15: Σταθμισμένη επίδοση κάθε παραμέτρου και κλιματικού πειράματος. Με κόκκινη γραμματοσειρά είναι σημειωμένες οι περιπτώσεις όπου η σταθμισμένη επίδοση έχει υπολογιστεί χωρίς τον τρίτο όρο της Εξίσωσης 5-1.	118
Πίνακας 16: Ανάλυση τάσεων στις δρώσες παραμέτρους (P, T, PET) των υδρολογικών προσομοιώσεων για τις 4 υδρολογικές λεκάνες. Παρατίθενται η κλίση (slo) και ο σταθερός όρος (Inter) της εξίσωσης γραμμικής παρεμβολής και το p -value τις προσομοιώσεις διορθωμένων (CORR) και μη διορθωμένων (RAW) στοιχείων. Στην στήλη δεξιά δίνεται το μέγεθος της ανσάμπλ που χρησιμοποιήθηκε.....	132
Πίνακας 17: Ανάλυση τάσεων στις παραμέτρους που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο (P, Q, AET) στις υδρολογικές προσομοιώσεις για τις 4 περιοχές μελέτης. Παρατίθενται η κλίση (slo) και ο σταθερός όρος (Inter) της εξίσωσης γραμμικής παρεμβολής και το p -value τις προσομοιώσεις διορθωμένων (CORR) και μη διορθωμένων (RAW) στοιχείων. Στην στήλη δεξιά δίνεται το μέγεθος της ανσάμπλ που χρησιμοποιήθηκε.....	133
Πίνακας 18: Ποσοστιαία αλλαγή μέσων ημερήσιων τιμών P [mm/day για την πρώτη περίοδο - % για τις υπόλοιπες], T [°C], Q [m ³ /s για την πρώτη περίοδο - % για τις υπόλοιπες] στις τρεις μελλοντικές περιόδους σε σχέση με την περίοδο 1971-2000. Παρουσιάζονται οι αλλαγές για τις τέσσερις περιοχές μελέτης για όλα τα εξεταζόμενα κλιματικά πειράματα στα διορθωμένα και μη από μεροληπτικά σφάλματα δεδομένα.....	135

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στους υδατικούς πόρους στοχεύει στην ανάπτυξη της απαραίτητης πληροφορίας για την προσαρμογή στις αλλαγές αυτές. Στόχος της προσαρμογής είναι η μείωση της ευπάθειας των φυσικών και ανθρωπίνων συστημάτων στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος. Το βασικό εργαλείο στην κλιματική έρευνα είναι τα κλιματικά μοντέλα, τα οποία μπορούν να προσμοιάσουν το παρελθόν κλίμα, ενώ όταν τροφοδοτηθούν με τα κατάλληλα μελλοντικά σενάρια εκπομπών μπορούν να προβλέψουν το μελλοντικό κλίμα. Ωστόσο οι κλιματικές προσομοιώσεις δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν λόγω των συστηματικών σφαλμάτων που εμπεριέχουν. Έτσι, είναι αναγκαία η διαδικασία της διόρθωσης αυτών των σφαλμάτων μεροληψίας ώστε τα κλιματικά δεδομένα να γίνονται κατάλληλα σε μοντέλα επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής που είναι βαθμονομημένα με παρατηρημένα δεδομένα.

Στην διατριβή που εκπονήθηκε, ιεραρχήθηκαν τα μεγαλύτερα και πιο σύγχρονα κλιματικά πειράματα που έχουν συσταθεί και διεξαχθεί στην περιοχή της Ευρώπης και της Βορείου Αμερικής, CMIP3 και CMIP5, NARCCAP, EURO CORDEX 44, EURO CORDEX 11 και North America CORDEX, με βάση την ικανότητά τους να αναπαριστούν το παρελθόν καθεστώς κατακρήμνισης και θερμοκρασίας. Τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογία τεσσάρων λεκανών απορροής στις περιοχές αυτές.

Αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος διόρθωσης των μεροληπτικών σφαλμάτων στα δεδομένα κατακρήμνισης, ώστε αυτά να καθίστανται χρήσιμα στη προβολή των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στην υδρολογία των περιοχών μελέτης. Η μεθοδολογία αξιολογήθηκε για την απόδοση της στα αποτελέσματα ενός GCM. Επίσης τα αποτελέσματα της διόρθωσης σε τρία GCMs συγκρίθηκαν με αυτά μίας άλλης ευρέως χρησιμοποιούμενης μεθοδολογίας. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε δίνει βελτιωμένα αποτελέσματα διόρθωσης σε σχέση με άλλες μεθόδους. Επίσης, η διόρθωση στα σφάλματα μεροληψίας στα δεδομένα κατακρήμνισης και θερμοκρασίας αύξησε στην ικανότητα της υδρολογικής προσομοίωσης, και μείωσε την αβεβαιότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων που προέρχονται από διαφορετικές κλιματικές προσομοιώσεις.

Η κλιματική πληροφορία χρησιμοποιήθηκε έπειτα για την εκτίμηση της επίδρασης της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής σε τέσσερις λεκάνες απορροής, με και χωρίς διόρθωση του σφάλματος μεροληψίας στα δεδομένα της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Η σύγκριση κατέδειξε ότι η διόρθωση του σφάλματος βελτίωσε την απόδοση των υδρολογικών προσομοιώσεων, κατά τα παρατηρούμενα δεδομένα παροχής, ενώ επίσης μείωσε και την διακύμανση μεταξύ των αποτελεσμάτων όπως αυτά προήλθαν από διαφορετικές κλιματικές προσομοιώσεις.

Στην συνέχεια έγινε ανάλυση των τάσεων, με σκοπό να εξεταστεί ο βαθμός όπου κάθε διαδικασία διόρθωσης του σφάλματος μεροληψίας, θα μπορούσε να επηρεάσει την μακροχρόνια τάση της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας. Παρατηρήθηκε ότι η μέθοδος που αναπτύχθηκε για την διόρθωση του σφάλματος μεροληψίας στην κατακρήμνιση μπορεί να επηρεάσει σε περιορισμένο βαθμό την τάση της μακροπρόθεσμης αλλαγής. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα για την μακροπρόθεσμη τάση στην θερμοκρασία. Παρόλα αυτά, η συνδυασμένη αλλαγή στις τάσεις των προαναφερθέντων μεταβλητών δύναται να προκαλέσει μεγαλύτερη αλλαγή στην τάση της παροχής.

Επιπλέον, εξετάστηκε η αλλαγή στην εποχικότητα, για την καλύτερη απόδοση του κλίματος σε κάθε περιοχή μελέτης.

Τέλος μελετήθηκε η αλλαγή των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης για την επιρροή τους σε ακραία φαινόμενα απορροής υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής.

ABSTRACT

The study of the potential impacts of climate change in water resources aims to provide the required information needed for human adaptation. Adaptation measures aim to reduce the human and physical systems vulnerability to changes in climate. The basic tool for the climate research is the climate models. Climate models can simulate the past climate, while when they are forced with appropriate future emission scenarios they can provide a projection of the future climate. However climate projections cannot be used to impact studies in their native form, due to the systematic errors that they exhibit. Thus, it is a necessary process to correct those biases in order to make the climate model data appropriate for impact models that are calibrated against observations.

In the presented dissertation, a new methodology of statistical bias adjustment of precipitation data was developed. The methodology was tested for its performance in the results of a GCM, while the results of the methodology were compared against another widely used, state of the art methodology. It was found that the developed methodology improved the precipitation bias correction in the mean but also in the upper percentiles, comparing to the other method.

Moreover, the broader used, state of the art climate experiments CMIP3 and CMIP5, NARCCAP, EURO CORDEX 44, EURO CORDEX 11 and North America CORDEX, were assessed for their ability to represent the precipitation and temperature regime over Europe and North America. A comprehensive assessment of the different regional and global climate experiments using multiple performance indicators revealed the most skillful experiment to simulate the past climate, for each study area.

The climate information was used to assess the effect of the projected climate change over four selected watersheds with and without adjusting the bias in precipitation and temperature. The comparison shown that the bias correction increased the performance of the hydrological simulations against the observed flow data, while it reduced the uncertainty among the different climate simulations.

Then a trend analysis was performed in order to examine the degree that each bias adjustment methodology could affect the long term – annual trend in the precipitation and temperature. It was found that the developed precipitation bias adjustment methodology could affect in a limited degree the trend of change in the precipitation. The trend change in temperature was also small. Nonetheless, the combined change of the aforementioned variables, may affect the trend in the flow in a larger degree.

Then, the change in seasonality was examined for the best-performing climate experiments for each case study area. Finally the change in extreme precipitation events was examined for its influence in extreme runoff events under the change in climate.

1 ΓΕΝΙΚΑ

Το κλίμα συνεχώς αλλάζει. Από την δημιουργία του κόσμου και σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα, οι συνθήκες στην επιφάνεια της γης μεταβάλλονταν. Οι αλλαγές αυτές έχουν χαραχτεί στο ανάγλυφο της γης και έχουν επηρεάσει την εξέλιξη όλων των μορφών ζωής, όπως επίσης διαμόρφωσαν την οικονομική και κοινωνική μας ιστορία. Το κλίμα είναι μία ιδέα που δε μπορεί να γίνει αντιληπτή από τις ανθρώπινες αισθήσεις όπως οι καιρικές συνθήκες. Μπορεί μόνο να γίνει αντιληπτό μέσω της στατιστικής των καιρικών συνθηκών. Το κλίμα είναι ένα σύστημα με διασυνδεδεμένες φυσικοχημικές διεργασίες. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή όταν προσπαθούμε να εξηγήσουμε πως μία διεργασία συνδέεται με μια άλλη. Και ενώ είναι αναπόφευκτο λόγω μεγέθους του συστήματος, να μελετούμε διαφορετικές πτυχές του κλίματος μεμονωμένα, θα πρέπει να μην απολύουμε την αίσθηση της μεγαλύτερης εικόνας.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα της επιστήμης του κλίματος είναι το ότι δεν μπορούν να διεξαχθούν ελεγχόμενα πειράματα σε παγκόσμια κλίμακα, και στην συνέχεια να εξαχθούν αποτελέσματα. Ο προφανής περιοριστικός παράγοντας είναι ότι μονάχα ολόκληρος ο πλανήτης ως σύστημα ενσωματώνει την πλήρη πολυπλοκότητα των διαδικασιών αλληλεπίδρασης και ανατροφοδότησης, που θα μπορούσε ιδανικά να επιβεβαιώσει ή να διαψεύσει τις διάφορες υποθέσεις που αφορούν την κλιματική αλλαγή.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η αλλαγή του κλίματος έχει αποτελέσει αντικείμενο συζήτησης και έρευνας για την διεθνή επιστημονική και μη κοινότητα. Και ενώ τα διαθέσιμα στοιχεία έχουν αποδείξει πως στο κοντινό παρελθόν το κλίμα έχει αλλάξει σε παγκόσμια κλίμακα, η συζήτηση αλλά και η έρευνα έχει εστιαστεί στην πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος και το πώς αυτό πρόκειται να επηρεάσει την κοινωνικοοικονομική πορεία του κόσμου.

Οι αλλαγές στο κλίμα, δύνανται να μεταβάλλουν τον υδρολογικό κύκλο τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο και εν συνεχεία να προκαλέσουν αλλαγές στην ποσότητα και την ποιότητα των υδάτινων πόρων. Μπορεί να επηρεάσουν τους επιφανειακούς υδατικούς πόρους άμεσα μέσω των αλλαγών σε βασικές κλιματικές μεταβλητές όπως είναι η θερμοκρασία του αέρα, τα κατακρημνίσματα και η εξατμισοδιαπνοή. Με την σειρά τους, οι υπόγειοι

υδάτινοι πόροι που αποτελούν σημαντική πηγή φρέσκου νερού, σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μέσω της άμεσης αλληλεπίδρασης τους με τους επιφανειακούς υδατικούς πόρους.

Εκτός των αλλαγών στις μέσες τιμές των κλιματικών παραμέτρων, αλλαγές μπορούν να προκληθούν και στην εμφάνιση ακραίων τιμών, όπως αλλαγή στη συχνότητα ασυνήθιστα υψηλών βροχοπτώσεων ή ξηρασιών, καυσώνων ή ψύχους. Καθίσταται σαφές ότι οι ενδεχόμενες μελλοντικές αλλαγές στο κλίμα μπορούν να επηρεάσουν την κοινωνική αλλά και την οικονομική πορεία σε τοπική ή παγκόσμια κλίμακα. Η μελέτη των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στους υδατικούς πόρους στοχεύει στην ανάπτυξη της απαραίτητης πληροφορίας για την προσαρμογή στις πιθανές αυτές αλλαγές. Στόχος της προσαρμογής είναι η μείωση της ευπάθειας των φυσικών και ανθρωπίνων συστημάτων στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή στοχεύει στην ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής σε διαφορετικές περιοχές του πλανήτη με χρήση κλιματικών δεδομένων από μοντέλα που προέρχονται από διαφορετικά παγκόσμια και περιοχικά κλιματικά πειράματα. Στόχος επίσης είναι η σύγκριση τόσο των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών κλιματικών πειραμάτων και μοντέλων, όσο και του «υδρολογικού» αποτελέσματος που επιφέρουν αυτά στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής.

Η προσφορά στην βασική έρευνα σχετίζεται με την ανάπτυξη καινοτόμου μεθόδου στατιστικής διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος σε δεδομένα κατακρήμνισης ημερήσιας χρονικής κλίμακας από παγκόσμια κλιματικά μοντέλα. Η μεθοδολογία αυτή δοκιμάστηκε και επαληθεύτηκε σε ημερήσια δεδομένα κατακρήμνισης παγκοσμίου κλίμακας.

Στον τομέα της εφαρμοσμένης έρευνας, δεδομένα κατακρήμνισης διορθωμένα για σφάλματα μεροληψίας εισήχθησαν σε ένα εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο για την μελέτη της επίπτωσης της κλιματικής αλλαγής στο υδρολογικό καθεστώς λεκανών απορροής.

Ορισμένα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής οδήγησαν στις παρακάτω δημοσιεύσεις:

- **Grillakis MG**, A G Koutroulis, and I. K. Tsanis (2013), Multisegment statistical bias correction of daily GCM precipitation output, J. Geophys. Res. Atmos., 118 | doi:10.1002/jgrd.50323.
- Tsanis IK, **Grillakis MG**, Koutroulis AG, Jacob D (2013) Reducing Uncertainty on Global Precipitation Projections. J Earth Sci Clim Change 5:178. doi: 10.4172/2157-7617.1000178
- **Grillakis MG**, Tsanis IK, Koutroulis AG, 2011. Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. Journal of Hydrology, Journal of Hydrology ; 409:1-19. DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.06.018
- Vrochidou AEK, Tsanis IK, **Grillakis MG**, Koutroulis AG, 2012. The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale, Journal of Hydrology, published online, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.10.046.

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής, προέκυψαν επίσης οι ακόλουθες δημοσιεύσεις που σχετίζονται με την υδρολογία και την κλιματική αλλαγή:

- **Grillakis MG**, Tsanis, IK, and Koutroulis AG, 2010. Application of the HBV hydrological model in a flash flood case in Slovenia, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 2713-2725, doi:10.5194/nhess-10-2713-2010.
- Koutroulis AG, **Grillakis MG**, Tsanis IK, Kotroni V, Lagouvardos K., 2012. Lightning activity, rainfall and flash flooding – occasional or interrelated events? A case study in the island of Crete, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 881-891, doi:10.5194/nhess-12-881-2012.
- DD Alexakis, **MG Grillakis**, AG Koutroulis, A Agapiou, K Themistocleous, IK Tsanis, S Michaelides, S Pashiardis, C Demetriou, K Aristeidou, A Retalis, F Tymvios, and DG, Hadjimitsis, 2013. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use changes impact on flood hydrology: the case study of Yialias Basin in Cyprus. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions 1, 4833-4869. doi:10.5194/nhessd-1-4833-2013.
- Vrochidou AEK, **Grillakis MG**, Tsanis IK, 2013. Drought Assessment Based on Multi-Model Precipitation Projections for the Island of Crete. J Earth Sci Clim Change 4:158. doi: 10.4172/2157-7617.1000158.
- Ioanna S. Panagea, Ioannis K. Tsanis, Aristeidis G. Koutroulis, and **Manolis G. Grillakis**, "Climate Change Impact on Photovoltaic Energy Output: The Case of Greece," Advances in Meteorology, vol. 2014, Article ID 264506, 11 pages, 2014. doi:10.1155/2014/264506

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αλλαγή στην ποσότητα, την ένταση και τη συχνότητα των ατμοσφαιρικών κατακρήμνισεων. Μακροπρόθεσμες τάσεις από το 1900 ως το 2005 έχουν παρατηρηθεί στην ποσότητα της κατακρήμνισης, με τη βόρεια Ευρώπη να παρουσιάζει τάση για μεγαλύτερα και τη περιοχή της Μεσογείου να παρουσιάζει σημαντικά μικρότερα ύψη κατακρήμνισης. Η Μεσόγειος έχει χαρακτηριστεί ως μία από τις βασικές περιοχές εκδήλωσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Giorgi, 2006; IPCC 2007: Solomon, et al., 2007). Μεγάλη αύξηση στα γεγονότα έντονης κατακρήμνισης έχει παρατηρηθεί (Milly, 2002), ακόμα και σε περιοχές που το συνολικό ύψος βροχής έχει μειωθεί. Οι αλλαγές συνδέονται με την αύξηση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα, προκαλούμενη από τη θέρμανση των ωκεανών, ειδικότερα σε μικρά γεωγραφικά πλάτη. Σε μερικές περιοχές επίσης, έχει παρατηρηθεί παράλληλη αύξηση στα πλημμυρικά γεγονότα καθώς και στις περιόδους ξηρασίας (IPCC 2007: Solomon, et al., 2007).

Αλλαγές έχουν παρατηρηθεί και στη μέση θερμοκρασία, όπου σήμερα είναι 0,7°C υψηλότερη από την προβιομηχανική εποχή (Linden & Mitchell, 2009). Με την παρούσα τάση μεταβολής της θερμοκρασίας, η οικονομική ανάπτυξη από μόνη της είναι απίθανο να είναι γρήγορα προσαρμοζόμενη και αρκετά ικανή να αντιμετωπίσει τις απειλές από την μεταβολή του κλίματος. Οι «κλιματικά έξυπνες» πολιτικές είναι εκείνες που αναμένεται να ενισχύσουν την ανάπτυξη και να μειώσουν την ευπάθεια στην οικονομική ανάπτυξη (World Bank, 2010).

Τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Global Circulation Models - GCMs) αποτελούν τα βασικά εργαλεία για την μελέτη και κατανόηση του κλίματος. Είναι μαθηματικά μοντέλα της παγκόσμιας γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και αναπαράστασης του κλιματικού συστήματος, που βασίζονται σε νόμους της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας. Το κλιματικό σύστημα χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ φάσμα χωρικών και χρονικών κλιμάκων. Η χωρική κλίμακα κυμαίνεται από τη μικροφυσική των νεφών έως την κλίμακα της γης, ενώ η χρονική ανάλυση, από κλάσματα του δευτερολέπτου που διαρκεί μια αντίδραση έως αιώνες ολόκληρους. Λόγω της περιορισμένης χωρικής (100-200km, Meehl et al., 2007) και χρονικής τους ανάλυσης, τα GCMs μπορούν να αναπαράγουν

αποτελεσματικά τα μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κλίματος όπως η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και του ωκεανού. Η χωρική πλεγματική ανάλυση των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων δεν είναι αρκετά λεπτομερής ώστε να μπορούν να εκτιμήσουν το κλίμα σε τοπική κλίμακα. Η εφαρμογή GCMs πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης θα έδινε αρκετά πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε τοπική κλίμακα (Mizuta et al., 2006). Τέτοιες εφαρμογές με χρήση GCMs δεν είναι ακόμα εφικτές λόγω της υπολογιστικής ισχύος που απαιτείται.

Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (Regional climate models - RCMs) αποτελούν μια συμπληρωματική στα παγκόσμια μοντέλα μέθοδο προσομοίωσης, που επιτρέπει λεπτομερέστερη μελέτη των διαδικασιών και της προσομοίωσης των τοπικών συνθηκών. Τα RCMs είναι μοντέλα περιορισμένης χωρικής έκτασης τους που χρησιμοποιούνταν ανέκαθεν στην καιρική πρόγνωση. Οι αρχική έρευνα στα RCMs και οι πρώτες προσπάθειες εφαρμογής τους στην κλιματική μελέτη ξεκίνησαν από τους Dickinson (et al., 1989). Η εξέλιξη τους στα επόμενα χρόνια ήταν ραγδαία (Giorgi and Mearns; 1991; McGregor, 1997; Giorgi and Mearns; 1999; Wang et al., 2004; Christensen et al., 2007). Πλέον, εφαρμογές των RCMs καθώς και ολόκληρα περιοχικά κλιματικά πειράματα διεξάγεται διεθνώς, σχεδόν για όλες τις περιοχές του πλανήτη. Τα RCMs χρησιμοποιούν οριακές συνθήκες πλευρικά της περιοχής προσομοίωσης από παγκόσμια κλιματικά μοντέλα. Στις μεταβλητές που ορίζονται στις οριακές συνθήκες περιλαμβάνονται η θερμοκρασία, η υγρασία, η κυκλοφορία αερίων μαζών, και άλλες.

Η γνώση των επικείμενων επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής σε τοπικό επίπεδο είναι απαραίτητη για τη σωστή διαχείριση των φυσικών πόρων όπως το νερό, ιδιαίτερα στο μεσογειακό περιβάλλον. Η μελέτη των επικείμενων επιπτώσεων στηρίζεται σε διάφορα σενάρια εκπομπών, που αντικατοπτρίζουν διαφορετικές κοινωνικές ισορροπίες μεταξύ της παγκόσμιας και της τοπικής ανάπτυξης αφενός, και των οικονομικών και των περιβαλλοντικών αξιών αφετέρου. Τα σενάρια αυτά είναι διαφορετικές απεικονίσεις για το πώς θα εξελιχθεί το μέλλον και αποτελούν κατάλληλο εργαλείο για την ανάλυση του πώς οι δρώσες δυνάμεις μπορούν να επηρεάσουν τις μελλοντικές εκπομπές (IPCC SRES, 2000). Τέτοια σενάρια αναπτύσσονται με τη χρήση παγκόσμιων

κλιματικών μοντέλων (Global Climate Models – GCMs) (IPCC 2007: Solomon et al., 2007). Αυτά είναι μαθηματικές απεικονίσεις του κλιματικού συστήματος, βασισμένες σε φυσικούς νόμους όπως η διατήρηση της μάζας, της ενέργειας και της ορμής, όπως επίσης και χημικές διεργασίες που διέπουν την ατμόσφαιρα, τη επιφάνεια του εδάφους και τους ωκεανούς. Τα σενάρια αλλαγής κλίματος στηρίζονται σε υποθέσεις για μελλοντικές αλλαγές των αέριων εκπομπών και της επακόλουθης ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου.

Μέχρι τις αρχές του 2000 είχαν χρησιμοποιηθεί πιο απλοϊκές υποθέσεις και σενάρια π.χ., μια αύξηση των εκπομπών της τάξης του 1% το χρόνο. Κατά την επόμενη δεκαετία όλες οι εκτιμήσεις επιπτώσεων έχουν ουσιαστικά βασισθεί σε σενάρια όπως έχουν προκύψει κατά IPCC SRES, (IPCC SRES, 2000) που είναι μία ειδική έκθεση σχετικά με τα πιθανά μελλοντικά σενάρια εκπομπών. Αυτά ενσωματώνουν διάφορες υποθέσεις σχετικά με τις μελλοντικές αλλαγές στον πληθυσμό και, την οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη, και εκφράζονται ως τέσσερις «οικογένειες» σεναρίων: A1- Παγκόσμιες αγορές, B1 - Παγκόσμια αειφορία, A2 - Εθνική Δραστηριότητα, B2 - Τοπική διαχείριση (Εικόνα 1). Κάθε σενάριο αντικατοπτρίζει διαφορετικές κοινωνικές ισορροπίες μεταξύ της παγκόσμιας και της τοπικής ανάπτυξης, όπως και των οικονομικών και των περιβαλλοντικών αξιών (Goodness, 2008). Με την εξέλιξη της έρευνας, τα σενάρια εκπομπών εξελίχθηκαν στην λογική των τεσσάρων αντιπροσωπευτικών πορειών (μονοπάτια) για τις μελλοντικές συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων (Representative Concentration Pathways – RCPs) (Moss et al., 2008; 2010). Η φιλοσοφία αυτών των σεναρίων στηρίζεται στο αντίκτυπο κλιματικής διέγερσης λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας (radiative forcings – σε $\Delta W/m^2$) όπως αυτές προκύπτουν από τα διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια. Έτσι, διαφορετικά σενάρια μπορούν να ακολουθήσουν ίδιο RCP. Διακρίνονται τέσσερα βασικά RCPs, όπου πήραν τα ονόματά τους από την διαφορά στην μέση δρώσα ακτινοβολία που θα έχουν επιτύχει έως το 2100. Τα σενάρια είναι τα RCP 2.6, 4.5, 6.0 και 8.5 που αντιστοίχως υποθέτουν $2.6 W/m^2$, $4.5 W/m^2$, $6.0 W/m^2$ και $8.5 W/m^2$ αύξηση στην μέση παγκόσμια ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους αντίστοιχα.

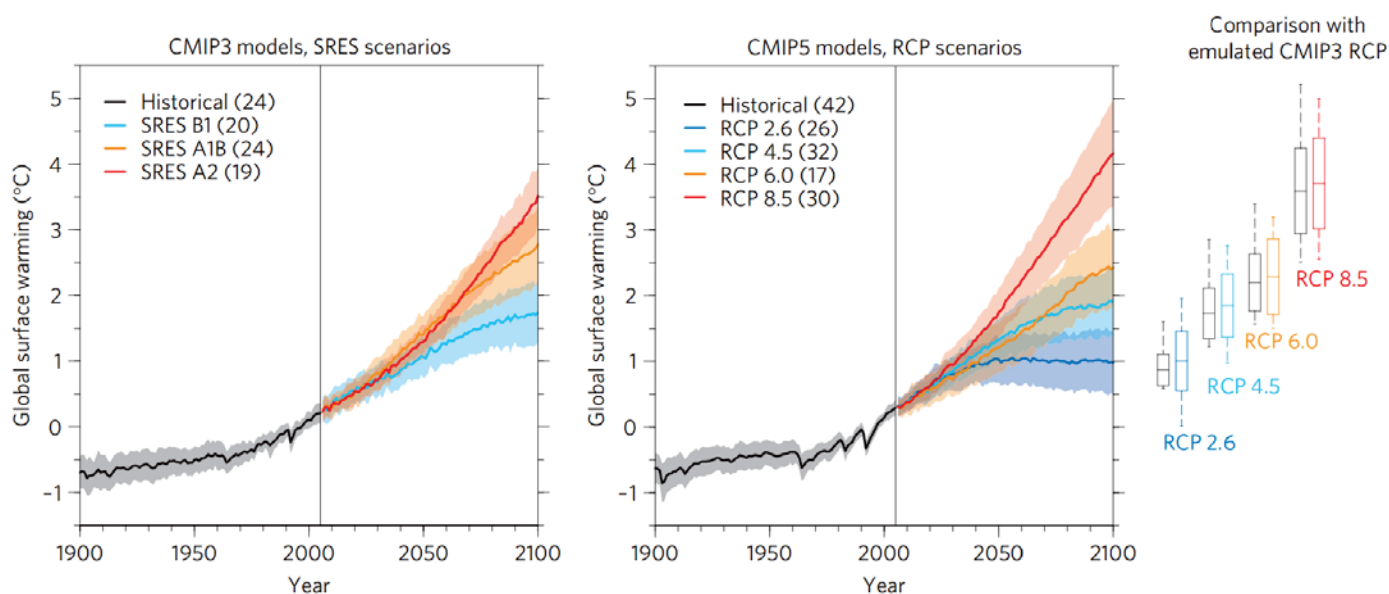
Στην παρούσα διατριβή, τα σενάρια εμφανίζονται και ως RCP26, RCP45, RCP60 και RCP85.

Economic emphasis	
Global integration	A1 storyline <u>World</u> : market-oriented. <u>Economy</u> : faster per capita growth. <u>Population</u> : 2050 peak, then decline. <u>Governance</u> : strong regional interactions; income convergence. <u>Technology</u> : three scenario groups: <ul style="list-style-type: none"> • A1F: fossil intensive • A1T: non fossil energy sources • A1B: balanced across all sources
	A2 storyline <u>World</u> : differentiated. <u>Economy</u> : regionally oriented; lowest per capita growth <u>Population</u> : continuously increasing <u>Governance</u> : self-reliance with preservation of local identities. <u>Technology</u> : slowest and most fragmented development.
Regional Emphasis	B1 storyline <u>World</u> : convergent. <u>Economy</u> : service and information-based; lower growth than A1. <u>Population</u> : same as A1. <u>Governance</u> : global solutions to economic, social and environmental sustainability. <u>Technology</u> : clean and resource efficient.
	B2 storyline <u>World</u> : local solutions. <u>Economy</u> : intermediate growth. <u>Population</u> : continuously increasing at lower rate than A2. <u>Governance</u> : local and regional solutions to environmental protection and social equity. <u>Technology</u> : More rapid than A2; less rapid, more diverse than A1/B1.
Environmental emphasis	

Εικόνα 1: Σενάρια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ισορροπία κάθε σεναρίου μεταξύ περιβάλλοντος και οικονομίας, παγκόσμιας και τοπικής ανάπτυξης.

Οι δύο παραπάνω γενιές σεναρίων δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα καθώς στηρίζονται σε διαφορετικές φιλοσοφίες. Οι Rogelj et al., (2012) χρησιμοποίησαν το μειωμένης πολυπλοκότητας μοντέλο κύκλου του άνθρακα MAGICC^{v6} (Meinshausen et al., 2011) για να συγκρίνουν τις δύο γενιές σεναρίων. Κατέληξαν στο ότι αν και τα RCPs δεν σχεδιάστηκαν ώστε να μιμούνται τα σενάρια SRES, όμως μπορούν να εξαχθούν κάποιες αναλογίες για τον 21^ο αιώνα. Έτσι, ζεύγη σεναρίων με παρόμοιες πορείες θερμοκρασίας είναι τα RCP8.5 – A1FI, RCP6.0 – B2, RCP4.5-B1. Το A1B είναι ανάμεσα στα RCP6 και RCP8.5, ενώ το A2 ομοίως ανάμεσα στα RCP6.0 και RCP8.5, αλλά προβλέποντας μεγαλύτερη αύξηση στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία από το

A1B. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η εξέλιξη στην προσομοιωμένη μέση θερμοκρασία για τον 20^ο και 21^ο αιώνα, βάσει των δύο οικογενειών σεναρίων. Η εικόνα είναι δανεισμένη από τους Knutti & Sedláček (2012) και μπορεί να δώσει μια συνοπτική εικόνα της πορείας που διαγράφουν τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών.



Εικόνα 2: Αλλαγή στην μέση παγκόσμια θερμοκρασία (και εύρος μίας τυπικής απόκλισης στις σκιαγραφημένες περιοχές) και αβεβαιότητα για τον 20ο και 21ο αιώνα, σχετικά με την περίοδο 1986-2005, για τα SRES και RCP σενάρια. Στις παρενθέσεις δίδονται ο αριθμός των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό. Τα boxplots δεξιά δίνουν τη μέση τιμή, το εύρος μίας τυπικής απόκλισης όπως επίσης το μέγιστο και ελάχιστο για την περίοδο 2080–2099, για τα μοντέλα του CMIP5 (χρωματιστά) και τα αποτελέσματα του MAGICC βαθμονομημένο για 19 CMIP3 μοντέλα (μαύρο), τρέχοντας τα RCPs (Πηγή Knutti και Sedláček, 2012).

Η κλιματική μεταβολή έχει επηρεάσει και προβλέπεται να επηρεάσει ακόμα εντονότερα στο μέλλον τις υδρολογικές παραμέτρους σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Γεγονός είναι ότι η κλιματική μεταβολή επηρεάζει διαφορετικές περιοχές του πλανήτη με διαφορετικό τρόπο τόσο όσον αφορά το καθεστώς ροής όσο και στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων (Grillakis et.al., 2010; Tsanis et. al., 2010).

Τα αποτελέσματα των κλιματικών μοντέλων εμπεριέχουν σφάλματα μεροληψίας τα οποία αυξάνονται με την αύξηση του χρόνου ανάλυσης (μελλοντική περίοδος) και έχουν διαφορετική ένταση ανάλογα με την

παράμετρο (Sharma et al., 2007; Hansen et al., 2006; Feddersen και Andersen, 2005). Η παράμετρος της κατακρήμνισης συνήθως εμπεριέχει μεγαλύτερα σφάλματα από αυτά της θερμοκρασίας (Wood et al., 2004). Προκειμένου τα αποτελέσματα αυτά να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα σφάλματα αυτά πρέπει να διορθωθούν. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την διόρθωση των σφαλμάτων που ποικίλουν ανάλογα με την εξεταζόμενη παράμετρο και την χρονική διακριτοποίηση της χρονοσειράς της παραμέτρου. Τα σφάλματα μεροληψίας προέρχονται κυρίως από ατέλειες που οφείλονται στην χαμηλή χωρική ανάλυση των GCMs. Τα σφάλματα εντοπίζονται κυρίως στη μέση κατακρήμνιση, τον αριθμό των ημερών με μικρό ύψος κατακρημνισμάτων και την υποεκτίμηση των πολύ υψηλών τιμών κατακρήμνισης (Leander and Buishand, 2007). Η παρουσία τέτοιων σφαλμάτων μειώνει την χρηστικότητα των δεδομένων κατακρήμνισης στις μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Wood et al., 2004) και μπορούν να οδηγήσουν σε ανεπιθύμητη αβεβαιότητα πάνω στις προβολές των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Οι τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων μεροληψίας που χρησιμοποιούνται, εφαρμόζονται σε ολόκληρο το φάσμα του ιστογράμματος της έντασης των δεδομένων κατακρήμνισης (Biagorria et al., 2007) προκειμένου αυτά να καταστούν κατάλληλα για μελέτες (Giorgi and Mearns, 1991). Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν στατιστικούς μετασχηματισμούς που μεταφέρουν τις στατιστικές ιδιότητες της παρατηρημένης κατακρήμνισης, πάνω στην προσομοιωμένη από τα μοντέλα, ή δυναμικές μεθόδους καταβιβασμού κλίμακας όπου στηρίζονται στην εφαρμογή Περιφερειακών Κλιματικών Μοντέλων (Regional Climate Models – RCMs) που λαμβάνουν ως οριακές συνθήκες δεδομένα όπου προέρχονται από GCMs (Rummukainen et al., 2010). Να σημειωθεί ότι ως τεχνικές, η διόρθωση σφάλματος μεροληψίας και καταβιβασμού κλίμακας, δεν εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό, όμως συσχετίζονται άμεσα στα πλαίσια της συστηματικής διόρθωσης σφάλματος μεροληψίας. Οι στατιστικές μέθοδοι παρόλα αυτά, έχουν το πλεονέκτημα της απλότητας και το χαμηλό υπολογιστικό κόστος στην εφαρμογή τους σε σχέση με τις δυναμικές μεθόδους (Fowler et al., 2007). Οι στατιστικές μέθοδοι που συναντιούνται στην βιβλιογραφία, γίνονται όλο και πιο απαιτητικές υπολογιστικά, (Zorita and Hans

Von Storch, 1999), αλλά παραμένουν και πάλι λιγότερο σύνθετες από ένα κλιματικό μοντέλο τοπικής κλίμακας. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η εφαρμογή δυναμικού καταβιβασμού κλίμακας δεν εξαλείφει παντελώς τα σφάλματα μεροληψίας από τη κατακρήμνιση (Hurkmans et al., 2010; Lenderink et al., 2007; van Pelt et al., 2009; Shabalova et al., 2003).

Οι στατιστικές μέθοδοι διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος που βασίζονται σε συναρτήσεις μεταφοράς, δημιουργούν στατιστικές σχέσεις ανάμεσα στις αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής (cumulative density functions - CDFs) μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης κατακρήμνισης για μια κοινή χρονική περίοδο. Η σχέση αυτή εφαρμόζεται έπειτα στις προβολές της κατακρήμνισης (Deque, 2007; Block et al., 2009; Piani et al., 2010). Η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να προκύψει από την χαρτογράφηση της εμπειρικής κατανομής της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης κατακρήμνισης με μία θεωρητική κατανομή. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως χαρτογράφηση ποσοστημορίων (Wood et al., 2004) ή χαρτογράφηση κατανομών (Kirono et al., 2011). Άλλες τεχνικές στατιστικής διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος βασίζονται στην εξισορρόπηση στατιστικών χαρακτηριστικών μεταξύ παρατηρημένης και μοντελοποιημένης κατακρήμνισης, όπως την μέση τιμή και την διακύμανση (Horton et al., 2006; Leander and Buishand, 2007; Leander et al., 2008), ή την τυπική τιμή και το υπόλοιπο (residuals) μεταξύ ημερήσιας και μηνιαίας κατακρήμνισης (Engen-Skaugen, 2007). Μια ολοκληρωμένη συγκριτική μελέτη των διαφόρων στατιστικών μεθόδων διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος παρουσιάζεται από τους Gudmundsson et al. (2012). Ανέλυσαν δώδεκα καθιερωμένες μεθοδολογίες διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων μετασχηματισμού κατανομής και μεθόδους παραμετρικών μετασχηματισμών, όπως επίσης και μη παραμετρικές μεθόδους, που χρησιμοποιούν την εμπειρική εξομάλυνση μεθοδολογιών σφήνας (splines). Οι μέθοδοι δοκιμάστηκαν για καταβιβασμό δεδομένων ενός RCM με χρήση παρατηρημένων δεδομένων βροχόπτωσής στην Νορβηγία. Βρήκαν ότι οι δύο δοκιμασμένες μεθοδολογίες των εμπειρικών ποσοστημορίων και αυτή των εξομάλυνσης με splines είχαν τις καλύτερες επιδόσεις στη μείωση των συστηματικών σφαλμάτων.

Βασικό μειονέκτημα των μεθόδων διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος δεδομένων από προβολές με χρήση σχέσεων που εξάγονται μεταξύ παρατήρησης και μοντέλου για μια κοινή περίοδο, είναι πως γίνεται υπό την υπόθεση ότι η διόρθωση αυτή ισχύει και για το μελλοντικό προβαλλόμενο κλίμα πράγμα που δεν ισχύει κατ' ανάγκη (Trenberth et al., 2007; Trenberth, 2003). Αυτή η υπόθεση συνεπάγεται ότι η συνάρτηση μεταφοράς που συσχετίζει τις παρατηρήσεις με τις προσομοιώσεις παραμένει αμετάβλητη σε ένα κλίμα που αλλάζει. Ως αποτέλεσμα, η συνάρτηση μεταφοράς που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις παρελθούσες κλιματικές συνθήκες, θεωρείται ότι εξακολουθεί να ισχύει στο μέλλον (Rojas et.al., 2011). Ωστόσο, εάν η χρονοσειρά που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό συνάρτηση μεταφοράς είναι αρκετά μεγάλη, τα μακροπρόθεσμα πρότυπα της μεταβλητότητας του κλίματος θα περιλαμβάνονται σε αυτή (Zorita and Storch, 1999). Ένα άλλο μειονέκτημα των στατιστικών μεθόδων, είναι η αβεβαιότητα που εισάγεται στα δεδομένα των μοντέλων από την προσαρμογή μίας θεωρητικής κατανομής στην εμπειρική κατανομή των δεδομένων (Rojas et al., 2011). Ωστόσο, μη-παραμετρικές μέθοδοι που κάνουν χρήση εμπειρικών κατανομών, ξεπερνάνε το πρόβλημα της προσαρμογής καθώς δεν βασίζονται σε μια προκαθορισμένη θεωρητική συνάρτηση κατανομής.

Σε εργασία τους οι Hagemann et al. (2011) ανέλυσαν την επίπτωση μίας πρόσφατης τεχνικής στατιστικής διόρθωσης σφάλματος μεροληψίας στις υδρολογικές μεταβολές δύο υδρολογικών μοντέλων και τριών GCMs. Κατέληξαν στο ότι σε μερικές περιοχές, η επίπτωση της διόρθωσης στο σήμα της κλιματικής μεταβολής είναι της τάξεως του σήματος του ίδιου. Βρήκαν επίσης ότι το επίπεδο αβεβαιότητας της διόρθωσης μπορεί να είναι συγκρίσιμο με την αβεβαιότητα που συνδέεται με την επιλογή του GCM που είναι από τις μεγαλύτερες πηγές αβεβαιότητας σε κάθε μελέτη επίπτωσης της κλιματικής μεταβολής (Minville et al., 2008). Ένα άλλο μειονέκτημα των μεθόδων που χρησιμοποιούν εξισώσεις μεταφοράς, είναι ότι αποτυγχάνουν να αναπαράγουν τα γεγονότα υψηλής κατακρήμνισης (Wilby et al., 1999). Οι Wilby et al. (2004) επίσης επισημαίνουν ότι οι στατιστικές μέθοδοι συνήθως βαθμονομούνται με τρόπο που αναπαράγουν καλύτερα την μέση κατακρήμνιση αλλά αποτυγχάνουν στο να αναπαράγουν ακραία γεγονότα. Οι Themeßl et al.

(2011a) συνέκριναν ένα σύνολο επτά εμπειρικών – στατιστικών μεθόδων καταβιβασμού κλίμακας και διόρθωσης σφάλματος, συμπεραίνοντας ότι η αντιστοίχιση ποσοστημορίων ως μέθοδος δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα ειδικά στα υψηλότερα ποσοστημόρια. Πιο συγκεκριμένα, οι Themeßl et al. (2011b) δείχνουν ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν συναρτήσεις μεταφοράς μπορούν να επιτύχουν καλά αποτελέσματα ακόμα και σε περιπτώσεις ακραίων γεγονότων κατακρήμνισης.

Η κατακρήμνιση και η θερμοκρασία είναι οι κύριοι οδηγοί του κλίματος στην υδρολογία ενός ποταμού. Η σημαντικότητά της θερμοκρασίας γίνεται ακόμα μεγαλύτερη σε περιοχές με έντονα φαινόμενα χιονόπτωσης, καθώς αυτή επηρεάζει τη διαδικασία της τήξης του χιονιού στο τέλος του χειμώνα και την άνοιξη. Ένας θερμότερος χειμώνας οδηγεί σε περισσότερες ημέρες με θερμοκρασίας πάνω από τους 0 °C, με αποτέλεσμα την συχνότερη εμφάνιση γεγονότων βροχόπτωσης. Έτσι, η απορροή αυξάνεται ενώ η συσσώρευση χιονιού μειώνεται (Whitfield et al., 2003), γεγονός που επηρεάζει όχι μόνο την απορροή, αλλά και τα χαρακτηριστικά του στρώματος χιονιού που δημιουργείται, όπως το πάχος του και τη διάρκειά του. Το πάχος του στρώματος χιονιού επηρεάζει την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ εδάφους και ατμόσφαιρας (Zhang, 2005). Οι πιθανές επιπτώσεις ενός θερμότερου χειμώνα στην διάρκεια της περιόδου που υφίσταται το στρώμα χιονιού και την κατανομή της τήξης του χιονιού είναι πιο περίπλοκες, με την νωρίτερα τήξη του χιονιού να οδηγεί σε πιο παρατεταμένη περίοδο θέρμανσης του εδάφους και έτσι, σε αργότερη αρχή της περιόδου συσσώρευσης χιονιού (Lawrence and Slater 2010). Ένα λεπτότερο στρώμα χιονιού κατά τη διάρκεια του χειμώνα παρέχει λιγότερη μόνωση στο έδαφος από τις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα, ενώ ένα πιο παχύ στρώμα παρέχει καλύτερη μόνωση με αποτέλεσμα το έδαφος να παγώνει σε μικρότερο βάθος.

Η αβεβαιότητα στις μελλοντικές προβλέψεις του κλίματος είναι πολύ μεγάλη. Τα κλιματικά μοντέλα αποτελούν την μεγαλύτερη πηγή αβεβαιότητας στις μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Παρόλα αυτά, η χρήση δεδομένων που προέρχονται από κλιματικά μοντέλα, σε υδρολογικά μοντέλα, είναι η μόνη μέθοδος που θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την πρόβλεψη επιπτώσεων των πιθανών αλλαγών στην υδρολογία μιας περιοχής, λόγω

κλιματικής αλλαγής. Οι Minville et al. (2008) μελέτησαν τις αβεβαιότητες των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογία της υδρολογικής λεκάνης Chute-du-Diable του Καναδά και κατέληξαν πως από όλες τις πηγές αβεβαιότητας που μελετήθηκαν, οι μεγαλύτερες προέρχονται από την επιλογή του GCM, υποδεικνύοντας ότι μελέτες επιπτώσεων στηριζόμενες σε ένα μόνο GCM θα πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για το πώς μπορεί να μειωθεί η αβεβαιότητα των μελλοντικών κλιματικών προβλέψεων. Οι Dibike και Coulibaly (2007) αναφέρουν ότι οι υδρολογικές προσομοιώσεις με βάση τα καταβιβασμένα δεδομένα κατακρήμνισης και θερμοκρασίας από GCM του παρελθόντος κλίματος, θα πρέπει να προσεγγίζουν τα δεδομένα της καταγεγραμμένης ροής αρκετά καλά, διαφορετικά θα ήταν πολύ δύσκολο να βασιστούν σε αυτά οποιαδήποτε εκτίμηση της επίπτωσης της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογία της περιοχής αυτής. Ο Coulibaly (2009) τόνισε τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης με πολλά μοντέλα, τόσο στον καταβιβασμό κλίμακας, όσο και στην υδρολογική προσομοίωση, και έδωσε έμφαση στην αβεβαιότητα, μελετώντας τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής την υδρολογική λεκάνη Serpent στον Βορειοανατολικό Καναδά. Οι Khan και Coulibaly (2010), παρουσίασαν μία προσέγγιση βασισμένη σε Μπαεζιανά νευρωνικά δίκτυα (Bayesian Neural Network - BNN), για την εκτίμηση των αβεβαιοτήτων σε GCMs, σενάρια εκπομπών, τεχνικές καταβιβασμού κλίμακας και υδρολογικών μοντέλων, για την αξιολόγηση του επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογία δύο υδρολογικών λεκανών στο βορειοανατολικό Καναδά. Αναφέρουν ότι το μοντέλο BNN θα μπορούσε να είναι μια καλή εναλλακτική μέθοδος για την εφαρμογή της προσέγγισης συνόλων πολλαπλών μοντέλων, όταν δεν είναι διαθέσιμοι αρκετοί πόροι. Οι Kerkhoven και Gan (2011), εξέτασαν την αβεβαιότητα των καταγεγραμμένων και προσομοιωμένων από υδρολογικό μοντέλο για το παρελθόν και μέλλον παροχών ποταμών, ωθούμενων από στοιχεία προερχόμενα από GCM, για δύο λεκάνες στο δυτικό Καναδά, χρησιμοποιώντας πολυκλασματική ανάλυση (multifractal analysis). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αβεβαιότητες που συνδέονται με την πολυκλασματική μεταβολή ήταν της τάξης του $\pm 50\%$. Μελετώντας τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη νότια Βρετανική Κολομβία για τα αίτια πλημμυρικών ροών χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα του GCM CGCMA1 (Canadian

Centre for Climate Modelling Analysis General Circulation Model), οι Loukas et al. (2002) βρήκαν ότι το μελλοντικό κλίμα θα είναι υγρότερο και θερμότερο από το παρόν κλίμα. Διαπίστωσαν επίσης ότι το συνολικό μέγεθος και η συχνότητα των πλημμυρών θα αυξηθούν. Οι Dibike και Coulibaly (2005) συνέκριναν δύο μεθόδους καταβιβασμού κλίμακας και δύο υδρολογικά μοντέλα για τη μελέτη των υδρολογικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογική λεκάνη Saguenay, στο βόρειο Κεμπέκ του Καναδά. Τα καταβιβασμένα αποτελέσματα έδειξαν μια γενική τάση αύξησης τόσο στη μέση ημερήσια θερμοκρασία, όσο και στη μεταβλητότητα των ημερήσιων τιμών κατακρήμνισης. Η ανάλυση των υδρολογικών επιπτώσεων έδειξε μια γενική τάση αύξησης της μέσης ετήσιας παροχής του ποταμού και την εισροή στους ταμιευτήρες, καθώς και νωρίτερες παροχές αιχμής την άνοιξη στη λεκάνη.

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών στην υδρολογία μίας περιοχής είναι μεγάλης σημασίας, καθώς αυτές θα μπορούσαν να επηρεάσουν την εποχική ή μακροχρόνια διαθεσιμότητα του νερού, ή τη συχνότητα εμφάνισης ακραίων φαινομένων με καταστροφικές κοινωνικοοικονομικές συνέπειες. Έτσι, τα μακροπρόθεσμα σχέδια ανάπτυξης θα πρέπει να εξετάζουν και το ενδεχόμενο της αλλαγής του κλίματος για το μέλλον. Η πρόσφατη μελέτη των Sultana και Coulibaly (2010), επικεντρώνεται στις μελλοντικές αλλαγές των υδρολογικών διεργασιών της λεκάνης απορροής του Spencer Creek στο νότιο Οντάριο. Για το σενάριο εκπομπών SRES A2, τα καταβιβασμένα αποτελέσματα από GCMs έδειξαν μια αύξηση περίπου 15% στην μέση ετήσια κατακρήμνιση και 2 - 3 °C, αύξηση στις ετήσιες μέσες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες για την περίοδο 2046 - 2065. Το συζευγμένο υδρολογικό μοντέλο MIKE SHE/MIKE 11 έδειξε μία 1-5% ετήσια μείωση στα αποθέματα χιονιού, 1-10% αύξηση στην ετήσια ET, 0,5 έως 6% μείωση στην ετήσια αναπλήρωση των υπόγειων υδάτων, και περίπου 10-25% αύξηση στη μέση ετήσια παροχή του ποταμών, για την ίδια περίοδο στη λεκάνη απορροής του Spencer Creek.

Διάφορα σενάρια του μελλοντικού κλίματος υποδηλώνουν την πιθανότητα αύξησης των «στεγνών και ζεστών» ακραίων γεγονότων για πολλές περιοχές σε όλο τον κόσμο (Beniston et al., 2007; Christensen and Christensen, 2003; Kundzewicz et al., 2005; Semmler and Jacob, 2004; Kundzewicz et al., 2006; Easterling et al., 2000; Tsanis et al., 2011). Οι έντονες βροχοπτώσεις είναι

πιθανό να αυξηθούν στο θερμότερο κλίμα του μέλλοντος, συμβάλλοντας στην αύξηση της επικινδυνότητας των πλημμυρών σε περιοχές όπου πλημμύρες συνήθως προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις (Kundzewicz et al., 2006). Ωστόσο, το ερώτημα παραμένει ως προς το εάν ή όχι η συχνότητα και / ή το μέγεθος των ακραίων γεγονότων αυξάνεται επίσης και, εάν ναι, κατά πόσον είναι σε συμφωνία με τη μεταβλητότητα και την αλλαγή του κλίματος (Kundzewicz et al., 2005). Οι πλημμύρες και οι ξηρασίες είναι πολύπλοκες διαδικασίες που προκαλούνται από διάφορους μηχανισμούς και επηρεάζονται με διάφορους τρόπους από την κλιματική αλλαγή, και ως εκ τούτου οριζόντιες δηλώσεις για την κατεύθυνση της αλλαγής στα άκρα φαινόμενα είναι πιθανότατα ανακριβείς. Η διάκριση οιαδήποτε τάσης σχετικά με τα ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία, εξ ορισμού, είναι σπάνια θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με μεγάλη προσοχή και τυπική ανάλυση αβεβαιότητας.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε μία μέθοδος διόρθωσης των μεροληπτικών σφαλμάτων που έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται στην αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας τόσο των παρατηρημένων όσο και των προσομοιωμένων από τα κλιματικά μοντέλα δεδομένα κατακρήμνισης. Έτσι, η μέθοδος μπορεί να διορθώσει σε καλύτερο βαθμό τα σφάλματα μεροληψίας στα ανώτερα ποσοστημόρια της κατακρήμνισης.

3 ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Υδρολογικός Κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω απ' αυτή (Εικόνα 3). Το αλγεβρικό άθροισμα των διαφόρων συνιστωσών της κυκλοφορίας και των μεταβολών στην αποθήκευση του νερού σε έναν όγκο αναφοράς, είναι μηδέν σε οποιαδήποτε χρονική διάρκεια. Εισροή σε μια λεκάνη αποτελεί η κατακρήμνιση, ενώ εκροή θεωρείται η εξατμισοδιαπνοή και η επιφανειακή απορροή. Η αποθήκευση νερού πρόκειται για την αποθήκευση στο έδαφος. Η γενική του μορφή εκφράζει την ισότητα των εισροών και εκροών στη λεκάνη παρουσιάζεται στην Εξίσωση 3-1 ενώ αναλύεται βάση των διαφόρων τύπων εισροών και εκροών στην Εξίσωση 3-2.

$$\Delta S = \text{Εισροές} - \text{Εκροές} \quad (\text{Εξ. 3-1})$$

$$\Delta(S_s + S_g) = P + E_1 + G_1 + E_s - E_x - E_2 - G_2 - E - T \quad \text{Εξ. 3-2}$$

όπου,	ΔS ,	η διαφορά της αποθήκευσης στον όγκο αναφοράς.
	S_s	το επιφανειακό απόθεμα
	S_g	το υπόγειο απόθεμα
	P	τα κατακρημνίσματα
	E_1	η επιφανειακή εισροή
	G_1	η υπόγεια εισροή
	E_s	οι εισαγωγές
	E_x	οι εξαγωγές
	E_2	οι επιφανειακές εκροές
	G_2	οι υπόγειες εκροές
	E	η εξάτμιση
	T	η διαπνοή

Αν στον παραπάνω κύκλο, οι υπόγειες εκροές G_2 και εισροές G_1 καθώς και οι εισαγωγές/εξαγωγές E_x , E_s θεωρηθούν αμελητέες, τότε, ο υδρολογικός κύκλος συνοψίζεται στην Εξίσωση 3-3. Στην εξίσωση αυτή, αν θεωρήσουμε μαζί την εξάτμιση και την διαπνοή και θεωρήσουμε την εφαρμογή της εξίσωσης σε επίπεδο λεκάνης απορροής ($E_1 = 0$), και υποθέσουμε την διαχρονική

σταθερότητα των αποθεμάτων ($\Delta S_S + \Delta S_G = 0$), τότε καταλήγουμε στην Εξίσωση 3-4.

$$\Delta(S_S + S_G) = P + E_1 - E_2 - E - T \quad \text{Εξ. 3-3}$$

$$P = E_2 - ET \quad \text{Εξ. 3-4}$$

Η τελευταία Εξίσωση 3-4 συνοψίζει την βασική λειτουργία των μοντέλων επιφανειακής υδρολογίας. Από τις τρεις συνιστώσες, η κατακρήμνιση και η επιφανειακή απορροή είναι οι πιο εύκολα μετρούμενες.



Εικόνα 3: Απεικόνιση υδρολογικού ισοζυγίου (Illustration by John M. Evans, Howard Perlman, USGS Greek translation by Demetris Koutsoyiannis, National Technical University of Athens)

Γίνεται κατανοητό ότι η εξατμισοδιαπνοή (ET) είναι μια κρίσιμη παράμετρος στο υδατικό ισοζύγιο. Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να εκτιμηθεί με διάφορες έμμεσες μεθόδους όπως είναι τα εξατμισήμετρα, λυσίμετρα, ή μεθόδους που λαμβάνουν υπόψη τους μετεωρολογικές και άλλες παραμέτρους όπως την θερμοκρασία, την υγρασία, την ακτινοβολία, τον άνεμο κλπ. Για την εξατμισοδιαπνοή έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί, όπως τη πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (εξατμισοδιαπνοή από συγκεκριμένο είδος φυτού, σε συγκεκριμένη ανάπτυξη), όμως έχει επικρατήσει ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή ορίζεται ως η απώλεια νερού που θα προκύψει, εάν σε καμία στιγμή δεν υπάρχει έλλειψη νερού στο έδαφος για τη χρήση του από την υπερκείμενη βλάστηση (Thornthwaite, 1944), όπου ως απώλεια νερού ορίζεται το νερό που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και ως εκ τούτου δεν είναι πλέον διαθέσιμο. Διάφορες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί είναι η μέθοδος Penman (Penman, 1948), Penman-Monteith (Monteith, 1965), Priestley-Taylor (Priestley and Taylor, 1972), Equilibrium evaporation (Slatyer and McIlroy, 1961), Turk (Turk, 1961), Thornthwaite (Xu and Singh, 2001), Blaney-Criddle (Blaney and Criddle, 1950), Hamon (Oudin et al., 2005), Jensen-Haise (Jensen et al., 1990) και άλλες. Στην βιβλιογραφία συναντιούνται αρκετές μελέτες όπου συγκρίνουν διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής (για την Κρήτη, Xystrakis και Matzarakis (2011), για τις Νοτιοανατολικές ΗΠΑ, Yoder et al., 2004; Lu et al., 2005, σε παγκόσμια κλίμακα Lieke et al., 2011). Από τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί, η Penman-Monteith έχει καθιερωθεί ως η πρότυπη μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής (Allen et al., 1998) από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO). Η μέθοδος αυτή όμως απαιτεί μια πλειάδα παραμέτρων που πρέπει να είναι διαθέσιμες για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Έτσι, για εκτίμηση της τάξης μεγέθους της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Blaney Criddle.

3.1.1 Μέθοδος FAO Penman-Monteith

Η μέθοδος εκτίμησης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998), εκφράζεται από τη Εξίσωση 3-7. Η εξίσωση χρησιμοποιεί

τις κλιματολογικές παραμέτρους της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιοφάνεια), τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Για να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των υπολογισμών, οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται σε ύψος 2 m πάνω από μια εκτεταμένη επιφάνεια γρασσιδιού που δεν υστερείται ποτέ νερό.

$$ET_{PM} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a \cdot c_a \cdot \frac{(v_a^* - v_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad \text{Εξ. 3-7}$$

όπου ET_{PM} είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά Penman-Monteith (mm day^{-1}), R_n είναι η καθαρή ημερήσια ακτινοβολία στην επιφάνεια της βλάστησης ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), G είναι ο συντελεστής θερμικής ροής του εδάφους ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), ρ_a είναι η μέση πυκνότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση (kg m^{-3}), c_a είναι ο συντελεστής ειδικής θερμότητας του αέρα ($\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), r_a είναι η “αεροδυναμική ή ατμοσφαιρική αντίσταση” στην μεταφορά υδρατμών (s m^{-1}) σε ουδέτερες συνθήκες σταθερότητας (Allen et al., 1998, p. 20), r_s είναι η “επιφανειακή αντίσταση” (s m^{-1}), $(v_a^* - v_a)$ είναι το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (kPa), λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (MJ kg^{-1}), Δ είναι η κλίση της καμπύλης τάσεως κορεσμού του ατμού ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) στην θερμοκρασία του αέρα, και γ είναι η ψυχομετρική σταθερά ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), r_a και r_s είναι αεροδυναμική αντίσταση και την επιφάνεια αντίστασης της βλάστησης αντίστοιχα (McMahon et al., 2012).

3.1.2 Μέθοδος Blaney-Criddle

Η μέθοδος υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Blaney – Criddle (Blaney & Criddle, 1950; 1962) στηρίζεται στην γραμμική συσχέτιση της θερμοκρασίας με την εξατμισοδιαπνοή, λαμβάνοντάς μόνο υπόψη το γεωγραφικό πλάτος του σημείο για τον οποίο γίνεται η εκτίμηση. Η αρχική διαδικασία βασίστηκε σε μετρήσεις εξατμισοδιαπνοής που έγιναν τις δεκαετίες 1920 και 1930, με παρακολούθηση των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας σε δείγματα εδάφους. Η σχέση που δημιούργησαν οι Blaney-Criddle αναφερόταν στον υπολογισμό της εποχιακής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών, με τη

βασική παραδοχή ότι αυτή άμεσα διαμορφώνεται από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και των μέσων μηνιαίων ποσοστών των ωρών ημέρας του έτους, για μια δυναμικά αναπτυσσόμενη καλλιέργεια υπό συνθήκες επαρκούς εδαφικής υγρασίας. Οι Allen & Pruitt (1986) παρουσίασαν μια τροποποιημένη εκδοχή των Blaney - Criddle (Εξίσωση 3-5), που βασίζεται σε δεδομένα θερμοκρασίας και μόνο.

$$ET_0 = p \cdot (0.46 \cdot T_{\text{mean}} + 8.13) \quad \text{Εξ. 3-5}$$

όπου, ET_0 η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, T_{mean} η μέση ημερήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) και p το μέσο ημερήσιο ποσοστό της ετήσιας ηλιοφάνειας (Πίνακας 1).

Η εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής όπως αυτή υπολογίζεται από την εξίσωση του Blaney – Criddle θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή καθώς μπορεί να υπερεκτιμήσει την δυνητική εξατμισοδιαπνοή ως και κατά 40% σε ήρεμες, υγρές, συννεφιασμένες περιοχές και αντίστοιχα να τις υποτιμήσει ως και κατά 60% σε ανεμώδεις, ξηρές, ηλιόλουστες περιοχές (FAO, 1983). Οι Doorenbos & Pruitt (1977), τροποποίησαν την μέθοδο ώστε να υπολογίζει καλύτερα την δυνητική εξατμισοδιαπνοή, εισάγοντας παραμέτρους μηνιαίας σχετικής υγρασίας, ημερήσιας ταχύτητας ανέμους κ.α. Άλλες τροποποιήσεις και βελτιώσεις εισήχθησαν επίσης από την Soil Conservation Service των ΗΠΑ (USDA, 1970) και τους Allen & Pruitt (1991). Το μειονέκτημα των τροποποιήσεων ήταν η απαίτηση σε περεταίρω δεδομένα από αυτά της θερμοκρασίας.

Πίνακας 1: Μέσο ημερήσιο ποσοστό της ετήσιας ηλιοφάνειας για κάθε γεωγραφικό πλάτος (-60 έως 60).

North hemisphere	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
South hemisphere	Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
60	0.15	0.20	0.26	0.32	0.38	0.41	0.4	0.34	0.28	0.22	0.17	0.13
55	0.17	0.21	0.26	0.32	0.36	0.39	0.38	0.33	0.28	0.23	0.18	0.16
50	0.19	0.23	0.27	0.31	0.34	0.36	0.35	0.32	0.28	0.24	0.20	0.18
45	0.20	0.23	0.27	0.30	0.34	0.35	0.34	0.32	0.28	0.24	0.21	0.2
40	0.22	0.24	0.27	0.30	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21
35	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.22
30	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
25	0.24	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
20	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
15	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
10	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26
5	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

Σε διάφορες μελέτες (Fooladmand et al., 2009; Mohawesh, 2010), έχει χρησιμοποιηθεί η τροποποιημένη από τους Doorenbos & Pruitt (1977) σχέση του Blaney - Criddle (Εξίσωση 3-6), με σκοπό την καλύτερη συσχέτιση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με αυτήν που υπολογίζεται από την μέθοδο FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

$$ET_0 = a + b \cdot [p \cdot (0.46 \cdot T_{\text{mean}} + 8.13)] \quad \text{Εξ. 3-6}$$

Η τροποποιημένη εξίσωση του Blaney - Criddle εισάγει δύο νέες παραμέτρους βαθμονόμησης, a και b , που βαθμονομούνται με χρήση δεδομένων δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που έχουν προέλθει από ακριβέστερη μέθοδο. Ο Mohawesh, (2010) χρησιμοποίησε εκτιμήσεις εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου FAO Penman-Monteith, όπως αυτές υπολογίστηκαν από δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών. Σκοπός της βαθμονόμησης της τροποποιημένης εξίσωσης του Blaney – Criddle είναι να καταστεί η απλή αυτή μέθοδος εκτίμησης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής ικανή να δίνει αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά της Penman-Monteith, ακόμα και σε χρονικές περιόδους που δεν είναι διαθέσιμες όλες οι μεταβλητές που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό αυτής με την Penman-Monteith.

3.2 Πολυτμηματική στατιστική διόρθωση μεροληπτικού σφάλματος κατακρήμνισης

Η Γάμμα κατανομή (Wilks, 1995) έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες για το χαρακτηρισμό της ημερήσιας κατακρήμνισης (Groisman et al., 1999; Semenov & Bengtsson, 2002; Ines & Hansen, 2006). Η Γάμμα κατανομή προτιμάται ανάμεσα σε άλλες κατανομές (Hanson et al., 2008) για την περιγραφή της ημερήσιας κατακρήμνισης, κυρίως λόγω της αριστερής ασυμμετρίας της που ταιριάζει στην ημερήσια κατανομή της κατακρήμνισης και το κατώτερο όριο του μηδενός που περιορίζει την κατακρήμνιση σε θετικές τιμές (Wilks, 2006). Η τεχνική αντιστοίχισης ποσοστημορίων κάνει χρήση αυτών των ιδιοτήτων της κατανομής, προσαρμόζοντας Γάμμα κατανομές στις CDFs των παρατηρούμενων και προσομοιωμένων τιμών κατακρήμνισης. Η προσαρμογή της Γάμμα κατανομής στην παρατηρημένη κατακρήμνιση δεν είναι παρ' όλα αυτά τέλεια. Οι Vlček and Huth, (2009) δοκίμασαν την προσαρμογή της κατανομής Γάμμα σε μετρημένη με όργανα κατακρήμνιση κατά μήκος της Ευρώπης και βρήκαν ότι σε κάποιες περιπτώσεις δεν προσαρμόζεται στα δεδομένα. Οι Vrac and Naveau (2007) υιοθέτησαν ένα συνθετικό μοντέλο για την εναλλαγή μεταξύ Γάμμα κατανομής για τον πυρήνα, και κατανομής ακραίας τιμής (Extreme value) για την ουρά (Maraun et al, 2010).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξελίχθηκε και εφαρμόστηκε μία νέα μέθοδος στατιστικής διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος που βασίζεται στις αρχές της αντιστοίχισης ποσοστημορίων. Η μέθοδος χρησιμοποιεί πολλαπλές συναρτήσεις μεταφοράς πάνω στο φάσμα των συναρτήσεων αθροιστικής πιθανότητας (cumulative density functions – CDFs) παρατηρημένων δεδομένων και των δεδομένων του μοντέλου. Η τμηματική χρήση της Γάμμα κατανομής αυξάνει την ευελιξία του μετασχηματισμού στα δεδομένα του μοντέλου. Η μέθοδος θα αναφέρεται στο εξής πολυτμηματική στατιστική διόρθωση μεροληπτικού σφάλματος (Multi-segment Statistical Bias Correction – MSBC). Η μέθοδος αντιμετωπίζει το πρόβλημα της ελλιπούς προσαρμογής μίας θεωρητικής κατανομής πάνω στα δεδομένα κατακρήμνισης, αποσκοπώντας στην ελάττωση του σφάλματος στη μέση τιμή της κατακρήμνισης και της τυπικής απόκλισης. Στην προτεινόμενη μέθοδο, η CDF

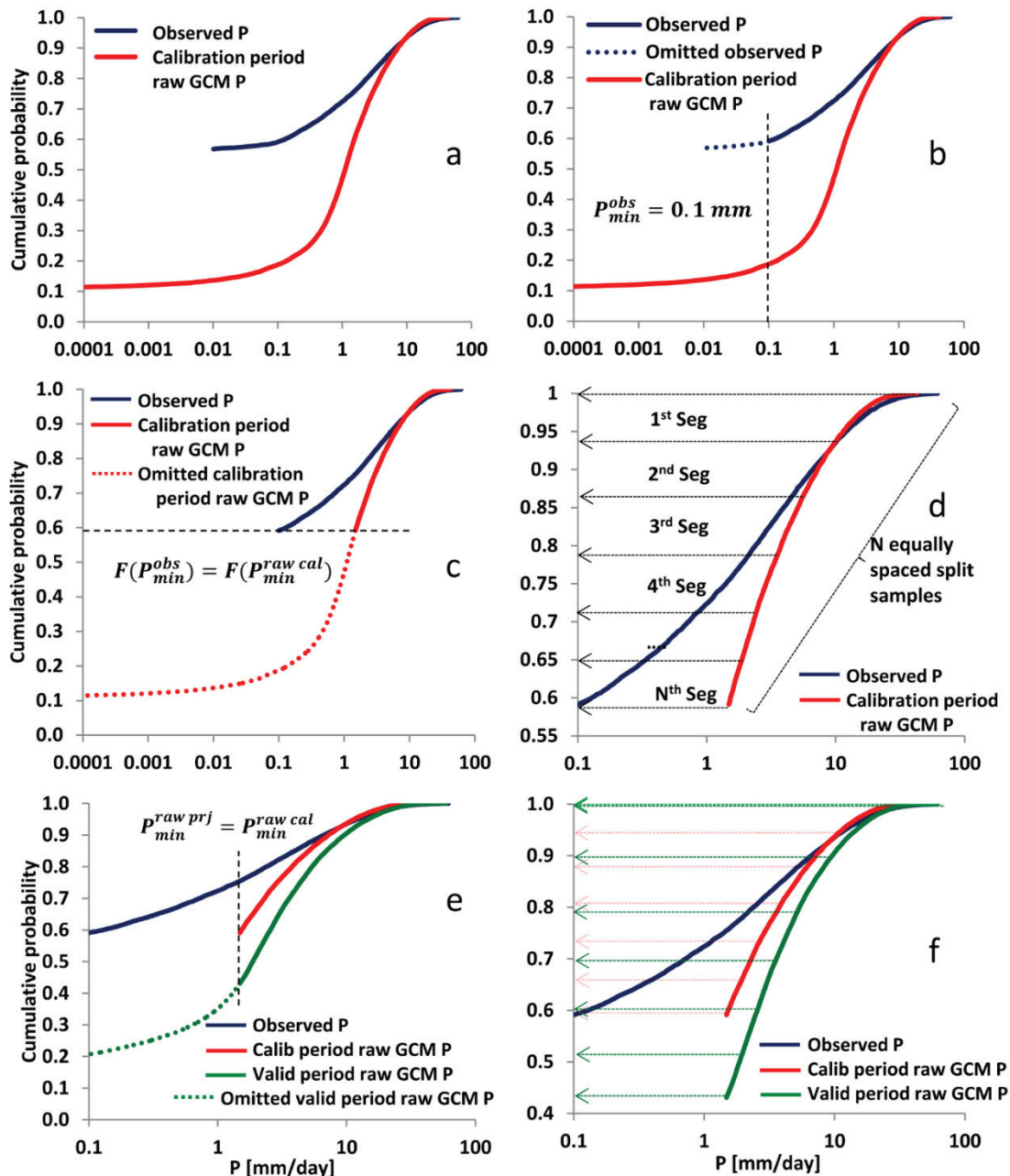
χωρίζετε σε ίσα διακριτά μέρη. Μία διπαραμετρική Γάμμα κατανομή χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα της CDF της κατακρήμνισης. Η επιλογή της Γάμμα κατανομής έγινε για δύο κύριους λόγους. Ο πρώτος είναι πως η μέθοδος είναι σχεδιασμένη να είναι το ίδιο εφαρμόσιμη για ένα ή πολλά τμήματα. Επιπλέον, όταν η CDF χωρίζεται σε λίγα τμήματα, τότε κάποια τμήματα της διατηρούν μεγάλο μέρος των ροπών της αρχικής CDF. Τα τμήματα αυτά θα προσεγγίζονται καλά από την Γάμμα κατανομή.

3.2.1 Προετοιμασία των παρατηρούμενων δεδομένων κατακρήμνισης

Επιλέγεται μία ελάχιστη τιμή κατακρήμνισης 0.1 mm ως η τιμή πάνω από την οποία μία ημέρα θεωρείται υγρή. Η εφαρμογή της κατώφλιας τιμής εξαλείφει τα ίχνη κατακρήμνισης από τα παρατηρημένα δεδομένα. Η τιμή 0.1 mm/day επιλέχθηκε ακολουθώντας τους Ines and Hansen (2006) και Gudmundsson et al. (2012). Οι πρώτοι, ανέπτυξαν μία μεθοδολογία διόρθωσης σφάλματος μεροληψίας σε δεδομένα ημερήσια κατακρήμνισης, που στηρίζεται σε συνάρτηση μεταφοράς που προέρχεται από Γάμμα κατανομές. Οι δεύτεροι, χρησιμοποίησαν την κατώφλια τιμή αυτή, για την σύγκριση 12 διαφορετικών μεθοδολογιών διόρθωσης σφάλματος πόλωσης. Η τιμή αυτή είναι δημοφιλής μεταξύ των διαφορετικών μελετών, λόγω του ότι είναι η κατώτερη μονάδα μέτρησης ύψους βροχόπτωσης από τα κοινώς χρησιμοποιούμενα βροχόμετρα ανατρεπόμενου κάδου. Η εφαρμογή της κατώφλιας τιμής γίνεται με χρήση της Εξίσωσης 3-8.

$$P_i^{obs} = \begin{cases} P_i^{obs} & \text{if } P_i^{obs} \geq 0.1\text{mm/day} \\ 0 & \text{if } P_i^{obs} < 0.1\text{mm/day} \end{cases} \quad \text{Εξ. 3-8}$$

όπου (P_i^{obs}) είναι η κατακρήμνιση την i^{th} μέρα της παρατηρημένης χρονοσειράς. Η εφαρμογή της κατώφλιας τιμής παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 4b.



Εικόνα 4: Διαδικασία διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος, α) CDF δεδομένων περιόδου βαθμονόμησης, β) προετοιμασία παρατηρημένης κατακρήμνισης, γ) διόρθωση αριθμού υγρών ημερών στα δεδομένα του GCM για την περίοδο της βαθμονόμησης, δ) ορισμός τμημάτων για τα παρατηρημένα και GCM δεδομένα στη περίοδο βαθμονόμησης, ε) διόρθωση αριθμού υγρών ημερών στα δεδομένα του GCM για την περίοδο της τεκμηρίωσης, και ς) ορισμός τμημάτων για τα δεδομένα του GCM στην περίοδο της τεκμηρίωσης.

Η αναγκαιότητα αυτού του βήματος εξαρτάται από την πηγή από την οποία έχουν προέλθει τα δεδομένα παρατήρησης.

3.2.2 Προσαρμογή του αριθμού των υγρών ημερών στα δεδομένα του GCM

Ο αριθμός των υγρών ημερών στα αρχικά δεδομένα του GCM για την περίοδο της βαθμονόμησης προσαρμόζεται ώστε να συμπίπτει με τον ανάλογο αριθμό υγρών ημερών στα παρατηρημένα δεδομένα. Κάθε τιμή στα αρχικά δεδομένα κατακρήμνισης του GCM που η αθροιστική του πιθανότητα είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη αθροιστική πιθανότητα της κατώφλιας τιμής που έχει οριστεί στα παρατηρημένα δεδομένα (0.1 mm), μηδενίζεται (Εξίσωση 3-9). Η Εικόνα 4c περιγράφει το βήμα αυτό γραφικά.

$$P_i^{raw\ cal} = \begin{cases} P_i^{raw\ cal} & \text{if } F_{GCM}^{cal}(P_i^{raw\ cal}) \geq F_{obs}(0.1) \\ 0 & \text{if } F_{GCM}^{cal}(P_i^{raw\ cal}) < F_{obs}(0.1) \end{cases} \quad \text{Εξ. 3-9}$$

όπου ($P_i^{raw\ cal}$) είναι η κατακρήμνιση του GCM την i^{th} ημέρα της περιόδου βαθμονόμησης, $F_{GCM}^{cal}(P_i^{raw\ cal})$ είναι η αθροιστική πιθανότητα της ($P_i^{raw\ cal}$) και $F_{obs}(0.1)$ είναι η αθροιστική πιθανότητα της ελάχιστης παρατηρημένης κατακρήμνισης. Έτσι, κάθε τιμή κατακρήμνισης στα δεδομένα του GCM κάτω από την τιμή του $F_{GCM}^{cal^{-1}}(F_{obs}(0.1))$ θεωρείται ως ίχνος κατακρήμνισης. Η διόρθωση στα του σφάλματος μεροληψίας γίνεται έπειτα στις εναπομένουσες τιμές κατακρήμνισης του GCM. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται συχνά όπως φαίνεται και από τους Ines and Hansen (2006). Αξίζει να σημειωθεί πως οι Lavaysse et. al. (2012) δεν κάνουν χρήση της κατώφλιας τιμής, αλλά διατηρούν όλες τις μη μηδενικές τιμές κατακρήμνισης του GCM για διόρθωση.

3.2.3 Διόρθωση σφάλματος μεροληψίας στην περίοδο βαθμονόμησης - εκτίμηση παραμέτρων της εξίσωσης μεταφοράς

Η διόρθωση της κατακρήμνισης του GCM για την περίοδο βαθμονόμησης γίνεται αρχικά τμηματοποιώντας τις εμπειρικές CDFs των αρχικών δεδομένων

του GCM και των παρατηρούμενων δεδομένων σε N ίσα τμήματα (Εικόνα 4d). Η διαδικασία διόρθωσης με χρήση την εξίσωση μεταφοράς εφαρμόζεται έπειτα ξεχωριστά σε κάθε τμήμα. Πρακτικά, κάθε τμήμα (Seg) των CDFs περιέχει NP/N τιμές κατακρήμνισης, όπου NP είναι ο συνολικός αριθμός τιμών κατακρήμνισης μεγαλύτερης από α) 0.1 mm για την παρατηρημένη κατακρήμνιση, και β) $\min(P_i^{raw\ cal})$ για τα αρχικά δεδομένα του GCM. Για κάθε τμήμα, μία θεωρητική CDF εφαρμόζεται στα αρχικά δεδομένα του GCM, και έπειτα η αντίστροφη CDF (ICDF) της υπολογίζεται από τις παραμέτρους της θεωρητικής CDF που προήλθαν από τα παρατηρημένα δεδομένα (Εξίσωση. 3-10).

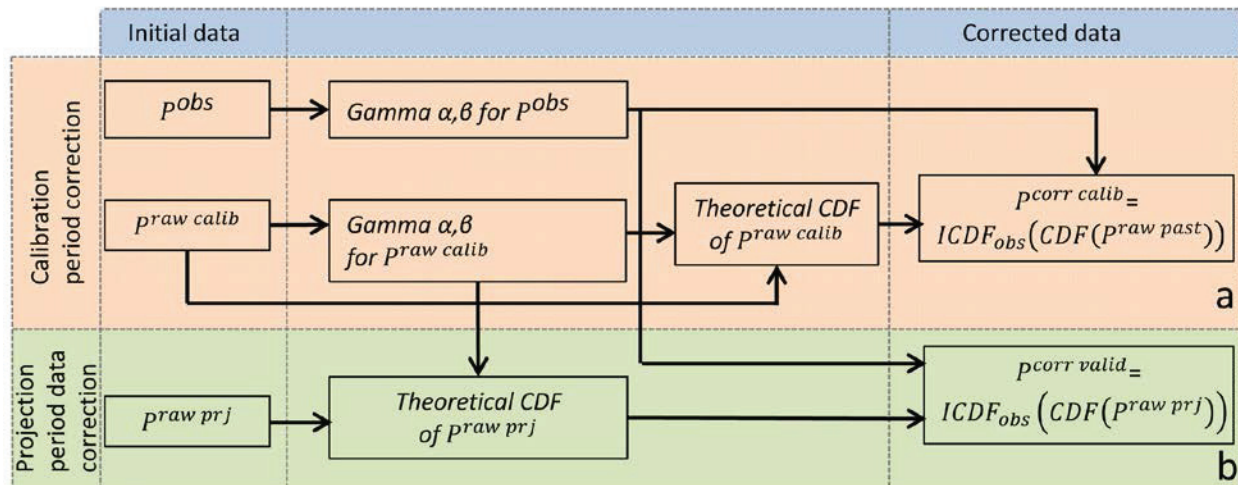
$$P_i^{corr\ cal} = F_{obs}^{-1} \left[F_{GCM}^{cal} \left(P_i^{raw\ cal} \right) \right] \quad \text{Εξ. 3-10}$$

όπου $(P_i^{raw\ cal})$ είναι η αρχική κατακρήμνιση του GCM την i^{th} ημέρα της περιόδου βαθμονόμησης, $F(\cdot)$ είναι η CDF, $F^{-1}(\cdot)$ είναι η αντίστροφη CDF και $(P_i^{corr\ cal})$ είναι η διορθωμένη τιμή κατακρήμνισης την ημέρα i .

Σε κάθε τμήμα των δεδομένων η διόρθωση εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας μία διπαραμετρική εξίσωση Γάμμα κατανομής όπως αυτή παρουσιάζεται στην Εξίσωση 3-11.

$$F_G(x; a, \beta) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \quad \text{Εξ. 3-11}$$

όπου a είναι η παράμετρος σχήματος και β η παράμετρος κλίμακας όπως αυτές προσδιορίζονται από την μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Estimation – MLE).



Εικόνα 5: Διόρθωση ποσοστημοριακή αντιστοίχισης με χρήση Γάμμα κατανομής a) Περίοδος βαθμονόμησης στα δεδομένα του GCM. Στη πρώτη στήλη παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, παρατηρημένα και GCM δεδομένα για την περίοδο βαθμονόμησης. Στη δεύτερη στήλη γίνεται εκτίμηση των παραμέτρων της Γάμμα κατανομής για τα δεδομένα της πρώτης στήλης βάσει της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας (MLE). Στη τρίτη στήλη η GCM κατακρήμνιση μετατρέπεται σε CDF βάσει των παραμέτρων της MLE των ίδιων δεδομένων (δεύτερη στήλη). Στη τέταρτη στήλη υπολογίζεται η αντίστροφη CDF της CDF από τον προηγούμενο υπολογισμό, με χρήση των παραμέτρων της MLE των παρατηρημένων δεδομένων. Το προϊόν του υπολογισμού είναι η διορθωμένη κατακρήμνιση της περιόδου βαθμονόμησης.

b) Στη δεύτερη στήλη η GCM κατακρήμνιση της περιόδου τεκμηρίωσης μετατρέπεται σε CDF βάσει των παραμέτρων της MLE των δεδομένων της περιόδου βαθμονόμησης. Στην τέταρτη στήλη υπολογίζεται η αντίστροφη CDF της CDF από τον προηγούμενο υπολογισμό, με χρήση των παραμέτρων της MLE των παρατηρημένων δεδομένων. Το προϊόν του υπολογισμού είναι η διορθωμένη κατακρήμνιση της περιόδου τεκμηρίωσης.

Η διαδικασία διόρθωσης σε κάθε τμήμα περιγράφεται βήμα προς βήμα στην Εικόνα 5a. Η διαδικασία αυτή είναι η γνωστή αντιστοίχιση ποσοστημορίων, που παρουσιάζεται επίσης από τους Ines and Hansen (2006). Τα αποτελέσματα της διόρθωσης σε κάθε τμήμα ενώνονται έπειτα για να παράγουν την διορθωμένη χρονοσειρά κατακρήμνισης του GCM. Να σημειωθεί η διαδικασία αυτή είναι έγκυρη ακόμα και όταν εφαρμόζεται σε ολόκληρη τη CDF.

3.2.4 Εφαρμογή της διόρθωσης στη περίοδο τεκμηρίωσης

Η διόρθωση σφάλματος μεροληψίας μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε περίοδο πέραν της περιόδου βαθμονόμησης, για παράδειγμα, μια περίοδο

τεκμηρίωσης, ή μια μελλοντική περίοδο. Η διόρθωση ξεκινάει με την διόρθωση των πλεοναζόντων ημερών κατακρήμνισης. Η ελάχιστη τιμή κατακρήμνισης της περιόδου βαθμονόμησης τίθεται ως όριο πάνω από το οποίο μια μέρα θεωρείται υγρή στην περίοδο τεκμηρίωσης (Εικόνα 4e). Η αλλαγή στον αριθμό των υγρών ημερών εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ της αθροιστικής πιθανότητας των $(P_{\min}^{raw\ cal})$ και $(P_{\min}^{raw\ proj})$. Η CDF χωρίζεται έπειτα σε N ίσα μέρη (Εικόνα 4f). Για κάθε τμήμα, η διόρθωση επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας τη διαφορά μεταξύ των CDFs των παρατηρήσεων και των αρχικών δεδομένων του μοντέλου στη περίοδο βαθμονόμησης, πάνω στα δεδομένα της περιόδου τεκμηρίωσης (Εξίσωση 3-12).

$$P_i^{corr\ proj} = F_{obs}^{-1} \left[F_{GCM}^{cal} \left(P_i^{raw\ proj} \right) \right] \quad \text{Εξ. 3-12}$$

όπου $(P_i^{raw\ future})$ και $(P_i^{corr\ proj})$ είναι η αρχική και διορθωμένη τιμή κατακρήμνισης την i^{th} ημέρα της περιόδου τεκμηρίωσης αντίστοιχα. Τα $F(\cdot)$ και $F^{-1}(\cdot)$ είναι η CDF και η αντίστροφη CDF αντίστοιχα, ενώ οι δείκτες ορίζουν τα δεδομένα από τα οποία οι παράμετροι της Γάμμα κατανομής προήλθε. Η διαδικασία παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 5b. Τα αποτελέσματα της διόρθωσης σε κάθε τμήμα ενώνονται έπειτα για να παράγουν την διορθωμένη χρονοσειρά κατακρήμνισης του GCM για την περίοδο τεκμηρίωσης.

3.2.5 Επιλογή βέλτιστου αριθμού τμημάτων

Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί εξίσου με χρήση ενός ή περισσότερων τμημάτων. Η αύξηση του αριθμού των χρησιμοποιούμενων τμημάτων αυξάνει αντίστοιχα και τον αριθμό των παραμέτρων για βαθμονόμηση, και έτσι, και την λεπτομέρεια με την οποία περιγράφεται η συνάρτηση μεταφοράς. Αυτή η αύξηση στην ακρίβεια της προσαρμογής αυξάνει και την πολυπλοκότητα του μοντέλου, ενέχοντας τον κίνδυνο της υπερπροσαρμογής. Για να επιλογή του σωστού αριθμού τμημάτων που θα μπορούσε να λειτουργήσει καλά με τα δεδομένα, χωρίς να αυξάνει περιττά την πολυπλοκότητα στη συνάρτηση

μεταφοράς, χρησιμοποιήθηκε το Schwarz Bayesian Information Criterion (SBIC) (Schwarz, 1978). Το κριτήριο SBIC (Εξίσωση 3-13) είναι συνάρτηση του αριθμού των παρατηρήσεων n του αθροίσματος του τετραγώνων των διαφορών (RSS – Εξίσωση 3-14) και του αριθμού των χρησιμοποιούμενων μεταβλητών k .

$$SBIC = n \cdot \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) + k \cdot \ln(n) \quad \text{Εξ. 3-13}$$

$$RSS = \sum_1^n (P_i^{obs} - P_i^{corr cal})^2 \quad \text{Εξ. 3-14}$$

Το RSS είναι το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των παρατηρούμενων (P_i^{obs}) και των διορθωμένων τιμών κατακρήμνισης του GCM ($P_i^{corr cal}$) για την περίοδο βαθμονόμησης.

Ο πρώτος όρος στην Εξίσωση 3-13 είναι μέτρο της ατέλειας στην προσαρμογή ενώ ο δεύτερος όρος $k \cdot \ln(n)$ είναι η ποινή για την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Ως εκ τούτου, όσο ο αριθμός των ανεξάρτητων k παραμέτρων αυξάνεται, ο πρώτος όρος της ατέλειας στην προσαρμογή μειώνεται, και η ποινή για την πολυπλοκότητα γίνεται μεγαλύτερη. Η εκδοχή του μοντέλου που ελαχιστοποιεί τον SBIC θεωρείται το πιο κατάλληλο μοντέλο το οποίο ισορροπεί μεταξύ της βέλτιστης απόδοσης με την ελάχιστη πολυπλοκότητα.

Η χρήση του συγκεκριμένου κριτηρίου δεν εξαλείφει την πιθανότητα ενός υπερπροσαρμοσμένου μοντέλου να θεωρηθεί ως το καλύτερο μεταξύ άλλων. Η πιθανότητα αυτή εξαρτάται από την αυστηρότητα του όρου της ποινής του κριτηρίου. Όσο πιο αυστηρό είναι, τόσο μικρότερη η πιθανότητα υπερπροσαρμογής. Το SBIC δίνει αυστηρότερη ποινή στον μεγάλο αριθμό παραμέτρων σε σχέση με άλλα κριτήρια πληροφοριών.

Η μεθοδολογία MSBC εφαρμόστηκε για αριθμό τμημάτων μεταξύ 1 και 100. Έπειτα ο βέλτιστος αριθμός τμημάτων επιλέχθηκε σύμφωνα με το SBIC.

3.3 Διόρθωση σφάλματος στα δεδομένα θερμοκρασίας

Για την διόρθωση του σφάλματος μεροληψίας στα δεδομένα θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ποσοστημοριακής χαρτογράφησης σε κανονική κατανομή (Samuel et al., 2011). Η διόρθωση στην ημερήσια θερμοκρασία της κοινής περιόδου των παρατηρήσεων και του μοντέλου, δίνεται από την Εξίσωση 3-15.

$$T_i^{\text{corr ctrl}} = F_{\text{obs}}^{-1} \left[F_{\text{GCM}}^{\text{ctrl}} \left(T_i^{\text{raw ctrl}} \right) \right] \quad \text{Εξ. 3-15}$$

όπου, $T_i^{\text{raw ctrl}}$ είναι η ελάχιστη ή μέγιστη θερμοκρασία και $T_i^{\text{corr ctrl}}$ η διορθωμένη τιμή θερμοκρασίας για την ίδια περίοδο. Αντίστοιχα, η διορθωμένη θερμοκρασία για την περίοδο προβολής δίνεται από την Εξίσωση 3-16.

$$T_i^{\text{corr prj}} = F_{\text{obs}}^{-1} \left[F_{\text{GCM}}^{\text{cal}} \left(T_i^{\text{raw prj}} \right) \right] \quad \text{Εξ. 3-16}$$

όπου, $T_i^{\text{raw prj}}$ είναι η προβολή της ημερήσιας θερμοκρασίας και $T_i^{\text{corr ctrl}}$ η διορθωμένη τιμή αυτής.

Τα $F(\cdot)$ και $F(\cdot)^{-1}$ στις Εξισώσεις 3-15 και 3-16 είναι δείκτες που αναφέρονται στην συνάρτηση κανονικής κατανομής και την αντίστροφη της αντίστοιχα. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται ανά ημερολογιακό μήνα.

3.4 Δείκτες στατιστικής ομοιότητας κλιματικών δεδομένων

Στην βιβλιογραφία είναι διαθέσιμοι διάφοροι δείκτες που βασίζονται σε σύγκριση δεδομένων από μοντέλα με παρατηρημένα δεδομένα. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των κλιματικών μοντέλων στην πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος. Για την σύγκριση της στατιστικής ομοιότητας στις παραμέτρους των κλιματικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν τρεις δείκτες. Οι δείκτες αυτοί είναι προσανατολισμένοι σε υδρολογικά χαρακτηριστικά όπως εποχικότητα και μέσο όρο, παρά στην ομοιότητα όπως αυτή θα μπορούσε να προκύψει από κλασικά στατιστικά τεστ ομοιότητας. Ο πρώτος είναι ένας δείκτης ικανότητας που λαμβάνει υπόψη του

τη συνολική συμφωνία μεταξύ της παρατηρημένης και της διορθωμένης κατακρήμνισης, συγκρίνοντας τις αθροιστικές κατανομές πιθανότητας αυτών. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Perkins et.al. (2007) ως ένας απλός αλλά αξιόπιστος δείκτης μέτρησης της συμφωνίας μεταξύ των παρατηρημένων και προσομοιωμένων τιμών κατακρήμνισης και θερμοκρασίας για τα κλιματικά μοντέλα της Τέταρτης έκθεσης αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC - AR4). Για τον προσδιορισμό του δείκτη αυτού, οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας κατασκευάζονται χωρίζοντας τα δεδομένα σε N κάδους ανάλογα με την ποσότητα της κατακρήμνισης. Έπειτα δημιουργείται ο αδιάστατος δείκτης ομοιότητας ή S_{SCORE} βασιζόμενος στην κοινή περιοχή μεταξύ της παρατηρημένης και της διορθωμένης κατακρήμνισης. Μία τέλεια επικάλυψη, έχει ως αποτέλεσμα ένα δείκτη ικανότητας ίσο με 1, ενώ για μικρή συμφωνία, ο δείκτης παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν (Εξίσωση 3-17).

$$S_{SCORE} = \sum_1^N \min(Z_m, Z_o) \quad \text{Εξ. 3-17}$$

Ο δείκτης αποτελεί ένα ισχυρό μέτρο της σχετικής ομοιότητας μεταξύ των συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας του μοντέλου και των παρατηρούμενων δεδομένων, και προτιμάται από άλλους κλασικούς στατιστικούς ελέγχους. Πλεονεκτήματα του δείκτη είναι η σαφήνειά του, η απλή ερμηνευσιμότητα του, και η άμεση σύγκριση που μπορεί να προσφέρει μεταξύ διαφορετικών τύπων δεδομένων. Τέλος αναφέρεται ότι έχει το πλεονέκτημα να παρέχει ένα ποσοτικό μέτρο της ομοιότητας συγκρίσιμο με αυτό που θα προέκυπτε με σύγκριση δια οφθαλμού. Ο δείκτης υιοθετήθηκε από τον Kjellström et al. (2010) για την αξιολόγηση της συσχέτισης μεταξύ των παρατηρούμενων και προσομοιωμένων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών και κατακρήμνισης 16 περιφερειακών κλιματικών μοντέλων πάνω από την Ευρώπη. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν 100 κάδοι (bins) στην κατασκευή των ιστογραμμάτων για την εκτίμηση του δείκτη.

Ο δεύτερος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε είναι το απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα μεταξύ των μέσων τιμών της παρατηρημένης και της διορθωμένης κατακρήμνισης για την περίοδο τεκμηρίωσης. Ο χωρικός μέσος όρος του

σφάλματος αυτού δίνει τον μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (mean absolute percentage error - MAPE) όπως ορίζεται στην Εξίσωση 3-18.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_m - C_m}{O_m} \right| \quad \text{Εξ. 3-18}$$

όπου O_m είναι η μέση τιμή της παρατηρημένης κατακρήμνισης και C_m η μέση τιμή της διορθωμένης κατακρήμνισης. Ο χωρικός μέσος όρος προκύπτει από τον όρο $1/n$.

Ο τρίτος δείκτης που χρησιμοποιείται, αναπαριστά την ποιότητα αναπαραγωγής της εποχικότητας στις κλιματικές προσομοιώσεις. Η εποχικότητα αποτελεί μια καλή ένδειξη για την ποιότητα της προσομοίωσης των διαφόρων ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση ενός κλιματικού μοντέλου. Το βασικό πρόβλημα που απαντάται στην ανάλυση του ετήσιου κύκλου είναι ότι δεν μπορεί να αναπαρασταθεί μόνο από μια παράμετρο όπως η μεροληψία στην προσομοίωση (σε σχέση με τις παρατηρήσεις), καθώς σημαντική είναι και μετακίνηση (shift) εντός του έτους. Για το σκοπό αυτό, υιοθετήθηκε η μέθοδος αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου θερμοκρασίας και κατακρήμνισης όπως αυτή αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος ENSEMBLES (ENSEMBLES Deliverable D3.2.2). Ο δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου παρουσιάζεται στην Εξίσωση 3-19,

$$S = \frac{4 * (1 + R)^k}{\left(\sigma + \frac{1}{\sigma} \right)^2 (1 + R_o)^k} \quad \text{Εξ. 3-19}$$

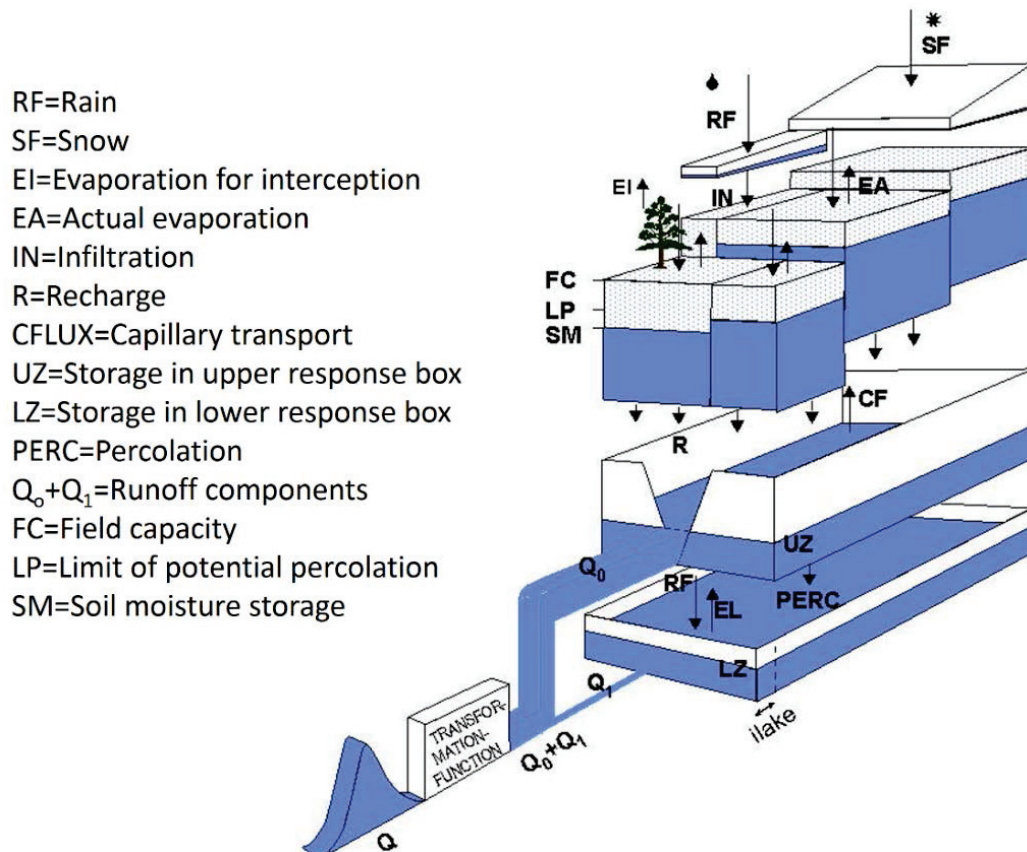
όπου R_o είναι η θεωρητική μέγιστη τιμή του συντελεστή συσχέτισης - Pearson's correlation coefficient (Για απλοποίηση του δείκτη, η R_o μπορεί να θεωρηθεί ίση με τη μονάδα). Η παράμετρος R υπολογίζεται μεταξύ των μηνιαίων τιμών της κλιματικής προσομοίωσης και των παρατηρήσεων. Η παράμετρος σ ορίζεται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης των τιμών της κλιματικής προσομοίωσης σ_m προς την τυπική απόκλιση των παρατηρήσεων σ_o , δηλαδή $\sigma = \sigma_m / \sigma_o$. Όταν $k=1$, η παραπάνω εξίσωση αποτελεί την πρώτη τάξης αναπαράσταση του ετήσιου κύκλου και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεταβλητών. Στην περίπτωση όπου $k>1$, η εξίσωση βαθμολογεί αυστηρότερα τις χαμηλότερες συσχετίσεις. Στην περίπτωση της παραμέτρου της θερμοκρασίας, όπου τα κλιματικά

μοντέλα επιτυγχάνουν καλούς συντελεστές συσχέτισης σε σχέση με τις παρατηρήσεις, χρησιμοποιείται μεγαλύτερης τάξης δείκτης αναπαράστασης. Ο δείκτης μπορεί να πάρει τιμές από 0 (για συντελεστή συσχέτισης $R = -1$) έως 1 (για συντελεστή συσχέτισης $R = 1$ και λόγο $\sigma_m/\sigma_o = 1$). Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ENSEMBLES ο δείκτης χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των κλιματικών προσομοιώσεων που χρησιμοποίησαν ως οριακές συνθήκες τα δεδομένα επανανάλυσης του *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Re-analysis Project for 40 years* (ERA40 - Uppala et al., 2005), ενώ τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων συγκρίθηκαν με αυτά του ERA40. Στην περίπτωση των ιστορικών προσομοιώσεων από τα κλιματικά μοντέλα όμως, δεν γίνεται προσπάθεια αναπαράσταση του παρελθόντος καιρού όπως γίνεται στις προσομοιώσεις επανανάλυσης, αλλά επιδιώκεται να επιτευχθεί στατιστική ομοιότητα της προσομοίωσης με το παρελθόν κλίμα. Έτσι, έχει νόημα η εφαρμογή του δείκτη μόνο στους κλιματικούς μηνιαίους μέσους όρους των μεταβλητών, και όχι μεταξύ των χρονοσειρών προσομοίωσης και παρατήρησης.

3.5 Το Υδρολογικό μοντέλο IHMS-HBV

Το λογισμικό HBV είναι ένα ημικατανεμημένο εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο συνεχούς υπολογισμού της απορροής. Αναπτύχθηκε από το Σουηδικό Μετεωρολογικό και Υδρολογικό Ινστιτούτο (Swedish Meteorological and Hydrological Institute - SMHI) στις αρχές της δεκαετίας του '70 για την υποβοήθηση των υδροηλεκτρικών λειτουργιών (Bergström and Forsman, 1973; Bergström, 1976) παρέχοντας υδρολογικές προβλέψεις. Το μοντέλο πήρε το όνομά του από τη συντομογραφία του Οργανισμού Υδρολογικού Ισοζυγίου (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning), του τμήματος που αναπτύχθηκε το SMHI εκείνη τη περίοδο. Οι πρώτες επιχειρησιακές προβλέψεις έγιναν για υδρολογικές λεκάνες στο βόρειο τμήμα της Σουηδίας το 1975 και από τότε το μοντέλο έχει εφαρμοστεί σε περισσότερες από 50 χώρες. Το υδρολογικό μοντέλο HBV εξελίχθηκε ώστε να ικανοποιεί τις αρχές που συνοψίζονται παρακάτω α) να πληρούνται οι απαιτήσεις δεδομένων σε τυπικές λεκάνες, β) η πολυπλοκότητα του μοντέλου να δικαιολογείται από την απόδοσή

του, γ) το μοντέλο πρέπει να είναι κατανοητό στο χρήστη. Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται σχηματικά η δομή του μοντέλου HBV.



Εικόνα 6: Δομή του μοντέλου HBV. Τα βέλη ορίζουν τις βασικές ροές μεταξύ των διεργασιών του μοντέλου (πηγή: IHMS-HBV manual).

3.5.1 Κατακρήμνιση και συσσώρευση χιονιού

Οι υπολογισμοί της κατακρήμνισης γίνονται ξεχωριστά για κάθε ζώνη υψομέτρου και βλάστησης εντός της λεκάνης απορροής. Ο διαχωρισμός της χιονόπτωσης και της βροχής γίνεται με χρήση μιας κατώφλιας τιμής στη θερμοκρασία (Εξίσωση 3-20).

$$\begin{aligned} RF &= p_{corr} \cdot r_{fcf} \cdot P \quad \text{if } T > tt \\ SF &= p_{corr} \cdot s_{fcf} \cdot P \quad \text{if } T < tt \end{aligned} \quad \text{Εξ. 3-20}$$

όπου RF είναι η κατακρήμνιση, SF είναι η χιονόπτωση, P είναι η παρατηρημένη κατακρήμνιση (mm), T είναι η παρατηρημένη θερμοκρασία (°C), tt είναι η

κατώφλια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$), r_{fcf} είναι ο συντελεστής διόρθωσης της κατακρήμνισης, s_{fcf} είναι ο συντελεστής διόρθωσης της χιονόπτωσης και $pcorr$ είναι η γενική παράμετρος διόρθωσης της κατακρήμνισης.

Χρησιμοποιούνται ξεχωριστές παράμετροι για την διόρθωση της κατακρήμνισης και της χιονόπτωσης, καθώς επηρεάζονται από απώλειες κατά την παρατήρησή τους. Τα μεγαλύτερα σφάλματα συσχετίζονται με τον άνεμο και είναι κατά βάση μεγαλύτερα για την χιονόπτωση σε σχέση με την κατακρήμνιση. Η γενική παράμετρος διόρθωσης της κατακρήμνισης χρησιμοποιείται για την διόρθωση των συστηματικών σφαλμάτων που μπορεί να προκαλούνται, για παράδειγμα, από μη αντιπροσωπευτική χρονοσειρά κατακρήμνισης.

3.5.2 Ρουτίνα χιονιού

Η ρουτίνα συσσώρευσης και τήξης του χιονιού βασίζεται στην προσέγγιση των βαθμοημερών. Μία κατώφλια θερμοκρασία (tt) που συνήθως είναι κοντά στους 0°C χρησιμοποιείται ως το όριο πάνω από το οποίο το χιόνι τήκεται (Εξίσωση 3-21)

$$\text{Snow melt} = c_{fmax} \cdot (T - tt) \quad (\text{Εξ. 3-21})$$

όπου T είναι η θερμοκρασία, και c_{fmax} είναι η παράγοντας τήξης (mm/day). Η κατώφλια τιμή θερμοκρασίας T (Εξ. 3-21) χρησιμοποιείται και εδώ αλλά υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και η παράμετρος dt_{tm} ως διαφορετική κατώφλια τιμή. Η εξίσωση εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε ζώνη υψομέτρου.

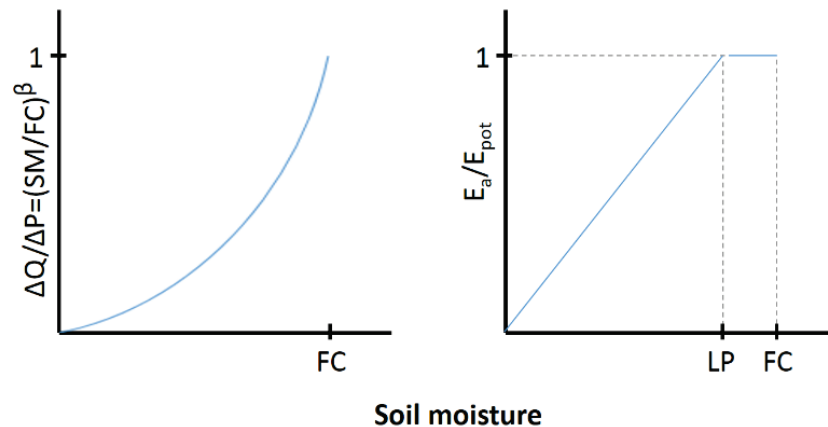
Το στρώμα του χιονιού θεωρείται ότι μπορεί να συγκρατήσει νερό από το λιώσιμο του χιονιού ως ένα ποσοστό που δίνεται από την παράμετρο whc . Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από την tt , το νερό αυτό γίνεται πάλι πάγος σύμφωνα με την Εξίσωση 3-22.

$$\text{Refreezing melt water} = c_{fr} \cdot c_{fmax} \cdot (tt - T) \quad (\text{Εξ. 3-22})$$

όπου cfr είναι ο παράγοντας επαναπαγώματος. Ξεχωριστή εξίσωση χρησιμοποιείται για το λιώσιμο παγετώνων.

3.5.3 Ρουτίνα εδαφικής υγρασίας

Η ρουτίνα υπολογισμού της εδαφικής υγρασίας είναι το κύριο κομμάτι ελέγχου της δημιουργίας απορροής. Βασίζεται σε τρεις παραμέτρους, β , LP and FC , όπως φαίνεται στην Εικόνα 7. Η παράμετρος β ελέγχει την συνεισφορά στην συνάρτηση απόκρισης ($\Delta Q/\Delta P$) ή την αύξηση στην εδαφική υγρασία ($1-\Delta Q/\Delta P$) της κατακρήμνισης και της τήξης του χιονιού. Ο λόγος $\Delta Q/\Delta P$ ονομάζεται συντελεστής απορροής ενώ το ΔQ αποτελεσματική κατακρήμνιση. Ο λόγος μπορεί να εκφραστεί και ως R/IN βάσει των συμβόλων της Εικόνα 6. Η παράμετρος LP είναι η τιμή της εδαφικής υγρασίας πάνω από την οποία η εξατμισοδιαπνοή φτάνει την δυνητική της τιμή, και FC είναι η μέγιστη χωρητικότητα του εδάφους σε υγρασία (mm). Η παράμετρος LP δίνεται ως ποσοστό του FC .



Εικόνα 7: Η ρουτίνα της εδαφικής υγρασίας. Αριστερά, ο λόγος συνεισφοράς στην συνάρτηση απόκρισης με την εδαφική υγρασία. Δεξιά, ο λόγος της τιμής της πραγματικής προς την δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Η λειτουργία της ρουτίνας συνοψίζεται στο ότι η συνεισφορά της βροχής ή του χιονιού στην απορροή είναι μικρή όταν το έδαφος είναι ξηρό (χαμηλές τιμές εδαφικής υγρασίας), ενώ είναι μεγάλες όταν η υγρασία εδάφους είναι υψηλή. Επίσης η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μειώνεται καθώς μειώνεται η εδαφική

υγρασία. Μακροπρόθεσμοι μέσοι όροι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για την περίοδο του έτους. Γίνεται η υπόθεση ότι η υπερετήσια διακύμανση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται περισσότερο από την υγρασία εδάφους σε σχέση με την υπερετήσια διακύμανση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από την απλοποιημένη εκδοχή της εξίσωσης Thornthwaite (Εξίσωση 3-23).

$$\begin{aligned} \text{Potential evaporation} &= a_{\text{thorn}} \cdot T \quad \text{if } T \geq 0 \\ \text{Potential evaporation} &= 0 \quad \text{if } T < 0 \end{aligned} \quad \text{Εξ. 3-23}$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του αέρα.

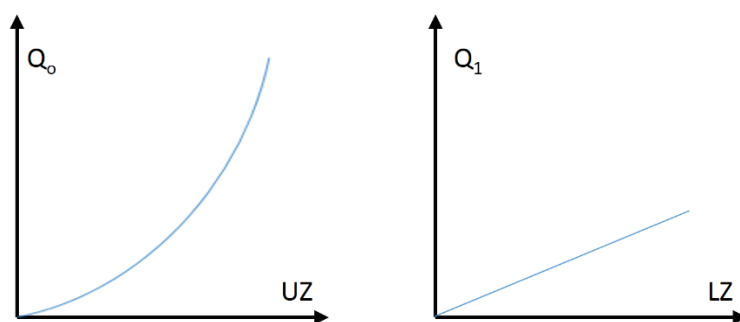
3.5.4 Ρουτίνα απόκρισης

Η ρουτίνα που ελέγχει την δημιουργία της απορροής, μετατρέπει την περίσσεια νερού από την ζώνη εδαφικής υγρασίας, σε απορροή. Η συνάρτηση αποκλείεται από ένα ανώτερο μη γραμμικό και ένα κατώτερο γραμμικό ρεζερβουάρ. Τα ρεζερβουάρ αυτά αντίστοιχα δημιουργούν την γρήγορη και την αργή απορροή. Το ποσό του νερού που αποδίδει η ζώνη εδάφους (η ενεργός κατακρήμνιση) προστίθεται στην αποθήκευση του ανώτερου ρεζερβουάρ. Όσο υπάρχει νερό στο ρεζερβουάρ αυτό, νερό κατεισδύει στο κατώτερο ρεζερβουάρ σύμφωνα με την παράμετρο *perc*. Σε μεγάλους ρυθμούς ροής νερού από τη ζώνη εδάφους στο ανώτερο ρεζερβουάρ, η κατείσδυση αυτού προς το κατώτερο ρεζερβουάρ δεν επαρκεί, οπότε παράγεται άμεσα απορροή που προστίθεται σε αυτή της εδαφικής απορροής. Το μέρος της απορροής αυτό, συμβολίζει την υποεπιφανειακή απορροή. Το κατώτερο ρεζερβουάρ στην συνέχεια, αντιπροσωπεύει την αποθήκευση υπογείου ύδατος, όπου συνεισφέρει στην βασική απορροή.

Η απορροή του ανωτέρου ρεζερβουάρ περιγράφεται από μία συνάρτηση που αντιστοιχεί σε ένα συνεχώς αυξανόμενο συντελεστή ύφεσης (Εξίσωση 3-24) όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 8.

$$Q_0 = k \cdot UZ^{(1+alfa)} \quad \text{Εξ. 3-24}$$

όπου Q_0 είναι η απορροή από το ανώτερο ρεζερβουάρ (mm), UZ είναι η στάθμη του ρεζερβουάρ (mm) και k είναι ο συντελεστής ύφεσης αυτού. Η παράμετρος $alfa$ είναι ο βαθμός μη γραμμικότητας της διεργασίας.



Εικόνα 8: Γραφική αναπαράσταση της ρουτίνας απόκρισης.

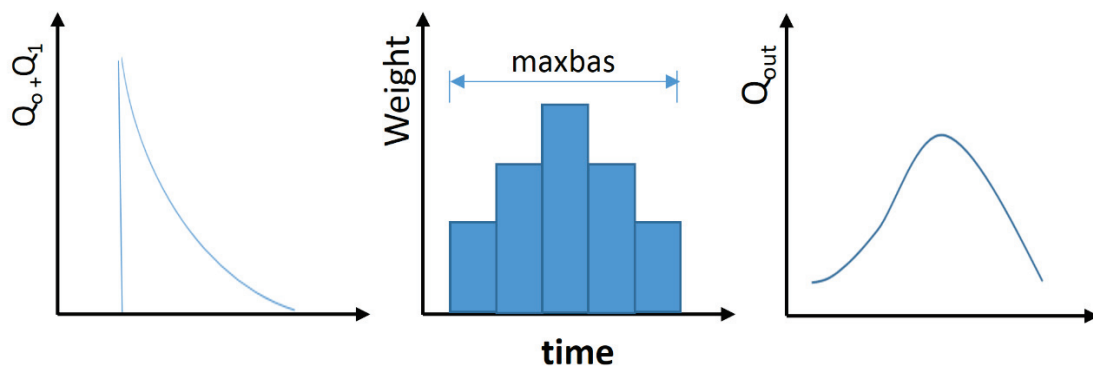
Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις παραμέτρους khq , hq και $alfa$ για τον υπολογισμό της τιμής k ώστε $hq = khq \cdot UZ_{hq}$. hq είναι το όριο της απορροής από το οποίο και πάνω η παράμετρος ύφεσης khq θεωρείται. Η τιμή hq υπολογίζεται για τις μεγαλύτερες απορροές του καταγεγραμμένου υδρογραφήματος, για παράδειγμα, ίση με τον γεωμετρικό μέσο των MHQ και MQ (MQ είναι η μέση παροχή όλου του υδρογραφήματος, ενώ MHQ η μέση τιμή των ετήσιων μεγίστων). Μία προσέγγιση της παραμέτρου ύφεσης στο hq μπορεί να γίνει από το παρατηρημένο υδρογράφημα ώστε να χρησιμοποιηθεί ως αρχική προσέγγιση της τιμής khq . Να σημειωθεί ότι το hq αντιστοιχεί στην απορροή από το την ρουτίνα απόκρισης και ότι την ροή μετά την διόδευση μέσω του ποτάμιου συστήματος. Η απορροή από το κατώτερο γραμμικό ρεζερβουάρ περιγράφεται από την Εξίσωση 3-25.

$$Q_1 = k_4 \cdot LZ \quad \text{Εξ. 3-25}$$

όπου Q_1 είναι η απορροή από το κατώτερο γραμμικό ρεζερβουάρ (mm), LZ είναι η στάθμη αυτού (mm) και k_4 είναι η παράμετρος ύφεσης αυτού. Οι μικρές λίμνες μπορούν να θεωρηθούν μέρος του κατώτερου αυτού ρεζερβουάρ.

3.5.5 Συνάρτηση μετασχηματισμού

Η απορροή που δημιουργείται από την συνάρτηση απόκρισης διοδεύεται μέσω μίας συνάρτησης μετασχηματισμού. Η συνάρτηση αποτελείται από ένα φίλτρο με τριγωνική κατανομή, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 9. Η χρονική βάση της τριγωνικής κατανομής δίνεται από την παράμετρο *maxbas*.



Εικόνα 9: Γραφική αναπαράσταση της συνάρτησης μετασχηματισμού

3.5.6 Αναπαράσταση χρήσεων γης

Το υδρολογικό μοντέλο HBV χρησιμοποιεί την έννοια της Υδρολογικής Μονάδας Απόκρισης (Hydrological Response Unit – HRU) για την αναπαράσταση περιοχών με κοινές χρήσεις γης, γεωλογίας, υψομέτρου, κλίσης κλπ. Περιοχές με τον ίδια χαρακτηριστικά αποτελούν μια μονάδα υδρολογικής απόκρισης. Κάθε μονάδα υδρολογικής απόκρισης υποτίθεται ότι είναι ομοιογενής σε όλη την περιοχή προσομοίωσής και διέπτεται από τις ίδιες τιμές παραμέτρων (Bloschl et al., 2007).

3.6 Δείκτες αξιολόγησης υδρολογικών προσομοιώσεων

Η ικανότητα των υδρολογικών προσομοιώσεων να αναπαράγουν την μετρημένη απορροή, μετριέται με χρήση διαφόρων συντελεστών προσαρμοστικότητας. Στην βιβλιογραφία απαντώνται διάφοροι δείκτες που αντικατοπτρίζουν διαφορετικές πτυχές ενός υδρογραφήματος, ανάλογα με την παράμετρο ενδιαφέροντος (πχ. Όγκος απορροής, παροχές αιχμής, ώρα επίτευξης παροχής αιχμής).

3.6.1 Nash-Sutcliffe

Ο συντελεστής Nash – Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970) αποτελεί έναν από τους βασικότερους συντελεστές αξιολόγησης της βαθμονόμησης ενός μοντέλου. Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή αυτού είναι η μονάδα ενώ μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές. Τιμή του συντελεστή ίση με το μηδέν σημαίνει ότι το μοντέλο περιγράφει με την ίδια αποτελεσματικότητα όπως και η μέση τιμή των παρατηρημένων τιμών ενώ αρνητικές τιμές του συντελεστή αποδεικνύουν ότι η εφαρμοσιμότητα του μοντέλου έχει την ίδια ισχύ με το λευκό θόρυβο. Ο συντελεστής υπολογίζεται με χρήση της Εξίσωσης 3-25.

$$NS = \frac{\sum (QR - QR_{\text{mean}})^2 - \sum (QC - QR)^2}{\sum (QR - QR_{\text{mean}})^2} \quad \text{Εξ. 3-25}$$

όπου, QR η παρατηρούμενη απορροή, QR_mean είναι η μέση παρατηρούμενη απορροή και QC η προσομοιωμένη απορροή.

3.6.2 Log Nash-Sutcliffe

Ο συντελεστής βασίζεται στην εξίσωση του Nash – Sutcliffe με την ιδιαιτερότητα ότι χρησιμοποιεί τις λογαριθμοποιημένες τιμές της παροχής (Εξίσωση 3-26). Με τον τρόπο αυτό, ο συντελεστής αντικατοπτρίζει την απόδοση της προσομοίωσης με έμφαση στις μικρές παροχές.

$$logNS = \frac{\sum (\log(QR) - \log(QR_{mean}))^2 - \sum (\log(QC) - \log(QR))^2}{\sum (\log(QR) - \log(QR_{mean}))^2} \quad \text{Εξ. 3-26}$$

όπου, QR η παρατηρούμενη απορροή, QR_{mean} είναι η μέση παρατηρούμενη απορροή και QC η προσομοιωμένη απορροή.

3.6.3 Αθροιστική διαφορά όγκου απορροής

Ο δείκτης αυτός δείχνει την διαφορά στον όγκο απορροής μεταξύ προσομοίωσης και καταγραφών (Εξίσωση 3-27). Το κριτήριο αυτό δείχνει αν το μοντέλο τείνει να υπερεκτιμά ή υποεκτιμά συστηματικά τον όγκο της απορροής.

$$AccDiff = \sum (QC - QR) \quad \text{Εξ. 3-27}$$

3.6.4 Σφάλμα ετήσιας παροχής αιχμής

Ο συντελεστής βασίζεται στην % απόκλιση των προσομοιωμένων παροχών αιχμής σε σχέση με τις παρατηρημένες τιμές (Εξίσωση 3-28).

$$PE(\%) = \frac{\sum QC_{max}^y}{\sum QR_{max}^y} \cdot 100 \quad \text{Εξ. 3-28}$$

όπου QC_{max}^y είναι η μέγιστη ετήσια προσομοιωμένη παροχή για το έτος y και QR_{max}^y είναι μέγιστη ετήσια παρατηρημένη παροχή για το ίδιο έτος. Οι μέγιστες τιμές προσομοιωμένης και παρατηρημένης απορροής κάθε έτους δεν είναι αναγκαίο να αναπαριστούν το ίδιο γεγονός απορροής. Ο σκοπός του κριτηρίου αυτού είναι να ελέγξει εάν οι υψηλότερες ροές είναι πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές κατά μέσο όρο. Υπολογίζεται με χρήση δεδομένων μόλις λίγων ετών ενώ λίγα μεμονωμένα γεγονότα μπορεί να έχουν ισχυρή επιρροή στο κριτήριο αυτό, καθώς χρησιμοποιείται μόνο μία τιμή απορροής ανά έτος.

3.6.5 Οπτική αξιολόγηση υδρογραφημάτων

Ενώ τα αντικειμενικά κριτήρια απόδοσης είναι σημαντικά για την εκτίμηση της επίδοσης ενός μοντέλου. Ωστόσο, η οπτική επιθεώρηση της προσομοίωσης σε σχέση με το καταγεγραμμένο υδρογράφημα, είναι επίσης σημαντική για την κρίση των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

3.7 Χωρική παρεμβολή κλιματικής πληροφορίας

Στην βιβλιογραφία απαντώνται πολλές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής μετεωρολογικών δεδομένων. Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι η κατασκευή δεδομένων σε σημεία του χώρου όπου στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν δεδομένα. Η καταλληλότερη μέθοδος εξαρτάται κάθε φορά από την φύση των δεδομένων και τη χρονική κλίμακα στην οποία έχει καταγραφεί (Sluiter, 2009). Οι Hofstra et al. (2008) συνέκριναν έξι ευρέως χρησιμοποιούμενες σε κλιματικά δεδομένα μεθόδους παρεμβολής, συμπεραίνοντας ότι η βέλτιστη μέθοδος χωρικής παρεμβολής σε δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης είναι η Global Kriging, ενώ καλά αποτελέσματα δίνει και η Natural neighbor.

Για την παρεμβολή των κλιματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, ακολουθήθηκε η μέθοδος παρεμβολής Natural neighbor και Nearest Neighbor. Η μέθοδος Natural neighbor interpolation (NNI) που προτάθηκε από τον Sibson (1981), είναι μια γρήγορη και απλή μέθοδος παρεμβολής. Βασίζεται στην διακριτοποίηση του χώρου κατά τη μέθοδο Voronoi (Voronoi, 1908), και επιλέγει τους γείτονες από του οποίους θα γίνει η παρεμβολή. Τα βάρη κάθε γείτονα είναι ανάλογα της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από κάθε πολύγωνο Voronoi πάνω στην επιφάνεια που γίνεται η παρεμβολή. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για την αποκλιμάκωση δεδομένων από κλιματικά μοντέλα πάνω σε επιφάνεια. Η μέθοδος είναι γνωστή και ως πολύγωνα Thiessen (Thiessen, 1911). Για την αποκλιμάκωση δεδομένων σε σημεία, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Nearest Neighbor. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη ένα σημείο του πλέγματος των κλιματικών δεδομένων, σε αντίθεση με τις περισσότερες μεθόδους σημειακής παρεμβολής που εκτελούν αλγεβρικές πράξεις μεταξύ δεδομένων από περισσότερα σημεία του πλέγματος των

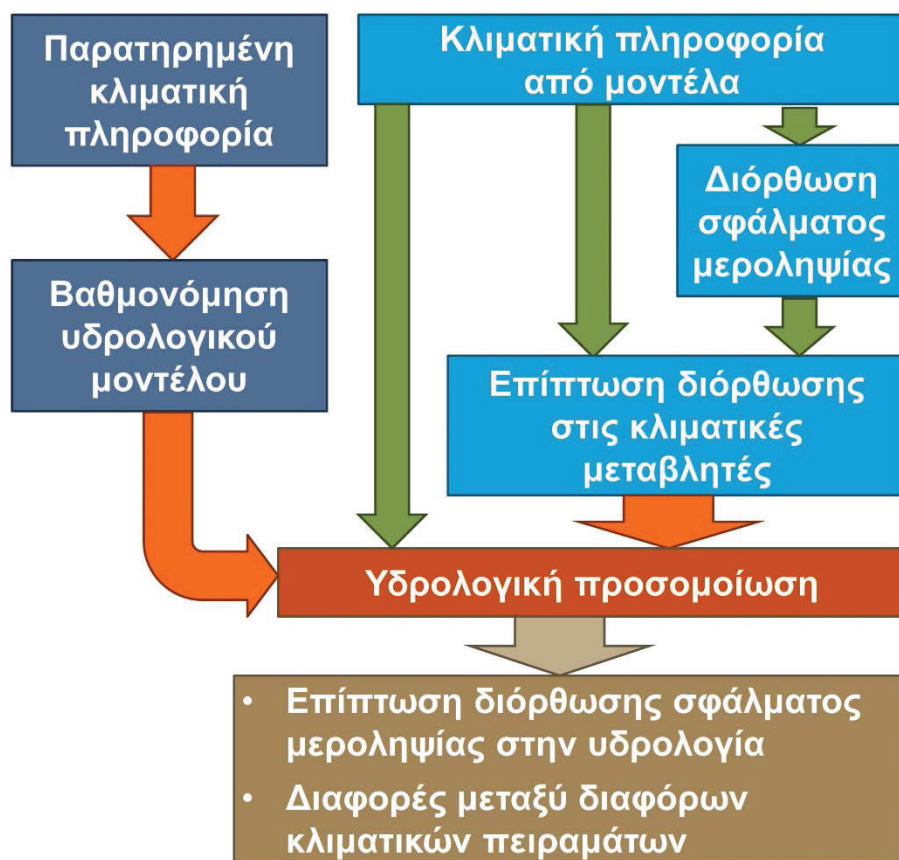
κλιματικών δεδομένων. Η μέθοδος συνδέεται άμεσα με την Natural neighbor όταν η τελευταία εφαρμόζεται για ένα σημείο και όχι επιφάνεια.

3.8 Περίοδοι μελέτης

Η ανάλυση που διεξήχθη στην παρούσα διατριβή, στηρίχθηκε σε όσο το δυνατόν παρόμοιες περιόδους, ώστε να διατηρηθεί η ομοιογένεια και συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων. Γενικά, η περίοδος 30 ετών 1961-1990 έχει χαρακτηριστεί ως το διεθνές πρότυπο περίοδο αναφοράς για μέσους κλιματικούς όρους από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό. Η μετεωρολογική υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου (UK Met Office) επίσης χρησιμοποιεί την περίοδο 1971-2000 ως πιο επίκαιρο κλιματικό μέσο όρο. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η σύζευξη των ανωτέρω δύο περιόδων 1960-2000 ως ο μέσος όρος του παρελθόντος κλίματος, όπου αυτό ήταν εφικτό. Για τις προβολές του κλίματος, χρησιμοποιήθηκε η περίοδος 2001 – 2100.

3.9 Μεθοδολογία έρευνας

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, σχεδιάστηκε έτσι ώστε να παρέχει ομοιογενή και αντικειμενική πληροφορία για την επίπτωση του σφάλματος μεροληψίας των κλιματικών δεδομένων στην υδρολογία, όπως επίσης και των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στις υδρολογικές παραμέτρους των περιοχών μελέτης. Η ομοιογένεια εξασφαλίστηκε μέσω κοινών μεθόδων επεξεργασίας των κλιματικών δεδομένων. Επιπλέον, η χρήση μεγάλου αριθμού από κλιματικά μοντέλα, τόσο παγκόσμια όσο και περιοχικά, εξασφαλίζει την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων. Η επιλογή των κλιματικών μοντέλων έγινε με τρόπο που να επιτρέπεται και η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την προστιθέμενη αξία που δίνουν τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα σε σχέση με τα συνοπτικότερης κλίμακας παγκόσμια στις υδρολογικές εφαρμογές. Η κλιματική πληροφορία εισάγεται στην αρχική της μορφή στο υδρολογικό μοντέλο, όπως επίσης και έπειτα από τη διόρθωση του σφάλματος μεροληψίας (Εικόνα 10). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ποσοτικοποιηθεί η επίπτωση του μεροληπτικού σφάλματος στην υδρολογική προσομοίωση και στην αλλαγή των υδρολογικών παραμέτρων



Εικόνα 10: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.

4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

4.1 Λεκάνες απορροής

Υδρολογικές προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένες περιοχές της γης. Οι λεκάνες επιλέχθηκαν ώστε να βρίσκονται σε διαφορετικές υδροκλιματικές συνθήκες του πλανήτη. Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται η κλιματική ταξινόμηση της γης κατά Köppen-Geiger, όπως αυτή εκτιμήθηκε από τους Kottek et al. (2006) από δεδομένα θερμοκρασίας της βάσης δεδομένων CRU TS 2.1. (Mitchell and Jones, 2005) και κατακρήμνιση της βάσης VASCLimOv1.1 του GPCC (Beck et al., 2005). Βασικό επίσης κριτήριο στην επιλογή των λεκανών ήταν να ανήκουν σε περιοχές που εκτελέστηκαν διαφορετικά περιοχικά κλιματικά πειράματα. Οι λεκάνες απορροής προτιμήθηκαν να έχουν μικρό/ μεσαίο μέγεθος ώστε να έχουν απλή υδρολογία, δηλαδή να μην περιλαμβάνουν μεγάλα λιμναία συστήματα ή φράγματα. Οι λεκάνες απορροής που επιλέχθηκαν είναι η λεκάνη του Spencer Creek (Ontario, Canada) όπως αυτή εκβάλλει στην περιοχή του Dundas, η λεκάνη απορροής του Yellow (Alabama-Florida, USA) όπως αυτή εκβάλλει στην περιοχή του Milligan, η λεκάνη απορροής του Exe (Exeter, UK) όπως αυτή εκβάλλει στο Thoverton και η λεκάνη απορροής του Πλατύ (Νότιο Ρέθυμνο, Κρήτη). Οι περιοχές ανήκουν στις κλιματικές ζώνες Dfb, Cfa, Cfb, και Csa αντίστοιχα, κατά την κατηγοριοποίηση της κλίμακας Köppen-Geiger.

Στην κατηγορία Dfb ανήκουν κατά βάση περιοχές όπου τα κατακρημνίσματα είναι καλά κατανεμημένα στην διάρκεια του έτους, ενώ σε κάποιες άλλες περιοχές, η κατακρήμνιση είναι μειωμένη κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η χιονόπτωση, είναι συνήθης σε όλες τις περιοχές με υγρό ηπειρωτικό κλίμα και σε πολλές περιπτώσεις είναι πιο συχνή απ' ότι η βροχή κατά τη διάρκεια του ύψους του χειμώνα. Σε περιοχές με σημαντική χειμερινή κατακρήμνιση όπου η χιονοκάλυψη είναι συχνά μεγάλη. Οι περισσότερες θερινές βροχοπτώσεις συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων. Αν και τα επίπεδα υγρασίας είναι συνήθως υψηλά σε περιοχές με υγρό ηπειρωτικό κλίμα, ο χαρακτηρισμός "υγρό" δεν σημαίνει ότι τα επίπεδα υγρασίας είναι απαραίτητα σε πολύ υψηλά επίπεδα, απλά το κλίμα δεν είναι αρκετά ξηρό να χαρακτηριστεί ως ημι-άνυδρο ή ξηρό.

Τα υγρά υποτροπικά κλίματα (Cfa) χαρακτηρίζονται από ζεστές και υγρές συνθήκες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, το καλοκαίρι είναι συχνά η υγρότερη σεζόν, με συχνές αλλά βραχύβιες καταιγίδες που είναι χαρακτηριστικές των υποτροπικών κλίμακων των ανατολικών ακτών των ηπείρων. Σημαντικά ύψη κατακρημνισμάτων παρατηρούνται όλες τις εποχές. Οι βροχοπτώσεις το χειμώνα (και μερικές φορές χιονοπτώσεις) συνδέονται με μεγάλες καταιγίδες προερχόμενες από τους επικρατούντες δυτικούς ανέμους όταν αυτοί αλλάξουν κατεύθυνση προς τα ανατολικά. Οι περισσότεροι θερινές βροχοπτώσεις συμβαίνουν κατά τη διάρκεια καταιγίδων και περιστασιακών τροπικών καταιγίδων, τυφώνων ή κυκλώνων.

Τα θαλάσσια εύκρατα ή Ωκεάνια κλίματα (Cfb) κυριαρχούνται όλο το χρόνο από το πολικό μέτωπο, που οδηγεί σε ευμετάβλητο, συχνά έχει συννεφιασμένο καιρό. Τα καλοκαίρια είναι δροσερά λόγω δροσερών ωκεάνιων ρευμάτων, αλλά οι χειμώνες είναι ηπιότεροι από ό, τι άλλα κλίματα σε παρόμοια γεωγραφικά πλάτη. Το ωκεάνιο είναι το χαρακτηριστικό κλίμα των δυτικών ακτών στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη των περισσότερων ηπείρων, και γενικά διαθέτει ζεστό, αλλά όχι καυτό καλοκαίρι. Τα Ωκεάνια κλίματα συνήθως στερούνται ξηρής περιόδου, καθώς η βροχή είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένη στη διάρκεια του έτους.

Τα μεσογειακά κλίματα (Csa) επηρεάζονται από το πολικό μέτωπο το χειμώνα, και έτσι χαρακτηρίζονται από μέτριες θερμοκρασίες και ευμετάβλητο, βροχερό καιρό. Τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά, λόγω της κυριαρχίας των υποτροπικών συστημάτων υψηλής πίεσης, εκτός από τις άμεσα παράκτιες περιοχές, όπου τα καλοκαίρια είναι ηπιότερα λόγω της γειτνίασης με κρύα ωκεάνια ρεύματα. Τα ρεύματα αυτά μπορεί να φέρουν ομίχλη, αλλά εμποδίζουν τη βροχή. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, περιοχές του μεσογειακού κλίματος κυριαρχούνται από υποτροπικά υψηλά βαρομετρικά συστήματα, με τα ξηρά καθοδικά ρεύματα να συγκρατούν την ατμοσφαιρική υγρασία, καθιστώντας τη κατακρήμνιση δύσκολη, εκτός από τις περιστασιακές καταιγίδες. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα τα πολικά ρεύματα φτάνοντας στα χαμηλότερα αυτά γεωγραφικά πλάτη των μεσογειακών περιοχών, προκαλούν βροχοπτώσεις και χιόνι σε υψηλότερα υψόμετρα, με αποτέλεσμα, οι περιοχές με αυτό το κλίμα να λαμβάνουν σχεδόν το σύνολο των βροχοπτώσεων κατά τη

Polygons

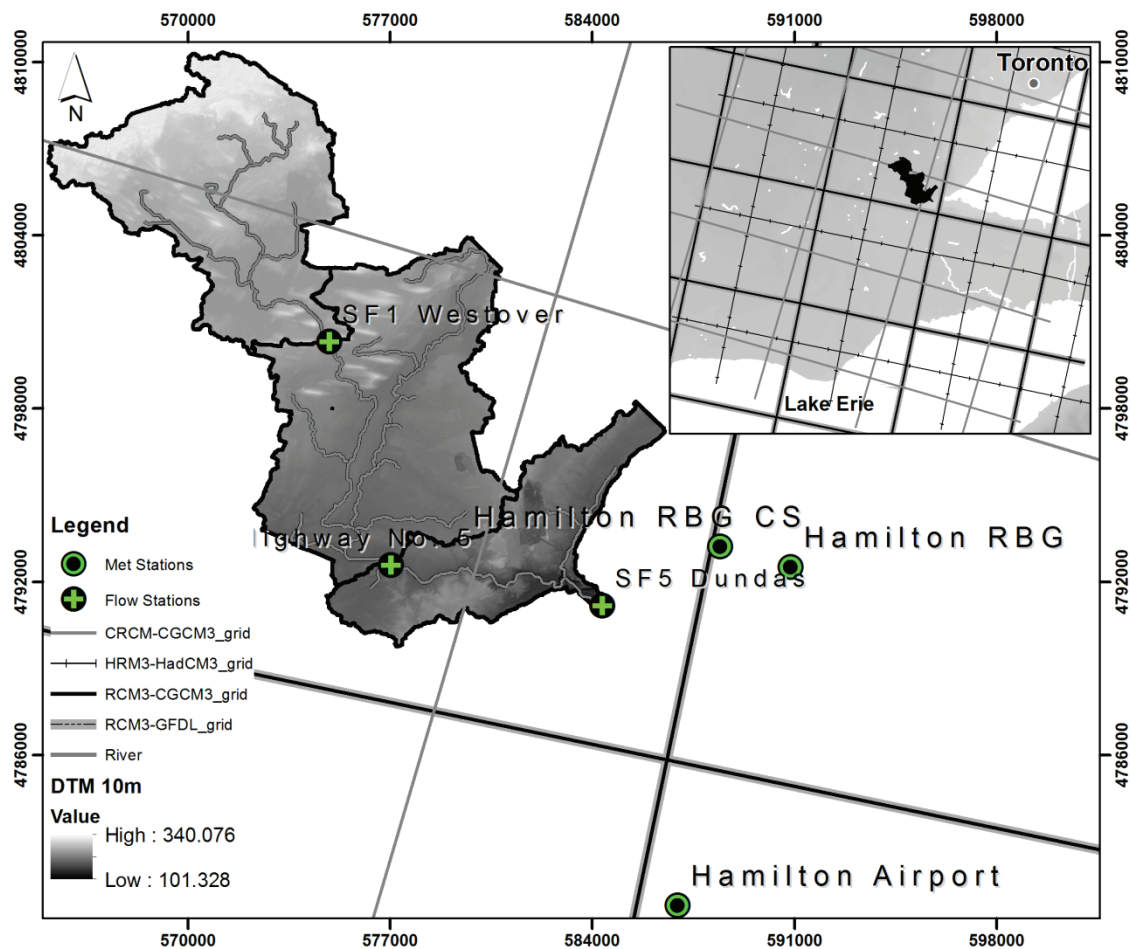
Name	Polygon
Af	[Pink]
Am	[Green]
As	[Light Blue]
Aw	[Brown]
BSh	[Yellow]
BSk	[Dark Blue]
BWh	[Orange]
BWk	[Light Green]
CwC	[Magenta]
Cfa	[Dark Blue]
Cfb	[Light Green]
Cfc	[Brown]
Csa	[Dark Green]
Csb	[Purple]
Csc	[Light Yellow]
Cwa	[Dark Grey]
Cwb	[Dark Purple]
Dfa	[Light Green]
Dfb	[Teal]
Dfc	[Dark Green]
Dsa	[Dark Brown]
Dsb	[Pink]
Dsc	[Light Pink]
Dwa	[Dark Purple]
Dwb	[Brown]
Dwc	[Blue]
Dwd	[Orange]
EF	[Red]
ET	[Light Blue]

4.1.1 Υδρολογική λεκάνη Spencer Creek – Ontario – Canada

Το Οντάριο (Ontario) είναι η μεγαλύτερη σε πληθυσμό και η πλέον οικονομικά ανεπτυγμένη επαρχία του Καναδά. Πρωτεύουσα του Οντάριο είναι το Τορόντο. Στο Οντάριο επίσης βρίσκεται και η πρωτεύουσα του Καναδά, Οττάβα.

Η λεκάνη του Spencer Creek βρίσκεται στο νότιο Οντάριο του Καναδά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 12 (τα πλέγματα που χρησιμοποιούν τα κλιματικά μοντέλα του NARCCAP παρουσιάζονται επίσης). Η λεκάνη εκτείνεται σε μια περιοχή 160.4 km² όπως οριοθετήθηκε από ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model – DTM), με χρήση της επέκτασης HEC-GeoHMS (Hydrologic Engineering Center, 2000) στο λογισμικό ArcGIS. Η λεκάνη χαρακτηρίζεται από σχετικά ομαλή τοπογραφία, με εξαίρεση τοπικούς παγετώνιους σχηματισμούς, με υψόμετρα μεταξύ 100 m και 340 m. Το δίκτυο αποστράγγισης στη λεκάνη του Spencer Creek είναι εκτεταμένο, ενώ υπάρχουν πολλοί υγρότοποι στα ανάντη της λεκάνης. Το μεγαλύτερο μέρος της αστικής ανάπτυξης εντοπίζεται στο νότιο (κατάντη) μέρος της λεκάνης. Το μήκος του βασικού υδρογραφικού δικτύου είναι περίπου 100 km, ενώ η μέγιστη μισγάγγεια είναι περίπου 35 km. Οι βροχοπτώσεις στη λεκάνη είναι σχετικά κατανεμημένες σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, ενώ οι χιονοπτώσεις λαμβάνουν χώρα κυρίως μεταξύ Δεκέμβρη και Μάρτη, προκαλώντας συνήθως υψηλές ροές στο ποτάμι κατά τη διάρκεια της άνοιξης (Grillakis et al., 2011). Μέσοι όροι της ετήσιας θερμοκρασίας, κατακρήμνισης και παροχής για την λεκάνη δίδονται στον Πίνακα 2.

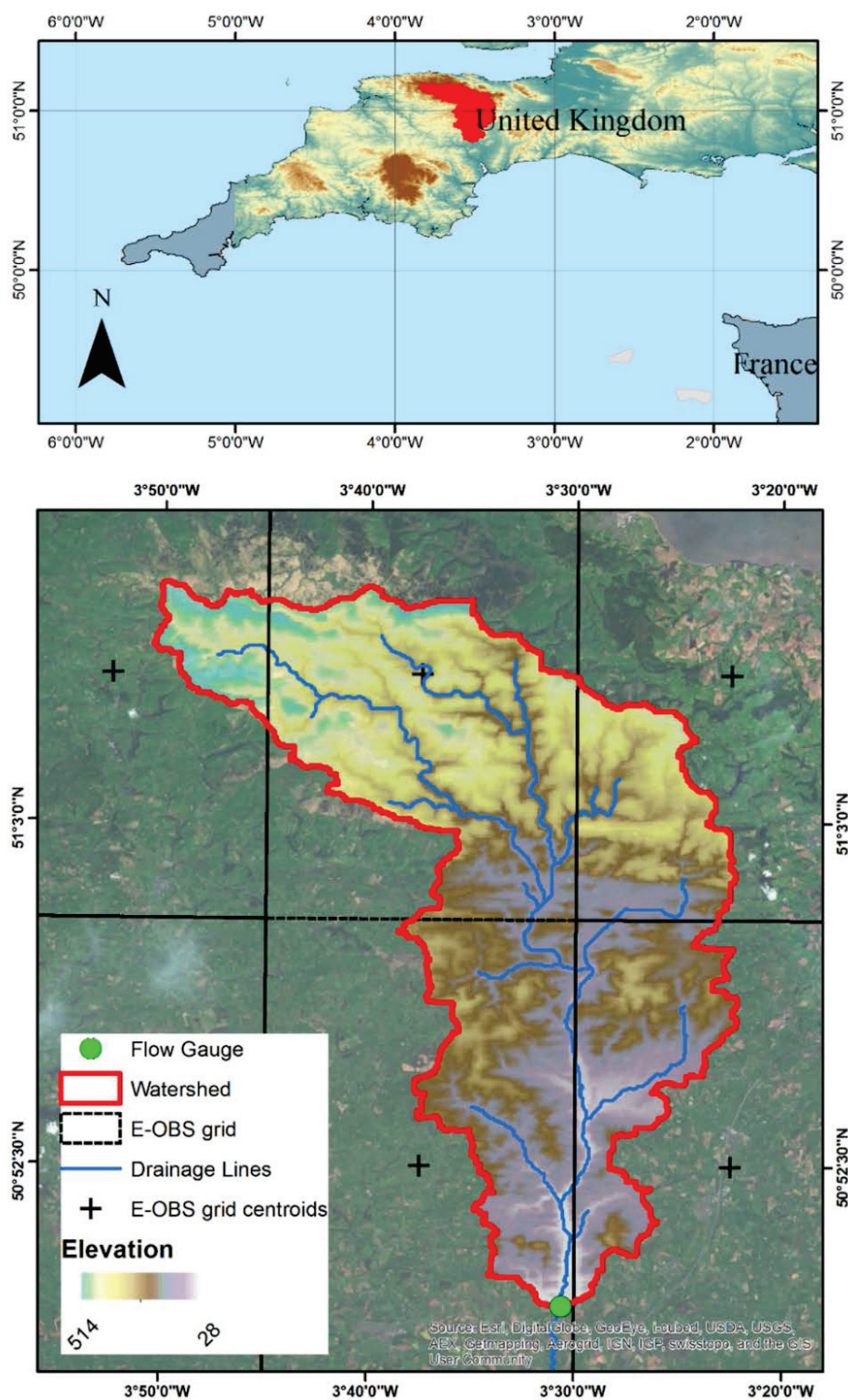
Η πλειοψηφία της λεκάνης βρίσκεται πάνω σε ανοικτό γκρι ως καφέ, κατακερματισμένο δολομίτη του σχηματισμού Guelph. Στα ανάντη της λεκάνης απορροής, τα εδάφη αποτελούνται από ανοιχτού χρώματος καφέ μάργες και πετρώδη εδάφη που σχετίζονται με τις παγετώνιες αποθέσεις βόρεια από τον οικισμό της Westover. Η υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο και χαλίκι δείχνουν ότι τα εδάφη αυτά έχουν υποστεί σημαντική αναμόρφωση από το νερό.



Εικόνα 12: Η υδρολογική λεκάνη του Spencer Creek. Διακρίνονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί και οι σταθμηγράφοι, καθώς και τα πλέγματα διάφορων περιοχικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος NARCCAP (πηγή: Grillakis et al., 2011).

4.1.2 Υδρολογική λεκάνη Exeter - UK

Η λεκάνη του ποταμού Exe πηγάζει από το Exmoor, ρέει νότια για 80km μέσω του Tiverton και του Exeter φτάνοντας στη θάλασσα στην περιοχή του Exmouth του Somerset, 8.4 km από την ακτή του Bristol Channel (Εικόνα 13). Το ποτάμιο σύστημα έχει μήκος 80km και εκτείνεται από το κανάλι του Bristol στα Βόρεια έως το κανάλι της Αγγλίας στα νότια. Ο ποταμός πηγάζει από το Simonsbath κοντά στο Exmoor. Οι πλημμυρικές ροές αποτελούν σημαντικό κίνδυνο σε μερικά τμήματα του ποταμού.

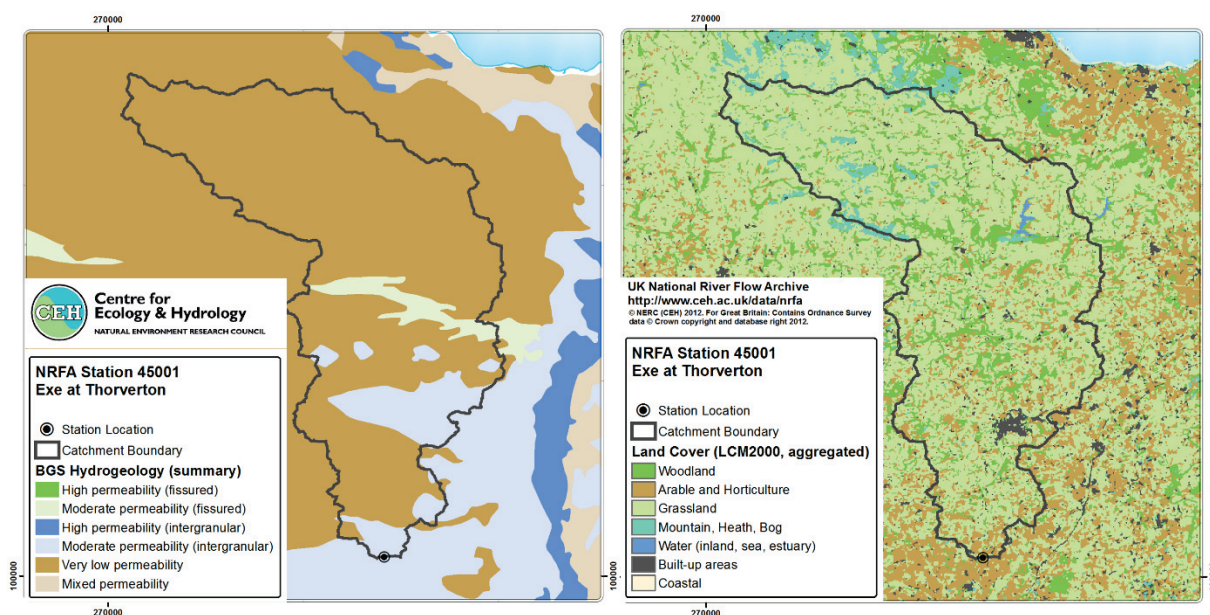


Εικόνα 13: Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Exe. Διακρίνεται η θέση του σταθμηγράφου, το υδρογραφικό δίκτυο, το πλέγμα των δεδομένων E-OBS καθώς επίσης και τα κεντροειδή των στοιχείων του πλέγματος.

Ο ποταμός διαπερνάει από τις πόλεις Exeter, Exmouth, Exebridge, Thorverton, Exford, Exminster, Rewe, Stoodleigh, Exton, Somerset και Nether Exe. Ο

ποταμός Exe έχει παρουσιάσει σημαντικές πλημμυρικές παροχές στο παρελθόν. Μερικές από αυτές έχουν προκαλέσει σημαντικές καταστροφές σε υποδομές στην περιοχή του Exeter. Η λεκάνη απορροής του Exe έχει συνολική επιφάνεια 600.1 Km² όπως αυτή οριοθετήθηκε από το DTM SRTM-90m-v4 (Javris et al., 2008) από την επέκταση HEC-GeoHMS (Hydrologic Engineering Center, 2000) στο λογισμικό ArcGIS.

Η γεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται κυρίως από Δεβόνιους ιλυόλιθους, ψαμμίτες και σχιστόλιθους που βρίσκονται στα ανάντη της λεκάνης του Exmoor. Πέρμιο -Τριαδικό ψαμμίτες, ιλυόλιθοι και λατυποπαγή απαντώνται στη μέση και στα ανατολικά της λεκάνης ενώ οι πιο πρόσφατες γεωλογικές αποθέσεις άμμοι και ιλύς βρίσκονται στην εκβολή του ποταμού (Εικόνα 14). Η επιφάνεια της λεκάνης εκμεταλλεύεται κυρίως από δασοκομία, διάφορες καλλιέργειες, ενώ σημαντική επιφάνεια καταλαμβάνουν και βάλτοι.



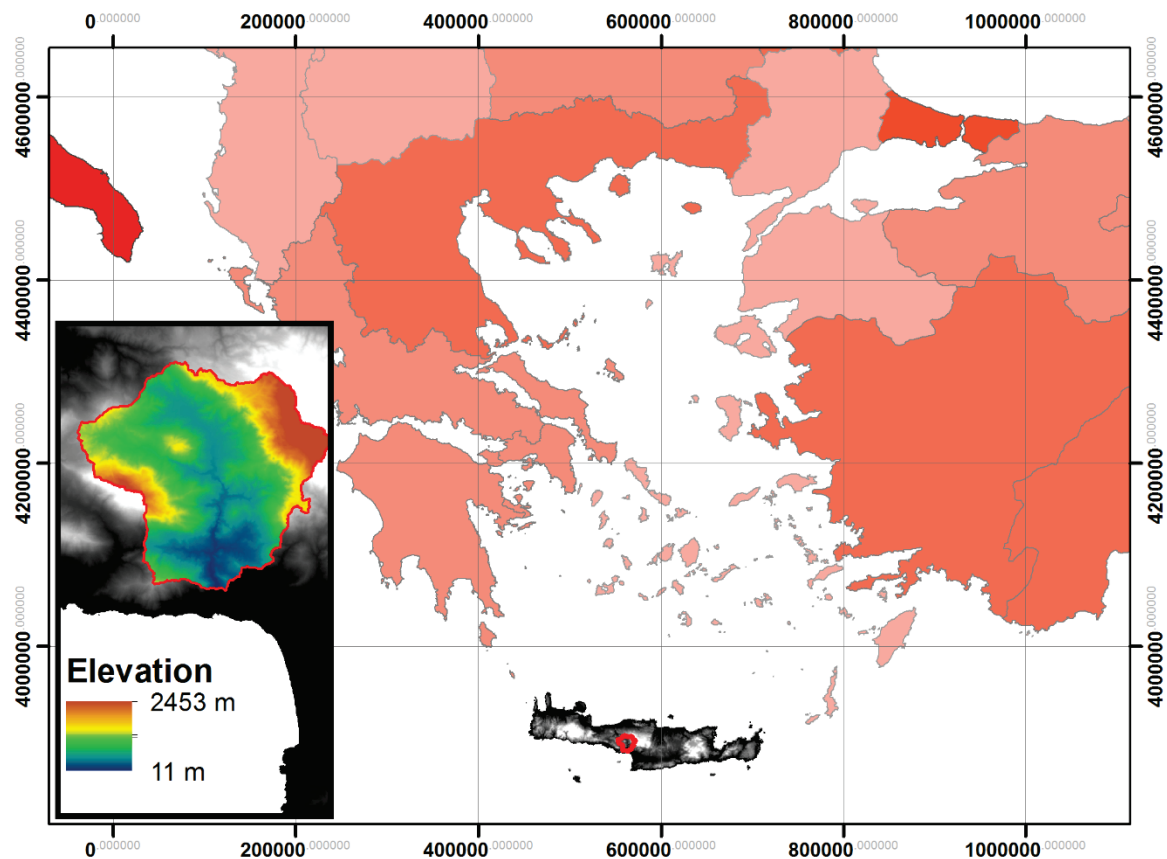
Εικόνα 14: Γεωλογικός χάρτης (αριστερά) και χάρτης χρήσεων γης (δεξιά) για την λεκάνη του ποταμού Exe. (Πηγή: Center of Ecology and hydrology – NRFA, www.ceh.ac.uk)

Η μέτρηση της απορροής του ποταμού γίνεται στο Thorverton, μετρώντας την παροχή των ανάντη 600.1Km² της λεκάνης απορροής. Η παροχή μετριέται με την μέθοδο ταχύτητας – επιφάνειας. Το 1973 κατασκευάστηκε υπερχειλιστής ανοικτής τριγωνικής διατομής με στρογγυλεμένη αιχμή (Flat V Crump profile

weir). Η απορροή της λεκάνης επηρεάστηκε σημαντικά από την κατασκευή του φράγματος Wimbleball. Μέσοι όροι της ετήσιας θερμοκρασίας, κατακρήμνισης και παροχής για την λεκάνη δίδονται στον Πίνακα 2.

4.1.3 Υδρολογική λεκάνη Πλατύ - Κρήτη

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πλατύ βρίσκεται Νότια – κεντρικά της Κρήτης, καλύπτοντας μία έκταση 210 Km² όπως αυτή υπολογίστηκε από το DTM ανάλυσης 30m της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού από την επέκταση HEC-GeoHMS (Hydrologic Engineering Center, 2000) στο λογισμικό ArcGIS (Εικόνα 15). Ο μέσος ετήσιος υετός εκτιμάται στα 902mm με 87 υγρές ημέρες κατά μέσο όρο ετησίως, όπως προκύπτει από δεδομένα παρατήρησης της περιόδου 1974 – 1999 (Πίνακας 2). Το μέσο υψόμετρο στη λεκάνη είναι 698m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο είναι 2453m. Το κλίμα στην λεκάνη βρίσκεται μεταξύ ύφυγρου Μεσογειακού και ημίξηρου, που χαρακτηρίζεται από μακρά και ξηρά καλοκαίρια και σχετικά υγρούς και κρύους χειμώνες (Pavlakis, 2004). Η μέση ετήσια παροχή εκτιμάται στα 272Mm³. Το ανάγλυφο της περιοχής της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πλατύ είναι κατά κανόνα ορεινό έως ημιορεινό. Οι κυριότεροι όγκοι εντός της λεκάνης είναι το δυτικό τμήμα του Ψηλορείτη και ο Κέδρος. Η περιοχή διασχίζεται από τον ποταμό Πλατύ και τους παραπόταμους Λυγιώτη και Γερανιανό, καθώς και άλλα μικρότερα ρέματα. Το έδαφος είναι γενικά επικλινές. Περιοχή με μικρές κλίσεις εδάφους είναι η κοιλάδα του πλατύ και των παραποτάμων του, καθώς και οι επίπεδες εκτάσεις μεταξύ των οικισμών Αμάρι και Βισταγή, μεταξύ των οικισμών Φουρφουράς, Πλατάνια, Βιζάρι και η περιοχή νοτιοανατολικά του οικισμού Γερακάρι.



Εικόνα 15: Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πλατύ (κόκκινο περίγραμμα) και τα υψόμετρα εντός της λεκάνης.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι παρουσιάζονται και δομούν την περιοχή αντιστοιχούν σε στρωματογραφικά τμήματα ορισμένων γεωλογικών ενοτήτων της Κρήτης οι περισσότερες των οποίων παρουσιάζονται με την μορφή τεκτονικών ρακών. Οι ενότητες παραθέτονται με σειρά από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη: Ενότητα Πλακωδών Ασβεστολίθων, Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών, Ενότητα Τριπόλεως, Ενότητα Πίνδου, Κάλυμμα Άρβης, Κάλυμμα Βάτου. Πάνω από τους γεωλογικούς σχηματισμούς κατά θέσεις παρουσιάζονται επικαθήμενα με στρωματογραφική ασυμφωνία τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς, και του Τεταρτογενούς, τα οποία αντιπροσωπεύονται από κροκαλοπαγή, μάργες, ασβεστόλιθους, ψαμμίτες αργίλους κ.λ.π.

Στην ευρύτερη περιοχή λειτούργησαν πολλά τεκτονικά γεγονότα κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της περιοχής, τα οποία αποτυπώνονται μεταξύ άλλων με την έντονη ρηξιγενή δομή που την χαρακτηρίζει. Η ριξηγενής δομή εκδηλώνεται με το σχηματισμό ποικίλων τεκτονικών ασυνεχειών και

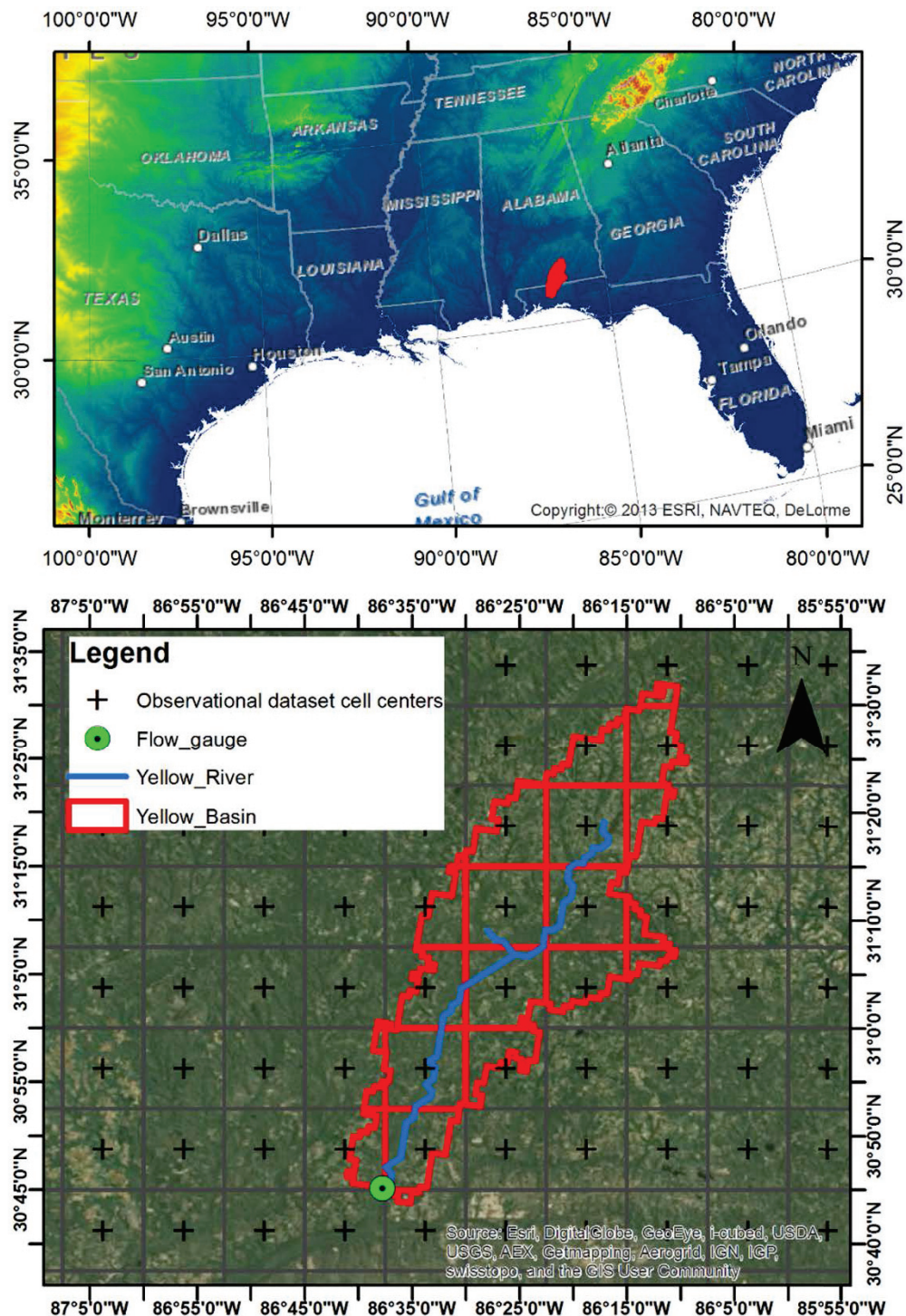
κυρίως πολλών μικρών και μεγάλων ρηγμάτων τα οποία παρουσιάζονται με ποικίλες διευθύνσεις. Ορισμένα από αυτά αποτελούν και τα τεκτονικά όρια μεταξύ διαφορετικών γεωλογικών ενοτήτων.

Η γεωμορφολογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από έδαφος βαθύ έως αβαθές με καμία έως μέτρια διάβρωση ενώ οι κλίσεις κυμαίνονται από ελαφρές έως ελαφρές και μέτριες.

Η λεκάνη καλύπτεται κυρίως από καλλιεργήσιμες εκτάσεις (46.5%) και φυσικές περιοχές (53.5%). Η γεωλογία χαρακτηρίζεται κυρίως από αδιαπεράστους φυλλιτικούς/χαλαζιτικούς σχηματισμούς, όπως επίσης περατούς ασβεστόλιθους καθώς επίσης και νεογενών και τεταρτογενείς αποθέσεις (Pavlakis, 2004).

4.1.4 Υδρολογική λεκάνη Yellow - Florida

Ο ποταμός Yellow βρίσκεται στην περιοχή της Βόρειας – κεντρικής Αμερικής, ρέοντας από Βορρά προς Νότο, ανατολικά του Mississippi στον κόλπο του Μεξικού (Εικόνα 16). Έχει συνολικό μήκος 190km, και διασχίζει δύο πολιτείες των νοτίων Ηνωμένων Πολιτειών, την Alabama και μετέπειτα στα κατάντη, την Florida. Ο ποταμός εκβάλλει στην ακτή του Blackwater (USGS, 2011). Στην παρούσα εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκε ένα μέρος της λεκάνης απορροής, όπως αυτό ορίστηκε από το σημείο μέτρησης της παροχής στον Milligan της Florida (-86.6291 W, 30.753 N). Η επιφάνεια της προς μελέτη λεκάνης υπολογίστηκε στα 1763km² όπως αυτή οριοθετήθηκε από το Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Hydro1k (Verdin, 2011). Μέσοι όροι της ετήσιας θερμοκρασίας, κατακρήμνισης και παροχής για την λεκάνη δίδονται στον Πίνακα 2.



Εικόνα 16: Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Yellow. Διακρίνεται η θέση του σταθμηγράφου, το υδρογραφικό δίκτυο, το πλέγμα των δεδομένων παρατήρησης καθώς επίσης και τα κεντροειδή των στοιχείων του πλέγματος.

Η γεωλογία της λεκάνης απορροής αποτελείται κυρίως από σχηματισμούς του Citronelle (Matson, 1916) και αλλουβιακές αποθέσεις. Η λιθολογία διακρίνεται κυρίως από τις ανυψώσεις πάνω από το επίπεδο του ποταμού. Οι βαθμιδωτές

αποθέσεις σχηματίστηκαν σε παλαιότερες πλημμυρικές κοίτες , όταν το ποτάμι έρεε σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Χαμηλές αποθέσεις βαθμιδωτές και αλλουβιακές αποθέσεις παρατηρούνται σε κοιλάδες και στις όχθες των σημερινών ρευμάτων. Οι βαθμιδωτές και οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από μη ενοποιημένη ιλύ, άμμο, χαλίκι και πηλό και διάφορα μίγματα από αυτά τα ιζήματα. Οι σχηματισμοί του Citronelle έχουν πάχος 15-60m και αποτελούνται κυρίως από αποσαθρωμένη λεπτόκοκκη έως χονδρόκοκκη χαλαζιακή άμμο με διάσπαρτους λειμονιτικούς ωόλιθους, και κροκάλες και (Ankersen, 2010).

Ο υδροφορέας της λεκάνης απορροής μπορεί να χαρακτηριστεί ως Ηώκαινος-Πλειστόκαινος χωρίς ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις στην έκτασή του. Αποτελείται από έναν αριθμό διαφορετικών σχηματισμών αυτής της εποχής και τα ιζήματα αποτελούνται κυρίως από άμμους, αργίλους, χαλίκια, ιλύ, καθώς και μαλακούς ασβεστόλιθους. Η γεωλογία της λεκάνης έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί ένα εμπόδιο στη διαχείριση της, λόγω της ιδιαίτερα διαβρώσιμης αμμώδους λιθολογίας που συνθέτει τις όχθες του ποταμού. Η έντονη παρόχθια διάβρωση έχει αποτελέσει σημείο συζήτησης σε μια σειρά από μελέτες του F.D.E.P. (Florida Department of Environmental Protection) οι οποίοι έχουν ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις της εν λόγω παρόχθιας διάβρωσης. Έχει επίσης αποδειχθεί από μελέτες ότι ένας από τους παράγοντες που συμβάλλουν στη περίσσεια ιζημάτων του ποταμού είναι το οδικό δίκτυο κοντά στο ποτάμι.

Η λεκάνη απορροής του Yellow ανήκει κυρίως σε δημόσιους φορείς, όπως το Conecuh National Forest, Blackwater River State Forest, Blackwater River State Park και το Florida Water Management Area.

Το 2004, η κάλυψη γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού αποτελούνταν από κωνοφόρα δάση (24%), καλλιεργούμενες εκτάσεις και βοσκοτόπια (17%) και κωνοφόρες φυτείες (15%). Άλλα, λιγότερο κυρίαρχα είδη κάλυψης γης αποτελούν τα δάση υπό αναγέννηση (9%), τα μικτά δάση κωνοφόρων / hardwood forests (ίσως πλατύφυλλων) (8%), υγρότοποι με μικτά δάση (7%) και υγρότοποι με κωνοφόρα δάση (5%). Οι κατοικημένες περιοχές καλύπτουν μόνο το 4% της λεκάνης απορροής. Σε γενικές γραμμές η κάλυψη της γης στη λεκάνη απορροής ποικίλει, και περιλαμβάνει αστικές, αγροτικές και άγριες περιοχές.

Πίνακας 2: Μέση ετήσια κατακρήμνιση, θερμοκρασία, απορροή και άλλα χαρακτηριστικά για τις τέσσερις περιοχές μελέτης.

	Exeter	Πλατύς	Yellow	Spencer Creek
P [mm/yr]	1295.9	900.8	1590.5	943.8
T [°C]	9.68	15.1	18.25	8.84
Q [m ³ /s]	16.0	1.6	33.2	1.99
Επιφάνεια [km ²]	600	210	1763	160
Κύρια Γεωλογικά	Δεβόνιους ιλυόλιθους, ψαμμίτες, σχιστόλιθους	Φυλλιτικούς/χαλαζιτικούς σχηματισμούς, ασβεστόλιθους	Σχηματισμούς του Citronelle, αλλουβιακές αποθέσεις	Κατακερματισμένος δολομίτης
Χρήσεις γης	Δασοκομία, διάφορες καλλιέργειες,	Καλλιεργούμενες εκτάσεις, φυσικές περιοχές	Κωνοφόρα δάση, καλλιεργούμενες εκτάσεις, βοσκοτόπια	Βοσκοτόπια, καλλιεργούμενες εκτάσεις

4.2 Κλιματικά δεδομένα

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τρόπος αποθήκευσης κλιματικής πληροφορίας μεγάλης κλίμακας, είναι τα αρχεία Network Common Data Form (netCDF). Τα αρχεία ακολουθούν τα πρότυπα που έχουν του University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). Η πιο συνηθισμένη μορφή αποθήκευσης μίας κλιματικής μεταβλητής για δεδομένο χρόνο είναι η μορφή πλέγματος (gridded dataset). Κάθε εικονοστοιχείο (φατνίο) του πλέγματος περιέχει μία τιμή της μεταβλητής η οποία είναι σταθερή για όλη την επιφάνεια του φατνίου. Η χωρική και χρονική εξέλιξη μίας μεταβλητής μπορεί να αποθηκευτεί σε αλληπάλληλα πλέγματα που ο αριθμός τους είναι ίσος με τα χρονικά βήματα της μεταβλητής. Βασικό γνώρισμα των αρχείων netCDF είναι ότι αυτοπεριγράφονται, που σημαίνει ότι περιέχουν εκτεταμένη μεταπληροφορία που περιγράφει πλήρως τα δεδομένα και τη δομή τους.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα δεδομένα παρατήρησης για κατακρήμνιση, θερμοκρασία και απορροή, ενώ στη δεύτερη δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης που προέρχονται από προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων.

4.2.1 Δεδομένα παρατηρήσεων

Στα δεδομένα παρατηρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν οι καταγραφές βροχής και θερμοκρασίας από τοπικού σταθμούς. Αυτά προήλθαν από μετεωρολογικούς σταθμούς για τις λεκάνες απορροής του Πλατύ στην Κρήτη και του Spencer Creek στον Καναδά. Στην περίπτωση της λεκάνης του Exe, ως παρατηρήσεις ελήφθησαν τα δεδομένα της βάσης E-OBS - v7 (Haylock et al., 2008) όπου παρείχε δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης σε πλεγματική μορφή ανάλυσης $1/4^\circ$ ($\sim 25\text{km}$). Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από παρεμβολή δεδομένων από βροχομετρικούς σταθμούς για όλη την Ευρώπη. Για την λεκάνη του Yellow, ως δεδομένα παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων μακράς διάρκειας για υδρολογικούς σκοπούς (Maurer et al., 2002), όπου παρείχε δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης σε πλεγματική μορφή ανάλυσης $1/8^\circ$ ($\sim 12\text{km}$).

4.2.2 Δεδομένα από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας CMIP3 – CMIP5

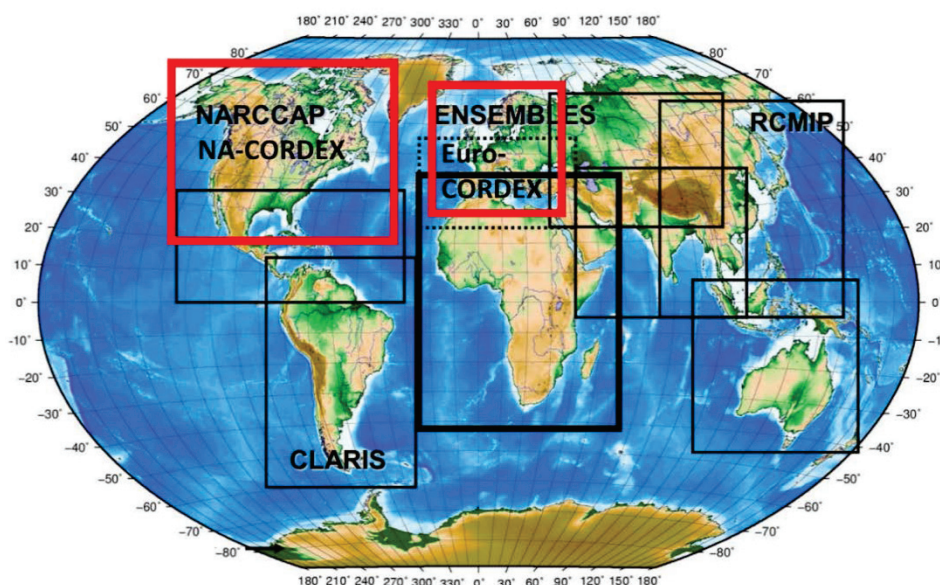
Το Coupled Model Intercomparison Project – phase 3 (CMIP3) αποτελεί την τρίτη φάση του προγράμματος σύγκρισης των συζευγμένων παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (AOGCMs) για τον 20^ο – 22^ο αιώνα (Meehl et al., 2007). Τα μοντέλα χρησιμοποίησαν τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών της Ειδικής Έκθεσης για Σενάρια Εκπομπών της IPCC (Special Report on Emission Scenarios – SRES) (Nakićenović, 2000). Τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων των GCMs αυτών χρησιμοποιήθηκαν στην τέταρτη έκθεση της IPCC (IPCC AR4).

Όπως και στο CMIP3, έτσι και το Coupled Model Intercomparison Project – phase 5 (CMIP5) (Taylor et al., 2009) είναι η 5^η φάση του προγράμματος

σύγκρισης των συζευγμένων παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων υπό τα σενάρια συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου RCPs (Moss et al., 2008; 2010). Το κλιματικό πείραμα του CMIP5 αποτελεί την αιχμή της έρευνας πάνω στο κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα.

4.2.3 Δεδομένα από μοντέλα περιοχικών κλιματικών πειραμάτων

Για την καλύτερη μελέτη του τοπικού κλίματος, έχουν συσταθεί ένας αριθμός από περιοχικά κλιματικά πειράματα. Σκοπός των πειραμάτων αυτών είναι η χρήση περιοχικών κλιματικών μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί από διαφορετικά ινστιτούτα, κάτω από κοινό πλαίσιο προσομοίωσης. Τα πειράματα αυτά καλύπτουν μέρος της υδρογείου, ενώ χρησιμοποιούν οριακές συνθήκες από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας όπως είναι αυτά του CMIP3 και του CMIP5. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τρία περιοχικά κλιματικά πειράματα. Τα δύο πρώτα πειράματα, ENSEMBLES και NARCCAP, αποτελούν τα «προηγούμενης» γενιάς κλιματικά πειράματα, καθώς είχαν εκτελεστεί με χρήση οριακών συνθηκών από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας του CMIP3, τα οποία παρείχαν προσομοιώσεις για τα προηγούμενης γενιάς σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (SRES). Το τρίτο περιοχικό κλιματικό πείραμα είναι το CORDEX (COordinated Regional Climate Downscaling Experiment) (Εικόνα 17), και πιο συγκεκριμένα τα European - CORDEX (EURO - CORDEX) και North America – CORDEX (NA-CORDEX). Τα πειράματα αυτά συντονίζονται από το Παγκόσμιο Πρόγραμμα Κλιματικής Έρευνας (World Climate Research Programme - WCRP). Το πλαίσιο του CORDEX παρέχει παγκόσμιο συντονισμό του των επιμέρους κλιματικών πειραμάτων με στόχο τον καταβιβασμό την κλιματικής πληροφορίας βασιζόμενο σε ένα κοινό μεθοδολογικό πλαίσιο, υπό κοινές παραδοχές (κοινή χωρική ανάλυση, οριακές συνθήκες, όρια περιοχών) και δρώσες δυνάμεις όπως τα σενάρια εκπομπών. Οι ομοιογενείς προσομοιώσεις σκοπεύουν στην καλύτερη πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος.



Εικόνα 17: Περιοχές διαφορετικών κλιματικών πειραμάτων του CORDEX. Με κόκκινο σημειώνονται τα πειράματα από τα οποία αντλήθηκαν δεδομένα.

ENSEMBLES

Το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα ENSEMBLES συστάθηκε με σκοπό την ανάπτυξη ενός συνολικού συστήματος μελέτης της κλιματικής αλλαγής για την Ευρώπη, βασιζόμενο σε υψηλής ανάλυσης περιοχικά κλιματικά μοντέλα (van der Linden et al., 2009). Πρόκειται για ένα σύνολο 17 RCMs για τα οποία έγινε προσομοίωση και βαθμονόμηση για την περίοδο παρελθόντος κλίματος 1961-2000 με οριακές συνθήκες βασιζόμενες στα δεδομένα ERA40-reanalysis (Urrala et al., 2006). Εν συνεχεία τα RCMs χρησιμοποίησαν οριακές συνθήκες, για την περίοδο 1950 - 2099, που προέκυψαν από αποτελέσματα προσομοίωσης 8 διαφορετικών GCMs του κλιματικού πειράματος CMIP3. Για την περίοδο 1950-2000 χρησιμοποιήθηκαν καταγεγραμμένες τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αερολυμάτων, ενώ για την μελλοντική περίοδο 2001-2099 οι προσομοιώσεις βασίστηκαν σε εκτιμήσεις του κλιματικού σεναρίου A1B (IPCC, 2007), το οποίο κρίθηκε ως το ρεαλιστικότερο μελλοντικό σενάριο. Λίστα των περιοχικών μοντέλων του ENSEMBLES από τα οποία ελήφθησαν δεδομένα, παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Λίστα των 17 συζευγμένων κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES που χρησιμοποιήθηκαν.

	Modeling Institute - RCM NAME	Driving GCM
1	Rossby Centre - C4IRCA3	HadCM3Q16
2	CNRM - RM5.1	CNRM - ARPEGE
3	DMI - HIRHAM5	CNRM - ARPEGE
4	ETHZ - CLM	HadCM3Q0
5	ICTP - REGCM3	ECHAM5-r3
6	KNMI - RACMO2	ECHAM5-r3
7	METNO - HIRHAM	BCM
8	METO - HC HadRM3Q0	HadCM3Q0
9	METO - HC HadRM3Q3	HadCM3Q3
10	METO - HC HadRM3Q16	HadCM3Q16
11	MPI-M - REMO	ECHAM5-r3
12	OURANOS - MRCC4.2.1	CGCM3
13	SMHI - RCA3	BCM
14	SMHI - RCA3	ECHAM5-r3
15	SMHI - RCA3	HadCM3Q3
16	UCLM-PROMES	HadCM3Q0
17	VMGO	HadCM3Q0

NARCCAP

Το NARCCAP (Mearns et al., 2007; 2009) (North American Regional Climate Change Assessment Program) είναι ένα διεθνές πρόγραμμα που σκοπό έχει την παραγωγή κλιματικών προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης για χρήση τους στην μελέτη της αβεβαιότητας στις προσομοιώσεις του μελλοντικού κλίματος, όπως επίσης την παραγωγή πιθανών κλιματικών σεναρίων για χρήση σε μελέτες επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής εστιάζοντας στην περιοχή της Βορείου Αμερικής. Τα περιοχικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στο NARCCAP χρησιμοποίησαν οριακές συνθήκες από τις παγκόσμιες προσομοιώσεις του CMIP3 υπό το σενάριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου A2 κατά την ειδική έκθεση SRES (Nakićenović, 2000). Η χωρική διακριτοποίηση των μοντέλων ανέρχεται στις 0.5° (~50 km). Λίστα των περιοχικών μοντέλων του NARCCAP από τα οποία ελήφθησαν δεδομένα, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4. Λεπτομέρειες των περιοχικών και των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων δίνονται στο Παράρτημα Α - Πίνακας Α1.

Πίνακας 4: Λίστα των 11 συζευγμένων κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος NARCCAP που χρησιμοποιήθηκαν.

	RCM NAME (ALIASES) - Modeling Group	Driving GCM
1	CRCM (MRCC) - OURANOS / UQAM	CCSM
2	CRCM (MRCC) - OURANOS / UQAM	CGCM3
3	ECP2 (RSM) - UC San Diego / Scripps	GFDL
4	HRM3 (PRECIS, HadRM3) - Hadley Centre	GFDL
5	MM5I (MM5, MM5P) - Iowa State University	CCSM
6	RCM3 (RegCM3) - UC Santa Cruz	CGCM3
7	RCM3 (RegCM3) - UC Santa Cruz	GFDL
8	WRFG (WRFP, WRF) - Pacific Northwest Nat'l Lab	CCSM
9	WRFG (WRFP, WRF) - Pacific Northwest Nat'l Lab	CGCM3
10	HRM3 (PRECIS, HadRM3) - Hadley Centre	HadCM3
11	MM5I (MM5, MM5P) - Iowa State University	HadCM3

EURO-CORDEX

Το EURO-CORDEX (<http://euro-cordex.net/>) είναι ο Ευρωπαϊκός κλάδος του κλιματικού πειράματος CORDEX. Σκοπός του είναι η παραγωγή συνόλου καταβιβασμένων κλιματικών προσομοιώσεων με βάση πολλαπλά περιοχικά μοντέλα (RCMs) με χρήση των νέων σεναρίων εκπομπών όπως αυτά ορίζονται από τα RCPs και έχουν χρησιμοποιηθεί στις προσομοιώσεις του CMIP5. Τα μοντέλα που συμμετέχουν στο EURO - CORDEX είναι νεότερης γενιάς κλιματικά μοντέλα σε σχέση με τον προκάτοχο ENSEMBLES, ενσωματώνοντας περισσότερες και αναλυτικότερες διεργασίες στη φυσική και στη χημεία της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης. Αν και η χωρική ανάλυση στα πειράματα του CORDEX έχει ορισθεί στις 0.44°, δευτερεύον σκοπός του EURO - CORDEX είναι η αύξηση της χωρικής ανάλυσης στα ~12km (από ~25km στο πείραμα ENSEMBLES). Η περίοδος των προσομοιώσεων είναι το 1951 – 2100. Τα πειράματα βασίζονται στα τρία σενάρια εκπομπών των RCP 2.6, RCP 4.5 και RCP 8.5 (Moss et al., 2010), αν και οι περισσότερες προσομοιώσεις έχουν διεξαχθεί υπό τα RCP 4.5 και RCP 8.5. Λίστα των περιοχικών μοντέλων του EURO-CORDEX από τα οποία ελήφθησαν δεδομένα, παρουσιάζεται στον Πίνακας 5.

Πίνακας 5: Λίστα των συζευγμένων κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος EURO - CORDEX σε χωρική ανάλυση 0.44° και 0.11° που χρησιμοποιήθηκαν.

		RCM NAME (ALIASES) - Modeling Group	Driving GCM
EUR-11	1	SMHI-RCA4_v1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
	2	SMHI-RCA4_v1	ICHEC-EC-EARTH
	3	SMHI-RCA4_v1	MOHC-HadGEM2-ES
	4	SMHI-RCA4_v1	MPI-M-MPI-ESM-LR
	5	SMHI-RCA4_v1	IPSL-IPSL-CM5A-MR
	6	IPSL-INERIS-WRF331F_v1	IPSL-IPSL-CM5A-MR
	7	DMI-HIRHAM5_v1	ICHEC-EC-EARTH
EUR-44	1	SMHI-RCA4_v1	CCCma-CanESM2
	2	SMHI-RCA4_v1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
	3	SMHI-RCA4_v1	ICHEC-EC-EARTH
	4	SMHI-RCA4_v1	IPSL-IPSL-CM5A-MR
	5	SMHI-RCA4_v1	MIROC-MIROC5
	6	SMHI-RCA4_v1	MOHC-HadGEM2-ES
	7	SMHI-RCA4_v1	MPI-M-MPI-ESM-LR
	8	SMHI-RCA4_v1	NCC-NorESM1-M
	9	SMHI-RCA4_v1	NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M
	10	IPSL-INERIS-WRF331F_v1	IPSL-IPSL-CM5A-MR
	11	KNMI-RACMO22E_v1	ICHEC-EC-EARTH
	12	DMI-HIRHAM5_v1	ICHEC-EC-EARTH

NA-CORDEX

Αντίστοιχα, πρόσφατα ξεκίνησε να παρέχει δεδομένα και το αντίστοιχο περιοχικό κλιματικό πείραμα του CORDEX για τη Βόρεια Αμερική (North America CORDEX ή NA-CORDEX). Το κλιματικό αυτό πείραμα είναι νέο και δεν έχει δώσει πολλές προσομοιώσεις ακόμα (Αύγουστος 2014), καθώς για την Βόρεια Αμερική έως τα τέλη του 2012 υποστηριζόταν το κλιματικό πείραμα NARCCAP. Στοιχεία του περιοχικού πειράματος NA-CORDEX του οποίου τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζεται στον Πίνακας 6.

Πίνακας 6: Στοιχεία του συζευγμένου κλιματικού μοντέλου του κλιματικού πειράματος NA-CORDEX που χρησιμοποιήθηκε.

	RCM NAME (ALIASES) - Modeling Group	Driving GCM
1	DMI-HIRHAM5_v1	ICHEC-EC-EARTH

Στον Πίνακα 7 συνοψίζονται τα περιοχικά κλιματικά πειράματα από τα οποία ελήφθησαν δεδομένα, η χωρική τους ανάλυση και η περίοδος προσομοίωσής τους. Όλα τα δεδομένα των περιοχικών κλιματικών πειραμάτων, (όπως και των γενικής κυκλοφορίας) που ελήφθησαν ήταν σε ημερήσιο χρονικό βήμα.

Πίνακας 7: Περιοχικά κλιματικά πειράματα που χρησιμοποιήθηκαν και στοιχεία αυτών.

Πείραμα	Περιοχή	Ανάλυση [deg]	Περίοδος ελέγχου	Περίοδος σεναρίου
ENSEMBLES	Ευρώπη	0.25	1950 – 2000	2001 – 2100
EURO- CORDEX		0.11	1951 – 2005	2006 – 2100
		0.44		
NARCCAP	Β.	0.5	1971 – 2000	2041 – 2070
NA-CORDEX	Αμερική	0.44	1951 – 2005	2006 – 2100

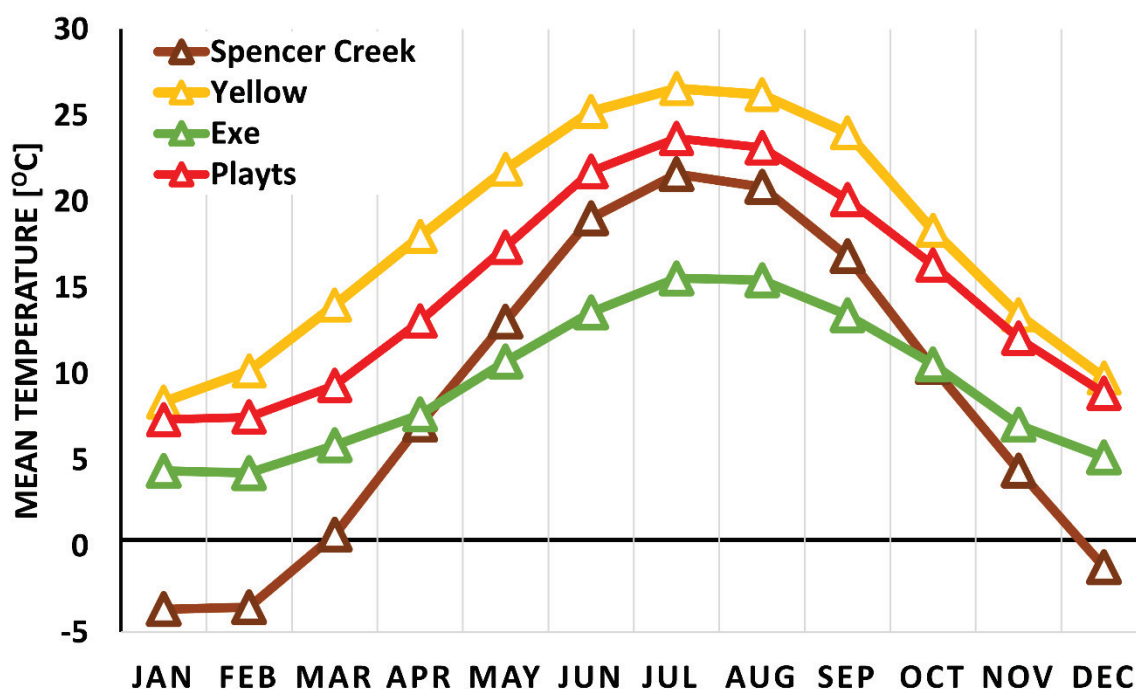
4.3 Εκτίμηση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στις υδρολογικές λεκάνες που μελετώνται, χρησιμοποιήθηκε η αρχικά η εξίσωση του Blaney-Criddle Εξ. 3-5. Στον Πίνακα 8, παρουσιάζεται το γεωγραφικό πλάτος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των μηνιαίων τιμών της παραμέτρου p κάθε περιοχής μελέτης. Δεδομένα μέσης καταγεγραμμένης θερμοκρασίας σε μηνιαίο βήμα, χρησιμοποιήθηκαν για την αρχική εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (oBC_{ET}) με την εξίσωση Εξ. 3-5 του Blaney-Criddle. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία που χρησιμοποιήθηκε για κάθε περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στην Εικόνα 18.

Πίνακας 8: Το γεωγραφικό πλάτος της κάθε λεκάνης που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του συντελεστή p , και ο συντελεστής p .

		Spencer Cr	Yellow	Exe	Πλατύς
Longitude [deg]		43.43	30.97	50.82	35.15
Month					
p value	Jan	0.206	0.238	0.187	0.230
	Feb	0.233	0.250	0.227	0.250
	Mar	0.270	0.270	0.268	0.270
	Apr	0.300	0.290	0.312	0.290
	May	0.334	0.310	0.343	0.310
	Jun	0.347	0.320	0.365	0.321
	Jul	0.337	0.312	0.355	0.320
	Aug	0.317	0.300	0.322	0.300
	Sep	0.280	0.280	0.280	0.280
	Oct	0.243	0.258	0.238	0.250
	Nov	0.213	0.238	0.197	0.230
	Dec	0.203	0.228	0.177	0.220

Η αρχική εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής oBC_{ET} χρησιμοποιήθηκε στη τροποποιημένη εξίσωση του Blaney-Criddle (Εξ. 3-6) για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής (mBC_{ET}). Οι συντελεστές a και b της εξίσωσης βαθμονομήθηκαν με εκτιμήσεις δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Penman-Monteith (PM_{ET}) από τη βάση δεδομένων του WATCH, Watch Forcing Data – WFD (Weedon et al., 2010; 2011). Η βάση δεδομένων WFD προέρχεται από τα δεδομένα της επανανάλυσης ERA-40 (Uppala et al., 2005), έπειτα από παρεμβολή σε 0.5 deg χωρική ανάλυση, διόρθωση υψομέτρου, και διόρθωση σε μηνιαία βάση με χρήση των πλεγματοποιημένων δεδομένων παρατήρησης του Climate Research Unit (CRU_TS2.1), από το 1958 ως το 2001. Αρχικά, η παράμετρος b βαθμονομήθηκε ώστε η κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ PM_{ET} και mBC_{ET} να ισούται με 1. Έπειτα, η παράμετρος a βαθμονομήθηκε ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα RMS μεταξύ PM_{ET} και BC_{ET} . Οι παράμετροι a , b της τροποποιημένης εξίσωσης Blaney-Criddle παρουσιάζονται στον Πίνακα 9, όπως επίσης και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) μεταξύ των $oBC_{ET} - PM_{ET}$ και $mBC_{ET} - PM_{ET}$.

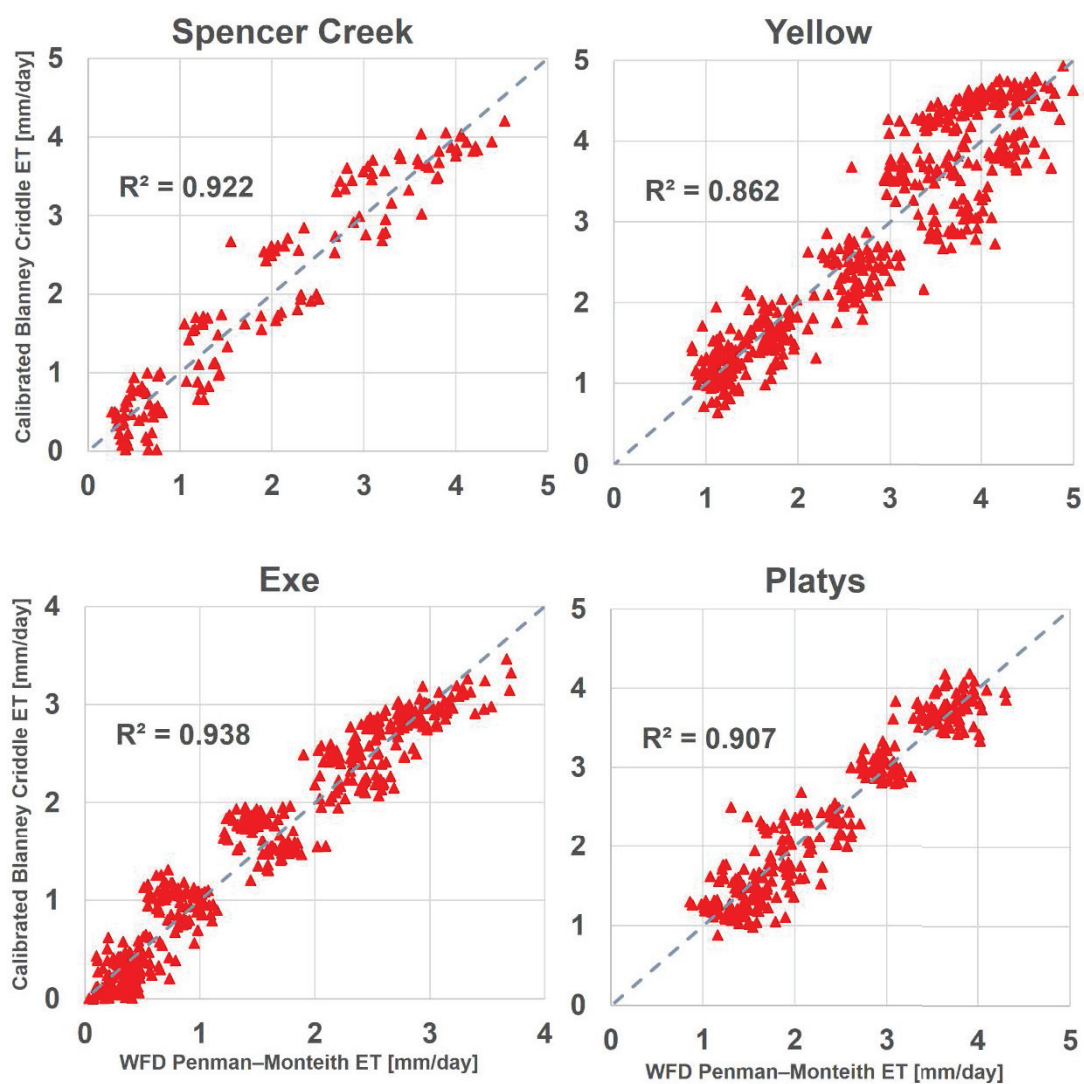


Εικόνα 18: Μέση μηνιαία θερμοκρασία κάθε περιοχής μελέτης

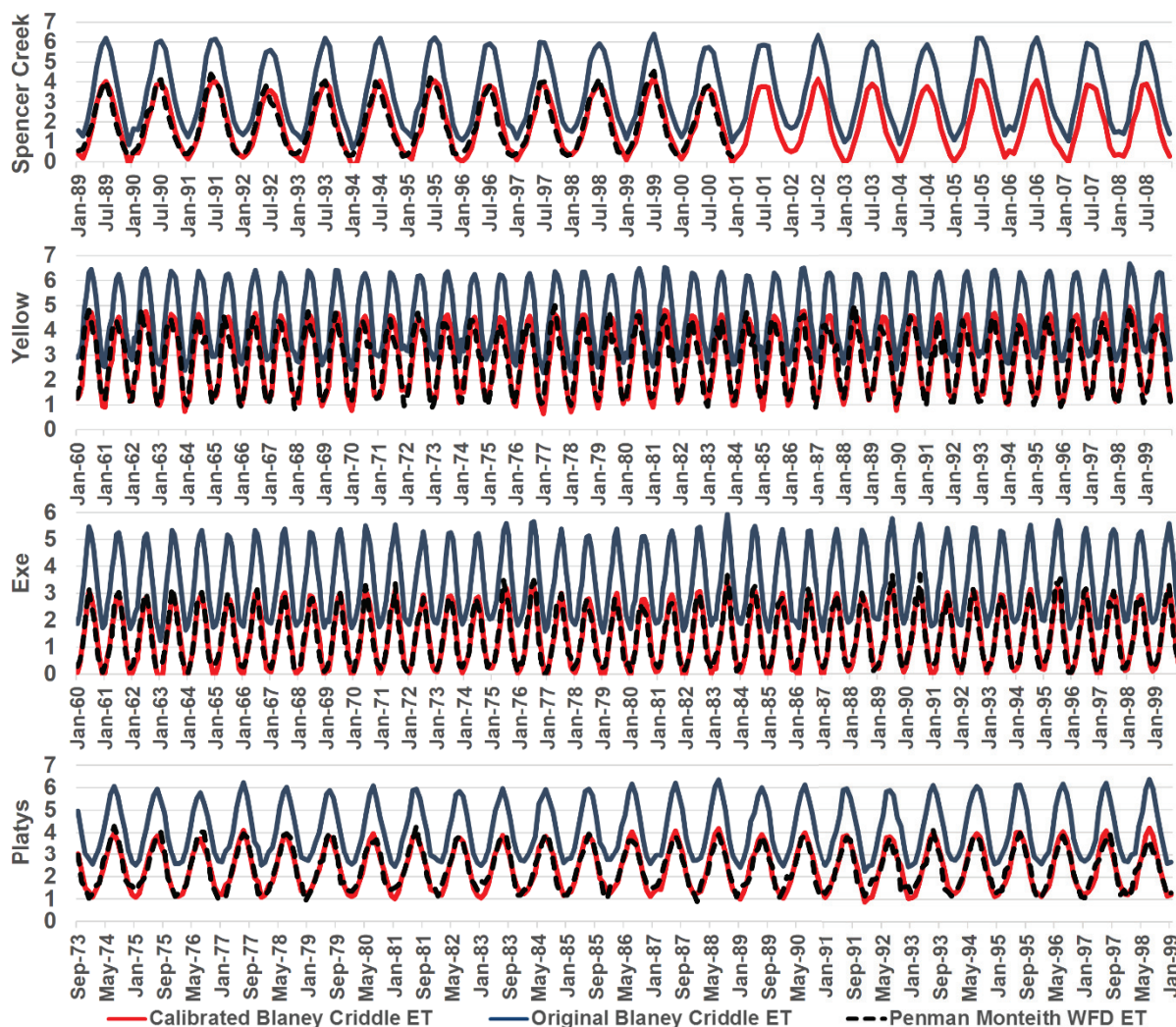
Πίνακας 9: Οι συντελεστές a , b της τροποποιημένης εξίσωσης του Blaney-Criddle καθώς και το RMS που επιτεύχθηκε μεταξύ PM_{ET} και mBC_{ET} .

	Spencer Cr	Yellow	Exe	Πλατύς
a [mm/day]	-0.832	-1.584	-1.502	-0.956
b	0.787	0.977	0.837	0.810
$RMSE\ PM_{ET} - oBC_{ET}$ [mm/day]	1.301	1.754	2.100	1.794
$RMSE\ PM_{ET} - mBC_{ET}$ [mm/day]	0.292	0.469	0.262	0.301

Από τα αποτελέσματα του Πίνακας 9 παρατηρείται ότι το RMS μεταξύ PM_{ET} και mBC_{ET} βελτιώθηκε πολύ σε σχέση με το αντίστοιχο RMS μεταξύ των PM_{ET} και oBC_{ET} . Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης της τροποποιημένης εξίσωσης Blaney-Criddle σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Penman-Monteith παρουσιάζονται στην Εικόνα 19. Η βαθμονομημένη εξίσωση έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε όρους γραμμικής συσχέτισης R^2 μεταξύ PM_{ET} και mBC_{ET} με τη χαμηλότερη συσχέτιση να επιτυγχάνεται για την περιοχή του Yellow ($R^2 = 0.862$) ενώ την υψηλότερη στην περιοχή του Exe ($R^2 = 0.938$). Οι χρονοσειρές της αρχικής και της βαθμονομημένης εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζονται στην Εικόνα 20 σε σύγκριση με τις χρονοσειρές Penman-Monteith για τις περιοχές μελέτης.



Εικόνα 19: Σύγκριση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής Penman-Monteith (PM_{ET}) και της βαθμονομημένης εξίσωσης Blaney-Criddle mBC_{ET} για τις τέσσερις περιοχές μελέτης.



Εικόνα 20: Χρονοσειρά εξατμισοδιαπνοής [mm/day] κατά την αρχική Blaney Criddle (μπλε), και η αντίστοιχη εξατμισοδιαπνοή όπως αυτή υπολογίστηκε από την βαθμονομημένη εξίσωση του Blaney Criddle (κόκκινο). Οι χρονοσειρές εξατμισοδιαπνοής της μεθόδου Penman-Monteith παρουσιάζονται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή.

4.4 Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HBV – IHMS στις περιοχές μελέτης.

Το υδρολογικό μοντέλο HBV βαθμονομήθηκε για τις τέσσερις περιοχές μελέτης που παρουσιάστηκαν, Exeter, Πλατύ, Yellow και Spencer Creek. Οι περίοδοι των καταγεγραμμένων δεδομένων, οι συντεταγμένες και οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην κάθε λεκάνη απορροής, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β - Πίνακα Β1 έως Β4. Η παραμετροποίηση των υδρολογικών

μοντέλων έγινε με γνώμονα την καλή προσαρμογή των προσομοιωμένων απορροών στις καταγραφές, σύμφωνα με τους δείκτες αξιολόγησης υδρολογικών προσομοιώσεων που παρουσιάστηκαν στο υποκεφάλαιο 3.6. Χρησιμοποιήθηκε περίοδος αρχικοποίησης των παραμέτρων του μοντέλου πριν τη βαθμονόμηση. Επιλέχθηκε σχήμα βαθμονόμησης – τεκμηρίωσης με διαμερισμό των δεδομένων (split sample) απορροής κατά τα πρότυπα του Klemes (1986). Οι περίοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για βαθμονόμηση και τεκμηρίωση των υδρολογικών μοντέλων, ήταν ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η απόδοση του μοντέλου για την περίοδο τεκμηρίωσης έπειτα, συγκρίθηκε με αυτήν της περιόδου βαθμονόμησης. Μόνο αν το μοντέλο λειτουργεί εξίσου καλά και για τις δύο περιόδους μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σιγουριά στην υδρολογική πρόβλεψη (Klemes, 1986).

Για τις υδρολογικές προσομοιώσεις στις περιοχές μελέτης, θεωρήθηκαν δύο τύποι Υδρολογικών Μονάδων Απόκρισης (HRUs), με σκοπό να διατηρηθεί η απλότητα στην προσομοίωση της υδρολογίας. Επίσης, καθώς η παράθεση χαρτών δεν ενδείκνυται για αναγνώριση των παραμέτρων του μοντέλου (Bloschl et al., 2007) αυτή επιτεύχθηκε για κάθε HRU κατά την βαθμονόμηση των παραμέτρων όπως παρουσιάζεται στους (Grillakis et al., 2010).

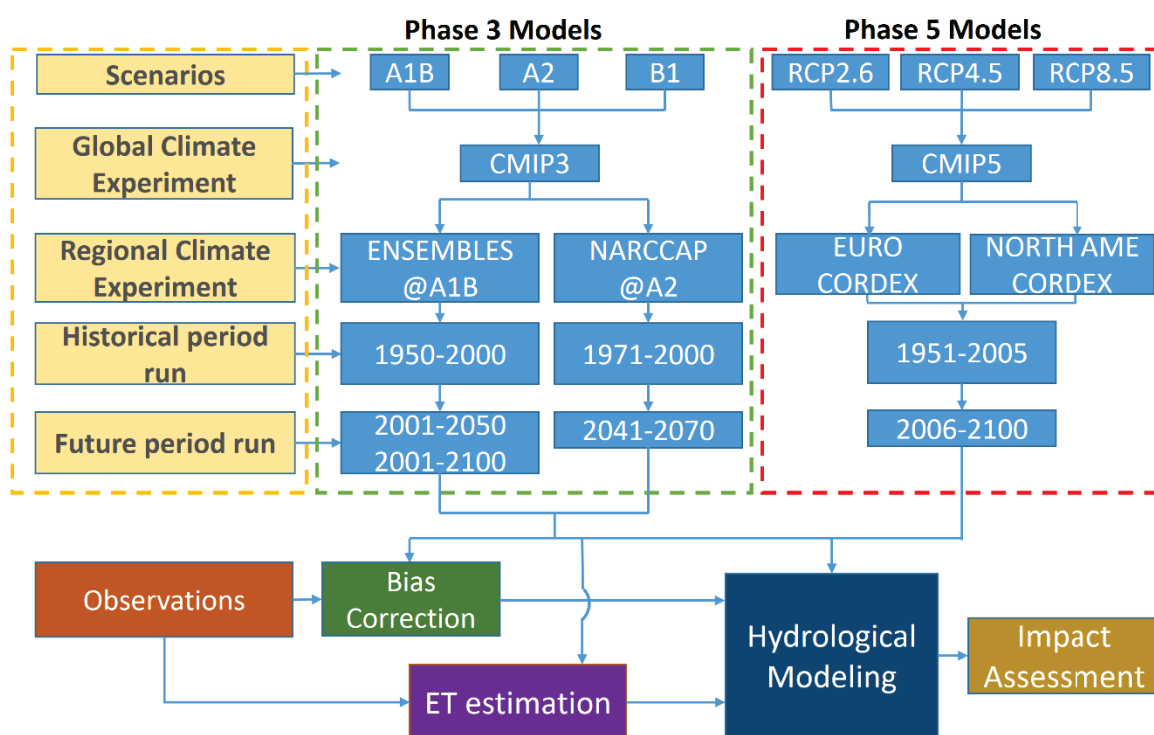
Τα υδρολογικά μοντέλα έπειτα χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη της μελλοντικής απορροής με χρήση των δεδομένων θερμοκρασίας και κατακρήμνισης όπως αυτά προέρχονται από τα κλιματικά μοντέλα. Οι μελλοντικές προσομοιώσεις της απορροής στηρίζονται στην αλλαγή της θερμοκρασίας και της κατακρήμνισης, *ceteris paribus* την αλλαγή σε άλλες παραμέτρους της λεκάνης (αλλαγή σε χρήσεις γης, ρύθμιση ροής, αλλαγή σε αντλήσεις), ή αλλαγή σε κλιματικές παραμέτρους όπως ο άνεμος που δύναται να μεταβάλλει την εξατμισοδιαπνοή.

4.5 Συγκέντρωση μεθόδων και δεδομένων.

Το σύνολο των δεδομένων και διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν, συνοψίζονται στην Εικόνα 21. Στη πρώτη γραμμή (Scenarios) παρουσιάζονται σενάρια εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε παγκόσμιο κλιματικό πείραμα (δεύτερη γραμμή). Τα γενικής κυκλοφορίας μοντέλα, έπειτα έδωσαν

οριακές συνθήκες για τα περιοχικά μοντέλα πάνω από την βόρεια Αμερική και την Ευρώπη (τρίτη γραμμή), δίνοντας προσομοιώσεις του εγγύς παρελθόντος (τέταρτη γραμμή) και μελλοντικών περιόδων (πέμπτη γραμμή). Διακρίνονται εντός της πράσινης διακεκομμένης γραμμής τα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) και τα περιοχικά πειράματα (RCMs) που ανήκουν στην «προηγούμενης γενιάς» κλιματικά πειράματα. Αντίστοιχα, εντός της κόκκινης διακεκομμένης γραμμής παρουσιάζονται τα νεότερης γενιάς κλιματικά πειράματα. Τα δεδομένα έπειτα χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό την δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία με τη σειρά της εισάχθηκε μαζί με τα δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης στα υδρολογικά μοντέλα. Έπειτα αφού ακολουθήθηκε η διόρθωση μεροληπτικού σφάλματος στις μεταβλητές της θερμοκρασίας και κατακρήμνισης, τα δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης εισήχθησαν εκ νέου στα υδρολογικά μοντέλα.

Τα αποτελέσματα των υδρολογικών μοντέλων, αναλύθηκαν για τις αλλαγές που προβλέπεται να επιφέρει η αλλαγή του κλίματος στη παροχή αλλά και στη πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε κάθε περιοχή μελέτης.

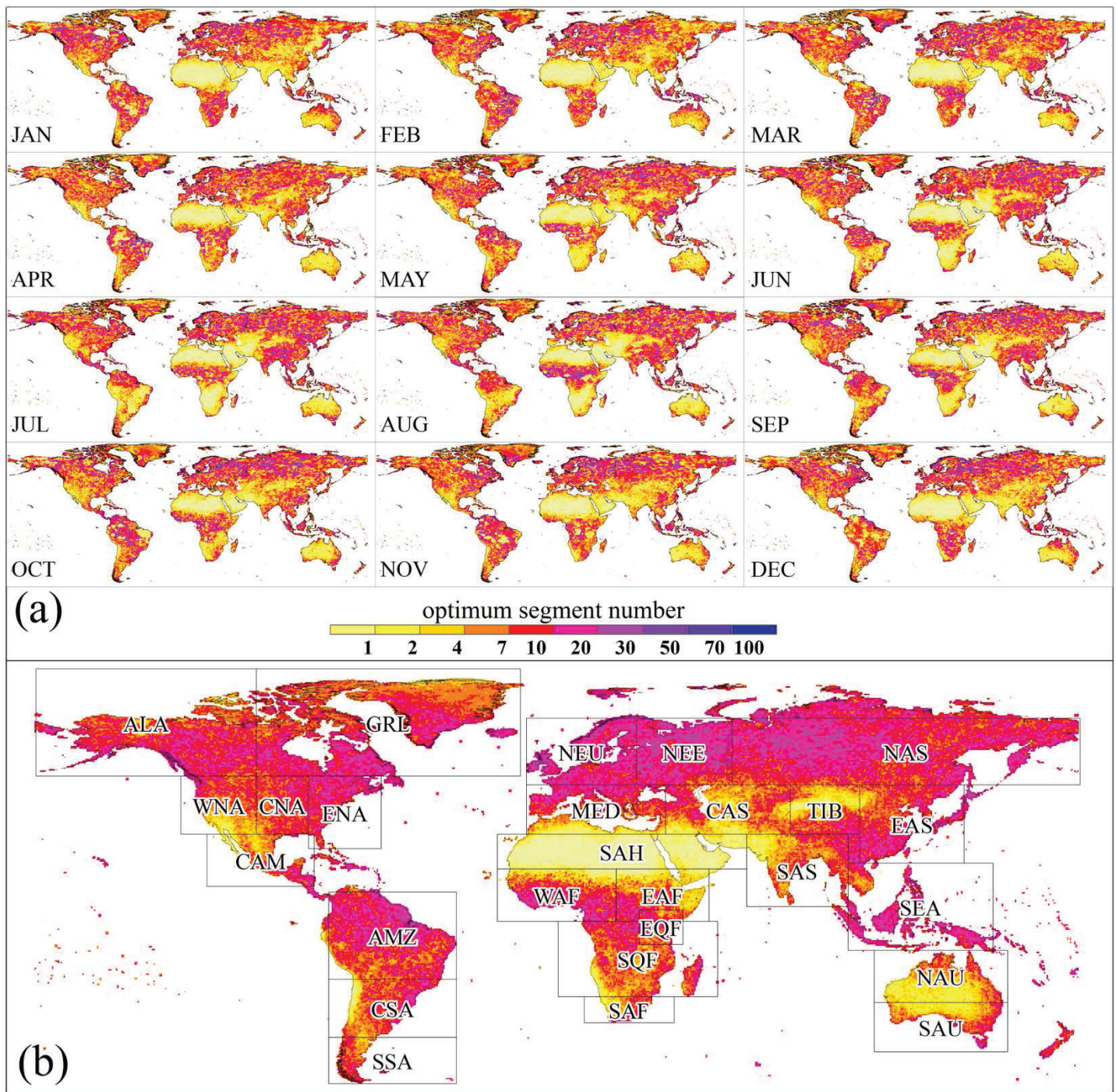


Εικόνα 21: Σχηματική απεικόνιση των πηγών δεδομένων και πως αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην υδρολογική προσομοίωση.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Τεκμηρίωση μεθόδου διόρθωσης σφάλματος μεροληψίας στα δεδομένα κατακρήμνισης.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου διόρθωσης σφαλμάτων μεροληψίας στη κατακρήμνιση MSBC, όπως αυτή εφαρμόστηκε σε δεδομένα κατακρήμνισης που προέρχονται από το κλιματικό μοντέλο Institut Pierre Simon Laplace Coupled Model (IPSL), version 4 (Hourdin et al. 2006; Goosse and Fichefet, 1999; Madec et al., 1998; Fichefet and Maqueda, 1997) μεταξύ 1960 και 2000. Η οριζόντια χωρική ανάλυση του κλιματικού μοντέλου ήταν ~300Km [Hagemann et al., 2011], ωστόσο τα δεδομένα διατέθηκαν σε ανάλυση ~50Km από παρεμβολή, από το ερευνητικό πρόγραμμα WATCH (WATer and global CHange) EU FP6 (www.eu-watch.org). Τα WATCH Forcing Data (WFD) (Weedon et al., 2011) του ίδιου ερευνητικού προγράμματος χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα παρατήρησης για την περίοδο 1960 – 2000. Υιοθετήθηκε η παγκόσμια διακριτοποίηση σε διαφορετικές περιοχές από τους Giorgi and Bi [2005], οι οποίοι θεώρησαν την γη σε 26 περιοχές που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά κλιματικά καθεστώτα. Η διακριτοποίηση παρουσιάζεται στην Εικόνα 22b. Η πλήρης ονοματολογία του κάθε περιοχής δίδεται στον Πίνακα 10. Επιλέχθηκε η περίοδος 1960 – 1980 για την βαθμονόμηση της μεθόδου MSBC, η οποία χρησιμοποιήθηκε έπειτα για την διόρθωση της ψευδομελλοντικής περιόδου 1981 – 2000.



Εικόνα 22: α) Αριθμός τμημάτων για την διόρθωση του μεροληπτικού σφάλματος όπως αυτά καθορίστηκαν από την διαδικασία βαθμονόμηση για κάθε ημερολογιακό μήνα. β) Μέσος ετήσιος αριθμός τμημάτων. Παρουσιάζεται τέλος και η περιοχική διακριτοποίηση που υιοθετήθηκε για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

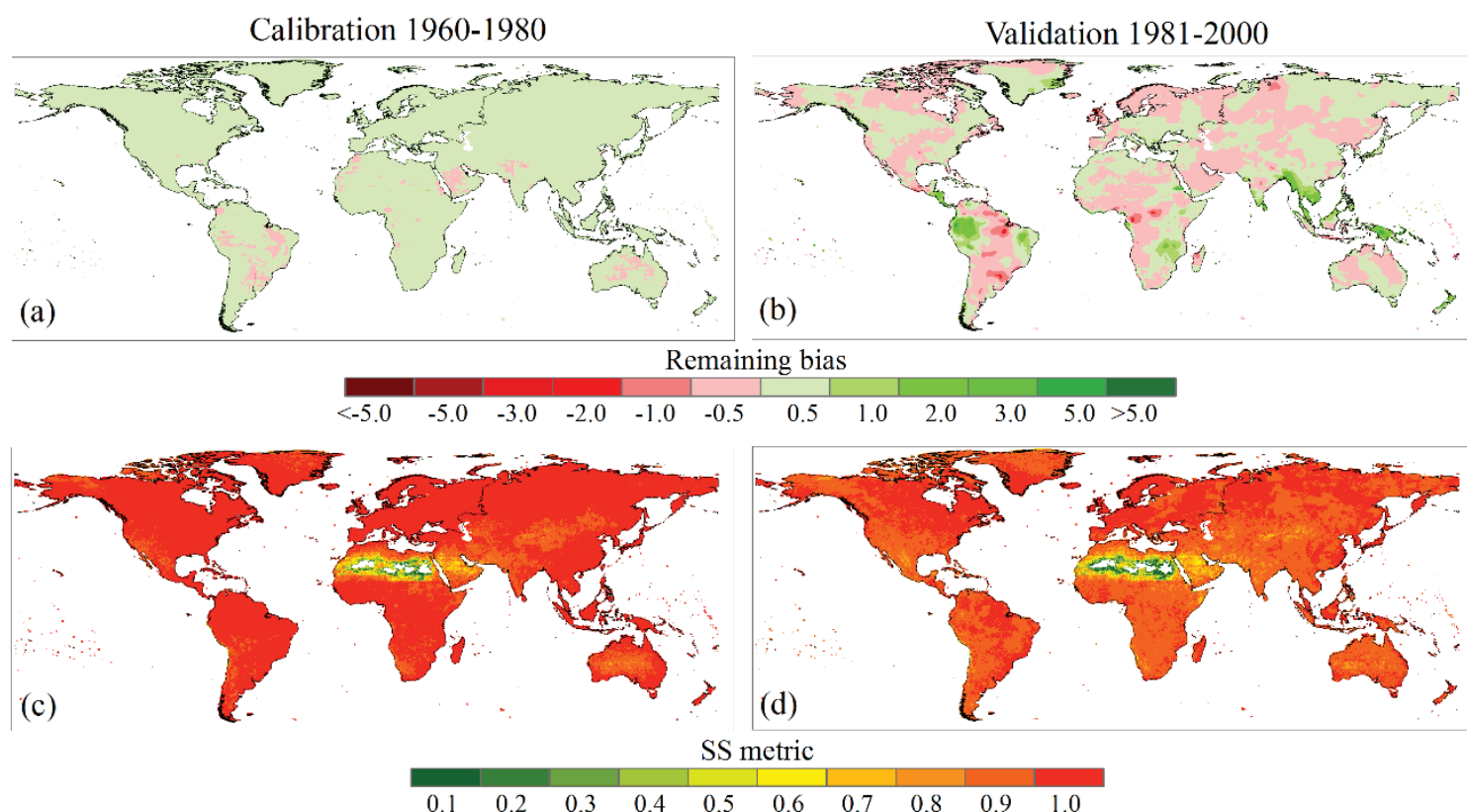
5.1.1 Βαθμονόμηση της μεθόδου σε ιστορικά δεδομένα

Ο βέλτιστος αριθμός τμημάτων (Seg) καθορίστηκε εφαρμόζοντας την μεθοδολογία MSBC στα δεδομένα κατακρήμνισης μεταξύ 1960-1980, για κάθε ένα πινακοστοιχείο του πλέγματος δεδομένων του κλιματικού μοντέλου IPSL. Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε για κάθε ημερολογιακό μήνα ξεχωριστά. Παγκόσμιοι χάρτες που δείχνουν το βέλτιστο αριθμό τμημάτων ανά μήνα παρουσιάζονται στην Εικόνα 22a. Στην εικόνα φαίνεται πως ο αριθμός των τμημάτων ακολουθεί εποχιακά πρότυπα, με την υγρή περίοδο αρκετών περιοχών να τείνει να χρησιμοποιεί μεγαλύτερο αριθμό τμημάτων σε σχέση με τις ξηρές περιόδους. Ως ενδεικτικό παράδειγμα μπορεί να παρουσιαστεί ο αριθμός των τμημάτων που χρησιμοποιεί η μέθοδος για την περιοχή της Νοτίου Αφρικής, όπου τους μήνες μεταξύ Νοέμβριο και Μάρτιο χρησιμοποιούνται περισσότερα τμήματα απ' ότι την περίοδο Μάιο με Σεπτέμβριο.

Για την περίοδο της βαθμονόμησης, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ της καταγεγραμμένης και της διορθωμένης κατακρήμνισης. Η μεθοδολογία μεταφέρει τις στατιστικές ιδιότητες της καταγεγραμμένης κατακρήμνισης σε αυτή του μοντέλου σε τμήματα, και ως εκ τούτου οι δεύτερες σχεδόν αντικαθίστανται από τις πρώτες. Το εναπομένον σφάλμα (Remaining Bias - RB) της περιόδου της βαθμονόμησης που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της διορθωμένης και της καταγεγραμμένης κατακρήμνισης για την περίοδο 1960 – 1980, παρουσιάζεται στην Εικόνα 23a. Προφανώς δεν υπάρχει ιδιαίτερος λόγος να αναλυθεί σε βάθος το εναπομένον σφάλμα της περιόδου βαθμονόμησης.

Πίνακας 10: Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο σφάλμα (MAPE) για την μέση κατακρήμνιση (στήλη 3) και για το 95^ο ποσοστημόριο (στήλη 4) για τις κλιματικές περιοχές των Giorgi and Bi [2005].

ΠΕΡΙΟΧΗ			ΜΕΣΟ MAPE	95 ^ο MAPE
ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΡΩΠΗ	North Europe	NEU	9.4%	8.0%
ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ	Mediterranean Basin	MED	14.8%	13.3%
ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ	Northeast Europe	NEE	5.7%	5.4%
ΒΟΡΕΙΑ ΑΣΙΑ	North Asia	NAS	7.6%	8.0%
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΣΙΑ	Central Asia	CAS	10.8%	11.6%
ΘΙΒΕΤ	Tibet	TIB	16.9%	18.6%
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΣΙΑ	Eastern Asia	EAS	9.4%	10.2%
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΣΙΑ	Southeast Asia	SEA	10.1%	16.4%
ΒΟΡΕΙΑ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	Northern Australia	NAU	10.4%	10.5%
ΝΟΤΙΑ ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	Southern Australia	SAU	9.0%	11.5%
ΣΑΧΑΡΑ	Sahara	SAH	204.5%	205.3%
ΔΥΤΙΚΗ ΑΦΡΙΚΗ	Western Africa	WAF	10.7%	10.9%
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΦΡΙΚΗ	Eastern Africa	EAF	31.5%	35.7%
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΑΦΡΙΚΗ	East Equatorial Africa	EQF	7.1%	7.0%
ΝΟΤΙΑ ΙΣΗΜΕΡΙΝΗ ΑΦΡΙΚΗ	South Equatorial Africa	SQF	11.1%	11.5%
ΝΟΤΙΑ ΑΦΡΙΚΗ	Southern Africa	SAF	6.8%	6.8%
ΑΛΑΣΚΑ	Alaska	ALA	7.9%	8.8%
ΓΡΟΙΛΑΝΔΙΑ	Greenland	GRL	8.0%	7.8%
ΔΥΤΙΚΗ ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	Western North America	WNA	10.3%	14.9%
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	Central North America	CNA	6.2%	9.1%
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	Eastern North America	ENA	5.0%	7.6%
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΜΕΡΙΚΗ	Central America	CAM	10.2%	18.6%
ΑΜΑΖΟΝΙΟΣ	Amazon	AMZ	10.9%	17.2%
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΝΟΤΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	Central South America	CSA	12.9%	11.9%
ΝΟΤΙΟΤΕΡΗ ΝΟΤΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	Southern South America	SSA	9.5%	8.7%
ΝΟΤΙΑ ΑΣΙΑ	South Asia	SAS	14.2%	14.6%
ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΜΕΣΟΣ	Global	GLB	21.0%	22.3%



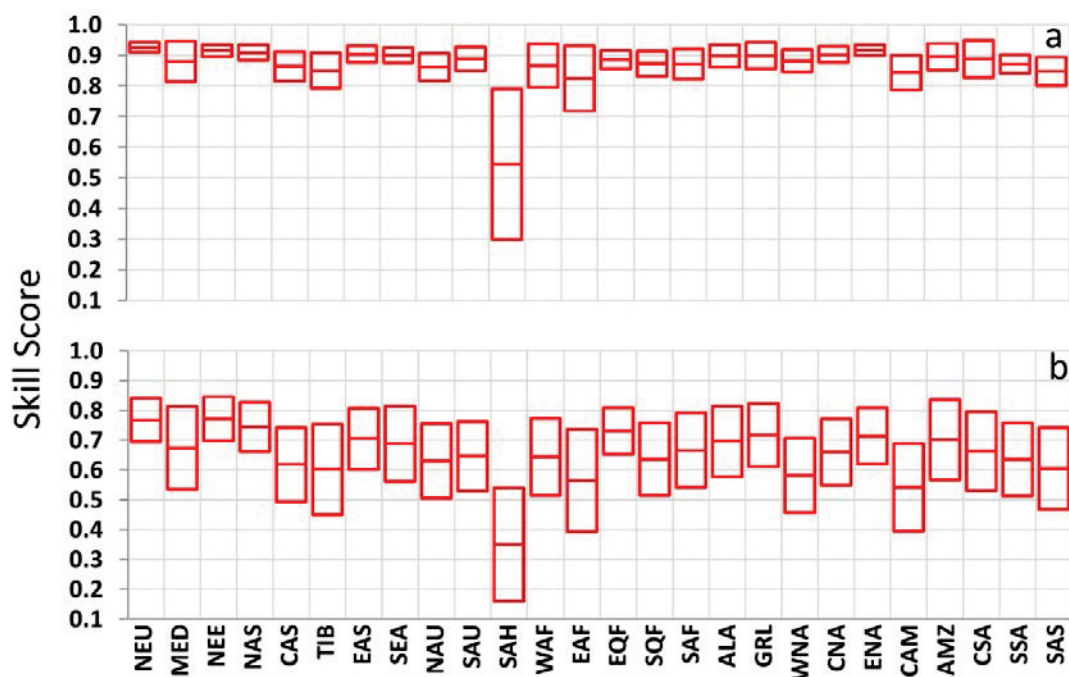
Εικόνα 23: Εναπομένον σφάλμα RB (πάνω) και ο δείκτης ομοιότητας (S_{SCORE}) (κάτω) μεταξύ παρατηρημένης διορθωμένης μέσης κατακρήμνισης για την περίοδο βαθμονόμησης (a, c) και τεκμηρίωσης (b, d).

5.1.2 Τεκμηρίωση της μεθόδου σε ιστορικά δεδομένα

Ένας αντιπροσωπευτικός δείκτης της απόδοσης που επιτυγχάνει η μέθοδος MSBC, δίνεται από το μέσο εναπομένον σφάλμα (RB) της περιόδου τεκμηρίωσης (1981-2000). Η διορθωμένη κατακρήμνιση παρουσιάζει εναπομένον σφάλμα λιγότερο από ± 0.5 mm/day στο μεγαλύτερο τμήμα της γης (Εικόνα 23b). Σε λίγα σημεία το εναπομένον σφάλμα είναι μεγαλύτερο από ± 0.5 mm/day, κυρίως στην περιοχή του Αμαζονίου, της Νοτίου ισημερινής Αφρικής και Νοτίου και Νοτιοανατολικής Ασίας, όπου η μέση ημερήσια κατακρήμνιση είναι αρκετά πάνω από τον παγκόσμιο μέσο όρο. Το MAPE κάθε περιοχής παρουσιάζεται στον Πίνακας 10. Όλες οι περιοχές παρουσιάζουν MAPE μεταξύ 5% και 31.5%, εκτός από την περιοχή της Σαχάρας που παρουσιάζει MAPE 204.5%. Η περιοχή αυτή αποτελεί μια ιδιόζουσα περίπτωση όπου μικρές αλλαγές στην μικρού ύψους καταγεγραμμένη κατακρήμνιση μεταξύ της

περιόδου βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης, υπαγορεύουν μεγάλο σχετικό σφάλμα στις συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας της κατακρήμνισης, και έτσι και στο MAPE. Το μέσο παγκόσμιο MAPE προσδιορίστηκε στο 21%.

Υπολογίστηκε και ο δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} για την εκτίμηση της γενικότερης συμφωνίας μεταξύ των συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας διορθωμένης και της καταγεγραμμένης κατακρήμνισης. Τα αποτελέσματα της περιόδου τεκμηρίωσης είναι ικανοποιητικά, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 23d. Ο δείκτης S_{SCORE} υπολογίστηκε μεγαλύτερος από 0.8 σε όλες τις περιοχές, εκτός της Σαχάρας για τον ίδιο λόγο όπου περιοχή αυτή παρουσιάζει και υψηλό MAPE. Στην Εικόνα 24a παρουσιάζεται ο μέσος όρος του S_{SCORE} για κάθε περιοχή του πλανήτη.



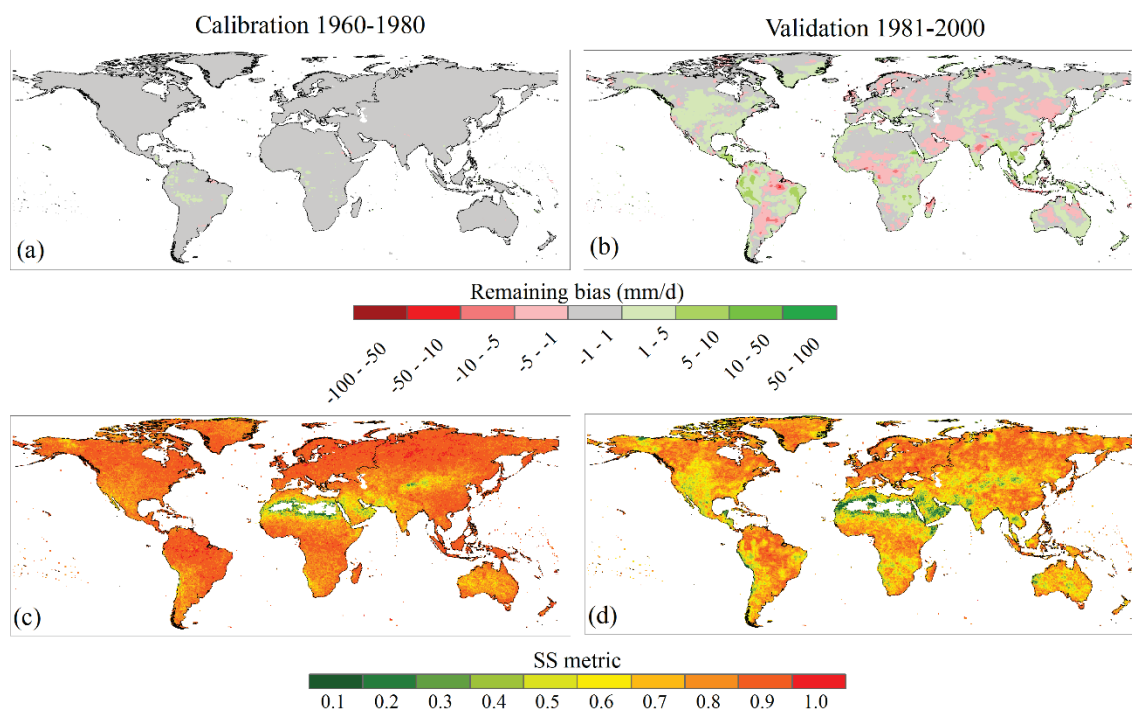
Εικόνα 24: Περιοχικός δείκτης ομοιότητας (μεσαία γραμμή) και τυπική απόκλιση (πάνω και κάτω γραμμές) για την μέση (a) και 95^ο ποσοστημοριακή (b) κατακρήμνιση.

Το μέσο παγκόσμιο S_{SCORE} υπολογίστηκε 0.87 για την περίοδο τεκμηρίωσης. Η κακή επίδοση της Σαχάρας φαίνεται καθαρά και στην Εικόνα 24a επίσης.

5.1.3 Αποτελέσματα της μεθόδου διόρθωσης στα ανώτερα ποσοστημόρια της αθροιστικής κατανομής πιθανότητας.

Εκτός από την συνολική επίδοση της MSBC, σημαντική είναι και η απόδοση της μεθόδου στα υψηλότερα ποσοστημόρια της κατακρήμνισης. Οι Kendon et al., (2007) ορίζουν ως ακραία, την ημερήσια κατακρήμνιση που υπερβαίνει το 95^ο ποσοστημόριο των μη μηδενικών τιμών ημερήσιας κατακρήμνισης. Ένα ενδεικτικό μέτρο συμφωνίας μεταξύ της διορθωμένης και της παρατηρούμενης ακραίας κατακρήμνισης της περιόδου τεκμηρίωσης είναι το εναπομένον σφάλμα (RB) του 95^{ου} ποσοστημορίου όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 25b. Το RB στη περίοδο της τεκμηρίωσης εκτιμήθηκε μεταξύ ± 1 mm/day για εκτενείς περιοχές της γης, ενώ σχεδόν πουθενά δεν υπερβαίνει τα ± 5 mm/day. Το MAPE στο 95^ο ποσοστημόριο εκτιμήθηκε κάτω από 35.7% για όλες τις περιοχές εκτός της Σαχάρας για τους προαναφερθείς λόγους. Το σταθμισμένο παγκόσμιο MAPE του 95^{ου} ποσοστημορίου της περιόδου τεκμηρίωσης εκτιμήθηκε στο 22.3%.

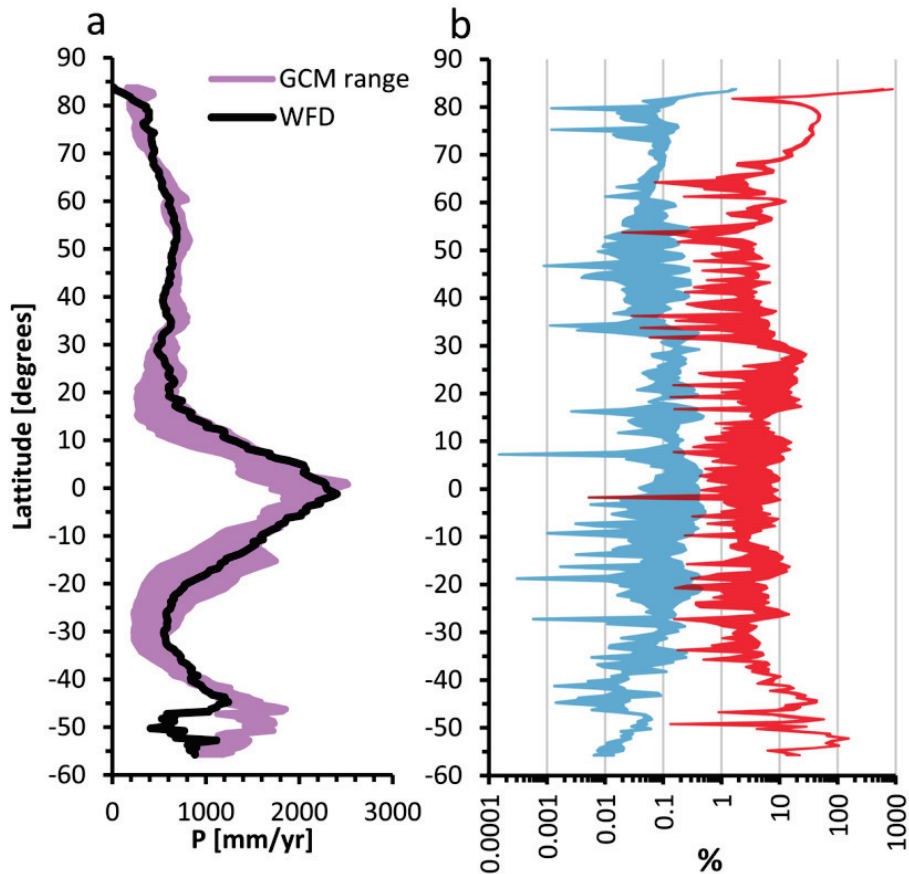
Τέλος, εκτιμήθηκε το S_{SCORE} του 95^{ου} ποσοστημορίου για την περίοδο τεκμηρίωσης, όπως αυτό παρουσιάζεται στην Εικόνα 25d. Η χειρότερη επίδοση παρατηρήθηκε στις περιοχές της Δυτικής – Βόρειας και Νότιας Αμερικής, Σαχάρας, Νότιας Ασίας και Θιβέτ. Περιοχικοί μέσοι όροι του 95^{ου} ποσοστημορίου παρουσιάζονται στην Εικόνα 24b με την απόκλιση του σφάλματος για κάθε περιοχή.



Εικόνα 25: Εναπομένον σφάλμα RB (πάνω) και ο δείκτης ομοιότητας (S_{SCORE}) (κάτω) μεταξύ παρατηρημένης διορθωμένης κατακρήμνισης 95^{ου} ποσοστημορίου για την περίοδο βαθμονόμησης (a, c) και τεκμηρίωσης (b, d).

5.1.4 Σύγκριση της μεθόδου MSBC με άλλη μέθοδο διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος για την κατακρήμνιση

Η μέθοδος συγκρίθηκε από τους Tsanis et al., (2013) με τα αποτελέσματα της μεθόδου που παρουσιάζεται από τους Pianì et al., (2010). Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για την διόρθωση σφαλμάτων μεροληψίας στην κατακρήμνιση σε τρία GCMs στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος WATCH (FP6). Η προστιθέμενη αξία της μεθόδου MSBC συγκρίνεται με την WSBC (WATCH Statistical Bias Correction), και τα καταγεγραμμένα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και από τις δύο μεθόδους για την διόρθωση του μεροληπτικού σφάλματος (Εικόνα 26a). Η σύγκριση των δύο μεθόδων δείχνει ότι η μέθοδος MSBC παρουσιάζει μικρότερη απόκλιση στο μέσο όρο της διόρθωσης σε σχέση με τη WSBS, σε όλα κατά μέσο όρο τα γεωγραφικά πλάτη της γης στο διάστημα 1960-2000. Το εναπομένον σφάλμα δε ξεπερνάει στην MSBC το 1% ενώ στην WSBC είναι σταθερά πάνω του 1% και συχνά φτάνει και το 10% (Εικόνα 26b).



Εικόνα 26: α) Μέση ετήσια κατακρήμνιση ανά γεωγραφικό πλάτος του πλανήτη στα καταγεγραμμένα δεδομένα (WFD) και τα τρία GCMs που αναλύθηκαν από τους Tsanis et al., (2013). β) Εναπομένον σφάλμα (%) των διορθωμένων δεδομένων από τα τρία GCMs για τις δύο μεθόδους (MSBC - μπλε, WSBC – κόκκινο).

5.2 Βαθμονόμηση – Τεκμηρίωση υδρολογικών μοντέλων.

Για την αρχικοποίηση του υδρολογικού μοντέλου HBV, σε κάθε περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε μία περίοδος αρχικοποίησης (warm up). Η κατάσταση των μεταβλητών στο τέλος της περιόδου αρχικοποίησης χρησιμοποιούνται ως αρχικές συνθήκες στην περίοδο βαθμονόμησης. Αντίστοιχα, οι συνθήκες στο τέλος της περιόδου βαθμονόμησης, χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικές συνθήκες στην περίοδο τεκμηρίωσης. Ο Πίνακας 11 περιέχει τις περιόδους αρχικοποίησης, βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης. Για την περιοχή του Spencer Creek, χρησιμοποιήθηκε η βαθμονόμηση που παρουσιάζεται από τους Grillakis et al. (2011). Αντίστοιχα,

για την περιοχή του Πλατύ, χρησιμοποιήθηκε η βαθμονόμηση που παρουσιάζεται από τους Vrochidou et al. (2012).

Πίνακας 11: Περίοδος αρχικοποίησης, βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης του υδρολογικού μοντέλου.

Λεκάνη	Warm up		Βαθμονόμηση		Τεκμηρίωση	
	Από	Έως	Από	Έως	Από	Έως
Spencer	01/01/1989	31/12/1989	01/01/1990	31/12/1999	01/01/2000	31/12/2008
Yellow	01/01/1950	31/12/1960	01/01/1961	31/12/1980	01/01/1981	31/12/2000
Exeter	30/04/1956	31/12/1960	01/01/1961	31/12/1980	01/01/1981	31/12/2000
Πλατύς	01/09/1973	31/08/1974	01/09/1974	31/12/1986	01/01/1987	31/08/1996

Η ικανότητα των υδρολογικών μοντέλων να προσομοιάσουν την καταγεγραμμένη εξατμισοδιαπνοή, εκτιμήθηκε με χρήση των τεσσάρων δεικτών απόδοσης *NS*, *logNS*, *AccDiff* και *PE* όπως αυτού παρουσιάστηκαν στην υποενότητα 3.6. Τα αποτελέσματα των δεικτών παρουσιάζονται στον Πίνακας 12.

*Πίνακας 12: Δείκτες απόδοσης *NS*, *logNS*, *AccDiff* και *PE* για τις τέσσερις περιοχές μελέτης για τις περιόδους βαθμονόμησης (Βαθμ.) και τεκμηρίωσης (Τεκμ.).*

Λεκάνη	NS		logNS		AccDiff			PE [%]	
	Βαθμ.	Τεκμ.	Βαθμ.	Τεκμ.	Βαθμ.	Τεκμ. [mm/yr]	Τεκμ. [%]	Βαθμ.	Τεκμ.
Spencer	0.741	0.755	0.754	0.734	0	1.07	0.11	-0.157	-0.090
Yellow	0.806	0.794	0.798	0.711	0	4.12	0.26	-0.068	-0.227
Exeter	0.791	0.826	0.814	0.831	0	6.05	0.47	-0.290	-0.304
Πλατύς	0.782	0.743	0.710	0.721	0	5.29	0.59	-0.166	-0.026

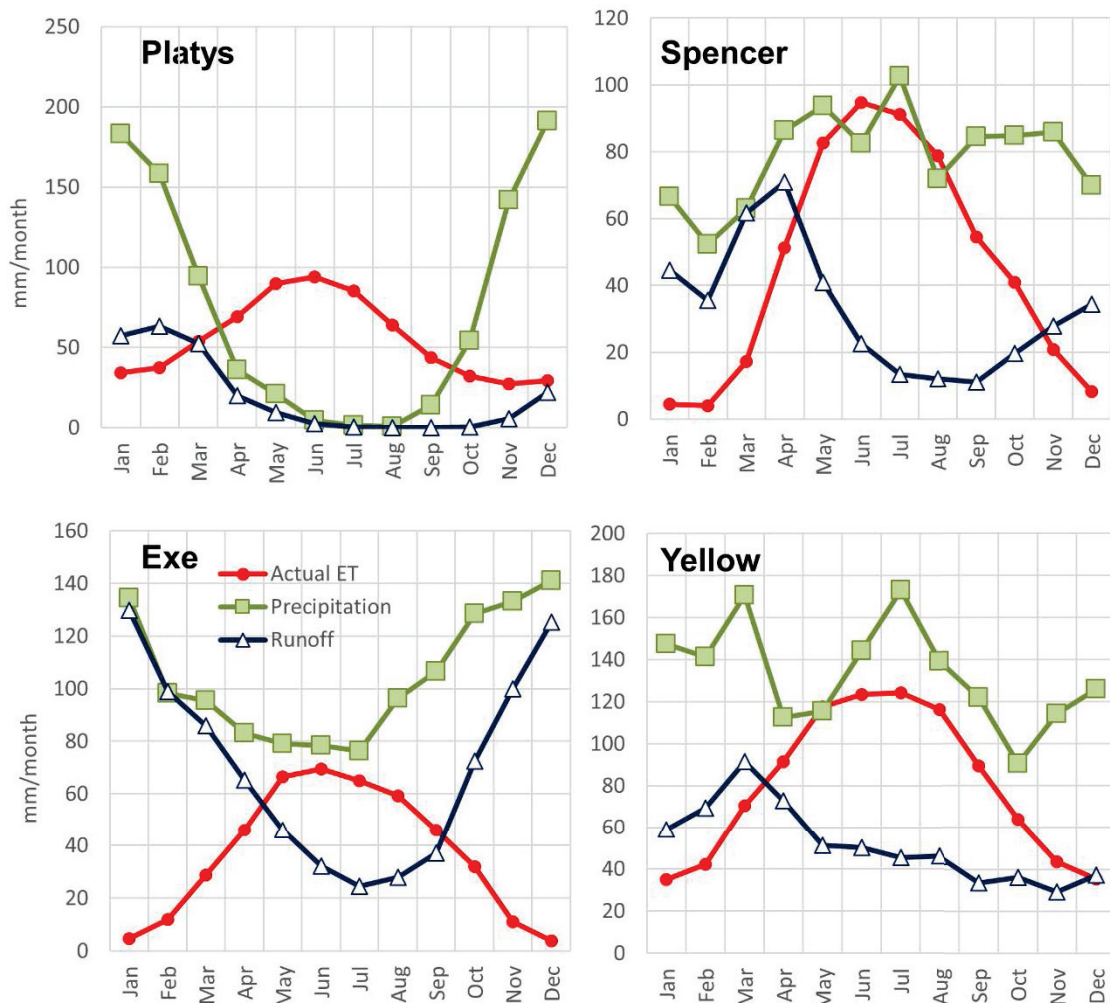
Σε μεγάλη χρονική κλίμακα προσομοίωσης, η αποθήκευση σε μία λεκάνη τείνει να είναι αμελητέα, οπότε η μέση κατακρήμνιση τείνει να ισούται κατά μέσο όρο με το άθροισμα της απορροής και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (όπως δείχθηκε στην Εξίσωση 3-4 στο κεφάλαιο 3). Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει τις μέσες τιμές κατακρήμνισης, πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET) και παροχής, όπως αυτές προσομοιώθηκαν από το υδρολογικό μοντέλο IHMS-HBV για το σύνολο των περιόδων βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης μαζί. Το άθροισμα απορροής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι περίπου 100%, ενώ τυχόν απόκλιση οφείλεται στην διαφορά μεταξύ αρχής και τέλους περιόδου προσομοίωσης στον συσσωρευμένο όγκο νερού. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πλατύ παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό εξατμισοδιαπνοής

73.3%, σε σύγκριση με το 74.7% που αναφέρεται στη *Διαχειριστική Μελέτη για την Κρήτη* (2000) ως μέσος όρος εξατμισοδιαπνοής για λεκάνη του Πλατύ. Για τη λεκάνη του Yellow η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε στο 60.4% ελαφρώς υπερεκτιμημένη σε σχέση με την κλίμακα του 50%-59% όπως παρουσιάζεται από τους Sanford et.al., (2012) του USGS. Η λεκάνη του Spencer Creek παρουσιάζει ποσοστό 58.1%, αποτέλεσμα που συνάδει με τιμές της βιβλιογραφίας (Sultana and Coulibaly, 2011). Τέλος η λεκάνη του Exeter παρουσιάζει τιμή εξατμισοδιαπνοής πολύ χαμηλότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες λεκάνες, στο 34.5%. Αντίστοιχα αποτελέσματα αλλά σε πιο μακροσκοπική κλίμακα μπορούν να βρεθούν και στη βιβλιογραφία από τους Kay et al. (2013). Στην Εικόνα 27, παρουσιάζεται η μέση μηνιαία κατανομή των τριών βασικών υδρολογικών παραμέτρων, κατακρήμνιση, πραγματική εξατμισοδιαπνοή και επιφανειακή απορροή, όπως αυτή προσομοιώθηκε από το υδρολογικό μοντέλο IHMS – HBV. Τα αποτελέσματα της εικόνας προέκυψαν από το σύνολο της παρελθούσας προσομοίωσης (βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης). Η υπερετήσια διακύμανση κάθε υδρολογικής παραμέτρου αντικατοπτρίζει τη κλιματολογία κάθε περιοχής. Για την περιοχή του Πλατύ, παρατηρείται ότι η κατακρήμνιση παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, την οποία ακολουθεί με σχετική καθυστέρηση περίπου 2 μηνών η απορροή. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μεγιστοποιείται τον Απρίλιο - Μάιο, όπου η θερμοκρασία και η διαθεσιμότητα ύδατος είναι σε υψηλά επίπεδα. Για την περιοχή του Spencer Creek, παρατηρείται ότι η διαθεσιμότητα κατακρήμνισης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μέγιστων επιπέδων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής τους θερμότερους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο, ενώ τους χειμερινούς μήνες όπου η θερμοκρασία είναι σε χαμηλά επίπεδα, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι επίσης μικρή. Η απορροή δεν ακολουθεί το μοτίβο της κατακρήμνισης, καθώς παρουσιάζει τα μέγιστα επίπεδά στους μήνες όπου η θερμοκρασία επιτρέπει την τήξη του συσσωρευμένου χιονιού Grillakis et al. (2011). Για την λεκάνη του Exe, η κατακρήμνιση παρουσιάζει έντονη εποχικότητα με τους χειμερινούς μήνες να είναι σημαντικά υγρότεροι, χωρίς όμως να απουσιάζει από τους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο. Η απορροή ακολουθεί την συμπεριφορά της κατακρήμνισης. Τέλος για την λεκάνη του Yellow, η κατακρήμνιση είναι αρκετά ομοιόμορφη όλη

τη διάρκεια του έτους ενώ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά. Η απορροή είναι σχετικά σταθερή σε όλους τους μήνες με τιμές ελαφρώς υψηλότερες κατά τους χειμερινούς μήνες.

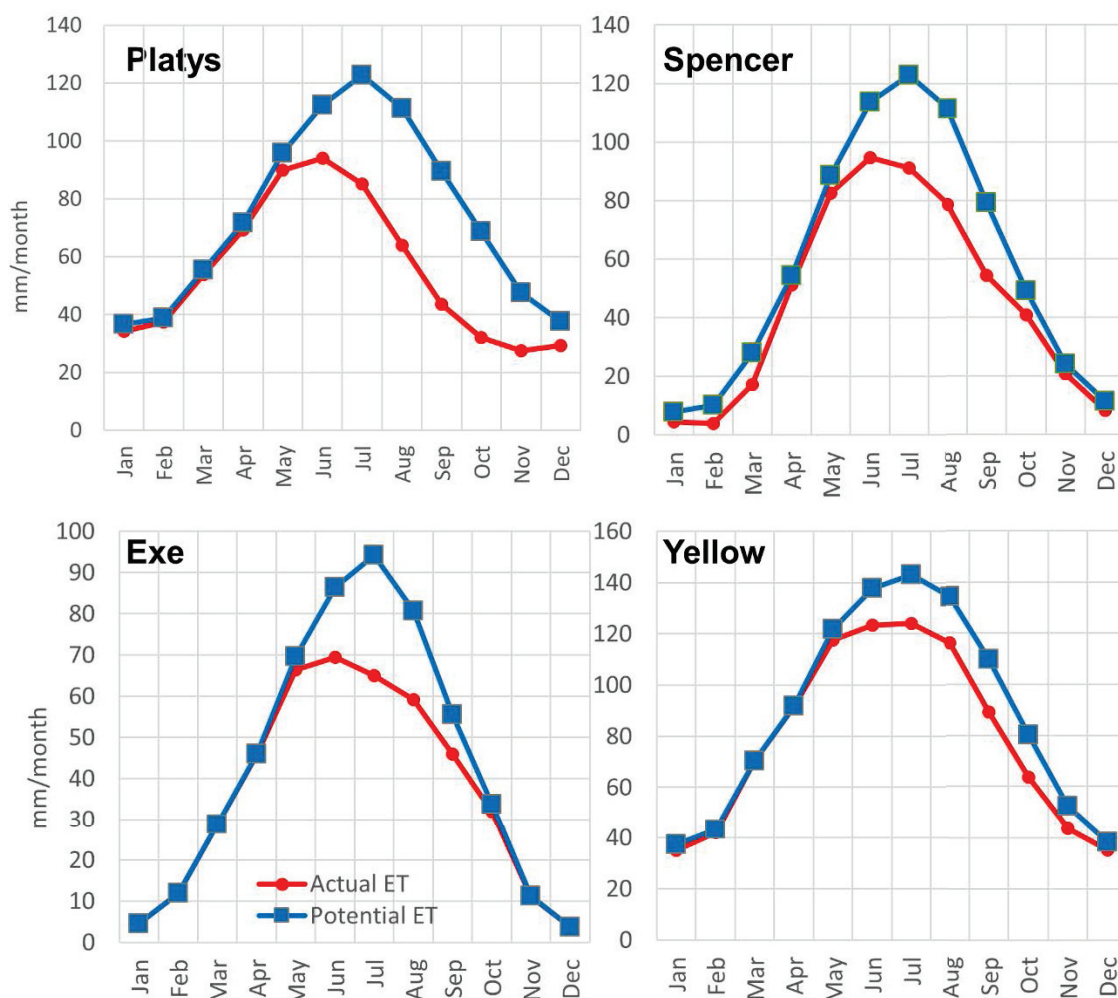
Πίνακας 13: Μέσες τιμές κατακρήμνισης, πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AET). Δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET) και παροχής όπως αυτές προσομοιώθηκαν από το υδρολογικό μοντέλο IHMS-HBV. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή και η παροχή δίδονται και σε ποσοστό επί της μέσης ετήσιας κατακρήμνισης.

	P [MM/YR]	Q [MM/YR]	Q [%]	AET [MM/YR]	AET [%]
ΠΛΑΤΥΣ	900.8	233.4	25.9	660.0	73.3
SPENCER	943.8	394.6	41.8	548.4	58.1
EXETER	1295.9	845.0	65.2	444.0	34.5
YELLOW	1590.5	621.6	39.1	952.3	60.4



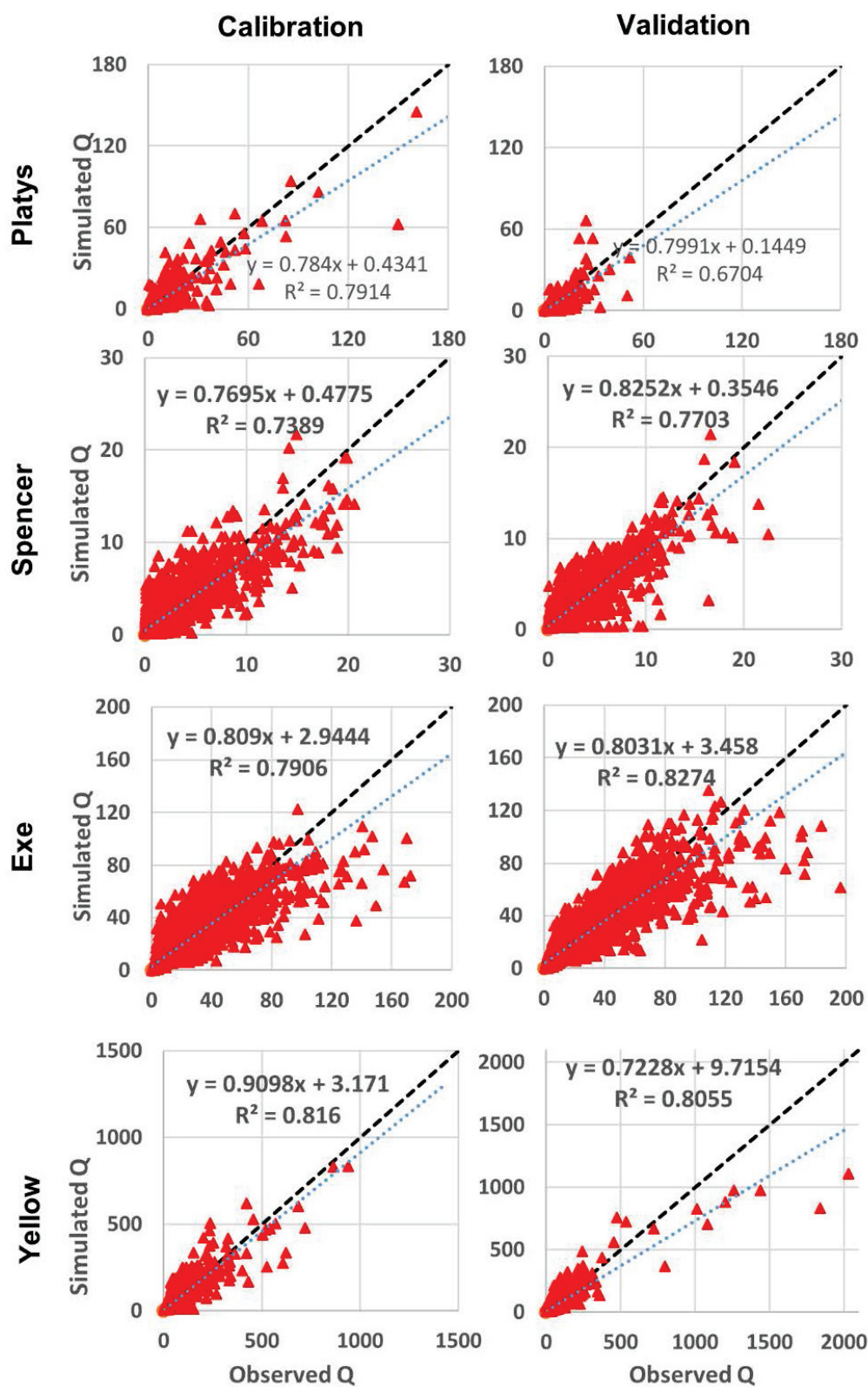
Εικόνα 27: Μέση μηνιαία κατανομή κατακρήμνισης, εξατμισοδιαπνοής και απορροής όπως αυτή προέκυψε από το βαθμονομημένο υδρολογικό μοντέλο HBV, για τις περιοχές μελέτης στο σύνολο της παρελθούσας περιόδου.

Στην Εικόνα 28 αντιπαρατίθενται οι μηνιαίοι μέσοι όροι δυνητικής (τροποποιημένη μέθοδος Blaney - Criddle) και πραγματικής (υπολογισμένη από το HBV) εξατμισοδιαπνοής. Παρατηρείται ότι μεταξύ χειμώνα και άνοιξης, σε όλες τις λεκάνες, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή πλησιάζει την δυνητική της τιμή.



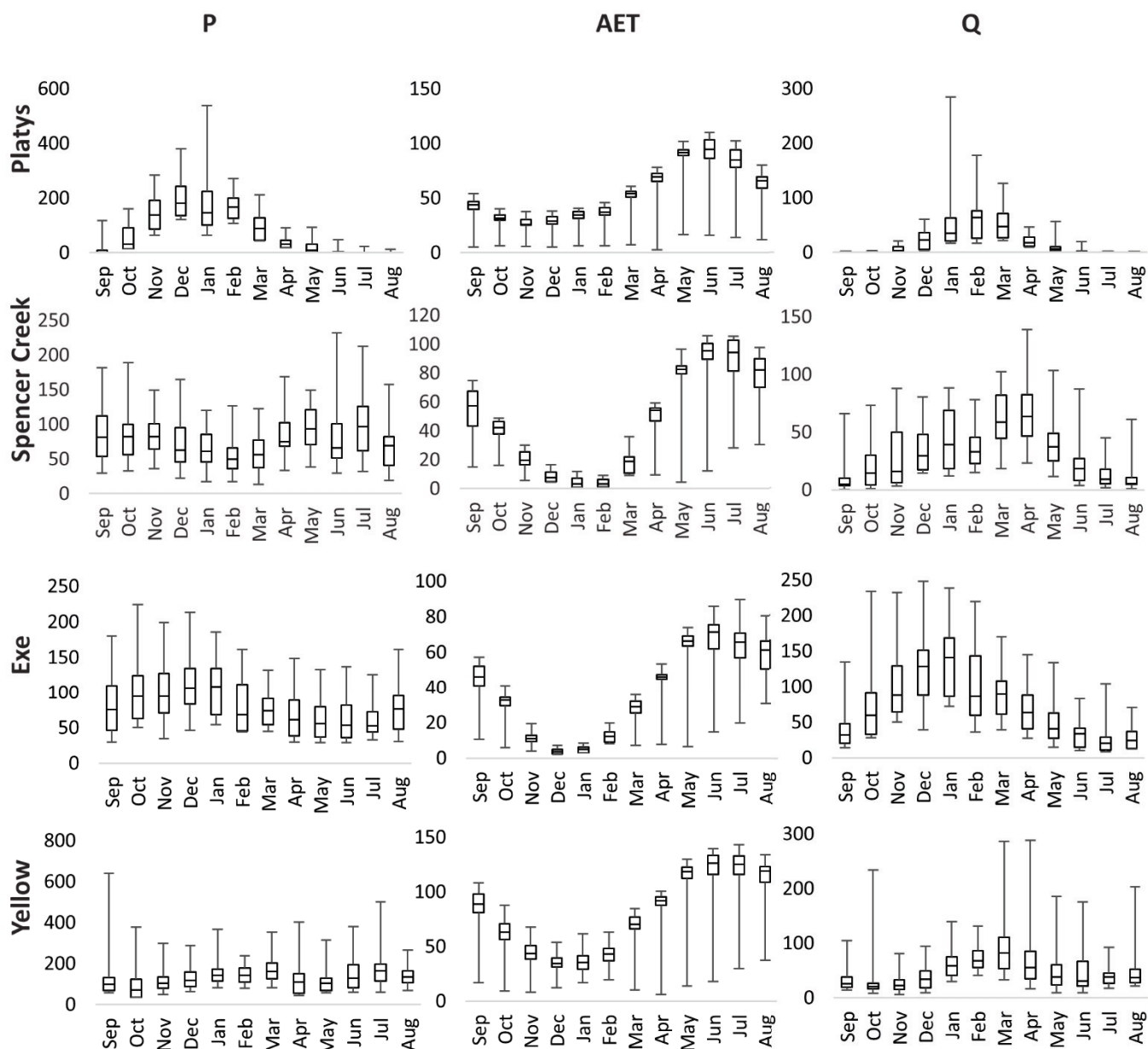
Εικόνα 28: Μέσοι μηνιαίοι μέσοι όροι πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στις περιοχές μελέτης.

Στην Εικόνα 29 παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύγκρισης καταγεγραμμένης – προσομοιωμένης απορροής για τις τέσσερις περιοχές μελέτης, για την περίοδο βαθμονόμησης και τεκμηρίωσης. Η σημαντικότερη παρατήρηση που προκύπτει από την εικόνα είναι ότι τα γεγονότα έντονης απορροής, τείνουν να υποεκτιμούνται από το υδρολογικό μοντέλο σε όλες τις περιοχές μελέτης. Η υποεκτίμηση των έντονων γεγονότων απορροής συνδέεται με τον τύπο της αδιαμέριστης (lumped) υδρολογικής προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε, που εξ' ορισμού εξομαλύνει την υδρολογική απόκριση των ακραίων τιμών της κατακρήμνισης. Η εξομάλυνση αυτή είναι αποτέλεσμα του συνυπολογισμού μέσω της μεθόδου Thiessen των διαφορετικών σημείων που λαμβάνονται δεδομένα κατακρήμνισης για τη εκάστοτε λεκάνη απορροής.



Εικόνα 29: Ημερήσιες τιμές καταγεγραμμένης (x-axis) και προσομοιωμένης (y-axis) απορροής για την περίοδο βαθμονόμησης (αριστερά) και τεκμηρίωσης (δεξιά).

Τέλος, στην Εικόνα 30 παρουσιάζονται τα boxplots τριών συνιστωσών του υδρολογικού ισοζυγίου για τις τέσσερις λεκάνες απορροής που εξετάζονται.



Εικόνα 30: Box plot συνιστωσών υδρολογικού ισοζυγίου – κατακρήμνισης, πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, απορροής - των τεσσάρων υπό μελέτη περιοχών. Όλες οι ποσότητες είναι ανηγμένες σε mm/μήνα.

5.3 Αποτελέσματα κλιματικών και υδρολογικών προσομοιώσεων

Τα δεδομένα κατακρήμνισης και θερμοκρασίας των περιοχικών κλιματικών πειραμάτων που περιεγράφηκαν στην υποενότητα 4.2.3, όπως επίσης και τα δεδομένα των παγκόσμιων κλιματικών πειραμάτων (4.2.2), διορθώθηκαν για τα σφάλματα μεροληψίας χρησιμοποιώντας ως παρατηρήσεις τα δεδομένα που περιγράφηκαν στην υποενότητα 4.2.1. Για την διόρθωση σφάλματων μεροληψίας στη κατακρήμνιση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πολυτμηματικής στατιστικής διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος (MSBC) όπως αυτή περιγράφεται στην υποενότητα 3.2. Για την διόρθωση σφάλματων μεροληψίας στη θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ποσοστημοριακής χαρτογράφησης όπως αυτή περιγράφηκε στην υποενότητα 3.3. Τα δεδομένα θερμοκρασίας πριν και μετά τη διόρθωση, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής βάσει της τροποποιημένης και βαθμονομημένης μεθόδου Blaney Criddle, όπως αυτή περιγράφηκε στην υποενότητα 3.1.2. Τα δεδομένα κατακρήμνισης (P) και θερμοκρασίας (T), όπως και αυτά της εκτιμημένης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (ET), εισήχθησαν στο μοντέλο κατακρήμνισης – απορροής HBV που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.6. Συνολικά εκτελέστηκαν 224 υδρολογικές προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας τα μη διορθωμένα δεδομένα P, T, ET, όπως επίσης ισάριθμες προσομοιώσεις με χρήση των διορθωμένων δεδομένων κατακρήμνισης και θερμοκρασίας από σφάλματα μεροληψίας. Ο αριθμός των προσομοιώσεων ανά κλιματικό πείραμα και λεκάνη απορροής δίνεται στον Πίνακα 14. Στον πίνακα αυτό δίνεται ξεχωριστά ο αριθμός των κλιματικών μοντέλων γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περιοχικό κλιματικό πείραμα. Έτσι, τα μοντέλα γενικής πληροφορίας που παρείχαν οριακές συνθήκες στα περιοχικά μοντέλα του πειράματος ENSEMBLES, αναφέρεται ως “CMIP3-ENS” ενώ τα ίδιας γενιάς κλιματικά μοντέλα γενικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκαν από το NARCCAP ως “CMIP3-NAR”. Ξεχωριστά θεωρήθηκαν και τα διαφορετικά σενάρια εκπομπών. Ο αριθμός των προσομοιώσεων αντιστοιχεί επίσης στο μέγεθος των ανσάμπλ που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων κάθε κλιματικού πειράματος σε κάθε περιοχή μελέτης. Να σημειωθεί ότι το σενάριο RCP26 είναι διαθέσιμο μόνο σε μία κλιματική

προσομοίωση του EUR-11 και μία του EUR-44. Επίσης στο κλιματικό πείραμα North America CORDEX υπήρξαν διαθέσιμα μόνον δύο προσομοιώσεις, από ένα περιοχικό κλιματικό μοντέλο, για τα RCP45 και RCP85 αντίστοιχα.

Πίνακας 14: Αριθμός προσομοιώσεων ανά περιοχή μελέτης και ανά κλιματικό πείραμα. Ο αριθμός αντιστοιχεί στα πειράματα μόνο διορθωμένων ή μη διορθωμένων κλιματικών δεδομένων.

EUR: Πλατύς - Exeter		NAM: Yellow - Spencer	
Κλιματικό πείραμα@ Σενάριο	Αριθμός Προσομοιώσεων	Κλιματικό πείραμα@ Σενάριο	Αριθμός Προσομοιώσεων
CMIP3-ENS@A1B	5	CMIP3-NAR@A2	3
CMIP5-E11@RCP26	1	CMIP5-N44@RCP45	1
CMIP5-E11@RCP45	5	CMIP5-N44@RCP85	1
CMIP5-E11@RCP85	6	NARCCAP@A2	11
CMIP5-E44@RCP26	1	NAM-44@RCP45	1
CMIP5-E44@RCP45	11	NAM-44@RCP85	1
CMIP5-E44@RCP85	11		
ENSEMBLES@A1B	17		
EUR-11@RCP26	1		
EUR-11@RCP45	5		
EUR-11@RCP85	6		
EUR-44@RCP26	1		
EUR-44@RCP45	12		
EUR-44@RCP85	12		

5.3.1 Αξιολόγηση κλιματικών πειραμάτων ιστορικής περιόδου και επίδρασης τους στην προσομοίωση της παροχής.

Τα κλιματικά μοντέλα αξιολογήθηκαν για την ικανότητά τους να προσομοιώνουν διάφορες πτυχές των κλιματικών παραμέτρων απέναντι σε δεδομένα παρατηρήσεων. Αξιολογήθηκαν οι μεταβλητές της θερμοκρασίας και της κατακρήμνισης όπως αυτές εξήχθησαν από τα κλιματικά μοντέλα πριν από την εφαρμογή της διόρθωσης μεροληπτικών σφαλμάτων. Παράλληλα, αξιολογήθηκε και η συνδυασμένη επίδραση των δύο αυτών παραμέτρων στην παροχή. Ως κριτήρια αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε η μέση ημερήσια τιμή στις κλιματικές μεταβλητές από κάθε κλιματικό πείραμα, ως δείκτης της μέσης μεροληψίας που παρουσιάζει κάθε πείραμα. Έπειτα, υπολογίστηκε ο αδιάστατος δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} όπου συγκρίνει την ποσοστιαία επικάλυψη του ιστογράμματος των προσομοιωμένων δεδομένων με αυτό των

παρατηρήσεων. Τέλος υπολογίστηκε ο δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου (S) που απεικονίζει την ικανότητα του κλιματικού μοντέλου να αναπαριστά την εποχικότητα των παρατηρήσεων.

Αρχικά υπολογίστηκαν οι κλιματικοί μέσοι όροι της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας και συγκρίθηκαν με τους αντίστοιχους των καταγεγραμμένων δεδομένων. Οι κλιματικοί μέσοι όροι υπολογίστηκαν για την περίοδο 1960-2000 για τις λεκάνες του Exeter και Yellow, 1973-2000 για τον Πλατύ και 1989-2000 για την λεκάνη του Spencer Creek. Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται η απόκλιση των κλιματικών μέσων όρων της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας καθώς και η μέση απόκλιση της προσομοιωμένης παροχής από τους καταγεγραμμένους μέσους όρους. Η απόκλιση των διορθωμένων δεδομένων δεν δίνεται καθώς είναι πρακτικά μηδαμινή σε σχέση με αυτή των μη διορθωμένων δεδομένων. Για τα δεδομένα κατακρήμνισης και απορροής υπολογίστηκε η ποσοστιαία διαφορά, ενώ για τη θερμοκρασία υπολογίστηκε η διαφορά μεταξύ μέσης τιμής κλιματικού πειράματος και μέσης τιμής στις παρατηρήσεις (μοντέλο μείον παρατήρηση).

Για την λεκάνη του Exeter, το κλιματικό πείραμα που κατά μέσο όρο αντιπροσωπεύει καλύτερα την μέση κατακρήμνιση, είναι ο μέσος όρος των μοντέλων που συμμετέχουν στο EUR-44. Το EUR-11 υπερεκτιμά την κατακρήμνιση της περιοχής σε επίπεδο αντίστοιχο της υποεκτίμησης του ENSEMBLES. Τα γενικής κυκλοφορίας κλιματικά πειράματα, τείνουν να υποεκτιμούν την μέση κατακρήμνιση έως και 30%. Παρατηρείται επίσης ότι τα νέας γενιάς πειράματα του CMIP5 δεν βελτίωσαν την επίδοσή τους σε σχέση με το CMIP3. Στη θερμοκρασία, τα περιοχικά πειράματα εκτιμούν καλύτερα κατά μέσο όρο τη μέση θερμοκρασία, με καλύτερα τα EUR44 και έπειτα το προηγούμενης γενιάς ENSEMBLES. Σημειώνεται πως αν και υπάρχουν μοντέλα που υπερεκτιμούν ως και 2°C τη μέση θερμοκρασία, ο μέσος όρος κάθε κλιματικού πειράματος είναι πιο κοντά στις καταγεγραμμένες θερμοκρασίες (στο εύρος του $\pm 1^{\circ}\text{C}$). Η τάση στην παροχή για την λεκάνη του Exeter ακολουθεί την τάση στην κατακρήμνιση, όπου καλύτερη προσέγγιση έχει το περιοχικό πείραμα EUR-44.

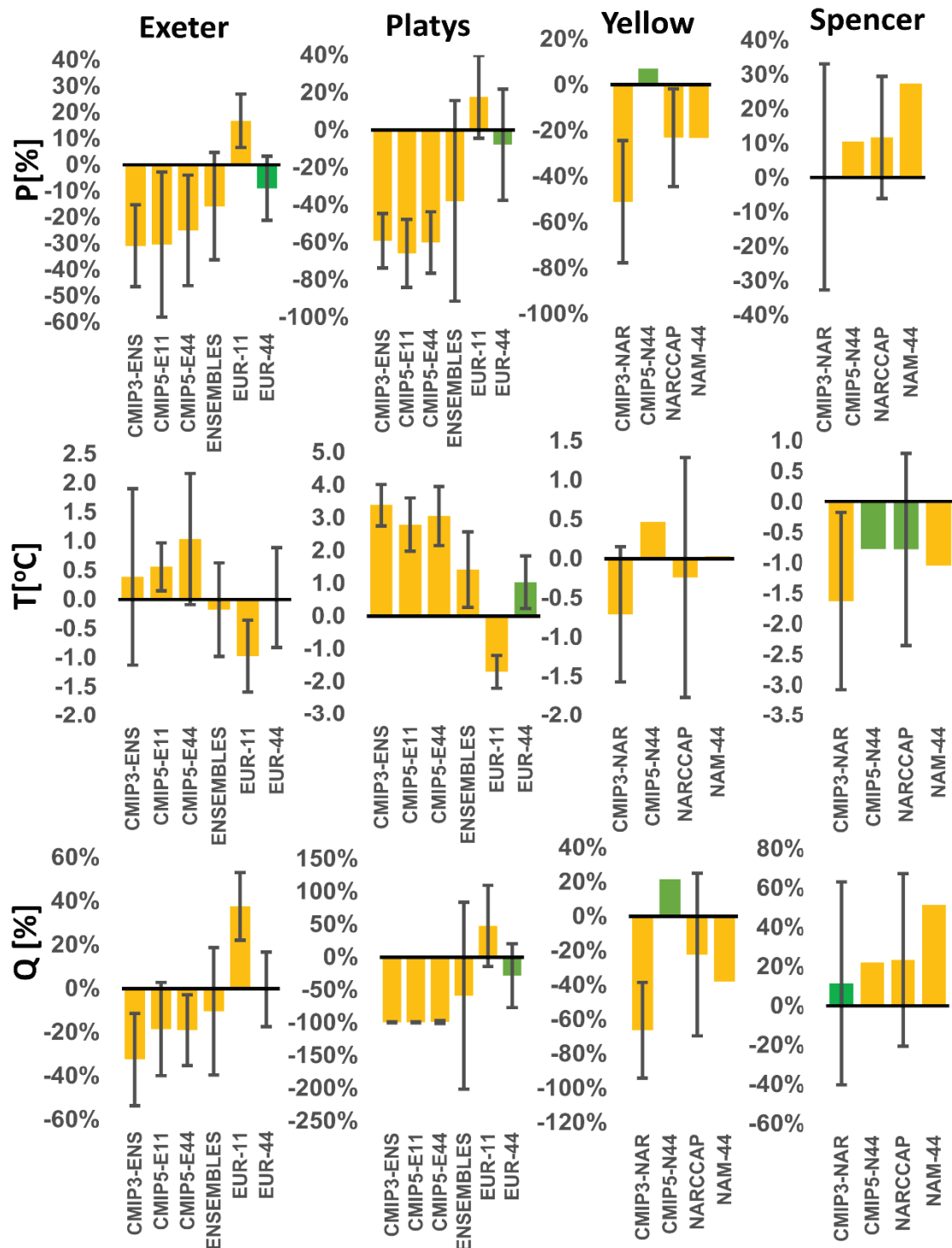
Για την λεκάνη απορροής του Πλατύ παρατηρείται ότι τα γενικής κυκλοφορίας πειράματα υποεκτιμούν σε μεγάλο βαθμό (της τάξης του ~60%) την

κατακρήμνιση, ενώ παρατηρείται ότι τα περιοχικά πειράματα βελτιώνουν την προσέγγιση αυτής. Η βελτίωση παρατηρείται περισσότερο στα νέας γενιάς περιοχικά πειράματα EUR-44 και EUR-11 σε σχέση με το παλαιότερης γενιάς ENSEMBLES τα οποία αν και βελτιώνουν τα αποτελέσματα του γενικής κυκλοφορίας πειράματος CMIP3-ENS, υποεκτιμούν έντονα και πάλι την κατακρήμνιση (~35%). Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα των Tsanis et al. (2011) όπου αναλύοντας τα δεδομένα από ένα σύνολο μοντέλων του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES, η υποεκτίμηση στη κατακρήμνιση είναι της τάξης του 30%, ακόμα και όταν για κάθε μοντέλο του συνόλου κατανεμηθούν βάρη μετά από εκτίμηση της απόδοσης αυτών. Για την θερμοκρασία, τα γενικής κυκλοφορίας πειράματα και του CMIP3 αλλά και του CMIP5, υπερεκτιμούν έως και 4°C τη μέση θερμοκρασία. Η υπερεκτίμηση είναι εμφανής και στα περιοχικά πειράματα των ENSEMBLES και EUR-44. Η τάση αυτή ακολουθεί τα γενικότερα συμπεράσματα που εξήγαγαν οι Boberg & Christensen (2012) για την περιοχή της Μεσογείου, όπου κατέληξαν ότι το κλιματικό πείραμα ENSEMBLES παρουσιάζει έντονη θετική μεροληψία στην προσομοίωση της θερμοκρασίας, λόγω κυρίως ανεπάρκειας των κλιματικών μοντέλων να αναπαραστήσουν σωστά την περιοχική κλιματολογία. Ειδικότερα, τα νεότερης γενιάς περιοχικά πειράματα δεν βελτίωσαν δραστικά την προσομοίωση της θερμοκρασίας στην περιοχή του Πλατύ, με το EUR-44 να παρουσιάζει μεροληψία παρόμοια του πειράματος ENSEMBLES. Αντίθετα, το EUR-11 παρουσιάζει αντίστοιχη σε μέτρο μεροληψία με το κλιματικό πείραμα ENSEMBLES, αλλά με αντίθετο πρόσημο. Η προσομοίωση της παροχής ακολουθεί την τάση της κατακρήμνισης. Για τα γενικής κυκλοφορίας πειράματα, όπου η υποεκτίμηση στη κατακρήμνιση πλησιάζει το ~60%, σε συνδυασμό με την μεγάλη υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας άρα και υπερεκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής, η υποεκτίμηση στην παροχή πλησιάζει το 100%. Τέλος, με το μικρότερο κατά μέσο όρο σφάλμα στην εκτίμηση της παροχής παρουσιάζεται από τις προσομοιώσεις των δεδομένων του κλιματικού πειράματος EUR-44.

Στην περιοχή του Yellow, παρατηρείται ότι το CMIP5-N44 προσομοιώνει πολύ καλά την καταγεγραμμένη κατακρήμνιση συγκριτικά με τα προηγούμενης γενιάς CMIP3 γενικής κυκλοφορίας μοντέλα. Τα αποτελέσματα του δυναμικού

καταβιβασμού της κατακρήμνισης από τα περιοχικά κλιματικά πειράματα παρουσιάζουν υποεκτίμηση της τάξης του 20% και στις δύο περιπτώσεις των NARCCAP και NAM-44. Αντίθετα με τη κατακρήμνιση, οι μέσοι όροι στην θερμοκρασία βελτιώνονται στα περιοχικά κλιματικά πειράματα, αν και για το NARCCAP, η τυπική απόκλιση μεταξύ των συμμετεχόντων μοντέλων αυξάνεται. Να σημειωθεί ότι αν και το περιοχικό πείραμα NAM-44 φαίνεται να παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα για τη μέση θερμοκρασία, θα πρέπει να λαμβάνεται με επιφύλαξη καθώς στηρίζεται σε μία μόνο κλιματική προσομοίωση. Στην παροχή, τα αποτελέσματα ακολουθούν την τάση της προσομοιωμένης κατακρήμνισης.

Για την περιοχή του Spencer Creek, τα γενικής κυκλοφορίας μοντέλα του CMIP3 – NAR προσομοιώνουν πολύ καλά την κατά μέσο όρο κατακρήμνιση, ενώ ο δυναμικός καταβιβασμός με τα περιοχικά μοντέλα του NARCCAP δίνει κατά μέσο όρο υπερεκτίμηση της τάξης του 10%, μείωση όμως στην τυπική απόκλιση μεταξύ των μοντέλων που συμμετέχουν. Αντίστοιχα, η υπερεκτίμηση του κλιματικού πειράματος CMIP5-N44 αυξάνεται από το NAM-44. Ο κλιματικός μέσος όρος στα δεδομένα θερμοκρασίας του CMIP3-NAR υποεκτιμάται κατά $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$, ενώ στο περιοχικό πείραμα NARCCAP η μεροληψία αυτή μειώνεται στους $\sim 0.75^{\circ}\text{C}$. Στο επόμενης γενιάς γενικής κυκλοφορίας πείραμα CMIP5-N44, ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι αντίστοιχος του περιοχικού πειράματος NARCCAP. Το περιοχικό πείραμα NAM-44 όμως, δείχνει να μεγαλώνει αντί να μικραίνει τη μεροληψία. Στην παροχή, η υπερεκτίμηση στη κατακρήμνιση σε συνδυασμό με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες άρα μικρότερη εξατμισοδιαπνοή, δίνουν αύξηση στη παροχή, μεγαλύτερη από την αύξηση στην κατακρήμνιση, για όλα τα κλιματικά πειράματα.

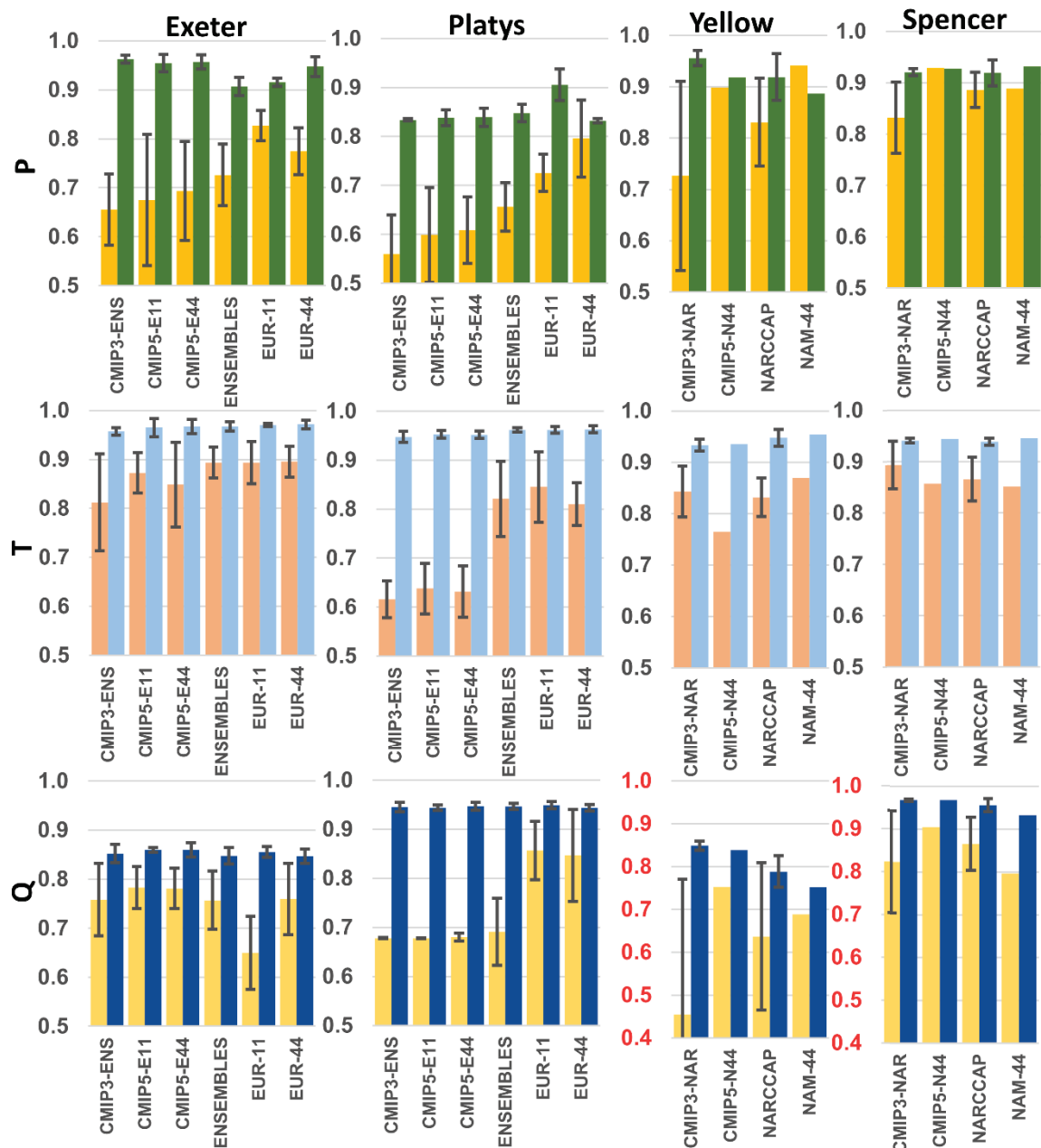


Εικόνα 31: Απόκλιση στη μέση τιμή κάθε κλιματικής μεταβλητής (και της παροχής) από τον κλιματικό μέσο όρο των καταγεγραμμένων δεδομένων. Με πράσινο είναι το κλιματικό πείραμα με την μικρότερη απόκλιση σε κάθε περιοχή και μεταβλητή. Οι μπάρες σφάλματος συμβολίζουν το \pm κάθε συνόλου κλιματικών προσομοιώσεων.

Εν συνεχεία υπολογίστηκε ο αδιάστατος δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} όπως παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 3.4, μεταξύ των κλιματικών δεδομένων και των δεδομένων παρατήρησης για κάθε ένα μοντέλο που συμμετείχε σε κάθε κλιματικό πείραμα. Ο υπολογισμός έγινε για τα διορθωμένα και μη δεδομένα ημερήσιας κατακρήμνισης και θερμοκρασίας. Επίσης επαναλήφθηκε για τα δεδομένα της εκτιμημένης παροχής, όπως αυτά προέκυψαν από το υδρολογικό μοντέλο HBV. Στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται ο μέσος όρος του δείκτη για κάθε κλιματικό πείραμα, όπως και η τυπική απόκλιση του δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε αυτά. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν σημαντική αύξηση της ομοιότητας των δεδομένων κατακρήμνισης και θερμοκρασίας με τα καταγεγραμμένα δεδομένα μετά την εφαρμογή της διόρθωσης για μεροληπτικά σφάλματα. Η αύξηση στην ομοιότητα είναι αναμενόμενη καθώς χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές ποσοστημοριακής χαρτογράφησης που εξ' ορισμού στοχεύουν στην εξομοίωση όλου του φάσματος της κατανομής πιθανότητας σύμφωνα με αυτή των παρατηρήσεων. Για τα δεδομένα κατακρήμνισης παρατηρείται ότι για κάθε περιοχή μελέτης η διόρθωση αύξησε την στατιστική ομοιότητα σημαντικά (~0.95 για το Exeter, ~0.85 για τον Πλατύ, ~0.9 για το Yellow και το Spencer Creek). Το αποτέλεσμα αυτό επαληθεύει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για την μέθοδο διόρθωσης του μεροληπτικού σφάλματος του υποκεφαλαίου 5.1, σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σταθερότητα του βαθμού στον οποίο επετεύχθη η διόρθωση για κάθε περιοχή, όπως επίσης και η μείωση στην τυπική απόκλιση (μπάρες σφάλματος Εικόνα 32) συνάδουν στην αποτελεσματικότητα της εφαρμογής της μεθόδου MSBC. Από τον δείκτη ομοιότητας S_{SCORE} μπορούν παράλληλα να εξαχθούν συμπεράσματα για την ικανότητα των διαφορετικών κλιματικών πειραμάτων να προσομοιώσουν το ιστορικό κλίμα. Έτσι, παρατηρείται ότι στις περιπτώσεις των δεδομένων του Exeter και του Πλατύ, τα περιοχικά κλιματικά πειράματα (ENSEMBLES, EUR11, EUR44) έχουν μεγαλύτερη ικανότητα προσομοίωσης της πραγματικότητας σε σχέση με τα γενικής κυκλοφορίας. Για την περιοχή του Exeter η προσομοίωση των 0.11° αύξησε την ικανότητα στην προσομοίωση της κατακρήμνισης σε σχέση με την προσομοίωση των 0.44° . Για τον Πλατύ, η προσομοίωση των 0.11° μείωσε την αντίστοιχη ικανότητα. Για τα μοντέλα πάνω από τις περιοχές μελέτης στην Βόρεια Αμερική, παρατηρείται ότι η ικανότητα

προσομοίωσης της κατακρήμνισης αυξήθηκε από τα γενικής κυκλοφορίας CMIP3 στα μοντέλα του CMIP5. Το ίδιο συνέβη και για τα αντίστοιχα RCMs στην περιοχή του Yellow, ενώ στο Spencer, το S_{SCORE} παρέμεινε σταθερό. Να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα των CMIP5 και North America CORDEX στηρίζονται σε μία κλιματική προσομοίωση και θα πρέπει να κρίνονται με επιφύλαξη. Η τάση αύξησης της ικανότητας από τα GCMs στα RCMs είναι εμφανής στην περίπτωση της θερμοκρασίας για την περιοχή του Exeter, καθώς και τη περιοχή του Πλατύ. Στη δεύτερη περίπτωση η αύξηση της ικανότητας είναι σημαντική. Για τις περιοχές μελέτης της Βόρειας Αμερικής, υπήρξε μείωση στην ικανότητα προσομοίωσης της θερμοκρασίας μεταξύ των CMIP3 και των CMIP5 GCMs. Τα νέας γενιάς RCMs παρόλα αυτά βελτίωσαν την προσομοίωση για την περιοχή του Yellow, ενώ για την περιοχή του Spencer δεν υπήρξε βελτίωση.

Τα δεδομένα θερμοκρασίας και κατακρήμνισης εισήχθησαν έπειτα στο υδρολογικό μοντέλο HBV για υδρολογική προσομοίωση. Χρησιμοποιήθηκε και πάλι ο δείκτης S_{SCORE} αφού ο δείκτης Nash – Sutcliffe μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιπτώσεις σύγκρισης χρονοσειρών και όχι γενικής στατιστικής ομοιότητας. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 32, η διόρθωση στα σφάλματα μεροληψίας οδήγησαν σε βελτίωση της υδρολογικής προσομοίωσης, επιτυγχάνοντας υψηλές τιμές S_{SCORE} για την περιοχή του Exeter και του Πλατύ. Σημαντική βελτίωση επετεύχθη και για την λεκάνη του Yellow και του Spencer Creek. Να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός του S_{SCORE} στην παροχή έγινε με χρήση των καταγεγραμμένων παροχών και όχι της προσομοίωσης από την βαθμονόμηση των μοντέλων. Αυτό σημαίνει ότι η απόκλιση του δείκτη από την μονάδα περιλαμβάνει όχι μόνο την συνδυασμένη επίδραση της απόκλισης της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας από τα καταγεγραμμένα δεδομένα, αλλά και την ατελή περιγραφή του φυσικού συστήματος κάθε λεκάνης απορροής από το υδρολογικό μοντέλο. Σε όλες τις περιοχές μελέτης, παρατηρείται ότι η στατιστική ομοιότητα των τιμών της απορροής βελτιώθηκε αισθητά, καθώς επίσης μειώθηκε και η διακύμανση μεταξύ των διαφόρων υδρολογικών προσομοιώσεων (βλέπε Εικόνα 32 τελευταία σειρά διαγραμμάτων).



Εικόνα 32: Αδιάστατος δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} για τα δεδομένα κατακρήμνισης, θερμοκρασίας και προσομοιωμένης παροχής. Παρουσιάζεται ο δείκτης για τις διορθωμένες (δεξιάς στήλες) και μη (αριστερές στήλες) από μεροληπτικά σφάλματα μεταβλητές. Η τυπική απόκλιση του δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε κάθε κλιματικό πείραμα δίνεται (όπου είναι διαθέσιμο) με μπάρα σφάλματος.

Εκτός από την ικανότητα των κλιματικών μοντέλων να αναπαραστήσουν συνολικά το ιστόγραμμα των καταγεγραμμένων τιμών, εξετάστηκε και η ικανότητα αναπαράστασης της εποχικότητας. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκε ο δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου (S) πρώτης τάξης για την

θερμοκρασία και την παροχή, και 4^{ης} τάξης για τα δεδομένα της θερμοκρασίας. Ο υπολογισμός έγινε στους μηνιαίους κλιματικούς μέσους όρους των παραμέτρων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αντίστοιχα στην Εικόνα 33. Παρατηρείται ότι η διόρθωση του σφάλματος μεροληψίας βελτιώνει τον δείκτη S στις περισσότερες φορές προσεγγίζοντας την μονάδα. Στις περιπτώσεις της θερμοκρασίας και της κατακρήμνισης η δραστική αυτή βελτίωση οφείλεται στις ίδιες τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν, αφού αυτές στηρίζονται στην διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων ανά ημερολογιακό μήνα. Εκτός όμως από την βελτίωση που προσέφερε η διόρθωση μεροληπτικών σφαλμάτων στην αναπαράσταση της εποχικότητας της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας, σημαντική είναι και η πληροφορία που εξάγεται από τον δείκτη S με την εφαρμογή του πάνω στα πρωτογενή δεδομένα για την ικανότητα κάθε κλιματικού πειράματος στο να αναπαριστά την εποχικότητα της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας. Έτσι, για την περιοχή του Exeter, παρατηρείται ότι ανάμεσα στα γενικής κυκλοφορίας πειράματα, το CMIP3 είναι αυτό που αναπαριστά καλύτερα την εποχικότητα. Η νεότερη γενιά γενικής κυκλοφορίας μοντέλων CMIP5 παρατηρείται ότι μείωσε την ικανότητα αναπαράστασης της εποχικότητας. Ο δείκτης S του περιοχικού περάματος ENSEMBLES επίσης μείωσε την ικανότητα αναπαράστασης της εποχικότητας σε σχέση με το CMIP3 από το οποίο λάμβανε οριακές συνθήκες. Τέλος, το EUR-11 όπως EUR-44 αύξησαν την ικανότητα αναπαράστασης της εποχικότητας σε σχέση με το CMIP5. Στην περιοχή του Πλατύ, τα αποτελέσματα είναι περισσότερο αναμενόμενα, με τα γενικής κυκλοφορίας πειράματα να παρουσιάζουν χαμηλότερο δείκτη S, ενώ τα περιοχικά πειράματα να αυξάνουν την αναπαράσταση της εποχικότητας. Έτσι, το πείραμα ENSEMBLES αύξησε λίγο την ικανότητα αναπαράστασης της εποχικότητας (0.42) σε σχέση με το CMIP3 (0.35), ενώ τα νεότερης γενιάς EUR-11 και EUR-44 βελτίωσαν κατά πολύ το δείκτη (0.95 και 0.77 αντίστοιχα). Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται επίσης ότι ο δείκτης S ωφελήθηκε από την αύξηση της χωρικής ανάλυσης. Η αύξηση του δείκτη δείχνει πως η αύξηση στην χωρική ανάλυση προσφέρει σημαντική αύξηση στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, όταν αυτά πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε υδρολογικές εφαρμογές, καθώς η εποχικότητα της κατακρήμνισης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην υδρολογία. Στην λεκάνη του Yellow, παρατηρείται ότι το NARCCAP δεν βελτίωσε το δείκτη S σε σχέση με

το CMIP3-NAR. Αντίθετα, στα επόμενης γενιάς κλιματικά πειράματα CMIP5-N44 και NAM-44, παρατηρείται καλύτερη απόδοση στο περιοχικό πείραμα απ' ό,τι το αντίστοιχο γενικής κυκλοφορίας. Επίσης να σημειωθεί ότι και τις δύο περιπτώσεις από το CMIP3-NAR στο CMIP5-N44 και από το NARCCAP στο NAM-44 υπήρξε βελτίωση στην αναπαράσταση της εποχικότητας. Τέλος για την περιοχή του Spencer Creek, ο δείκτης S παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με αυτή στην περιοχή του Yellow, όμως η βελτίωση είναι πολύ μικρότερης τάξης.

Στα δεδομένα της θερμοκρασίας για την λεκάνη του Exeter, αν εξαιρεθεί το κλιματικό πείραμα CMIP3-ENS το οποίο περιγράφει μέτρια την εποχικότητα της θερμοκρασίας, ($S \sim 0.83$), όλα τα υπόλοιπα κλιματικά πειράματα έχουν πολύ καλή απόδοση. Στην περιοχή του Πλατύ, παρατηρείται ότι τα γενικής κυκλοφορίας πειράματα περιγράφουν μέτρια την εποχικότητα, η οποία βελτιώνεται όμως κατά πολύ στα περιοχικά κλιματικά πειράματα. Τέλος, όλα κατά κλιματικά πειράματα στις περιοχές μελέτης της βόρειας Αμερικής υπολογίστηκε πως έχουν δείκτη S κοντά στη μονάδα.

Τέλος μελετήθηκε η ικανότητα αναπαραγωγής της εποχικότητας στη παροχή ως αποτέλεσμα υδρολογικής προσομοίωσης των πρωτογενών δεδομένων (μη διορθωμένων για σφάλματα δεδομένων) κατακρήμνισης και θερμοκρασίας για κάθε περιοχή μελέτης (Εικόνα 33). Όπως και στην περίπτωση του S_{SCORE} , ο δείκτης S στην παροχή υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα παρατήρησης αντί τα δεδομένα από την προσομοίωση της βαθμονόμησης. Έτσι η απόκλιση για την παροχή του δείκτη S από τη μονάδα, περιέχει την σωρευτική επίδραση του σφάλματος στην εποχικότητα της θερμοκρασίας και της κατακρήμνισης, και το σφάλμα της βαθμονόμησης των υδρολογικών μοντέλων. Ειδικότερα στην περίπτωση των υδρολογικών λεκανών που η υδρολογία τους περιλαμβάνει σε μεγάλο βαθμό την συσσώρευση και τήξη χιονιού (Exeter αλλά πολύ περισσότερο Spencer Creek), η καλή επίδοση σε όρους δείκτη S είναι σημαντική και δείχνει την καλή αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου από τα υδρολογικά μοντέλα.

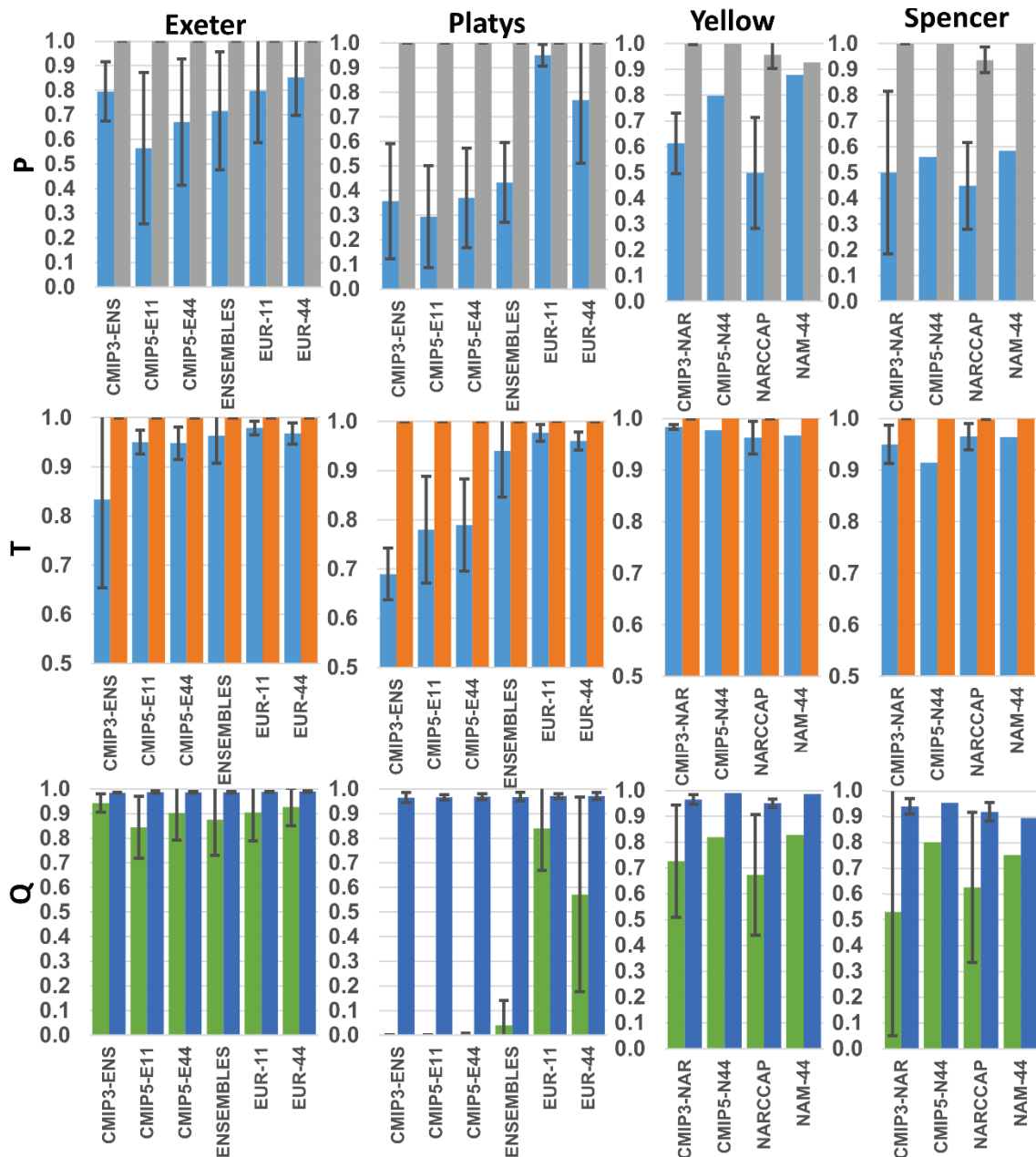
Για την περιοχή του Exeter, παρατηρείται ότι η εποχικότητα στην παροχή περιγράφεται αρκετά καλά από τις υδρολογικές προσομοιώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ετήσιος κύκλος της παροχής προσομοιώνεται καλύτερα από αυτόν της κατακρήμνισης. Αυτό οφείλεται πιθανότερα στο ότι τα κλιματικά

δεδομένα όπως αυτά προέρχονται από τα κλιματικά μοντέλα, υπερεκτιμούν τον αριθμό των ημερών με χαμηλές τιμές κατακρήμνισης. Έτσι, ενώ ο δείκτης για την κατακρήμνιση απεικονίζει αυτό το χαρακτηριστικό, το υδρολογικό μοντέλο έχει την ικανότητα να «φιλτράρει» τις τιμές αυτές μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής, άρα να οδηγεί σε καλύτερο δείκτη αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου. Για την λεκάνη του Πλατύ, η εποχικότητα της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας περιγράφεται ικανοποιητικά μόνο στα περιοχικά πειράματα, ενώ τα GCMs έχουν μέτρια επίδοση. Έτσι, η χαμηλή ικανότητα αναπαράστασης της εποχικότητας στη κατακρήμνιση σε συνδυασμό με την έντονη υποεκτίμηση των υψών αυτής (βλέπε Εικόνα 31) που έχουν ως αποτέλεσμα τους χαμηλούς όγκους απορροής, δίνουν πολύ χαμηλές τιμές στο δείκτη S για την παροχή. Στις περιοχές μελέτης της βορείου Αμερικής η περιγραφή της εποχικότητας της θερμοκρασίας κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα μεταξύ γενικής κυκλοφορίας και περιοχικών πειραμάτων ίδιας γενιάς.

Τα συνδυαστικά αποτελέσματα της αξιολόγησης των κλιματικών πειραμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 15. Σε κάθε μία από τους τρεις δείκτες αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν, δόθηκε βάρος $1/3$, παράγοντας μία μέση επίδοση για κάθε παράμετρο και κλιματικό πείραμα. Έτσι, για κάθε παράμετρο και κλιματικό πείραμα, η συνολική επίδοση υπολογίστηκε από τη εξίσωση Eq 5-1:

$$\text{OverallScore} = \frac{1}{3} S_{\text{score}} + \frac{1}{3} S + \frac{1}{3} (1 - |Bias|) \quad \text{Eq 5-1}$$

όπου ο πρώτος όρος είναι το S_{score} , ο δεύτερος όρος είναι ο δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου S, και ο τρίτος όρος μειώνει τη συνολική επίδοση (Overall Score) όσο μεγαλύτερη γίνεται η απόκλιση από το κλιματικό μέσο όρο. Τα S_{score} και ο δείκτης S είναι εξ ορισμού κανονικοποιημένες στο διάστημα 0 έως 1. Στην περίπτωση της μέσης ποσοστιαίας απόκλισης για τη κατακρήμνιση και της απορροή όπως επίσης και στη διαφορά της μέση θερμοκρασίας, δύναται να υπάρξουν τιμές μεγαλύτερες από +100% και $\pm 1^\circ\text{C}$. Στις περιπτώσεις αυτές ο τρίτος όρος της Εξίσωσης 5-1 παραλήφθηκε εντελώς από την εξίσωση. Οι περιπτώσεις αυτές έχουν σημειωθεί με κόκκινη γραμματοσειρά στον Πίνακα 15.



Εικόνα 33: Δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου (S) για τα δεδομένα κατακρήμνισης, θερμοκρασίας και προσομοιωμένης παροχής. Παρουσιάζεται ο δείκτης για τις διορθωμένες (δεξιές στήλες) και μη (αριστερές στήλες) από μεροληπτικά σφάλματα μεταβλητές. Η τυπική απόκλιση του δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε κάθε κλιματικό πείραμα δίνεται (όπου είναι διαθέσιμο) με μπάρα σφάλματος.

Πίνακας 15: Σταθμισμένη επίδοση κάθε παραμέτρου και κλιματικού πειράματος. Με κόκκινη γραμματοσειρά είναι σημειωμένες οι περιπτώσεις όπου η σταθμισμένη επίδοση έχει υπολογιστεί χωρίς τον τρίτο όρο της Εξίσωσης 5-1.

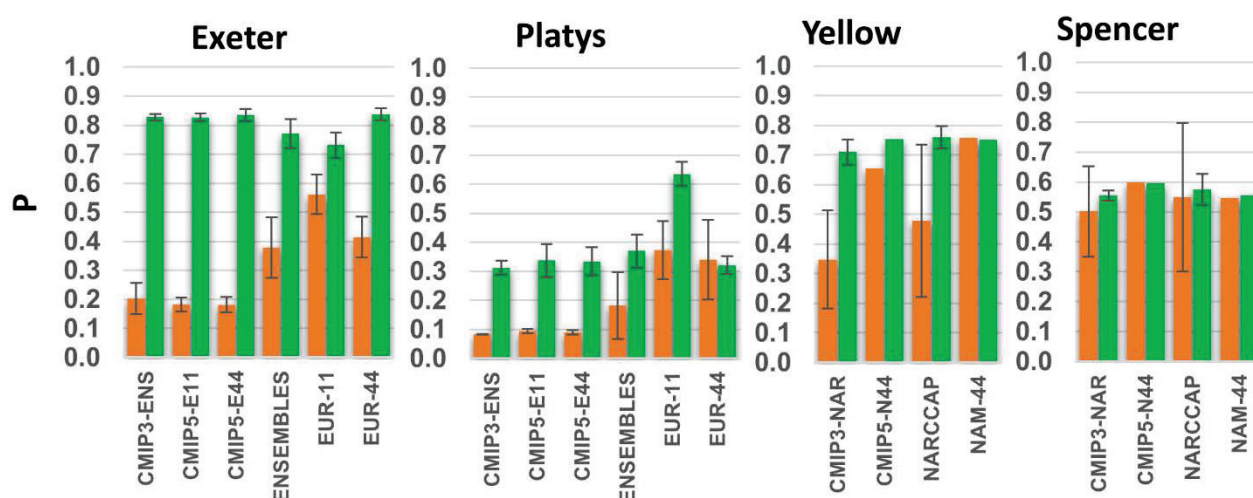
		P				T					Q				
		Mean Bias	Skill score	Scoring Index	Overall P	Mean Bias	Skill score	Scoring Index	Overall T	Overall PT	Mean Bias	Skill score	Scoring Index	Overall Q	Overall PTQ
EXETER	CMIP3-ENS	-31%	0.66	0.80	0.71	0.39	0.81	0.83	0.75	0.73	-33%	0.76	0.94	0.79	0.75
	CMIP5-E11	-30%	0.68	0.56	0.64	0.56	0.87	0.95	0.75	0.70	-19%	0.78	0.84	0.81	0.74
	CMIP5-E44	-25%	0.69	0.67	0.70	1.04	0.85	0.95	0.60	0.65	-19%	0.78	0.90	0.83	0.71
	ENSEMBLES	-16%	0.73	0.72	0.76	-0.17	0.89	0.96	0.89	0.83	-10%	0.76	0.88	0.84	0.83
	EUR-11	17%	0.83	0.80	0.82	-0.97	0.89	0.98	0.63	0.73	38%	0.65	0.90	0.73	0.73
	EUR-44	-9%	0.77	0.85	0.85	0.03	0.90	0.97	0.94	0.89	0%	0.76	0.93	0.89	0.89
PLATYS	CMIP3-ENS	-59%	0.56	0.36	0.44	3.39	0.62	0.69	0.44	0.44	-100%	0.68	0.00	0.23	0.37
	CMIP5-E11	-66%	0.60	0.29	0.41	2.79	0.64	0.78	0.47	0.44	-100%	0.68	0.00	0.23	0.37
	CMIP5-E44	-60%	0.61	0.37	0.46	3.05	0.63	0.79	0.47	0.47	-99%	0.68	0.00	0.23	0.39
	ENSEMBLES	-38%	0.66	0.43	0.57	1.42	0.82	0.94	0.59	0.58	-59%	0.69	0.04	0.38	0.51
	EUR-11	18%	0.73	0.95	0.83	-1.70	0.85	0.98	0.61	0.72	48%	0.86	0.84	0.74	0.73
	EUR-44	-8%	0.80	0.77	0.83	1.03	0.81	0.96	0.59	0.71	-28%	0.85	0.57	0.71	0.71
YELLOW	CMIP3-NAR	-51%	0.73	0.61	0.61	-0.71	0.84	0.95	0.69	0.65	-66%	0.46	0.53	0.44	0.58
	CMIP5-N44	7%	0.90	0.80	0.87	0.47	0.77	0.91	0.74	0.81	22%	0.75	0.80	0.78	0.80
	NARCCAP	-23%	0.83	0.50	0.70	-0.24	0.83	0.96	0.85	0.78	-22%	0.64	0.63	0.68	0.74
	NAM-44	-23%	0.94	0.88	0.86	0.03	0.87	0.96	0.94	0.90	-38%	0.69	0.75	0.69	0.83
SPENCER	CMIP3-NAR	0%	0.83	0.50	0.78	-1.63	0.89	0.98	0.63	0.70	12%	0.83	0.73	0.81	0.74
	CMIP5-N44	11%	0.93	0.56	0.79	-0.78	0.86	0.98	0.69	0.74	22%	0.48	0.82	0.69	0.72
	NARCCAP	12%	0.89	0.45	0.74	-0.78	0.87	0.96	0.68	0.71	23%	0.75	0.67	0.73	0.72
	NAM-44	27%	0.89	0.58	0.73	-1.05	0.85	0.97	0.61	0.67	52%	0.74	0.83	0.68	0.67

Η μέση συνολική επίδοση (*Overall PT* - Πίνακας 15) αντιστοιχεί στο μέσο όρο των συνολικών επιδόσεων για τη κατακρήμνιση και τη θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ως κλιματικό πείραμα με την καλύτερη επίδοση για την περιοχή του Exeter, το EUR-44, ενώ για την περιοχή του Πλατύ το EUR-11. Αξίζει να αναφερθεί ότι για την περιοχή του Exeter τα κλιματικά πειράματα ENSEMBLES παρουσιάζουν επίσης αρκετά καλή επίδοση παρά το γεγονός ότι θεωρείται προηγούμενης γενιάς κλιματικό πείραμα. Για την περιοχή του Yellow, ως καλύτερο κλιματικό πείραμα παρουσιάζεται το NAM-44. Για την περιοχή του Spencer Creek, ως καλύτερο πείραμα εμφανίζεται το CMIP5-NAR, αν και θα ήταν αναμενόμενο το νεότερης γενιάς περιοχικό πείραμα NAM-44 να παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα. Συνοψίζοντας στη μέση συνολική

επίδοση και την επίδοση στην προσομοίωση της παροχής (*Overall PTQ* - Πίνακας 15), τα αποτελέσματα παραμένουν τα ίδια.

5.3.2 Εκτίμηση ικανότητας κλιματικών πειραμάτων να αναπαραστήσουν την κατακρήμνιση μεγάλης έντασης.

Η ικανότητα αναπαράστασης των μεγαλύτερων τιμών ημερήσιας κατακρήμνισης εξετάστηκε ξεχωριστά. Χρησιμοποιήθηκε και πάλι ο δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} , στο 5% των μεγαλύτερων τιμών μη μηδενικής κατακρήμνισης ($S_{SCORE95}$ από εδώ και στο εξής), όπως χρησιμοποιήθηκε και στην τεκμηρίωση της μεθόδου MSBC σε παγκόσμια κλίμακα. Η ικανότητα αυτή έχει ήδη συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της επίδοσης κάθε κλιματικού πειράματος στο υποκεφάλαιο 5.3.1, καθώς στο δείκτη ομοιότητας είχαν συμπεριληφθεί οι τιμές κατακρήμνισης που είναι μεγαλύτερες του 95^{ου} ποσοστημορίου.



Εικόνα 34: Αδιάστατος δείκτης ομοιότητας S_{SCORE} για τα δεδομένα ημερήσιας κατακρήμνισης πάνω από το 95^ο ποσοστημόριο. Παρουσιάζεται ο δείκτης για τις διορθωμένες (δεξιές στήλες) και μη (αριστερές στήλες) από μεροληπτικά σφάλματα μεταβλητές. Η τυπική απόκλιση του δείκτη μεταξύ των μοντέλων που συμμετείχαν σε κάθε κλιματικό πείραμα δίνεται (όπου είναι διαθέσιμο) με μπάρα σφάλματος.

Για την περιοχή μελέτης του Exeter, παρατηρείται ότι στα μη διορθωμένα από σφάλματα μεροληψίας δεδομένα, τα γενικής κυκλοφορίας κλιματικά πειράματα παρουσιάζουν μικρή ικανότητα αναπαραγωγής των μεγάλων τιμών

κατακρήμνισης. Η ικανότητα αυξάνεται καθώς η χωρική ανάλυση γίνεται υψηλότερη στα ENSEMBLES και EUR-44, και ακόμα καλύτερη στα EUR-11. Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και για την περιοχή μελέτης του Πλατύ. Στις περιοχές μελέτης της Βορείου Αμερικής, τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά, με τα αδρότερης ανάλυσης γενικής κυκλοφορίας πειράματα να μη υστερούν κατ' ανάγκη σε περιγραφή των υψηλότερων τιμών κατακρήμνισης. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι το CMIP3-NAR παρουσιάζει ικανότητα κοντά σε αυτή του NARCCAP. Αντίστοιχα, το CMIP5-N44 παρουσιάζει ικανότητα παρόμοια του NAM-44. Να σημειωθεί ότι για την περιοχή του Yellow, τα νεότερης γενιάς κλιματικά πειράματα παρουσιάζουν καλύτερη ικανότητα περιγραφής των ανώτερων ποσοστημορίων κατακρήμνισης, σε αντίθεση με το Spencer Creek που οι δύο γενιές πειραμάτων δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Στα διορθωμένα δεδομένα, παρατηρείται ότι η συμπεριφορά του δείκτη ομοιότητας $S_{SCORE95}$ ανάμεσα στα διαφορετικά κλιματικά πειράματα, είναι παρόμοια με αυτή του S_{SCORE} που υπολογίστηκε από το σύνολο των δεδομένων στο υποκεφάλαιο 5.3.1, αλλά σε χαμηλότερες τιμές του δείκτη S_{SCORE} . Παρατηρείται ότι για το Exeter, η διόρθωση σφαλμάτων με την μέθοδο MSBC, επέφερε παρόμοια αποτελέσματα σε όλα τα κλιματικά πειράματα. Στο EUR-11 όπου είναι και το κλιματικό πείραμα με την υψηλότερη χωρική ανάλυση, και υψηλότερο $S_{SCORE95}$, η διόρθωση επέφερε τη μικρότερη βελτίωση, ενώ το EUR-44 όπου εκτιμήθηκε ως πείραμα που περιγράφει καλύτερα την κλιματολογία της κατακρήμνισης (υποκεφάλαιο 5.3.1), η διόρθωση έδωσε οριακά το $S_{SCORE95}$. Στην περιοχή του Πλατύ, τα βέλτιστα αποτελέσματα $S_{SCORE95}$ ελήφθησαν για το EUR-11, ενώ τα υπόλοιπα κλιματικά πειράματα πέτυχαν τον ίδιο βαθμό ομοιότητας. Για τις περιοχές μελέτης της Βορείου Αμερικής, η διόρθωση επέφερε παρόμοια επίδοση σε όρους $S_{SCORE95}$ μεταξύ των πειραμάτων σε κάθε περιοχή.

5.3.3 Ανάλυση τάσεων στις μελλοντικές κλιματικές προσομοιώσεις και επίδρασης τους στις υδρολογικές παραμέτρους.

Η αλλαγή στην μακροχρόνια τάση κάθε μεταβλητής μελετήθηκε τόσο στα δεδομένα της κατακρήμνισης, της θερμοκρασίας και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, όπως επίσης και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων

της παροχής και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στις ετήσιες μέσες τιμές ή τα αθροίσματα των μεταβλητών. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων για την προσαρμογή της βέλτιστης ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 για τις δρώσες παραμέτρους της κατακρήμνισης, θερμοκρασίας και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στα υδρολογικά μοντέλα και στον Πίνακα 17 για τα αποτελέσματα των υδρολογικών προσομοιώσεων. Η τάση της αλλαγής (*slo*) δίνεται σε mm/year για όλες τις μεταβλητές πλην της θερμοκρασίας που δίνεται σε °C/year. Η χρωματική κλίμακα στους πίνακες αποσκοπεί στην ευκολότερη σύγκριση της κλίσης ανάμεσα στα διορθωμένα και τα μη διορθωμένα δεδομένα οποιασδήποτε μεταβλητής. Στους πίνακες παρατίθεται επίσης και ο σταθερός όρος (*inter*) της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης. Η εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης μπορεί σε κάθε περίπτωση να ανασυνταχθεί όπως φαίνεται στην Εξίσωση 5.2:

$$y = t \cdot slo + inter \quad [\text{Εξ. 5-2}]$$

όπου *y* είναι η τιμή της εκάστοτε εξαρτημένης μεταβλητής στο έτος *t*, ενώ *slo* και *inter* είναι η κλίση και ο σταθερός όρος της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης, όπως δίνεται στους Πίνακα 16 και Πίνακα 17.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) εκτιμήθηκε η σημαντικότητα της κλίσης στις γραμμικές παλινδρομήσεις. Η μηδενική υπόθεση αντιστοιχεί στο ότι δεν υπάρχει σημαντική τάση στην ευθεία. Μικρές τιμές του *p-value* καταδεικνύουν απόρριψη της μηδενικής υπόθεσής. Τα *p-values* της ANOVA παρατίθενται επίσης στους προαναφερθείς πίνακες (ως *p-val*), όπου με κόκκινη σκίαση επισημαίνονται οι περιπτώσεις στατιστικά μη σημαντικής κλίσης. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης τάσεων προκύπτει ότι στα δεδομένα κατακρήμνισης και θερμοκρασίας η διόρθωση σφάλματος μεροληψίας δεν μεταβάλλει την τάση της προσομοιωμένης από τα κλιματικά μοντέλα αλλαγής ως προς το πρόσημο. Επίσης στις περισσότερες των περιπτώσεων, δε μεταβάλλεται ούτε η κλίση σημαντικά. Έτσι, το αρχικό σήμα της υπερετήσιας αλλαγής διατηρείται και μετά τη διόρθωση στα δεδομένα.

Παρόλα αυτά, σε μερικές περιπτώσεις στα δεδομένα κατακρήμνισης, παρατηρείται σημαντική αλλαγή στην τάση.

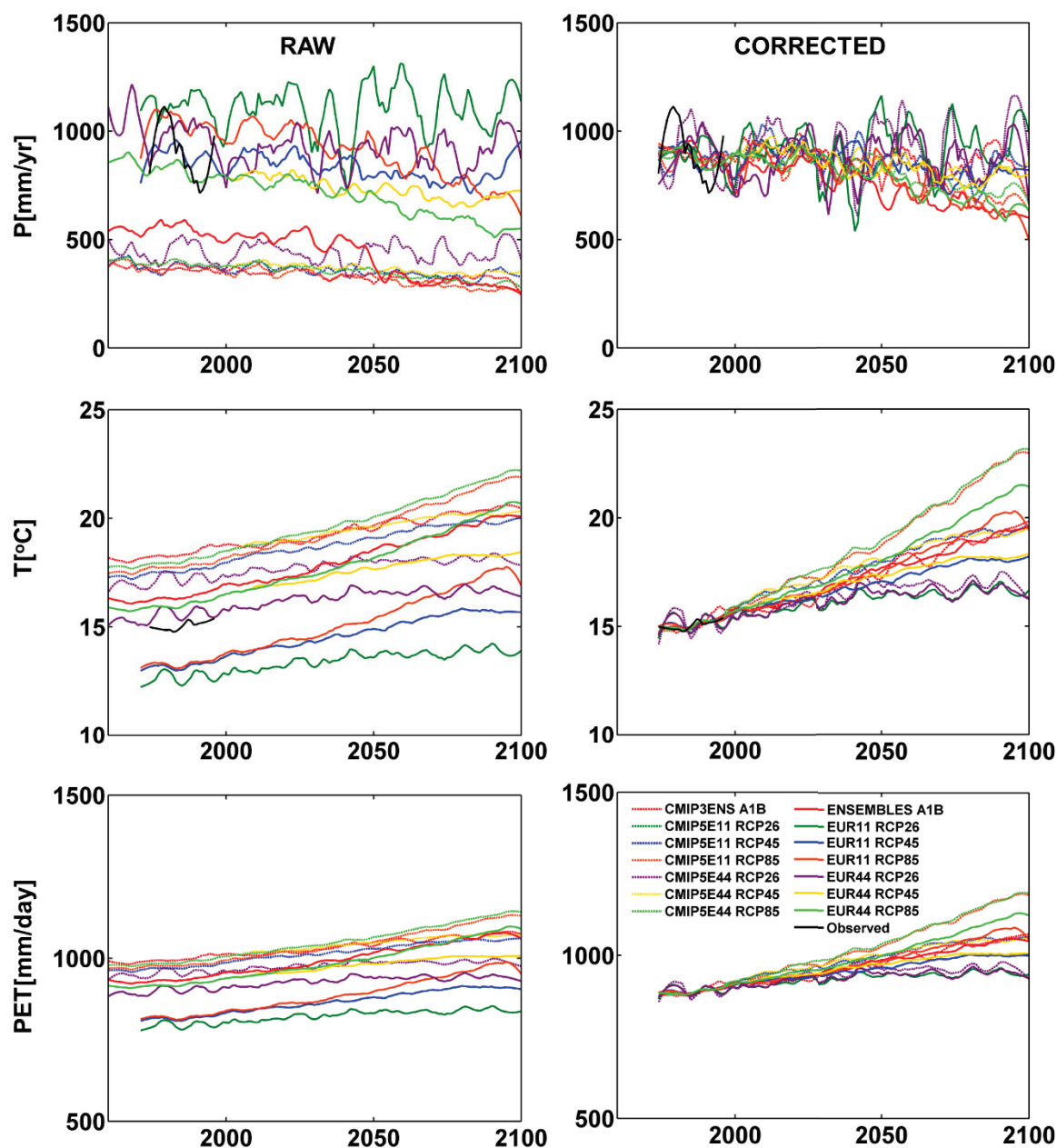
Εξετάζοντας κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά (Πίνακας 16), για τις υδρολογικές λεκάνες του Exeter και του Spencer Creek, παρατηρείται αύξηση της κατακρήμνισης σε όλα κλιματικά πειράματα που εξετάστηκαν. Για την υδρολογική λεκάνη Exeter ωστόσο, τα μισά κλιματικά πειράματα δίνουν αύξηση στατιστικά μη σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% ($p\text{-value} > 0.05$). Για την υδρολογική λεκάνη του YELLOW, οι τάσεις διαφέρουν ως προς το πρόσημο, στα διάφορα κλιματικά πειράματα, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Για την υδρολογική λεκάνη του Πλατύ, οι κλιματικές προσομοιώσεις δείχνουν έντονη τάση μείωσης της κατακρήμνισης. Στατιστικά μη σημαντική βρέθηκε η τάση μόνο στα κλιματικά πειράματα υπό το σενάριο RCP26, όπου δε μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αξιόπιστο λόγω του μεγέθους της ανσάμπλ (1 μοντέλο).

Αντίθετα με τη κατακρήμνιση, στη περίπτωση της θερμοκρασίας (Πίνακας 16), όλα τα κλιματικά πειράματα σε όλες τις περιοχές μελέτης, δείχνουν στατιστικά σημαντική αύξηση τις θερμοκρασίας. Ο ρυθμός της αύξησης διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή και το σενάριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μεγαλύτερη αλλαγή στη θερμοκρασία παρατηρείται στα κλιματικά πειράματα που στηρίζονται στο σενάριο RCP85 και A1B, τόσο στα παγκόσμια όσο και στα περιοχικά κλιματικά πειράματα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, τα διορθωμένα δεδομένα παρουσίασαν αύξηση στην τάση αλλαγής της θερμοκρασίας.

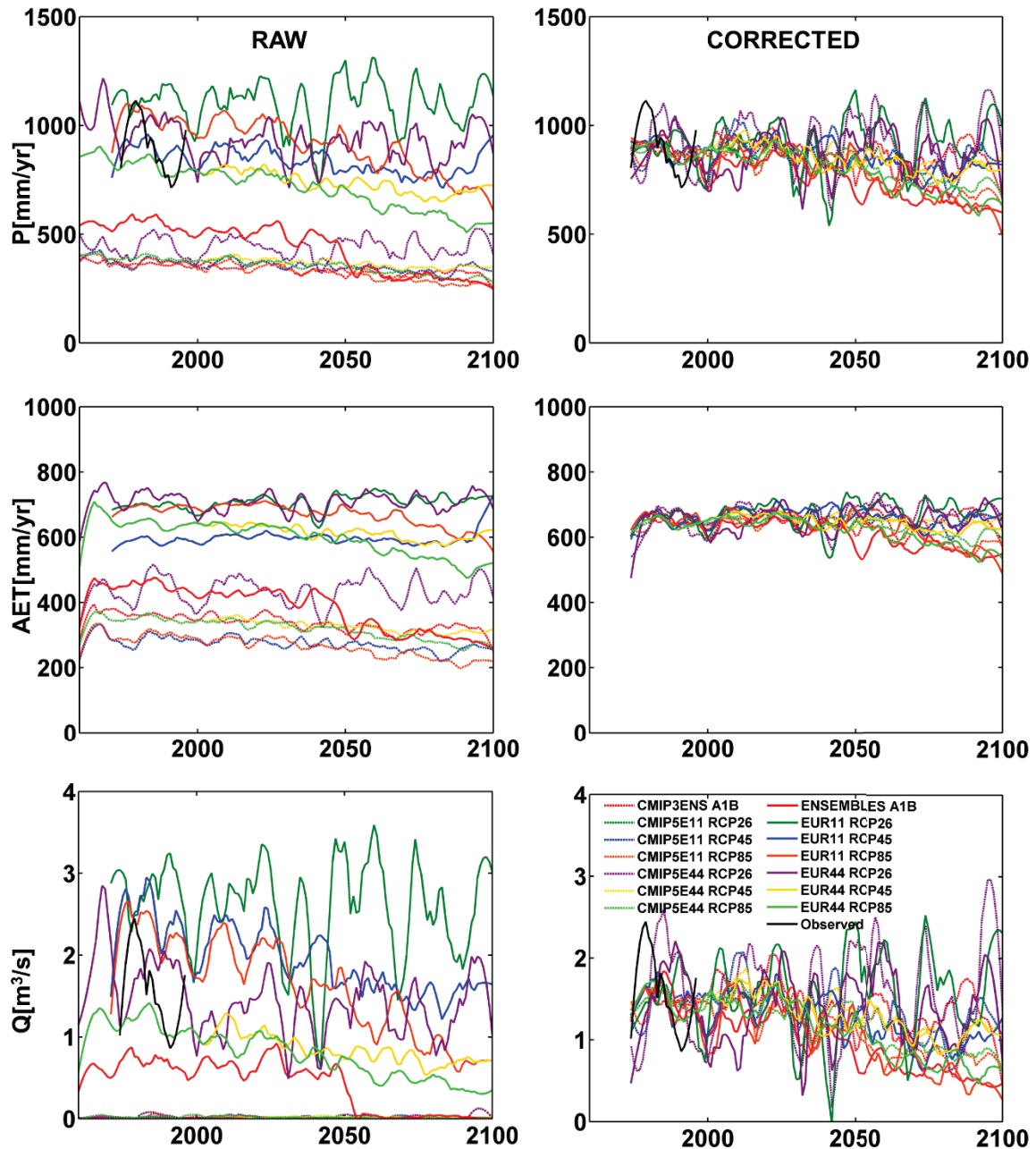
Στην δυνητική εξατμισοδιαπνοή, όπως είναι αναμενόμενο, η τάση ακολουθεί σε όλες τις περιπτώσεις τη τάση της θερμοκρασίας, καθώς η πρώτη είναι γραμμικά εξαρτώμενη από τη δεύτερη. Έτσι, σε όλες τις περιοχές μελέτης και για όλα τα κλιματικά πειράματα που εξετάστηκαν η τάση αλλαγής είναι θετική (Πίνακας 16). Τα αποτελέσματα της αλλαγής στην παροχή συνοψίζουν την τάση αλλαγής στις τρεις προηγούμενες παραμέτρους (Πίνακας 17). Στις Εικόνες του **Παραρτήματος Γ** παρουσιάζονται για κάθε περιοχή μελέτης και κάθε παράμετρο, ο μέσος όρος των κλιματικών πειραμάτων καθώς επίσης τα τεταρτημόρια των μοντέλων που περιέχει κάθε ανσάμπλ. Αντίστοιχα στις Εικόνα 35 έως Εικόνα 42 παρουσιάζονται για κάθε λεκάνη απορροής οι μέσοι

όροι των μεταβλητών κάθε πειράματος από τις εικόνες του Παραρτήματος Γ. Σε αντίθεση με τις εικόνες του παραρτήματος, η παράμετρος της απορροής στις εικόνες αυτές έχει μετατραπεί σε m^3/s για την καλύτερη φυσική κατανόηση τους. Οι μέσοι όροι έχουν εξομαλυνθεί με ένα φίλτρο συνέλιξης Savitzky-Golay που χρησιμοποιεί πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού σε 11 σημεία. Να σημειωθεί ότι στην εξομάλυνση οφείλεται και η δημιουργία «Hockey stick» (**Wegman et al., 2006**) στην κατάληξη των γραμμών στις εικόνες (π.χ. Εικόνα 35 – corrected PET).

Για την λεκάνη του Πλατύ (Εικόνα 35 και Εικόνα 36), η υδρολογικές προσομοιώσεις όλων των κλιματικών πειραμάτων έδωσαν στατιστικά σημαντική (Πίνακας 17) μείωση της παροχής σε συνάρτηση με το χρόνο. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, που όμως με τη μείωση της κατακρήμνισης οδηγεί σε μείωση τις περισσότερες περιπτώσεις της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μείωση στη κατακρήμνιση οδηγεί με τη σειρά της στην έντονη μείωση της μέσης απορροής.

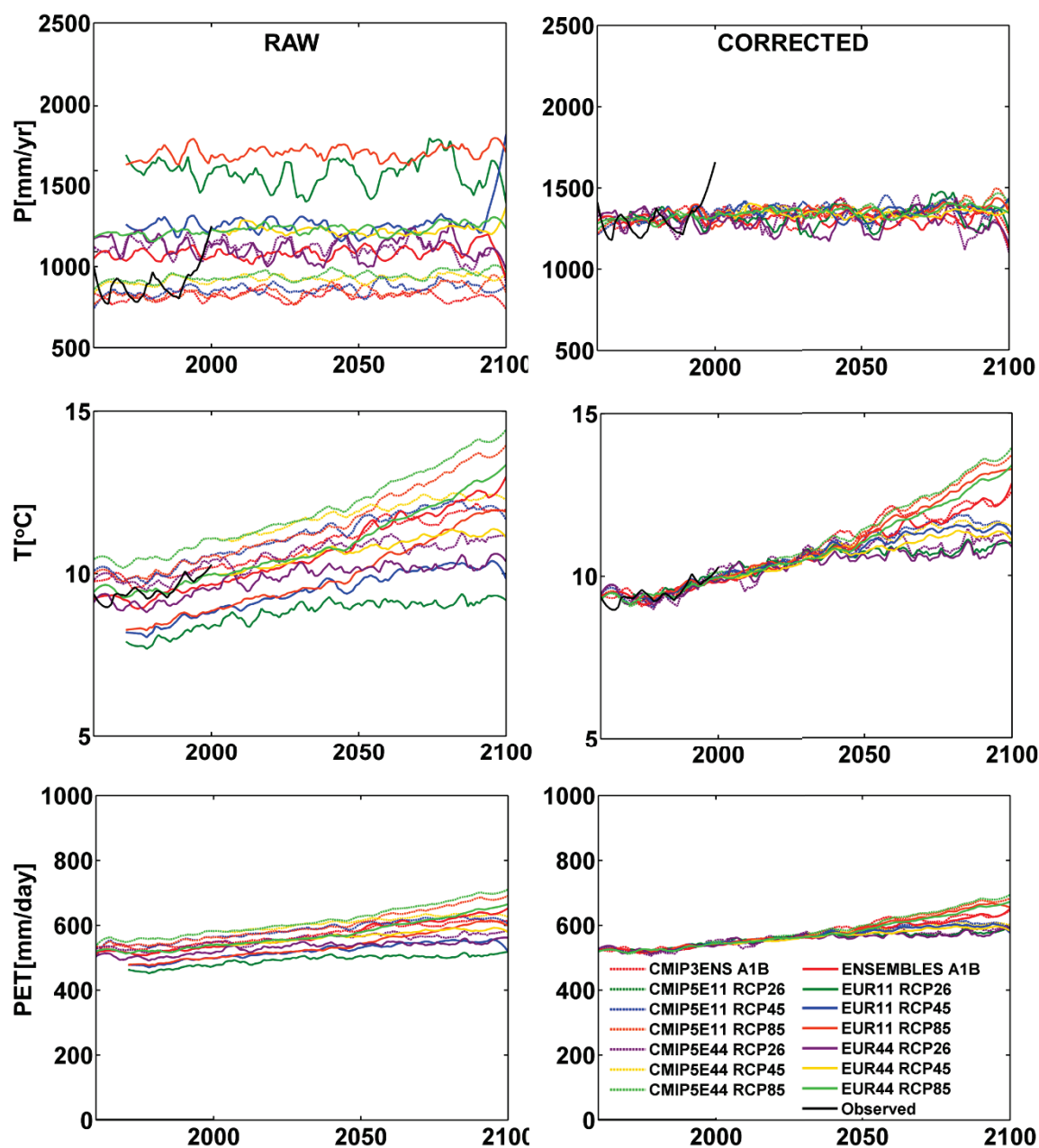


Εικόνα 35: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρωσών κλιματικών παραμέτρων (P , T , PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Πλατύ. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.



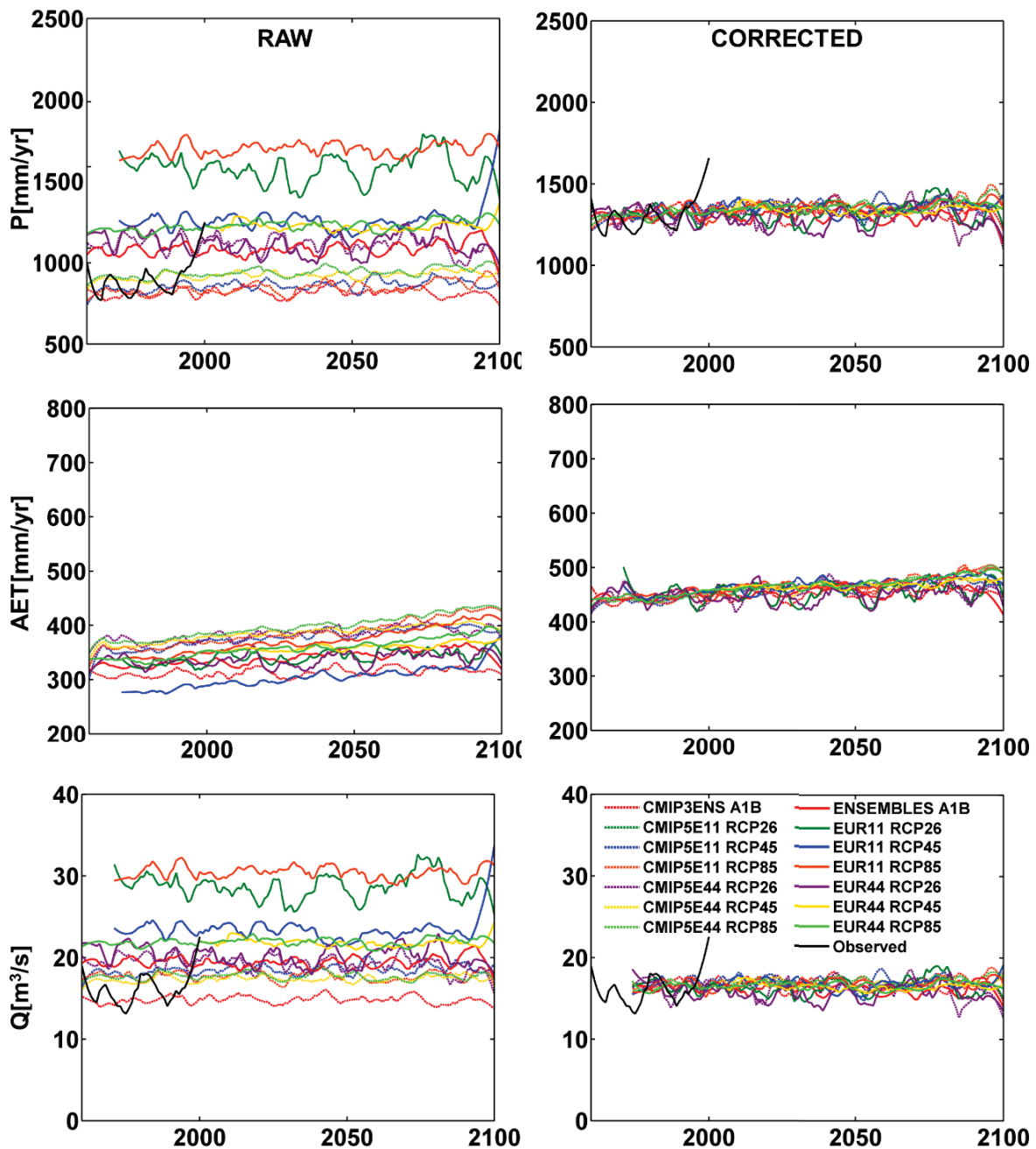
Εικόνα 36: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P , Q , AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Πλατύ. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.

Στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του Exeter (Εικόνα 37 - Εικόνα 38) όπου τα περισσότερα κλιματικά πειράματα δίνουν ελαφριά αύξηση στην κατακρήμνιση, η μέση απορροή προβλέπεται να μεταβληθεί θετικά ή αρνητικά, ανάλογα με το σενάριο που μελετάται.



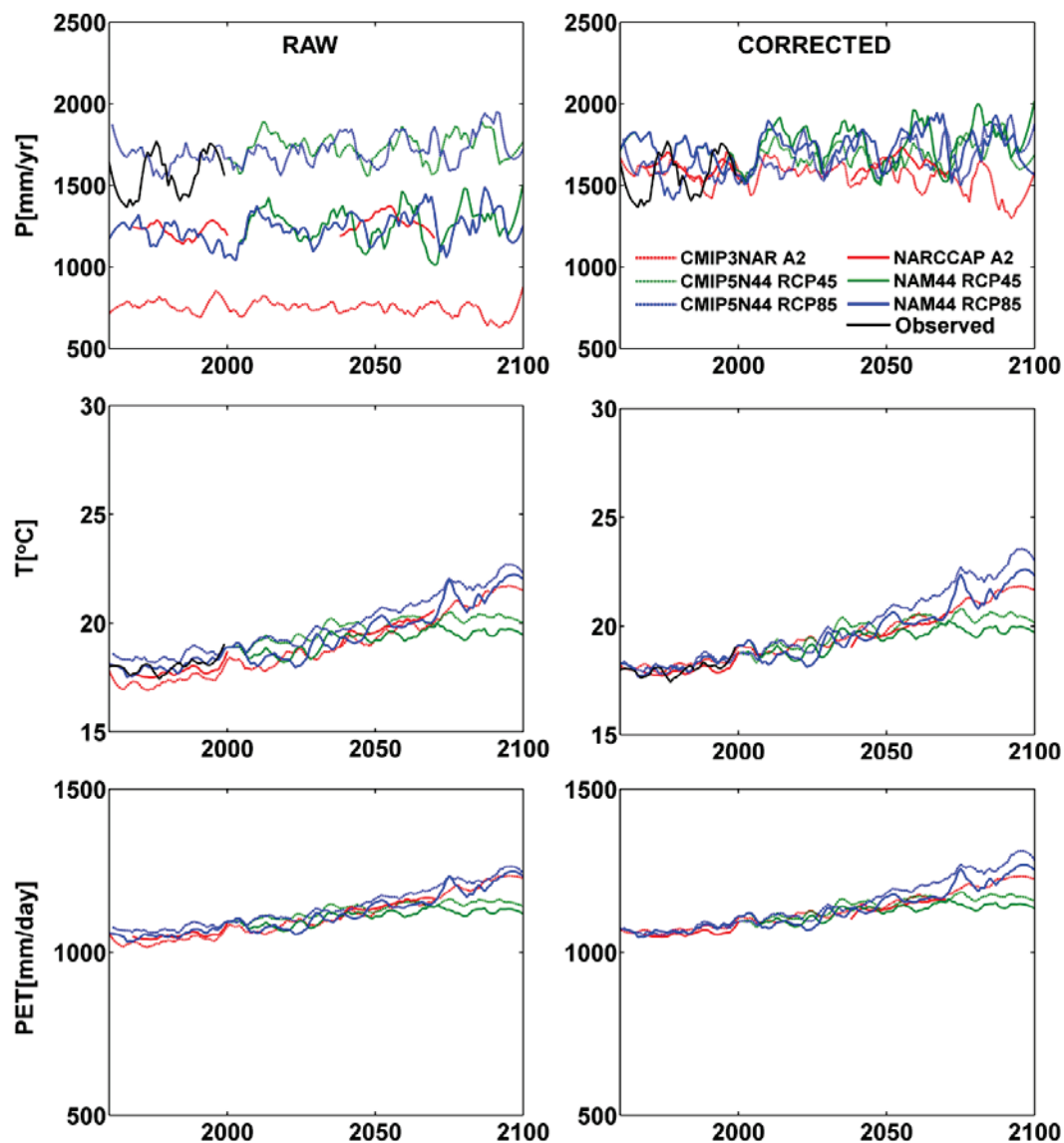
Εικόνα 37: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρωσών κλιματικών παραμέτρων (P , T , PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Exeter. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η τάση αλλαγής δεν είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Προκύπτει δε, ότι η αύξηση στην κατακρήμνιση σε συνδυασμό με την αύξηση στη θερμοκρασία, οδηγεί σε αύξηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.



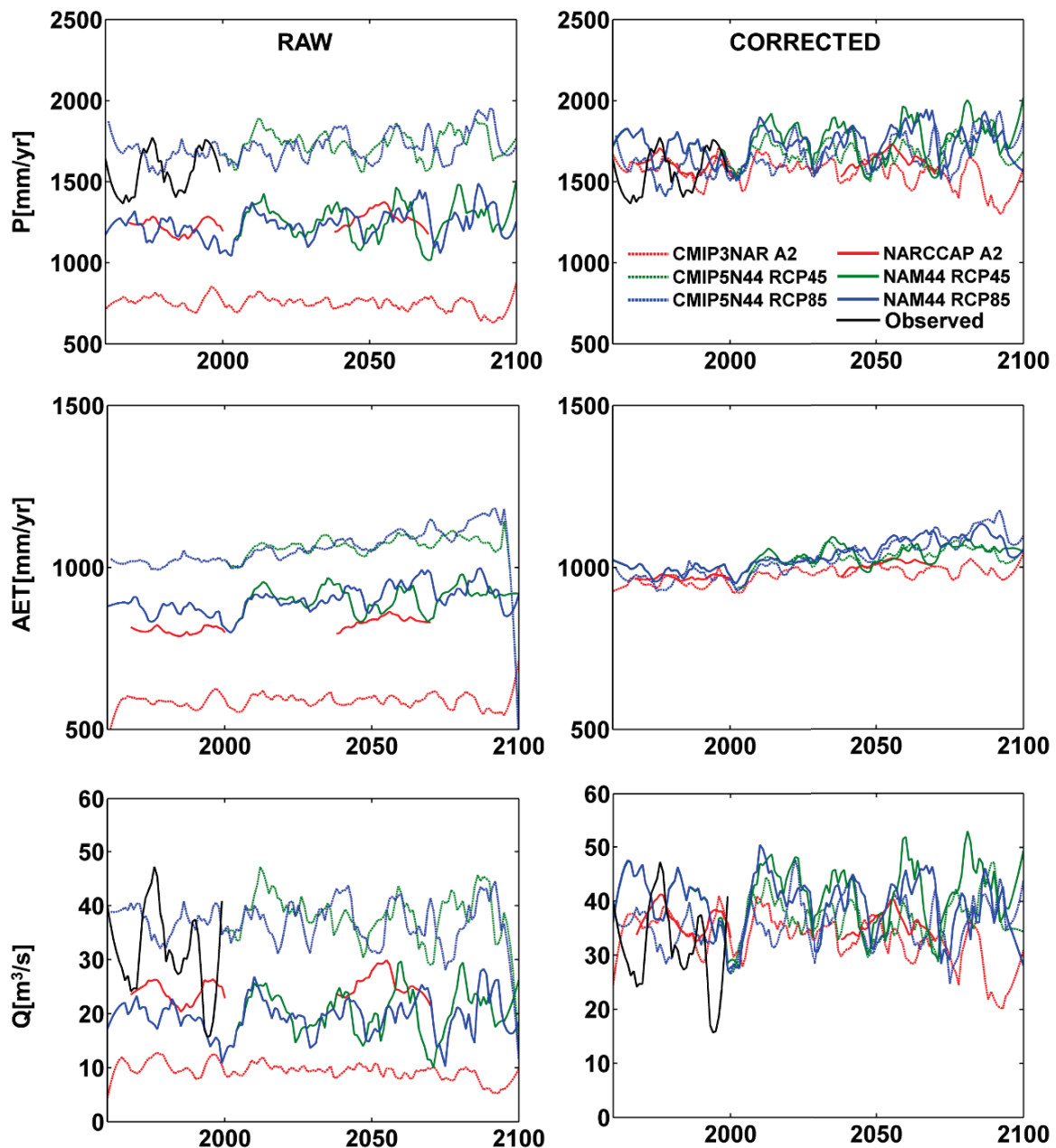
Εικόνα 38: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P, Q, AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Exeter. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.

Για την λεκάνη του Yellow (Εικόνα 39 και Εικόνα 40), η αύξηση στη θερμοκρασία και η ύπαρξη κατακρήμνισης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Εικόνα 27) προβλέπεται να αυξήσει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή.



Εικόνα 39: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρωσών κλιματικών παραμέτρων (P , T , PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Yellow. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.

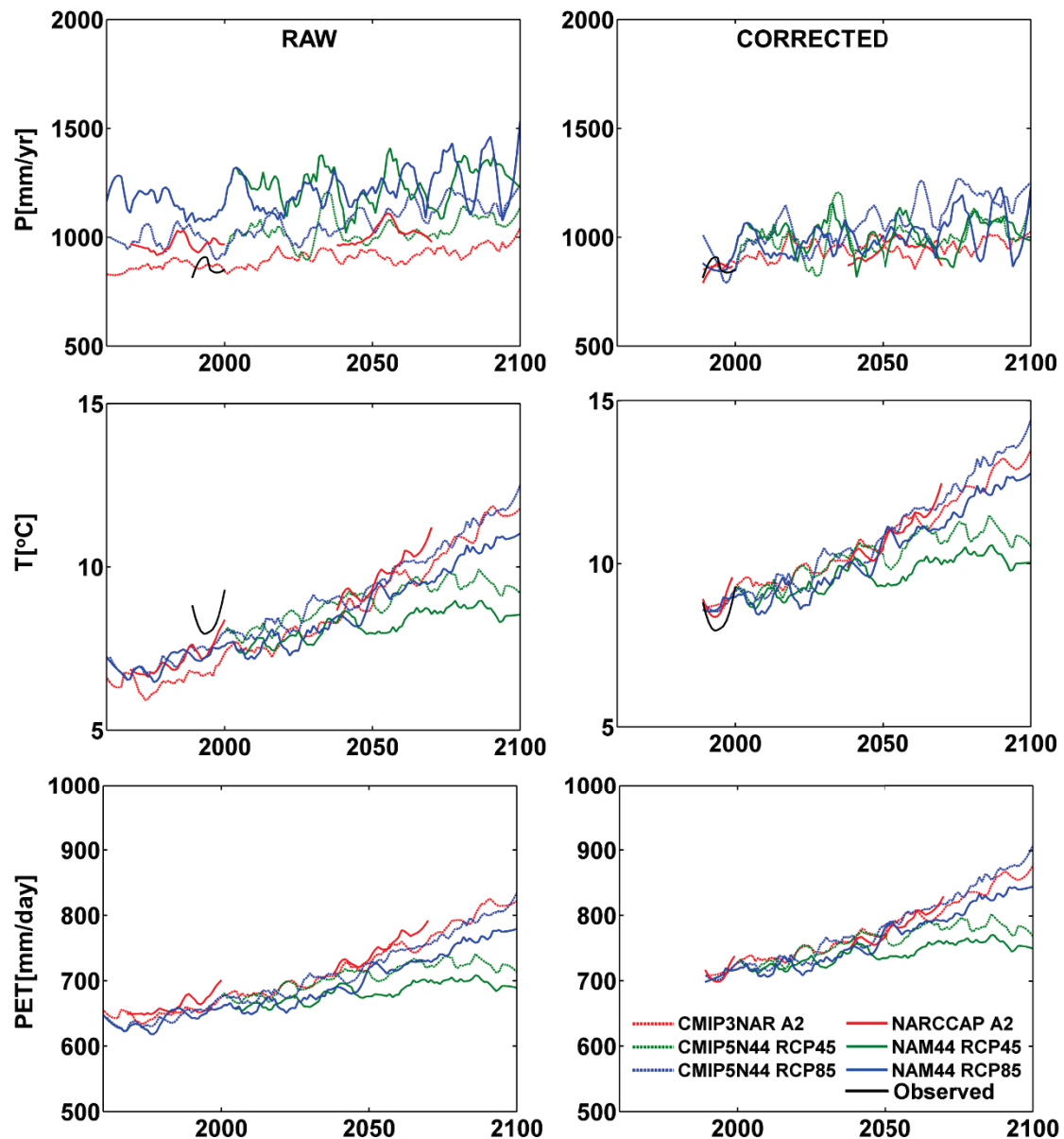
Η απορροή προβλέπεται να αυξηθεί σε κάποιες περιπτώσεις ή να μειωθεί ανάλογα με το κλιματικό σενάριο.



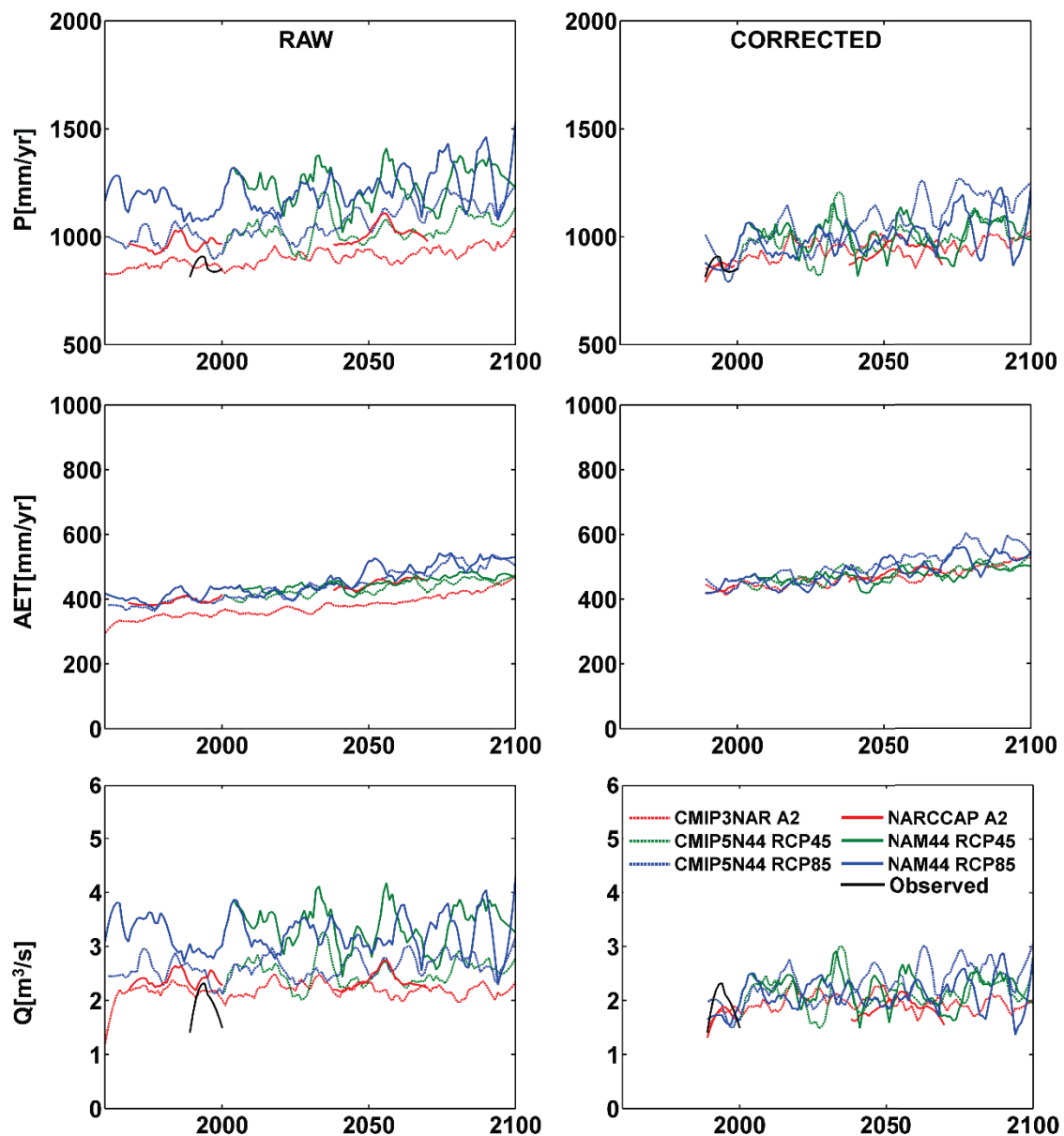
Εικόνα 40: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P, Q, AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Yellow. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.

Παρατηρείται επίσης ότι σε κάποιες ελάχιστες περιπτώσεις, η διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων προκαλεί αλλαγή στο πρόσημο της τάσης στην απορροή, λόγω της συνεργιστικής επίδρασης που έχει η αλλαγή στην κλίση της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας στις υδρολογικές διεργασίες. Η τάση

παρόλα αυτά δεν υπολογίζεται στατιστικά σημαντική για τα περισσότερα κλιματικά σενάρια. Τέλος για την λεκάνη του Spencer Creek (Εικόνα 41 και Εικόνα 42), όλα τα κλιματικά σενάρια προσομοιάζουν στατιστικά σημαντική αύξηση στην κατακρήμνιση. Σε συνδυασμό με την αύξηση στη θερμοκρασία – άρα και την δυνητική εξατμισοδιαπνοή, προβλέπεται να αυξηθεί και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή.



Εικόνα 41: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης δρωσών κλιματικών παραμέτρων (P , T , PET) των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του Spencer Creek. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.



Εικόνα 42: Χρονοσειρές διορθωμένων (δεξιά) και μη διορθωμένων (αριστερά) για σφάλματα πόλωσης κλιματικών παραμέτρων (P , Q , AET) που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο των κλιματικών πειραμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις υδρολογικές προσομοιώσεις για την υδρολογική λεκάνη του *Spencer Creek*. Κάθε γραμμή αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των κλιματικών μοντέλων κάθε πειράματος.

Όμως η αύξηση στη κατακρήμνιση είναι αρκετή για να αντισταθμίσει την αύξηση στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή, και παράλληλα να προκαλέσει και αύξηση στην απορροή, στατιστικά σημαντική σε αρκετές περιπτώσεις.

Πίνακας 16: Ανάλυση τάσεων στις δρώσες παραμέτρους (P, T, PET) των υδρολογικών προσομοιώσεων για τις 4 υδρολογικές λεκάνες. Παρατίθενται η κλίση (slo) και ο σταθερός όρος (Inter) της εξίσωσης γραμμικής παρεμβολής και το p-value τις προσομοιώσεις διορθωμένων (CORR) και μη διορθωμένων (RAW) στοιχείων. Στην στήλη δεξιά δίνεται το μέγεθος της ανασάμπλ που χρησιμοποιήθηκε.

Model	P				T				PET				n Size						
	RAW		CORR		RAW		CORR		RAW		CORR								
	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val							
	PLATYS																		
CMIP3ENS_A1B	-0.532	1461	0.00	-0.632	2154	0.04	0.019	-20	0.00	0.041	-66	0.00	0.728	-449	0.00	1.540	-2172	0.00	5
CMIP5E11_RCP26	-0.010	460	0.96	0.506	-114	0.43	0.010	-2	0.00	0.018	-20	0.00	0.357	248	0.00	0.692	-475	0.00	1
CMIP5E11_RCP45	-0.423	1226	0.00	-0.710	2313	0.02	0.022	-25	0.00	0.041	-67	0.00	0.803	-618	0.00	1.569	-2220	0.00	5
CMIP5E11_RCP85	-0.902	2163	0.00	-1.959	4793	0.00	0.033	-49	0.00	0.069	-122	0.00	1.246	-1494	0.00	2.609	-4302	0.00	6
CMIP5E44_RCP26	-0.010	460	0.96	0.506	-114	0.43	0.010	-2	0.00	0.018	-22	0.00	0.357	248	0.00	0.692	-475	0.00	1
CMIP5E44_RCP45	-0.453	1303	0.00	-0.807	2509	0.00	0.021	-23	0.00	0.041	-66	0.00	0.784	-563	0.00	1.545	-2168	0.00	11
CMIP5E44_RCP85	-0.827	2034	0.00	-1.588	4060	0.00	0.034	-49	0.00	0.070	-124	0.00	1.266	-1524	0.00	2.642	-4366	0.00	11
ENSEMBLES_A1B	2.443	5411	0.00	2.564	5991	0.00	0.032	-47	0.00	0.040	-64	0.00	1.209	-1462	0.00	1.487	-2066	0.00	17
EUR11_RCP26	-0.005	1117	0.99	0.565	-234	0.30	0.012	-12	0.00	0.014	-13	0.00	0.460	-115	0.00	0.540	-175	0.00	1
EUR11_RCP45	-0.865	2602	0.00	-0.978	2851	0.00	0.024	-35	0.00	0.029	-42	0.00	0.913	-993	0.00	1.071	-1235	0.00	5
EUR11_RCP85	-2.927	6872	0.00	-2.440	5762	0.00	0.038	-62	0.00	0.045	-75	0.00	1.428	-2020	0.00	1.704	-2500	0.00	6
EUR44_RCP26	-0.643	2241	0.11	0.178	513	0.77	0.011	-7	0.00	0.015	-14	0.00	0.426	59	0.00	0.552	-198	0.00	1
EUR44_RCP45	-1.337	3475	0.00	-1.113	3116	0.00	0.022	-27	0.00	0.030	-45	0.00	0.822	-707	0.00	1.135	-1357	0.00	12
EUR44_RCP85	2.405	5600	0.00	2.296	5477	0.00	0.038	-58	0.00	0.055	-94	0.00	1.409	-1878	0.00	2.073	-3237	0.00	12
EXETER																			
CMIP3ENS_A1B	-0.007	1240	0.96	0.128	1066	0.44	0.019	-28	0.00	0.026	-41	0.00	0.713	-877	0.00	0.969	-1391	0.00	5
CMIP5E11_RCP26	-0.379	2292	0.16	0.188	1696	0.56	0.011	-12	0.00	0.015	-21	0.00	0.427	-314	0.00	0.569	-594	0.00	1
CMIP5E11_RCP45	0.397	464	0.00	0.599	132	0.00	0.019	-27	0.00	0.020	-31	0.00	0.736	-910	0.00	0.753	-961	0.00	5
CMIP5E11_RCP85	0.567	102	0.00	0.875	-426	0.00	0.030	-49	0.00	0.033	-56	0.00	1.150	-1738	0.00	1.219	-1894	0.00	6
CMIP5E44_RCP26	-0.379	2292	0.16	0.188	1696	0.56	0.011	-12	0.00	0.015	-21	0.00	0.427	-314	0.00	0.569	-594	0.00	1
CMIP5E44_RCP45	0.352	616	0.00	0.529	271	0.00	0.017	-24	0.00	0.020	-29	0.00	0.668	-759	0.00	0.728	-913	0.00	11
CMIP5E44_RCP85	0.497	340	0.00	0.869	-409	0.00	0.030	-48	0.00	0.034	-58	0.00	1.144	-1709	0.00	1.271	-1996	0.00	11
ENSEMBLES_A1B	0.296	894	0.06	0.104	1518	0.49	0.028	-45	0.00	0.024	-38	0.00	1.012	-1487	0.00	0.888	-1234	0.00	17
EUR11_RCP26	0.044	1901	0.92	0.195	925	0.53	0.011	-13	0.00	0.012	-13	0.00	0.400	-321	0.00	0.452	-360	0.00	1
EUR11_RCP45	0.712	226	0.01	0.346	645	0.04	0.018	-27	0.00	0.018	-27	0.00	0.626	-754	0.00	0.670	-797	0.00	5
EUR11_RCP85	0.289	1519	0.22	0.495	342	0.00	0.030	-51	0.00	0.032	-53	0.00	1.085	-1671	0.00	1.179	-1817	0.00	6
EUR44_RCP26	0.265	2065	0.41	0.175	1645	0.55	0.011	-12	0.00	0.012	-14	0.00	0.406	-294	0.00	0.443	-345	0.00	1
EUR44_RCP45	0.227	1167	0.06	0.268	788	0.01	0.016	-22	0.00	0.017	-23	0.00	0.585	-632	0.00	0.611	-680	0.00	12
EUR44_RCP85	0.466	691	0.00	0.526	273	0.00	0.028	-45	0.00	0.029	-48	0.00	1.036	-1532	0.00	1.079	-1614	0.00	12
YELLOW																			
CMIP3NAR_A2	0.372	1505	0.04	0.834	3248	0.02	0.034	-51	0.00	0.029	-39	0.00	1.571	-2081	0.00	1.294	-1497	0.00	3
CMIP5N44_RCP45	0.544	616	0.18	1.046	-479	0.03	0.017	-15	0.00	0.022	-25	0.00	0.777	-462	0.00	0.986	-880	0.00	1
CMIP5N44_RCP85	0.791	105	0.07	1.626	-1648	0.00	0.032	-45	0.00	0.041	-63	0.00	1.449	-1804	0.00	1.833	-2572	0.00	1
NARCCAP_A2	0.706	-174	0.03	0.849	918	0.31	0.030	-41	0.00	0.027	-35	0.00	1.337	-1602	0.00	1.199	-1321	0.00	11
NAM44_RCP45	0.588	46	0.22	0.656	415	0.24	0.015	-12	0.00	0.016	-13	0.00	0.692	-311	0.00	0.721	-355	0.00	1
NAM44_RCP85	0.929	-37	0.16	0.317	1090	0.52	0.030	-42	0.00	0.032	-45	0.00	1.379	-1685	0.00	1.435	-1782	0.00	1
SPENCER																			
CMIP3NAR_A2	0.840	-803	0.00	0.876	-850	0.00	0.042	-77	0.00	0.042	-74	0.00	1.357	-2043	0.00	1.447	-2178	0.00	3
CMIP5N44_RCP45	0.655	-309	0.00	1.246	-1559	0.00	0.023	-38	0.00	0.023	-37	0.00	0.808	-951	0.00	0.786	-849	0.00	1
CMIP5N44_RCP85	1.585	-2155	0.00	3.000	-5069	0.00	0.039	-70	0.00	0.050	-91	0.00	1.369	-2073	0.00	1.715	-2724	0.00	1
NARCCAP_A2	0.762	-546	0.00	1.426	-1988	0.00	0.039	-70	0.00	0.039	-70	0.00	1.280	-1878	0.00	1.324	-1933	0.00	11
NAM44_RCP45	0.755	-315	0.04	0.815	-673	0.07	0.015	-23	0.00	0.016	-23	0.00	0.542	-430	0.00	0.521	-326	0.00	1
NAM44_RCP85	0.995	-808	0.01	1.461	-1994	0.00	0.032	-56	0.00	0.041	-73	0.00	1.113	-1571	0.00	1.383	-2065	0.00	1

Πίνακας 17: Ανάλυση τάσεων στις παραμέτρους που κλείνουν τον υδρολογικό κύκλο (P, Q, AET) στις υδρολογικές προσομοιώσεις για τις 4 περιοχές μελέτης. Παρατίθενται η κλίση (slo) και ο σταθερός όρος (Inter) της εξίσωσης γραμμικής παρεμβολής και το p-value τις προσομοιώσεις διορθωμένων (CORR) και μη διορθωμένων (RAW) στοιχείων. Στην στήλη δεξιά δίνεται το μέγεθος της ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε.

	P						Q						AET						n	Size
	RAW			CORR			RAW			CORR			RAW			CORR				
	Inter		p-val	slo		p-val	Inter		p-val	slo		p-val	Inter		p-val	slo		p-val		
	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val	slo	Inter	p-val		
PLATYS																				
CMIP3ENS_A1B	-0.532	1461	0.00	-0.632	2154	0.04	-0.020	42	0.00	-0.494	1217	0.00	-0.481	1314	0.00	-0.045	739	0.64	5	
CMIP5E11_RCP26	-0.010	460	0.96	0.505	-114	0.43	0.016	-28	0.25	0.359	-494	0.32	0.049	335	0.73	0.355	-62	0.04	1	
CMIP5E11_RCP45	-0.423	1226	0.00	-0.710	2313	0.02	-0.001	3	0.90	-0.574	1367	0.00	-0.341	945	0.00	0.010	632	0.92	5	
CMIP5E11_RCP85	-0.902	2163	0.00	-1.959	4793	0.00	-0.008	18	0.00	-1.093	2410	0.00	-0.695	1677	0.00	-0.638	1924	0.00	6	
CMIP5E44_RCP26	-0.010	460	0.96	0.505	-114	0.43	0.016	-28	0.25	0.359	-494	0.32	0.049	335	0.73	0.355	-62	0.04	1	
CMIP5E44_RCP45	-0.453	1303	0.00	-0.807	2509	0.00	-0.017	37	0.00	-0.643	1522	0.00	-0.362	1067	0.00	-0.020	694	0.72	11	
CMIP5E44_RCP85	-0.827	2034	0.00	-1.583	4060	0.00	-0.026	56	0.00	-1.071	2240	0.00	-0.657	1654	0.00	-0.374	1399	0.00	11	
ENSEMBLES_A1B	2.443	5411	0.00	2.564	5991	0.00	-0.906	1903	0.00	1.449	3104	0.00	-1.469	3366	0.00	-0.959	2564	0.00	17	
EUR11_RCP26	-0.005	1117	0.99	0.565	-234	0.30	-0.289	980	0.41	0.281	-338	0.39	0.261	175	0.00	0.333	-14	0.03	1	
EUR11_RCP45	-0.805	2602	0.00	-0.973	2851	0.00	-1.315	2973	0.00	-0.805	1831	0.00	0.174	243	0.01	-0.033	740	0.68	5	
EUR11_RCP85	-2.927	6872	0.00	2.440	5762	0.00	-2.097	4510	0.00	1.408	3026	0.00	-0.704	2101	0.00	-0.883	2430	0.00	6	
EUR44_RCP26	-0.643	2241	0.11	0.173	513	0.77	-0.499	1231	0.03	0.069	73	0.83	0.021	667	0.84	0.295	53	0.06	1	
EUR44_RCP45	-1.337	3475	0.00	-1.113	3116	0.00	-0.655	1470	0.00	-0.774	1768	0.00	-0.483	1572	0.00	-0.233	1120	0.00	12	
EUR44_RCP85	2.405	5600	0.00	2.296	5477	0.00	-1.031	2214	0.00	-1.322	2866	0.00	-1.124	2879	0.00	-0.828	2308	0.00	12	
EXETER																				
CMIP3ENS_A1B	-0.007	1240	0.96	0.128	1066	0.44	-0.018	815	0.87	-0.117	1113	0.48	0.090	256	0.00	0.148	151	0.00	5	
CMIP5E11_RCP26	-0.379	2292	0.16	0.188	1696	0.56	-0.589	2209	0.02	-0.371	1612	0.29	0.217	69	0.00	0.149	152	0.03	1	
CMIP5E11_RCP45	0.397	464	0.00	0.599	132	0.00	0.326	308	0.02	0.164	559	0.37	0.389	-287	0.00	0.316	-183	0.00	5	
CMIP5E11_RCP85	0.567	102	0.00	0.875	-426	0.00	-0.026	987	0.84	0.457	-41	0.01	0.581	-669	0.00	0.419	-389	0.00	6	
CMIP5E44_RCP26	-0.379	2292	0.16	0.188	1696	0.56	-0.589	2209	0.02	-0.371	1612	0.29	0.217	69	0.00	0.149	152	0.03	1	
CMIP5E44_RCP45	0.352	616	0.00	0.529	271	0.00	0.178	552	0.06	0.194	491	0.11	0.332	-164	0.00	0.288	-126	0.00	11	
CMIP5E44_RCP85	0.497	340	0.00	0.869	-409	0.00	-0.008	948	0.93	0.456	-34	0.00	0.509	-511	0.00	0.411	-372	0.00	11	
ENSEMBLES_A1B	0.296	894	0.06	0.104	1518	0.49	0.106	808	0.45	-0.210	1278	0.18	0.264	-69	0.00	0.096	258	0.00	17	
EUR11_RCP26	0.044	1901	0.92	0.195	925	0.53	-0.048	1607	0.91	0.163	532	0.58	0.198	63	0.00	0.078	296	0.35	1	
EUR11_RCP45	0.712	226	0.01	0.346	645	0.04	0.362	497	0.16	0.105	666	0.51	0.491	-570	0.00	0.297	-138	0.00	5	
EUR11_RCP85	0.289	1519	0.22	0.495	342	0.00	-0.109	1821	0.62	0.212	448	0.18	0.616	-757	0.00	0.354	-254	0.00	6	
EUR44_RCP26	0.265	2065	0.41	0.175	1645	0.55	-0.362	1798	0.22	-0.332	1300	0.44	0.109	241	0.05	0.075	297	0.31	1	
EUR44_RCP45	0.227	1167	0.06	0.268	788	0.01	-0.011	1167	0.92	-0.046	957	0.67	0.267	-62	0.00	0.252	-50	0.00	12	
EUR44_RCP85	0.466	691	0.00	0.526	273	0.00	0.098	953	0.39	0.160	545	0.17	0.400	-328	0.00	0.364	-273	0.00	12	
YELLOW																				
CMIP3_A2	0.372	1505	0.04	0.834	3248	0.02	-0.365	910	0.00	-1.032	2685	0.00	0.085	414	0.35	0.407	150	0.00	3	
CMIP5_RCP45	0.544	616	0.18	1.046	-479	0.03	-0.212	1105	0.55	0.407	-181	0.26	0.281	477	0.14	0.776	-562	0.00	1	
CMIP5_RCP85	0.791	105	0.07	1.626	-1648	0.00	-0.361	1389	0.30	0.449	-273	0.23	0.659	-282	0.00	1.308	-1630	0.00	1	
NAM44_RCP45	0.706	-174	0.03	0.349	918	0.31	0.318	-199	0.20	-0.154	958	0.58	0.444	-75	0.00	0.590	-202	0.00	11	
NAM44_RCP85	0.588	46	0.22	0.656	415	0.24	0.137	-21	0.56	0.151	408	0.72	0.364	156	0.01	0.576	-144	0.00	1	
NARCCAP_A2	0.629	-37	0.16	0.317	1090	0.52	0.088	172	0.79	-0.471	1666	0.26	0.537	-190	0.00	0.898	-787	0.00	1	
SPENCER																				
CMIP3_A2	0.840	-803	0.00	0.876	-850	0.00	0.113	200	0.39	0.100	179	0.62	0.791	-1229	0.00	0.750	-1067	0.00	3	
CMIP5_RCP45	0.655	-309	0.00	1.246	-1559	0.00	-0.028	555	0.87	0.463	-532	0.11	0.674	-948	0.00	0.724	-1004	0.00	1	
CMIP5_RCP85	1.585	-2155	0.00	3.000	-5069	0.00	0.354	-203	0.05	1.434	-2475	0.00	1.150	-1895	0.00	1.356	-2269	0.00	1	
NAM44_RCP45	0.762	-546	0.00	1.426	-1988	0.00	0.145	364	0.63	0.329	-248	0.33	0.804	-1202	0.00	0.902	-1372	0.00	11	
NAM44_RCP85	0.755	-315	0.04	0.815	-673	0.07	-0.088	818	0.76	0.422	-449	0.20	0.572	-725	0.00	0.468	-486	0.00	1	
NARCCAP_A2	0.995	-808	0.01	1.461	-1994	0.00	-0.019	508	0.91	0.532	-723	0.04	1.048	-1674	0.00	0.931	-1524	0.00	1	

5.3.4 Αλλαγής τις μέσες τιμές των υδρολογικών παραμέτρων σε μελλοντικές περιόδους.

Για την καλύτερη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών κλιματικών πειραμάτων και σεναρίων, εξήχθησαν οι αλλαγές στις παραμέτρους της κατακρήμνισης, της θερμοκρασίας και της παροχής, σε τρεις μελλοντικές περιόδους τριάντα ετών, 2011 – 2040, 2041-2070 και 2071-2100, και συγκρίθηκαν με την αντίστοιχες τιμές των προσομοιώσεων της τριακονταετίας 1971-2000. Στην περίπτωση του κλιματικού πειράματος NARCCAP δεν υπάρχουν προσομοιώσεις για την περίοδο 2071-2100. Επίσης για την περιοχή του Spencer Creek, οι ιστορικοί μέσοι όροι για τα διορθωμένα δεδομένα προέκυψαν από την περίοδο 1989-2000. Αντίστοιχα, για την περιοχή του Πλατύ, οι ιστορικοί μέσοι όροι για τα διορθωμένα δεδομένα προέκυψαν από την περίοδο 1973-2000. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον *Πίνακα 18*. Για την ιστορική περίοδο 1971-2000, στον πίνακα παρουσιάζεται η μέση τιμή της εκάστοτε μεταβλητής, ενώ για τις μελλοντικές περιόδους δίνεται το ποσοστό αλλαγής (για τη κατακρήμνιση και τη παροχή) ή η διαφορά (για τη θερμοκρασία) σε σχέση με την ιστορική περίοδο. Οι μικρές αποκλίσεις στους μέσους όρους των τιμών κάθε παραμέτρου για την ιστορική περίοδο, οφείλονται στο γεγονός ότι η διόρθωση για τα μεροληπτικά σφάλματα στις μεταβλητές της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας, πραγματοποιήθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιώντας διαφορετική ιστορική περίοδο (1960-2000 για τις λεκάνες του Exeter και Yellow, 1973-2000 για τον Πλατύ και 1989-2000 για την λεκάνη του Spencer Creek).

Για την λεκάνη του Exeter, παρατηρείται ότι τα σενάρια εντονότερης κλιματικής αλλαγής δείχνουν μεγαλύτερη αύξηση στην μέση κατακρήμνιση, ενώ το ηπιότερο RCP26, μείωση αυτής. Το προηγούμενης γενιάς A1B σενάριο δείχνει οριακές αυξήσεις ή μειώσεις στους μέσους όρους τριακονταετίας. Για την περιοχή του Πλατύ, η τάση είναι αντίθετη με αυτή του Exeter, με το ηπιότερο RCP26 μόνο να προβλέπει σε κάποιες περιπτώσεις αύξηση στη μέση κατακρήμνιση στις μελλοντικές περιόδους, ενώ τα σενάρια εντονότερης κλιματικής αλλαγής να προβλέπουν μείωση (έως και -45% για τα μη διορθωμένα ENSEMBLES, -27% για τα διορθωμένα ENSEMBLES και RCP85). Στις περιοχές μελέτης της Βορείου Αμερικής, το σενάριο A2, προβλέπει μείωση

στη μέση κατακρήμνιση της περιοχής του Yellow ενώ αντίστοιχα προβλέπει αύξηση για την βορειότερη λεκάνη του Spencer Creek.

Πίνακας 18: Ποσοστιαία αλλαγή μέσων ημερήσιων τιμών P [mm/day για την πρώτη περίοδο - % για τις υπόλοιπες], T [°C], Q [m³/s για την πρώτη περίοδο - % για τις υπόλοιπες] στις τρεις μελλοντικές περιόδους σε σχέση με την περίοδο 1971-2000. Παρουσιάζονται οι αλλαγές για τις τέσσερις περιοχές μελέτης για όλα τα εξεταζόμενα κλιματικά πειράματα στα διορθωμένα και μη από μεροληπτικά σφάλματα δεδομένα.

	P								T								Q							
	RAW				BCED				RAW				BCED				RAW				BCED			
	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100
EXETER																								
CMIP3ENS_A1B	2.48	0.53	1.06	-0.10	3.60	1.40	1.82	1.21	9.9	0.7	1.5	1.9	9.5	1.0	2.1	2.6	14.77	0.79	1.21	-0.29	16.47	1.50	1.07	0.61
ENSEMBLES_A1B	3.02	-0.85	0.85	2.34	3.59	-0.41	-0.58	-0.19	9.3	0.9	1.9	2.9	9.5	0.9	1.7	2.5	19.53	-1.85	-0.31	1.42	16.33	-1.25	-1.89	-1.10
CMIP5E44_RCP26	3.11	-0.22	0.44	-3.10	3.56	2.15	3.09	-1.52	9.9	0.7	1.1	1.1	9.5	1.0	1.5	1.5	19.67	-1.62	-1.39	-6.69	16.21	1.74	3.37	-4.04
EUR44_RCP26	3.13	-3.93	-0.17	-1.39	3.56	-3.86	0.14	-0.78	9.2	0.8	1.0	1.1	9.5	0.8	1.1	1.2	20.64	-5.31	-1.06	-2.91	16.17	-6.80	-1.21	-2.82
CMIP5E11_RCP26	3.11	-0.22	0.44	-3.10	3.56	2.15	3.09	-1.52	9.9	0.7	1.1	1.1	9.5	1.0	1.5	1.5	19.67	-1.62	-1.39	-6.69	16.21	1.74	3.37	-4.04
EUR11_RCP26	4.06	-3.24	-0.61	1.08	3.61	-2.25	1.04	2.21	8.1	0.8	1.0	1.1	9.6	0.9	1.1	1.2	29.07	-4.51	-1.57	0.83	16.36	-2.47	1.59	2.54
CMIP5E44_RCP45	2.66	1.89	1.39	3.09	3.59	3.87	2.16	4.60	10.6	0.8	1.4	1.7	9.6	1.0	1.6	2.0	17.16	1.64	1.02	2.59	16.46	4.02	1.16	3.87
EUR44_RCP45	3.26	2.19	0.28	2.21	3.59	3.47	0.87	2.90	9.6	0.8	1.2	1.6	9.6	0.8	1.3	1.7	21.70	1.71	-1.23	0.90	16.31	2.52	-1.40	1.07
CMIP5E11_RCP45	2.53	1.89	2.14	3.32	3.60	4.48	1.87	4.94	10.1	1.0	1.5	1.9	9.5	1.0	1.7	2.1	18.11	2.06	3.19	3.77	16.54	4.65	0.66	3.95
EUR11_RCP45	3.36	1.31	-2.30	4.75	3.63	2.99	-0.15	4.16	8.4	0.9	1.4	1.8	9.6	0.9	1.4	1.8	23.42	1.03	-4.40	3.47	16.47	3.57	-1.54	3.45
CMIP5E44_RCP85	2.69	1.85	2.40	3.95	3.59	3.58	4.36	6.95	10.6	0.9	1.9	3.1	9.6	1.1	2.1	3.6	17.63	1.10	0.38	0.12	16.46	3.11	4.26	5.88
EUR44_RCP85	3.26	2.15	1.29	4.04	3.58	3.23	2.41	5.09	9.6	0.8	1.7	3.0	9.6	0.9	1.8	3.1	21.70	1.61	-0.12	2.09	16.31	1.95	0.84	3.27
CMIP5E11_RCP85	2.49	2.06	2.52	5.38	3.59	3.09	3.17	7.07	10.2	0.9	1.9	3.2	9.6	1.0	2.1	3.5	17.66	1.55	0.09	0.72	16.46	2.30	2.52	5.96
EUR11_RCP85	4.24	1.23	0.34	1.95	3.63	2.39	1.65	4.20	8.5	0.9	1.7	3.0	9.6	0.9	1.8	3.2	30.45	0.81	-0.88	-0.19	16.50	2.19	1.16	3.11
PLATYS																								
CMIP3ENS_A1B	0.99	-4.12	-12.34	-12.08	2.42	0.46	-6.37	-3.39	18.4	0.6	1.3	2.0	15.1	1.2	2.7	4.0	0.01	-47.88	-77.14	-91.69	1.47	1.25	-14.65	-11.05
ENSEMBLES_A1B	1.49	-6.59	-31.46	-45.66	2.42	-5.62	-19.24	-26.75	16.4	1.0	2.2	3.3	15.1	1.3	2.6	3.9	0.61	-12.40	-65.39	-97.57	1.45	-14.95	-44.81	-61.60
CMIP5E44_RCP26	1.19	0.88	0.74	2.59	2.42	4.98	4.74	6.97	17.2	0.5	0.9	0.9	15.1	1.0	1.8	1.8	0.02	-4.19	-3.06	52.69	1.46	11.05	6.63	19.21
EUR44_RCP26	2.64	-5.97	-4.03	-4.08	2.42	0.24	1.32	-0.88	15.6	0.7	1.1	1.0	15.1	0.9	1.5	1.4	1.65	-17.84	-18.33	-16.18	1.47	-1.04	3.29	-7.26
CMIP5E11_RCP26	1.19	0.88	0.74	2.59	2.42	4.98	4.74	6.97	17.2	0.5	0.9	0.9	15.1	1.0	1.8	1.8	0.02	-4.19	-3.06	52.69	1.46	11.05	6.63	19.21
EUR11_RCP26	3.03	-1.65	1.01	0.67	2.42	0.00	4.79	8.73	12.6	0.7	1.1	1.2	15.1	0.8	1.3	1.4	2.74	-6.48	-6.11	-6.07	1.45	0.05	8.12	20.19
CMIP5E44_RCP45	0.96	-2.57	-6.71	-10.96	2.42	0.16	-3.40	-7.15	18.1	1.0	1.7	2.1	15.1	2.0	3.2	4.1	0.01	-12.74	-17.14	-67.22	1.44	-0.44	-9.99	-23.92
EUR44_RCP45	2.21	-4.63	-10.29	-14.90	2.42	0.23	-5.73	-11.36	16.1	1.1	1.7	2.2	15.1	1.4	2.4	3.0	1.09	-14.35	-31.66	-43.28	1.46	1.67	-16.60	-29.03
CMIP5E11_RCP45	0.78	-2.23	-5.39	-11.17	2.42	0.68	-1.82	-7.55	17.6	1.0	1.7	2.2	15.1	1.8	3.1	4.1	0.01	-22.78	-8.22	-70.11	1.44	0.52	-4.74	-23.87
EUR11_RCP45	2.40	-2.50	-8.29	-9.35	2.42	1.95	-3.95	-10.02	13.2	1.0	1.8	2.5	15.1	1.2	2.1	2.9	1.89	-11.89	-25.93	-32.81	1.45	-1.51	-18.01	-34.10
CMIP5E44_RCP85	0.96	-4.79	-12.08	-21.28	2.42	-3.16	-7.55	-17.12	18.1	1.2	2.2	3.6	15.1	2.3	4.3	6.9	0.01	-16.07	-63.25	-77.87	1.45	-9.54	-23.15	-41.08
EUR44_RCP85	2.21	-6.99	-18.23	-29.20	2.42	-2.92	-12.69	-24.60	16.1	1.2	2.4	4.0	15.1	1.6	3.3	5.4	1.09	-22.77	-48.91	-67.88	1.46	-6.67	-31.28	-53.92
CMIP5E11_RCP85	0.81	-5.37	-16.15	-24.93	2.42	-3.06	-12.78	-21.38	17.8	1.1	2.2	3.5	15.1	2.1	4.2	6.8	0.01	-35.80	-76.75	-71.35	1.44	-7.75	-33.38	-45.42
EUR11_RCP85	2.81	-4.76	-13.59	-28.47	2.42	-3.13	-10.55	-27.82	13.3	1.1	2.4	3.8	15.1	1.3	2.8	4.5	2.19	-14.46	-35.88	-63.89	1.41	-9.12	-30.83	-64.19
YELLOW																								
CMIP3NAR_A2	2.11	-1.50	-2.46	-6.99	4.17	3.94	3.26	-2.75	17.3	1.2	2.2	3.8	18.2	1.0	1.9	3.1	10.61	-7.75	-10.90	-26.50	34.20	0.85	-3.00	-17.67
NARCCAP_A2	3.34		4.97		4.40		2.10		17.8		2.1		18.0		1.9		23.99		6.67		36.50		-1.40	
CMIP5N44_RCP45	4.54	5.95	2.83	6.14	4.09	12.70	10.37	14.58	18.5	0.9	1.5	1.7	18.3	1.2	1.9	2.2	36.85	7.65	-1.13	1.83	32.21	16.23	9.28	17.96
NAM44_RCP45	3.25	7.97	2.97	8.72	4.45	11.07	5.41	11.51	18.2	0.7	1.3	1.4	18.3	0.7	1.3	1.5	18.67	12.58	5.47	12.52	38.28	14.07	2.79	11.53
CMIP5N44_RCP85	4.54	3.02	4.05	5.67	4.09	11.49	12.94	16.45	18.5	0.9	2.0	3.5	18.3	1.1	2.5	4.4	36.85	1.93	0.02	-5.69	32.21	15.31	12.37	13.07
NAM44_RCP85	3.25	4.03	8.59	5.49	4.45	7.08	10.47	5.89	18.2	0.5	1.7	3.3	18.3	0.5	1.8	3.4	18.67	5.47	10.74	3.58	38.22	6.94	8.51	-4.53
SPENCER																								
CMIP3NAR_A2	2.38	4.90	4.67	9.08	2.36	10.00	9.89	13.06	6.5	1.4	2.8	4.6	8.8	1.0	2.2	3.8	2.19	4.15	-0.24	-1.43	1.73	18.02	14.64	10.80
NARCCAP_A2	2.65		5.39		2.34		10.49		7.2		2.7		8.7		2.3		2.41		-1.38		1.71		10.41	
CMIP5N44_RCP45	2.71	3.70	1.87	8.63	2.38	13.27	11.97	20.11	7.3	1.2	1.9	2.2	8.8	1.0	1.8	2.2	2.54	0.30	-6.22	2.28	1.76	22.10	15.35	27.62
NAM44_RCP45	3.14	3.30	6.31	13.07	2.36	13.01	14.47	22.97	7.2	0.7	1.9	3.3	8.8	0.5	1.8	3.4	3.14	3.21	0.00	4.81	1.68	29.46	21.95	30.47
CMIP5N44_RCP85	2.71	4.55	11.66	17.86	2.38	15.00	26.29	37.22	7.3	1.3	2.3	4.1	8.8	1.1	2.3	4.3	2.54	0.58	6.38	8.36	1.76	23.56	39.06	49.98
NAM44_RCP85	3.14	7.84	5.66	10.52	2.36	17.39	14.60	17.97	7.2	0.7	1.1	1.5	8.8	0.6	1.0	1.4	3.14	8.95	4.03	8.24	1.68	35.35	28.07	30.22

Τα σενάρια RCP45 και RCP85 προβλέπουν αύξηση και τις δύο περιοχές. Παρατηρείται ότι η διόρθωση σφαλμάτων πόλωσης με τη μέθοδο MSBC άλλαξε το πρόσημο της αλλαγής στη κατακρήμνιση σε περιπτώσεις όπου τα μη διορθωμένα δεδομένα παρουσιάζουν οριακή αύξηση ή μείωση στο μέσο όρο. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην κατώφλια τιμή που εφαρμόζεται κατά τη διόρθωση, ώστε να προσαρμόζεται ο αριθμός των υγρών ημερών. Παρατηρείται επίσης ότι τα περιοχικά κλιματικά πειράματα διαφέρουν αρκετά από τα αποτελέσματα που προέρχονται από τα αντίστοιχα GCMs που τα οδήγησαν.

Για τα δεδομένα μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας παρατηρείται άνοδος σε όλες τις περιοχές μελέτης και για όλα τα σενάρια που θεωρήθηκαν. Στα μη διορθωμένα δεδομένα και για τις μελλοντικές περιόδους που εξετάστηκαν, παρατηρείται μεγάλη συνάφεια στους μέσους όρους αλλαγής των περιοχικών πειραμάτων, με αυτούς των GCMs που τα οδήγησαν ειδικότερα στις περιοχές μελέτης της Ευρώπης. Παρόλο δηλαδή που τα περιοχικά πειράματα δύνανται να μεταβάλλουν το σήμα της κλιματικής αλλαγής στα δεδομένα της κατακρήμνισης, στην περίπτωση της θερμοκρασίας τα περιοχικά πειράματα διέπονται από το σήμα που έχουν «κληρονομήσει» από τα γενικής κυκλοφορίας πειράματα. Η αλλαγή στο σήμα της κατακρήμνισης ωστόσο κρίνεται θεμιτή, καθώς τα περιοχικά πειράματα ενσωματώνουν περισσότερες και αναλυτικότερες διεργασίες που διέπουν την παραγωγή κατακρήμνισης. Παρατηρείται δε, έπειτα την διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας, ότι ενώ το σήμα στην αλλαγή της θερμοκρασίας για τα GCMs έχει αλλάξει, τα περιοχικά κλιματικά πειράματα παρουσιάζουν αλλαγές πολύ μικρότερες τις περισσότερες φορές από αυτές που προέβλεπαν πριν την διόρθωση.

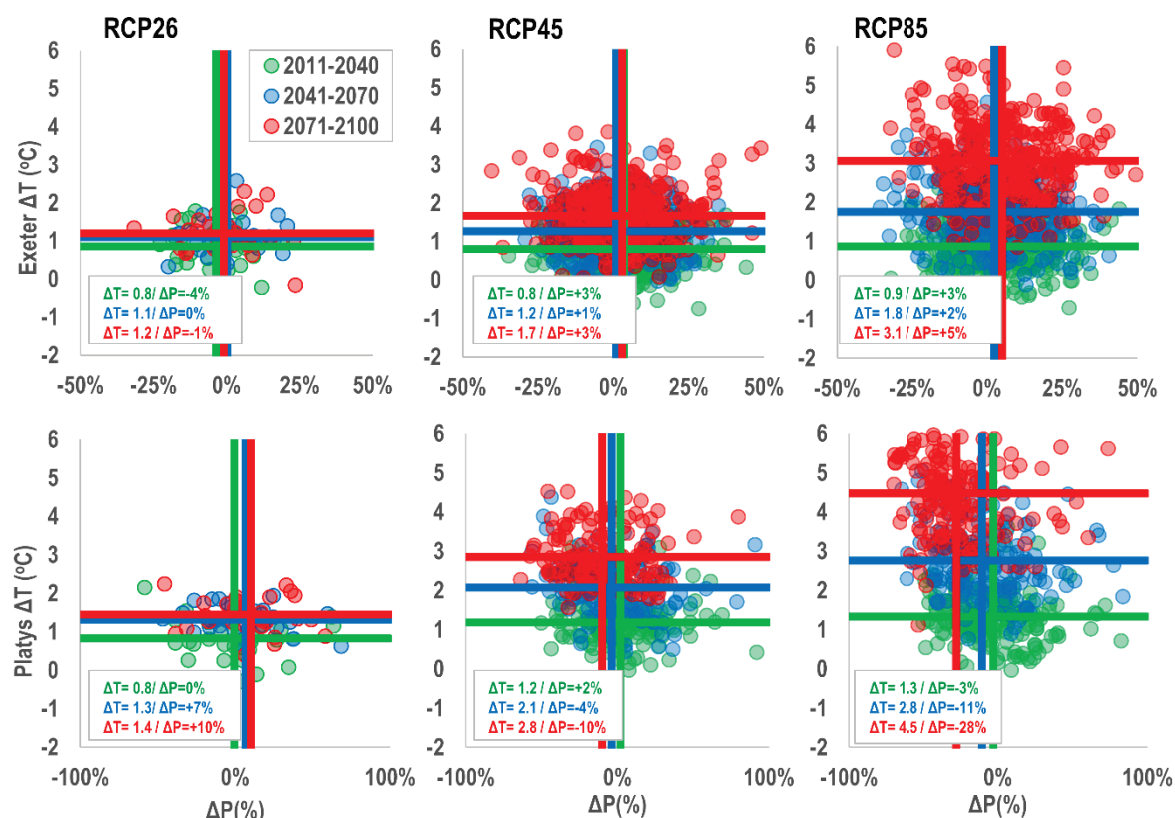
Για τα αποτελέσματα της παροχής, παρατηρείται ότι η τάση είναι αντίστοιχη της τάσης που παρατηρείται κάθε φορά στην κατακρήμνιση. Εντούτοις, η ένταση είναι διαφορετική από αυτή της κατακρήμνισης, ως ένα αποτέλεσμα της αλλαγής στην κατακρήμνιση αλλά και τη θερμοκρασία. Έτσι, παρατηρείται για παράδειγμα στα ακραία σενάρια μείωσης της διαθέσιμης κατακρήμνισης κατά το RCP85 στην λεκάνη του Πλατύ, να δημιουργείται μείωση της μέσης απορροής προσεγγιστικά διπλάσια σε ποσοστού απ' ότι στη κατακρήμνιση. Αντίστοιχα, η αύξηση στην κατακρήμνιση κατά το ίδιο σενάριο στην περιοχή

του Spencer Creek, να επιφέρει αύξηση σημαντικά μεγαλύτερη ως ποσοστό στην μέση απορροή για τις μελλοντικές περιόδους.

Τα αποτελέσματα των μέσων όρων μπορούν τέλος να δώσουν χρήσιμα στοιχεία για την συμπεριφορά των διαφορετικής χωρικής ανάλυσης περιοχικά περάματα σε σχέση με τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας των οποίων στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν ως οριακές συνθήκες. Αυτό καθίσταται δυνατόν μόνο για τα δεδομένα των πειραμάτων EUR-44 και EUR-11 στις περιοχές μελέτης της Ευρώπης. Για το Exeter, η αλλαγή στη μέση κατακρήμνιση μεταξύ των EUR-44 και EUR-11 παρουσιάζεται αρκετά παρόμοια για το RCP26, ενώ διαφοροποιείται ελαφρώς για τα RCP45 και RCP85. Για την περιοχή του Πλατύ που προβλέπονται μεγαλύτερες αλλαγές στη μέση κατακρήμνιση, οι αλλαγές στα δύο αυτά πειράματα είναι παρόμοιες. Στη θερμοκρασία, τα αποτελέσματα για την αύξηση αυτής όπως αυτά ελήφθησαν από τα διαφορετικής χωρικής ανάλυσης πειράματα EUR-44 και EUR-11 για τις τρεις μελλοντικές περιόδους είναι παρόμοια, ή αρκετές φορές ίδια. Η ομοιότητα σε πολλές περιπτώσεις στην αλλαγή των μέσων όρων μεταξύ των διαφορετικής ανάλυσης Euro-CORDEX πειραμάτων, είναι αναμενόμενη. Τα υψηλότερης χωρικής ανάλυσης περιοχικά πειράματα αναμένεται να προσφέρουν βελτίωση στην απεικόνιση φαινομένων μεγαλύτερης περιόδου επανεμφάνισης, παρά την μέση κλιματολογίας, που απ' ότι παρουσιάστηκε στον *Πίνακα 18* αναπαράγεται σε ένα βαθμό και από τα γενικής κυκλοφορίας μοντέλα (βλ. αλλαγή στη μέση θερμοκρασία στις περιοχές μελέτης της Ευρώπης).

Για τα κλιματικά πειράματα που αξιολογήθηκαν ως αυτά που περιγράφουν καλύτερα την κλιματολογία της ιστορικής περιόδου, απεικονίσθηκε η συμμεταβολή των παραμέτρων κατακρήμνισης και θερμοκρασίας σε τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011 – 2040, 2041-2070 και 2071-2100, σε σχέση με την ιστορική περίοδο 1971-2000. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι ετήσιοι όροι των πειραμάτων EUR-44 και EUR-11 για τις περιοχές μελέτης των Exeter, Πλατύ αντίστοιχα. Για τις περιοχές μελέτης της Βορείου Αμερικής, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα και των δύο περιοχικών κλιματικών NAM-44 και NARCCAP, καθώς το πρώτο παρέχει προσομοίωση και για τις τρεις μελλοντικές περιόδους που εξετάζονται προερχόμενη από ένα κλιματικό

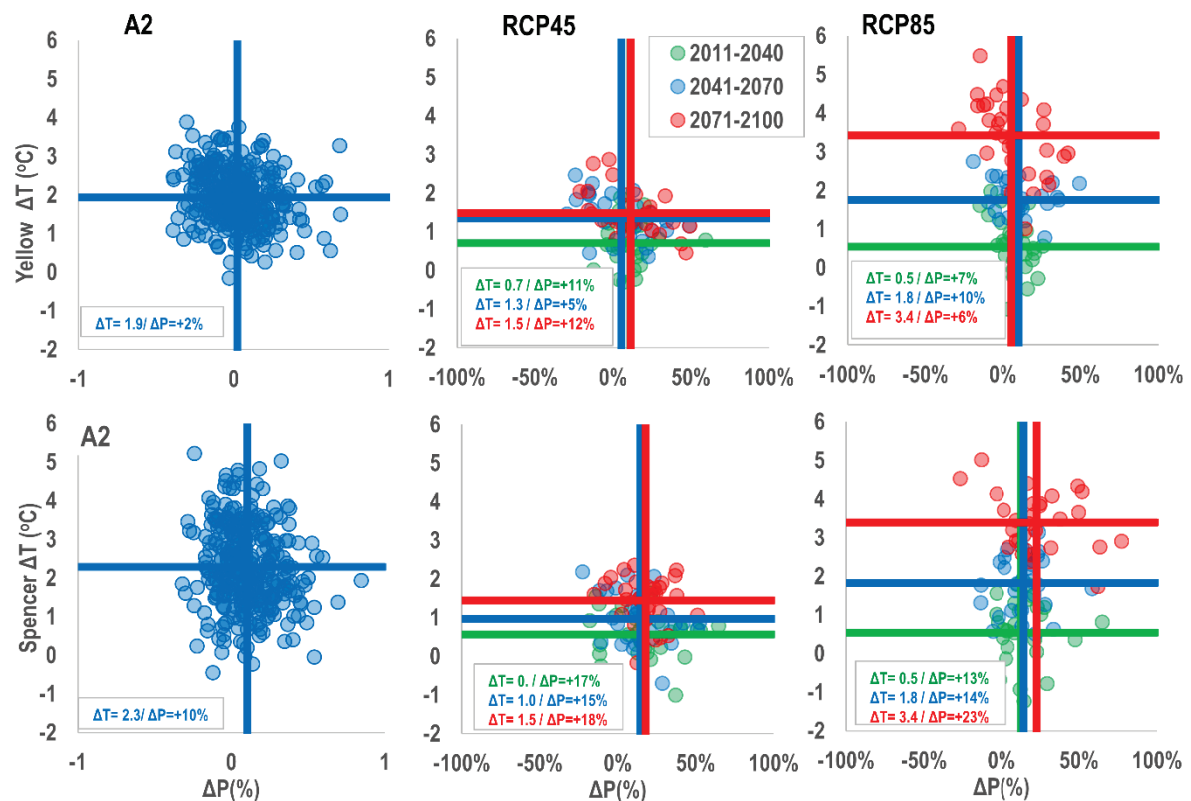
μοντέλο, ενώ αντίθετα τα αποτελέσματα του δεύτερου προέρχονται από 11 διαφορετικές προσομοιώσεις, για μία μόνο μελλοντική περίοδο.



Εικόνα 43: Ετήσια συμμεταβολή κατακρήμνισης και θερμοκρασίας για την περιοχή του Exeter (πάνω) σύμφωνα με το EUR-44, και για τον Πλατύ σύμφωνα με το EUR-11, για τα τρία κλιματικά σενάρια RCP26 RCP45 και RCP85 για τις τρεις μελλοντικές περιόδους 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100

Στις Εικόνα 43 και Εικόνα 44 κάθε σημείο αντιπροσωπεύει το ζεύγος αλλαγής στη θερμοκρασία ($\Delta T^{\circ}\text{C}$) και τη κατακρήμνιση ($\Delta P\%$) για ένα έτος. Οι τρεις μελλοντικές περιόδους διακρίνονται με διαφορετικά χρώματα. Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι παρόμοια με την συζήτηση που έγινε στα αποτελέσματα του Πίνακα 18. Γίνεται ευκρινέστερη δε, η αλλαγή που επιφέρεται στις δύο συνισταμένες του κλίματος στα διαφορετικά σενάρια για τις διαφορετικές μελλοντικές περιόδους. Έτσι, για τις περιοχές μελέτης της Ευρώπης, παρατηρείται η κλιμάκωση στην αλλαγή της θερμοκρασίας τόσο στο RCP45 όσο και στο RCP85, με τη μέση αύξηση στη θερμοκρασία κατά το 2071-2100 του πρώτου να αντιστοιχεί στην μέση αύξηση στη θερμοκρασία κατά το

2041-2070 του δευτέρου (Εικόνα 43). Αυτή η παρατήρηση ισχύει και για τις περιοχές στη Βόρεια Αμερική, με τη διαφορά ότι η μέση αύξηση στη θερμοκρασία το 2041-2070 κατά το RCP85 είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αύξηση της περιόδου 2071-2100 κατά το RCP45. Να σημειωθεί ότι η αλλαγή στη μέση αύξηση της θερμοκρασίας κατά το RCP45 παρατηρείται να επιβραδύνεται μόνο στην περιοχή του Yellow.

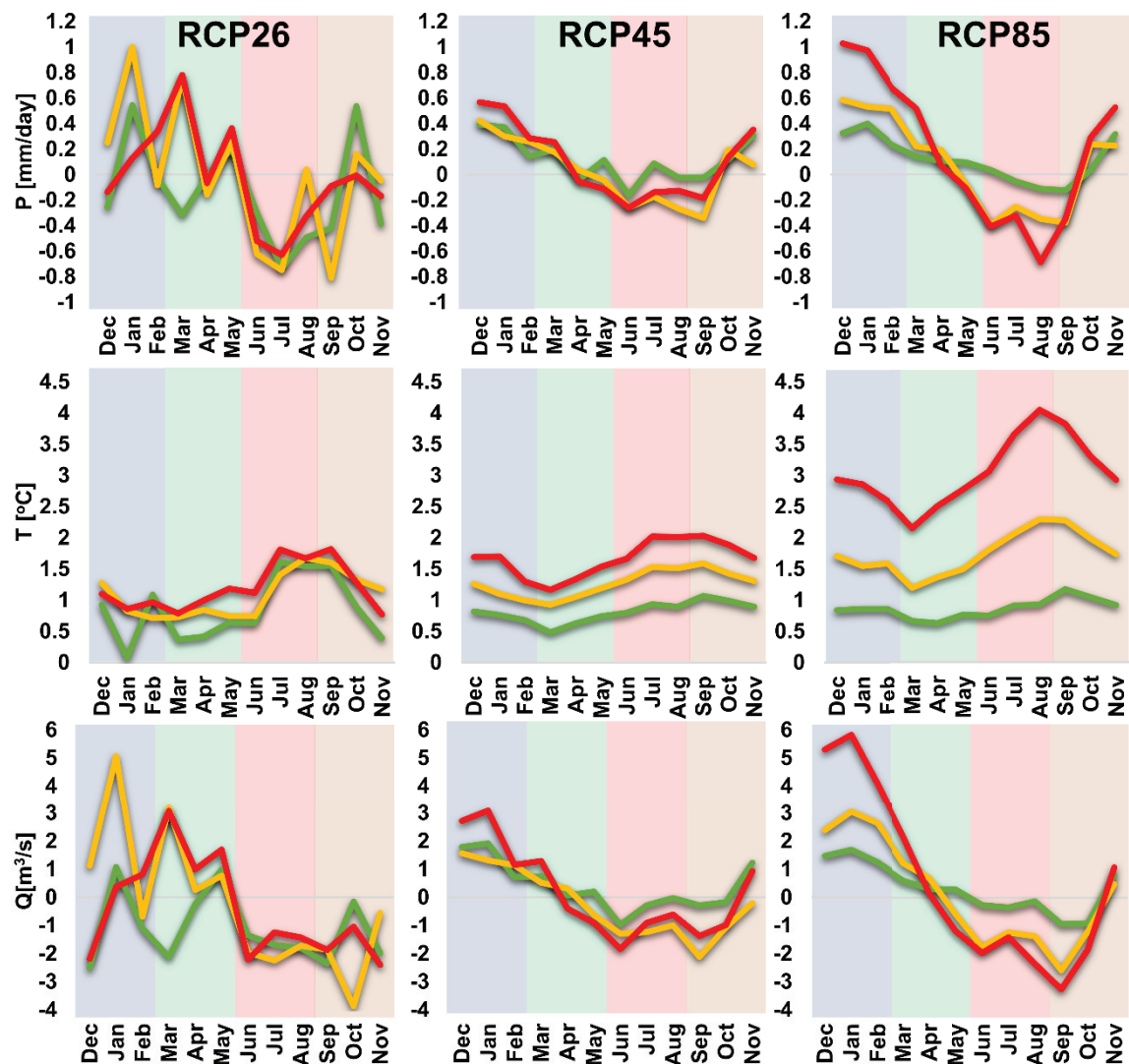


Εικόνα 44: Ετήσια συμμεταβολή κατακρήμνισης και θερμοκρασίας για την περιοχή του Yellow (πάνω), και για το Spencer Creek σύμφωνα με τα κλιματικά πειράματα NARCCAP και NAM-44, για τα τρία κλιματικά σενάρια A2 RCP45 και RCP85, για τις τρεις μελλοντικές περιόδους 2011-2040, 2041-2070, 2071-2100.

5.3.5 Αλλαγή στην εποχικότητα των υδρολογικών παραμέτρων σε μελλοντικές περιόδους.

Για την ανάλυση της αλλαγής στην εποχικότητα των υδρολογικών παραμέτρων, μελετήθηκαν τα περιοχικά κλιματικά πειράματα που παρουσίασαν την καλύτερη συνολικά συμπεριφορά κατά την παρελθούσα περίοδο. Έτσι, εκτιμήθηκαν οι αλλαγές όπως αυτές προβλέπονται για τρεις μελλοντικές τριακονταετίες (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) σε σχέση με το παρελθόν

(1971-2000). Αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα από τα κλιματικά πειράματα EUR-44 και EUR-11 για τις περιοχές μελέτης των Exeter και Πλατύ, αντίστοιχα. Για τις περιοχές μελέτης της Βορείου Αμερικής, αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα και των δύο περιοχικών κλιματικών NAM-44 και NARCCAP, καθώς το πρώτο έχει προσομοίωση και για τις τρεις μελλοντικές περιόδους που εξετάζονται αλλά μόνο μια προσομοίωση ανά σενάριο, ενώ αντίθετα τα αποτελέσματα του δεύτερου προέρχονται από 11 διαφορετικές προσομοιώσεις, για μία μόνο μελλοντική περίοδο.

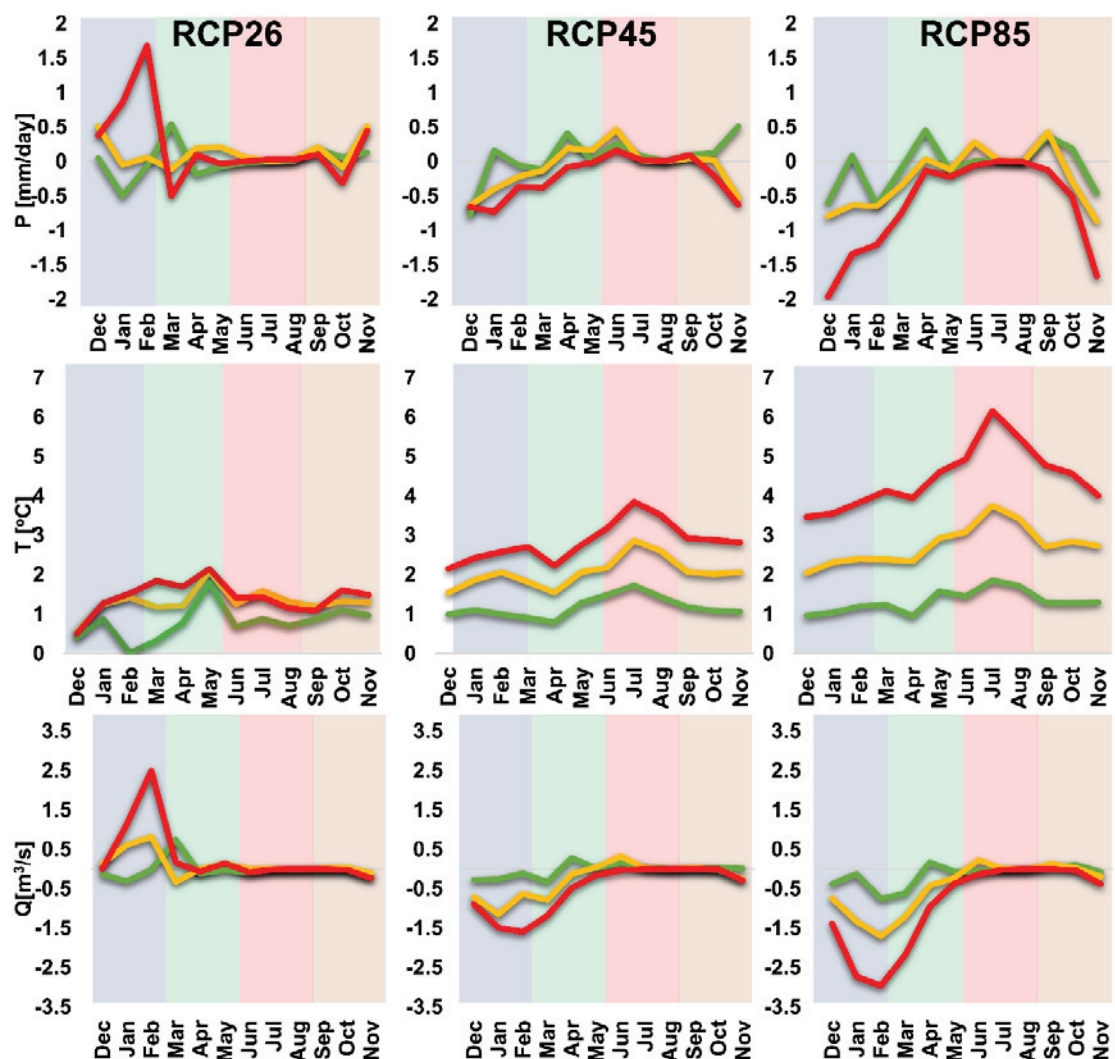


Εικόνα 45: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m³/s] για την λεκάνη απορροής του Exeter, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.

Για την περιοχή του Exeter, ενώ η υπερετήσια αλλαγή στη μέση κατακρήμνιση υπολογίστηκε σε χαμηλά επίπεδα για όλα τα σενάρια και περιόδους (μικρότερη του 5%), παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στην εποχικότητα (Εικόνα 45). Το σήμα της αλλαγής είναι καθαρότερο στα σενάρια RCP45 και RCP85, όπου ο αριθμός των προσομοιώσεων είναι μεγαλύτερος. Για το RCP26 τα αποτελέσματα καταδεικνύουν αύξηση στη μέση κατακρήμνιση κατά τους χειμερινούς μήνες και οριακή αύξηση την άνοιξη. Αντίστοιχα, το καλοκαίρι παρατηρείται μείωση στη κατακρήμνιση, ενώ το φθινόπωρο οριακή αύξηση για τις δύο περιόδους 2011-2040 και 2041-2070. Κατά την τελευταία περίοδο (2071-2100) μπορεί να ειπωθεί ότι παρατηρείται άμβλυνση των αλλαγών. Για το σενάριο RCP45 παρατηρείται σχετική σταθερότητα στο μοτίβο των αλλαγών για όλες τις μελλοντικές περιόδους. Για το σενάριο RCP85, παρατηρείται κλιμάκωση στις αλλαγές για τις τρεις μελλοντικές περιόδους, με την αύξηση στη κατακρήμνιση για τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και μείωση κατά τους καλοκαιρινούς. Για την θερμοκρασία, παρατηρείται ότι το μοτίβο είναι σταθερό για όλα τα σενάρια, με την αύξηση να είναι εντονότερη για τους μήνες Ιούλιο με Οκτώβριο. Για το RCP26, οι αυξητικές τάσεις φαίνεται να σταθεροποιούνται με το χρόνο, ενώ για τα σενάρια RCP45 και RCP85, η αύξηση είναι σταθερή κατά την πάροδο του χρόνου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το δυσμενέστερο σενάριο RCP85 προβλέπει κατά μέσο όρο αύξηση έως και 4°C για τον μήνα Αύγουστο στην περίοδο 2071-2100. Αντίστοιχα οι αλλαγές στην ετήσια κατανομή της μέσης παροχής ακολουθεί το μοτίβο στην αλλαγή της κατακρήμνισης.

Για την λεκάνη απορροής του Πλατύ (Εικόνα 46), παρατηρείται ότι για το RCP26, οι αλλαγές στη κατακρήμνιση προβλέπεται να περιοριστούν στους μήνες Νοέμβριο έως Μάρτιο, με μικρή αύξηση ή μείωση ανάλογα την εξεταζόμενη περίοδο. Σημαντική αλλαγή παρατηρείται μόνο κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο της περιόδου 2071-2100. Για το σενάριο RCP45, εκτός της περιόδου 2011-2040 όπου παρατηρείται οριακή αύξηση κατακρήμνισης, προβλέπεται μείωση στους μήνες Οκτώβριο έως Μάρτιο, όπου είναι και οι μήνες που η περιοχή του Πλατύ δέχεται την πλειονότητα του ύψους κατακρημνισμάτων. Για το RCP85 παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά με το RCP45 για το 2011-2040 και 2041-2070, ενώ στη τελευταία περίοδος μελέτης

η μείωση της κατακρήμνισης παρατηρείται μεγαλύτερη από 30-40 mm/ μήνα για τους μήνες Οκτώβριο έως Φεβρουάριο. Κατά τους θερινούς μήνες η αλλαγή είναι αμελητέα λόγω του ότι η κατακρήμνιση για τους μήνες αυτούς είναι πολύ χαμηλή. Στη θερμοκρασία, το ηπιότερο RCP26 προβλέπει μεγαλύτερη αύξηση στη θερμοκρασία κατά τους μήνες Ιανουάριο με Μάιο. Αντίθετα, τα RCP45 και 85 εστιάζουν την μεγαλύτερη αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες. Τα δύο αυτά σενάρια παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά, ενώ τα αποτελέσματα που δίνουν για την περίοδο 2011-2040 έχουν μεγάλη συνάφεια. Το RCP85 προβλέπει αύξηση έως και 6°C κατά τον μήνα Ιούλιο.

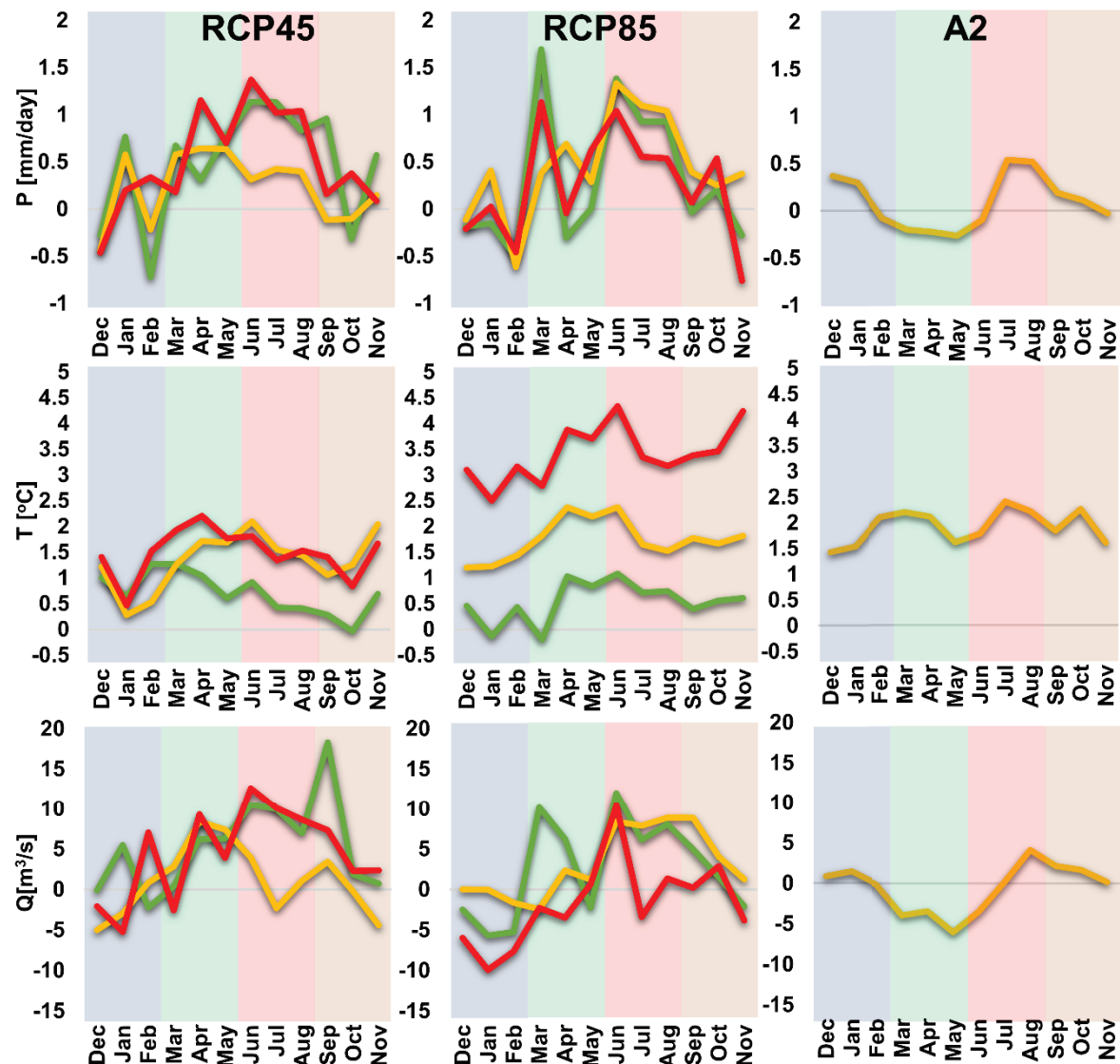


Εικόνα 46: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m³/s] για την λεκάνη απορροής του Πλατύ, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.

Για την περιοχή του Πλατύ, η τάση αλλαγής στην εποχικότητα της παροχής ακολουθεί την εποχικότητα της κατακρήμνισης με μία υστέρηση για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Να σημειωθεί πως όπως και στη κατακρήμνιση, η παροχή για τους καλοκαιρινούς μήνες δεν μεταβάλλεται γιατί είναι σχεδόν μηδενική και στην παρελθούσα περίοδο.

Στην περιοχή του Yellow, όπου η κατακρήμνιση προβλέπεται να αυξηθεί κατά το RCP45, το μοτίβο της αλλαγής είναι παρόμοιο και για τις τρεις μελλοντικές περιόδους που θεωρήθηκαν (Εικόνα 47). Κοινό σημείο είναι η αύξηση της κατακρήμνισης κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, ενώ το σήμα για το φθινόπωρο και τον χειμώνα δεν είναι μονοσήμαντο. Ανάλογα είναι και τα αποτελέσματα για το RCP85, που επίσης προβλέπει την αύξηση στην κατακρήμνιση κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, εκτός όμως τους μήνες Απρίλιο και Μάιο. Για την θερμοκρασία, το RCP45 προβλέπει αύξηση στη μέση θερμοκρασία της περιόδου 2011-2040, που θα είναι μεγαλύτερη για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο. Στις επόμενες περιόδους 2041-2070 και 2071-2100, η αύξηση στη μέση θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη κατά τους μήνες Απρίλιο με Ιούνιο. Η αύξηση κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο παραμένει σταθερή για τις τρεις θεωρούμενες περιόδους. Για το σενάριο RCP85, αρχικά προβλέπεται αύξηση στη μέση θερμοκρασία κυρίως των μηνών της άνοιξης και του καλοκαιριού. Στις επόμενες περιόδους 2041-2070 και 2071-2100 παρατηρείται το ίδιο μοτίβο αύξησης ενισχυμένο κατά 1 και έπειτα κατά 2 ακόμα βαθμούς. Η παροχή στην περίπτωση του Yellow ακολουθεί σε γενικές την συμπεριφορά της κατακρήμνισης. Το σενάριο A2 κατά το κλιματικό πείραμα του NARCCAP δίνει διαφορετικό σήμα αλλαγής για την περίοδο 2041-2070. Όπως έχει συζητηθεί, το A2 μπορεί να θεωρηθεί ενδιάμεσο των RCP45 και RCP85. Τα αποτελέσματα του δείχνουν αύξηση στη κατακρήμνιση κατά τους μήνες Δεκέμβριο- Ιανουάριο και Ιούλιο – Αύγουστο. Η αλλαγή στη μέση μηνιαία θερμοκρασία παρατηρείται να μοιάζει σε αυτή της αντίστοιχης περιόδου του RCP85, προβλέποντας όμως μεγαλύτερη αύξηση στους καλοκαιρινούς μήνες. Η παροχή για το σενάριο A2 ακολουθεί την συμπεριφορά στη κατακρήμνιση, με μείωση της κατά τους μήνες της άνοιξης καθώς και τους μήνες Ιούλιο-

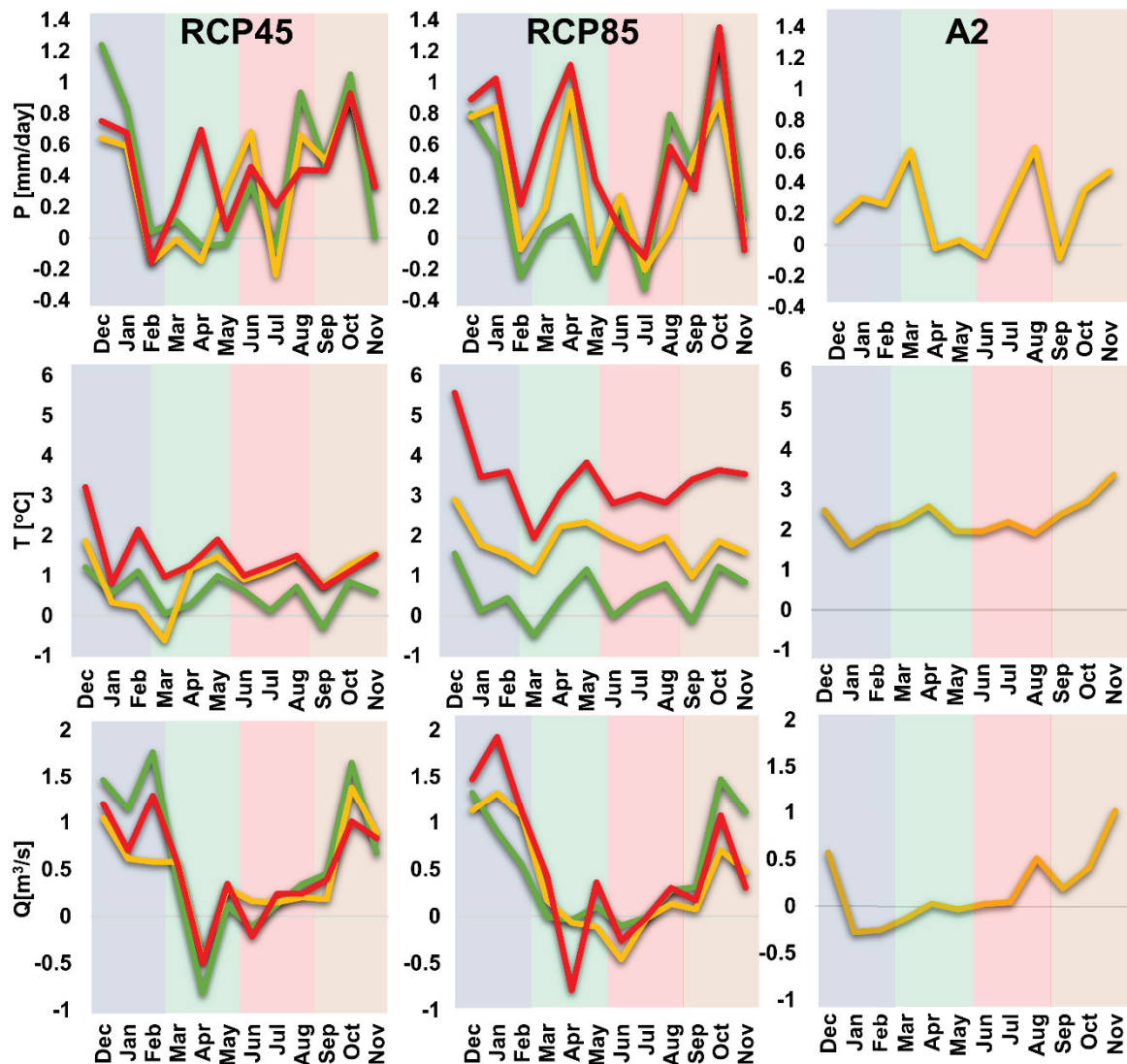
Αύγουστο, παρά την αύξηση στην κατακρήμνιση για τους δύο τελευταίους μήνες.



Εικόνα 47: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m³/s] για την λεκάνη απορροής του Yellow, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.

Στην περιοχή του Spencer Creek, το μοτίβο αλλαγής στη κατακρήμνιση δεν παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, με ελαφρώς μεγαλύτερη αλλαγή στους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες τόσο στο RCP45 όσο και το RCP85. Στην θερμοκρασία, η εντονότερη αύξηση παρατηρείται κατά τον μήνα Δεκέμβριο και Μάιο και στα δύο σενάρια, με το δεύτερο να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές

αύξησης, σταδιακά σε όλες τις περιόδους. Στο δυσμενέστερο σενάριο RCP85 η αύξηση προβλέπεται να φτάσει έως και τους 5.5 °C στο μήνα Δεκέμβριο της περιόδου 2071-2100. Η παροχή παρουσιάζει αύξηση κατά τους μήνες Οκτώβριο έως Μάρτιο και στα δύο σενάρια, ενώ στο ηπιότερο RCP45, τον μήνα Απρίλιο παρατηρείται έως και μείωση στην παροχή, και στις τρεις περιόδους μελέτης.



Εικόνα 48: Αλλαγή στην εποχικότητα των παραμέτρων κατακρήμνισης [mm/day], θερμοκρασίας [°C] και απορροής [m³/s] για την λεκάνη απορροής του Spencer, για τρεις μελλοντικές περιόδους, 2011-2040 (πράσινη γραμμή), 2041-2070 (πορτοκαλί γραμμή) και 2071-2100 (κόκκινη γραμμή) για τρία κλιματικά σενάρια. Οι διαφορές είναι υπολογισμένες σε σχέση με την περίοδο 1971-2000.

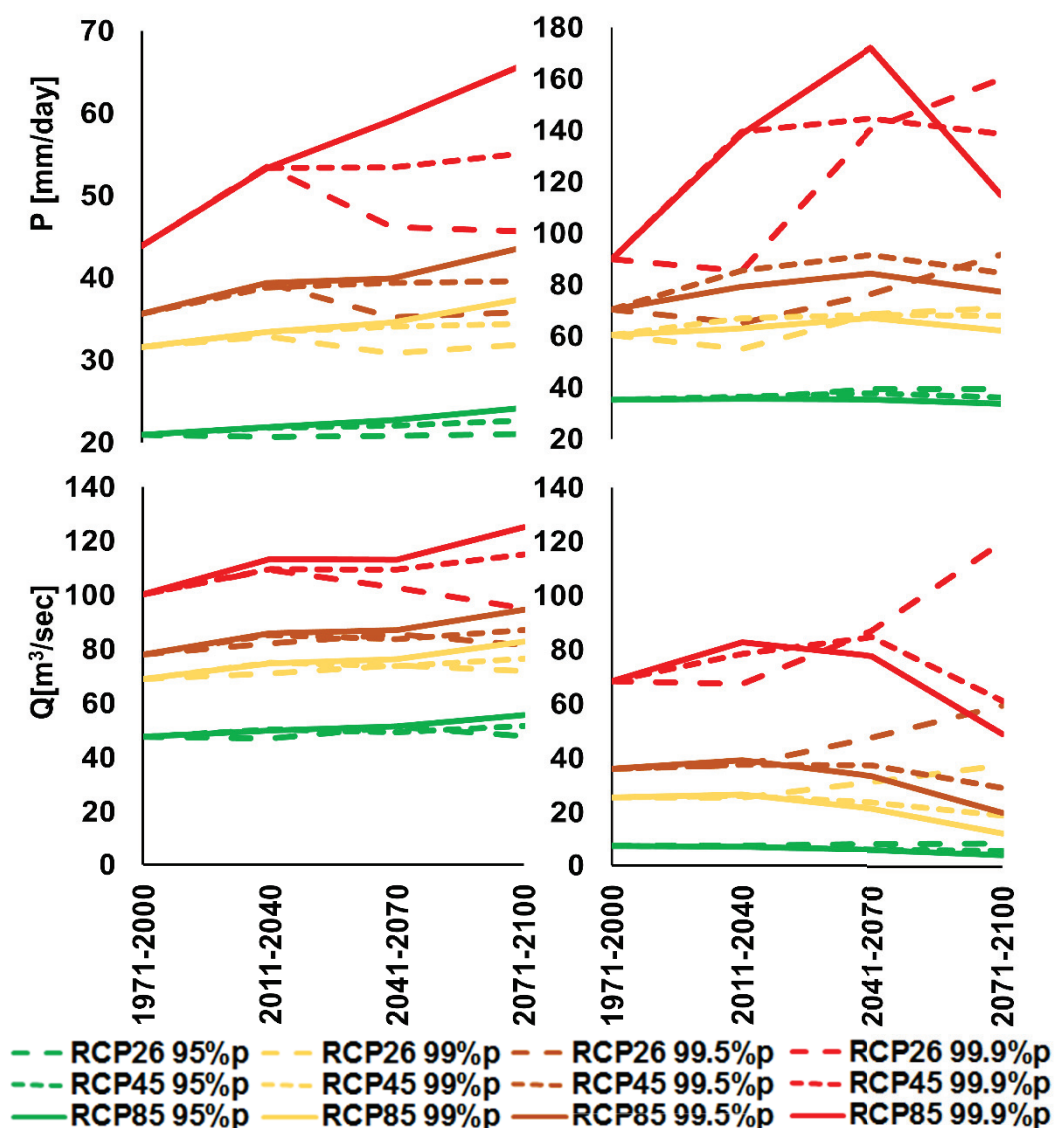
Σύμφωνα με το σενάριο A2, η μέση μηνιαία κατακρήμνιση ακολουθεί διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με αυτή που παρατηρείται στο NAM-44 με την μεγαλύτερη αύξηση να παρατηρείται κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Ιούλιο – Αύγουστο, σχεδόν αντίθετα από τη συμπεριφορά που προβλέπει το NAM-44. Στην θερμοκρασία, η αλλαγή στη μέση μηνιαία θερμοκρασία μοιάζει σε αυτή της αντίστοιχης περιόδου του RCP85, αλλά με την μεγαλύτερη ένταση να προβλέπεται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες αντί τους χειμερινούς. Στην παροχή, παρατηρείται ότι η αύξηση στην κατακρήμνιση κατά τους θερινούς και φθινοπωρινούς μήνες, αντικατοπτρίζεται στην παροχή. Αντίθετα, η αύξηση που παρατηρείται κατά τους χειμερινούς μήνες, δεν αντικατοπτρίζεται στην παροχή, η οποία παρουσιάζει δραστική μείωση. Η μείωση στην παροχή παρά την αύξηση στην κατακρήμνιση οφείλεται στην άνοδο της μέση θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες, που έχει ως αποτέλεσμα την μικρότερή κατά μέσο όρο συσσώρευση χιονιού, το οποίο κατά την παρελθούσα περίοδο εισέφερε στην παροχή των μηνών Φεβρουαρίου και Μαρτίου. Αντίστοιχα συμπεράσματα έχουν εξαχθεί κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων των Grillakis et al., (2011). Στη μελέτη τους, οι Boyer et al. (2010) παρουσίασαν επίσης παρόμοια αποτελέσματα στο καθεστώς της απορροής του ποταμού St. Lawrence, 650 km βορειοανατολικότερα του Spencer Creek.

Για τις περιοχές μελέτης Spencer Creek και Yellow, τα αποτελέσματα του πειράματος NARCCAP παρουσιάζουν μικρότερη διακύμανση στην εποχιακή μεταβολή των παραμέτρων λόγω της αυτοαναίρεσης των διακυμάνσεων μεταξύ των μηνιαίων μέσων τιμών στα αποτελέσματα των διάφορων κλιματικών μοντέλων. Έτσι, το σήμα που λαμβάνεται από το NARCCAP για την εποχιακή μεταβολή των παραμέτρων, θεωρείται πιο αξιόπιστο σε σχέση με αυτό του NAM-44.

5.3.6 Μεταβολή στις ακραίες τιμές των υδρολογικών παραμέτρων σε μελλοντικές περιόδους.

Μελετήθηκε η επίδραση της κλιματικής μεταβολής στις ακραίες τιμές στην κατακρήμνιση και στην απορροή των περιοχών μελέτης. Η θερμοκρασία δεν εξετάσθηκε καθώς αντίθετα με την κατακρήμνιση, ακραίες τιμές αυτής δεν

συνδέονται άμεσα με εκδήλωση ακραίων γεγονότων απορροής. Εκτιμήθηκαν τα ποσοστημόρια των 95%, 99% 99.5% και 99.9% στις ημερήσιες τιμές κατακρήμνισης και απορροής για τις τρεις μελλοντικές περιόδους (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) και συγκρίθηκαν με αυτές της περιόδου (1971-2000). Να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι μη μηδενικές τιμές κατακρήμνισης και απορροής στον υπολογισμό των ποσοστημορίων. Για την περιοχή του Exeter, παρατηρείται πως για το RCP26 δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη αλλαγή στο 95^ο ποσοστημόριο (95p) στις τρεις μελλοντικές περιόδους που εξετάστηκαν. Για τα 99p, 99.5p και 99.9p, ενώ κατά την πρώτη μελλοντική περίοδο 2011-2040 παρουσιάζεται άνοδος στις τιμές κατακρήμνισης, στις επόμενες περιόδους παρουσιάζεται μείωση, φτάνοντας στην 2071-2100 περίπου στις τιμές της ιστορικής περιόδου 1971-2000. Το RCP45 παρουσιάζει αρχικά αύξηση σε όλα τα εξεταζόμενα ποσοστημόρια, έως την περίοδο 2041-2070 και έπειτα σταθεροποίηση. Τέλος, το σενάριο RCP85, προβλέπει σταδιακή αύξηση στα εξεταζόμενα ποσοστημόρια για όλες τις μελλοντικές περιόδους. Η κατακρήμνιση στο 99.9p σύμφωνα με το σενάριο RCP85 προβλέπεται να αυξηθεί από τα ~45mm/day στα ~65mm/day. Για την παροχή, παρατηρείται ότι ενώ ακολουθεί την τάση αλλαγής στην κατακρήμνιση. Ωστόσο δεν είναι τόσο ευαίσθητη στην αλλαγή, ειδικότερα στα μεγαλύτερα ποσοστημόρια, λόγω του ότι τα ακραία γεγονότα απορροής εξαρτώνται κατά μεγάλο βαθμό από το επίπεδο στην αρχική υγρασία εδάφους. Έτσι, ένα έντονο γεγονός έντονης κατακρήμνισης δεν συνεπάγεται αντίστοιχης ραγδαιότητας απορροή αν η εδαφική υγρασία είναι χαμηλή. Για την περιοχή του Exeter, ένα έντονο γεγονός κατακρήμνισης μπορεί να προκαλέσει συσσώρευση χιονιού, το οποίο υπό προϋποθέσεις μόνο θα δώσει καθυστερημένη έντονη απορροή.



Εικόνα 49: Αλλαγή στα ανώτερα ποσοστημόρια της κατακρήμνισης και της απορροής για τις περιοχές μελέτης του Exeter (αριστερά) και του Πλατύ (δεξιά).

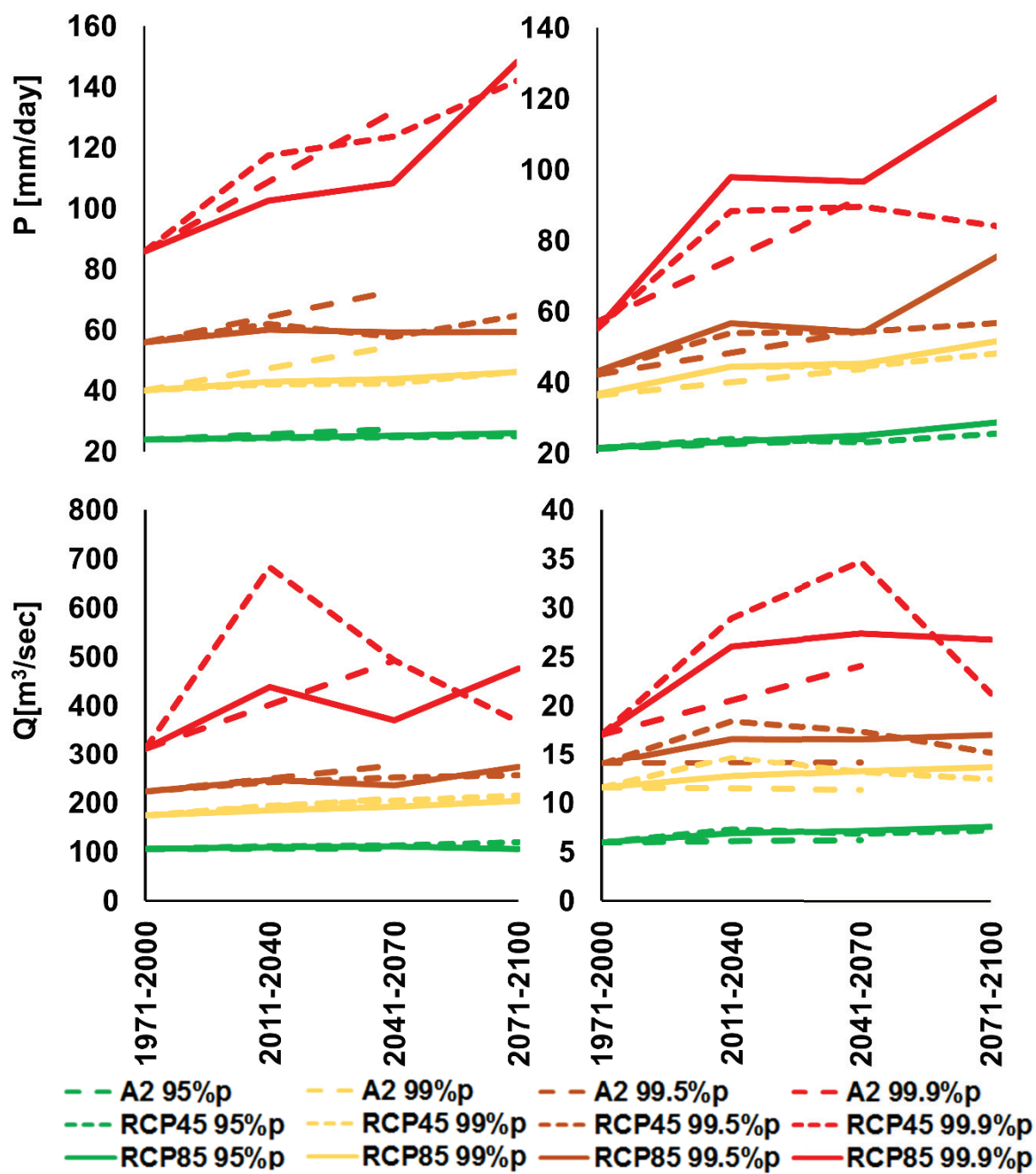
Για την περιοχή του Πλατύ, το 95p και 99p κατακρήμνισης προβλέπεται να μεταβληθούν ελαφρώς στα εξεταζόμενα κλιματικά σενάρια. Τα 99.5p και 99.9p, φαίνεται αρχικά να μειώνονται κατά το RCP26 στην περίοδο 2011-2040, ενώ στις επόμενες δύο περιόδους αυξάνονται ελαφρώς. Στα RCP45 και RCP85, αντίθετα, τα δύο μεγαλύτερα ποσοστημόρια αρχικά φαίνεται να αυξάνονται έως και την περίοδο 2040-2071 ενώ μετά ακολουθεί πτώση, η οποία στην περίπτωση του 99.9p κατά το RCP85 είναι σημαντική. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της παροχής για την περιοχή του Πλατύ, ελάχιστα ακολουθούν τις αυξήσεις στις τιμές των ποσοστημορίων της κατακρήμνισης που

εξετάσθηκαν. Βασικός λόγος στην περίπτωση του Πλατύ είναι η μείωση στα ετήσια ύψη κατακρήμνισης και η έντονη αύξηση στη μέση θερμοκρασία, που οδηγεί σε κατά μέσο όρο χαμηλά επίπεδα υγρασίας το έδαφος. Έτσι, την περίοδο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου όπου σημειώνονται στην περιοχή του Πλατύ τα μέγιστα ύψη κατακρήμνισης (Koutroulis et al., 2010), είναι πιθανότερο το έδαφος να βρίσκεται σε κατά μέσο όρο χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο.

Για την περιοχή μελέτης του Yellow μελετήθηκε η αλλαγή στα ανώτερα ποσοστημόρια για τα σενάρια RCP45 και RCP85, όπως και για το ενδιάμεσο A2. Όπως και στη περιοχή του Exeter, σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια προβλέπεται να μεταβληθούν ελαφρώς θετικά τα 95^ο ποσοστημόριο, ενώ για τα 99p και 99.5p μόνο το A2 προβλέπει αξιοσημείωτη αύξηση για τη περίοδο 2041-2070. Στο 99.9^ο ποσοστημόριο, για τις περιόδους 2011-2040 και 2041-2070, το RCP45 προβλέπει μεγαλύτερη αύξηση από το RCP85 (~45% σε σύγκριση με 25%). Το A2 επιβεβαιώνει παρόμοια αύξηση στο 2041-2070. Στην τελευταία περίοδο μελέτης, τα RCP45 και RCP85 δίνουν παρόμοια αύξηση στο 99.9p, που σε σύγκριση με την περίοδο 1973-2000, φτάνει το 65%. Οι αλλαγές στα 95p, 99p και 99.5p ποσοστημόρια της κατακρήμνισης παρατηρείται να επηρεάσουν αντίστοιχα την παροχή ίδιας έντασης. Παρατηρείται δε, στο 99.9p ότι η αλλαγή στη κατακρήμνιση κατά την πρώτη περίοδο του RCP45 (~45%) προβλέπεται να επιφέρει αλλαγή της τάξης του 100% στη παροχή. Στη δεύτερη περίοδο 2041-2070, η παροχή του 99.9p μειώνεται φτάνοντας την πρόβλεψη στην παροχή για το A2, ενώ στην τελευταία περίοδο μειώνεται περεταίρω, φτάνοντας στα επίπεδα της ιστορικής περιόδου. Μόνο στην τελευταία περίοδο μελέτης η 99.9p παροχή του RCP85 ξεπερνάει αυτή των άλλων σεναρίων.

Στην περιοχή του Spencer Creek, τα 95p και 99p προβλέπουν ήπια αύξηση σε όλα τα σενάρια και περιόδους, ενώ στο 99.5p, μόνο το RCP85 προβλέπει αξιοσημείωτη αύξηση κατά την περίοδο 2071-2100. Στο 99.9p, το RCP45 και RCP85 παρουσιάζουν αύξηση της τάξης του ~50% και ~60% αντίστοιχα στην περίοδο 2011-2040 και έπειτα σταθεροποίηση στα ίδια ποσοστά στη περίοδο 2041-2070. Το A2 και στην περίπτωση του Spencer Creek δίνει παρόμοια αποτελέσματα με το RCP45. Στην τελευταία περίοδο, το RCP45 δίνει ελαφριά μείωση σε σχέση με την περίοδο 2041-2070, ενώ αντίθετα κατά το RCP85, η

99.9p κατακρήμνιση εντείνεται περεταίρω. Στην παροχή, όλα τα εξεταζόμενα σενάρια ακολουθούν για τα 95p, 99p και 99.5p μία μικρή αύξηση σε όλες τις περιόδους, ενώ στο 99.9^ο ποσοστημόριο, ενώ τα RCP45 και RCP85 δίνουν αρχικά παρόμοια αύξηση σε αυτή τη ποσοστημοριακή παροχή για το 2011-2040, στο 2041-2070 το RCP45 προβλέπει περεταίρω αύξηση, σε αντίθεση με το RCP85 που παραμένει σταθερό. Το A2 δίνει μικρότερη πρόβλεψη από τα υπόλοιπα σενάρια για την περίοδο αυτή. Τέλος, στην περίοδο 2071-2100 ενώ το 99.9p RCP85 έχει μείνει σε παρόμοια επίπεδα με τις δύο προηγούμενες περιόδους, το RCP45 μειώνει την πρόβλεψη στα επίπεδα της ιστορικής περιόδου. Η συμπεριφορά αυτή παρατηρήθηκε και στη περιοχή του Yellow, και οφείλεται τόσο στην προβλεπόμενη αύξηση στη μέση θερμοκρασία, με τις επιπτώσεις που συζητήθηκε ότι μπορεί να έχει στα ακραία γεγονότα παροχής, όσο και στο καθεστώς κατακρήμνισης όπως αυτό προβλέφθηκε από την μια προσομοίωση του NAM-44 για το RCP45 και του RCP85.



Εικόνα 50: Αλλαγή στα ανώτερα ποσοστημόρια της κατακρήμνισης και της απορροής για τις περιοχές μελέτης του Yellow (αριστερά) και του Spencer (δεξιά).

6 Συμπεράσματα

6.1 Περίληψη και βασικά συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή, δεδομένα των μεγαλύτερων και πιο σύγχρονων κλιματικών πειραμάτων που έχουν συσταθεί και διεξαχθεί στην περιοχή της Ευρώπης και της Βορείου Αμερικής χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογία τεσσάρων λεκανών απορροής. Αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος διόρθωσης των μεροληπτικών σφάλματων στα δεδομένα κατακρήμνισης, ώστε αυτά να καθίστανται χρήσιμα στη προβολή των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στην υδρολογία των περιοχών μελέτης.

Λόγω της φύσης των δεδομένων και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, οι αβεβαιότητες στα αποτελέσματα είναι υψηλή και προέρχεται από ένα πλήθος πηγών. Η αδιαμφισβήτητα μεγαλύτερη πηγή αβεβαιότητας είναι η κλιματική προσομοίωση σε επίπεδο GCM αλλά και RCM, ενώ σημαντικό ρόλο στην αβεβαιότητα των προβολών παίζουν και οι διεργασίες διόρθωσης των μεροληπτικών σφάλματων. Έπειτα η υδρολογική προσομοίωση προσφέρει με τη σειρά της αβεβαιότητα στα αποτελέσματα, αν και ένα υδρολογικό μοντέλο που προσεγγίζει καλά, έστω και εννοιολογικά, τις διεργασίες παραγωγής της απορροής, θα συνεισφέρει το λιγότερο στην αβεβαιότητα στην αλληλουχία των προσομοιώσεων. Μένοντας όμως στην κυριότερη πηγή που είναι η κλιματική προσομοίωση, πρέπει να τονιστεί ότι η ανσάμπλ των κλιματικών προβλέψεων με μικρό αριθμό μοντέλων θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με προσοχή.

Αρχικά υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με χρήση της καταγεγραμμένης θερμοκρασίας, μέσω της μεθόδου Blaney-Criddle. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα βαθμονομήθηκαν μέσω των δεδομένων της μεθόδου Penman-Monteith που θεωρείται από τις πλέον αξιόπιστες μεθόδους υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, αλλά με μεγάλη απαίτηση σε δεδομένα. Τα δεδομένα της βαθμονομημένης εξατμισοδιαπνοής εισήχθησαν έπειτα στα υδρολογικά μοντέλα, μαζί με τα δεδομένα παρατήρησης κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας. Τα υδρολογικά μοντέλα βαθμονομήθηκαν και τεκμηριώθηκαν για την ικανότητά τους να αναπαριστούν την επιφανειακή απορροή των περιοχών μελέτης σε ημερήσιο χρονικό βήμα.

Τα υδρολογικά μοντέλα των περιοχών Exeter και Yellow έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα στη βαθμονόμηση/τεκμηρίωση.

Έπειτα, δοκιμάστηκε σε παγκόσμια κλίμακα πάνω σε δεδομένα ενός GCM η μέθοδος διόρθωσης του μεροληπτικού σφάλματος στην κατακρήμνιση που αναπτύχθηκε. Βρέθηκε ότι η μεθοδολογία προσφέρει πολύ καλά αποτελέσματα στην διόρθωση σφάλματος μεροληψίας, τόσο σε όρους MAPE και S_{SCORE} στην μέση κατακρήμνιση αλλά και στο 95^ο ποσοστημόριο της. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε έπειτα στην διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας στα δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικά κλιματικά μοντέλα, υπό διαφορετικά σενάρια εκπομπών. Η μέθοδος MSBC έδειξε ότι λειτουργεί εξίσου καλά και στην περίπτωση διόρθωσης μεροληπτικού σφάλματος των δεδομένων GCM και RCM, ανεξάρτητα την πηγή των καταγεγραμμένων δεδομένων (πλέγματοποιημένα είτε σημειακά δεδομένα). Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε έπειτα στην διόρθωση των πρωτογενών κλιματικών δεδομένων κατακρήμνισης που προήλθαν από διαφορετικά κλιματικά πειράματα. Η θερμοκρασία διορθώθηκε για σφάλματα μεροληψίας με χρήση μεθόδου από την διεθνή βιβλιογραφία.

Τα δεδομένα των κλιματικών μοντέλων εισήχθησαν έπειτα στα βαθμονομημένα υδρολογικά μοντέλα στην αρχική τους μορφή, αλλά και μετά την διόρθωσή τους από σφάλματα μεροληψίας.

Επιδιώχτηκε έπειτα να ιεραρχηθούν τα κλιματικά πειράματα για την ικανότητά τους να αναπαράγουν διάφορες πτυχές του παρελθόντος κλίματος, πριν την διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων. Τα κλιματικά πειράματα με τη μεγαλύτερη ικανότητα αναπαράστασης των μεταβλητών του κλίματος, έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να αναπαράξουν με μικρότερη αβεβαιότητα τις αλλαγές στο μελλοντικό κλίμα κάτω από συνθήκες αλλαγής των δρυσών δυνάμεων. Επιπροσθέτως, όσο πιο κοντά στην ιστορική κλιματολογία βρίσκεται ένα κλιματικό πείραμα, τόσο λιγότερο θα μετασχηματιστεί από την διόρθωση σφαλμάτων μεροληψίας. Οι τελευταία, αν και είναι μονόδρομος λόγω των εγγενών προβλημάτων στα κλιματικά μοντέλα, γίνεται υπό την υπόθεση της στασιμότητας, που επιφέρει άλλη μια πηγή αβεβαιότητας στις προβολές του κλίματος. Η ικανότητα των κλιματικών πειραμάτων να αναπαράγουν την κατακρήμνιση και τη θερμοκρασία πάνω από τις τέσσερις περιοχές μελέτης

πραγματοποιήθηκε με τη χρήση τριών δεικτών απόδοσης που ο κάθε ένας περιγράφει διαφορετική πτυχή των κλιματικών δεδομένων. Ως κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν η μέση μεροληψία των πρωτογενών αποτελεσμάτων, ο δείκτης ομοιότητας των ιστογραμμάτων S_{SCORE} και ο δείκτης αναπαράστασης του ετήσιου κύκλου S . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για την λεκάνη του Exeter, το κλιματικό πείραμα που κατά μέσο όρο αναπαράγει καλύτερα την μέση κλιματολογία, είναι ο μέσος όρος των μοντέλων που συμμετέχουν στο EUR-44, ενώ στην λεκάνη απορροής του Πλατύ ως καλύτερο κλιματικό πείραμα βρέθηκε το EUR-11. Στην περιοχή του Yellow, καλύτερη περιγραφή στη κλιματολογία προσφέρει το NAM-44. Στην περιοχή του Spencer Creek, καλύτερη περιγραφή του κλίματος προφέρει το γενικής κυκλοφορίας CMIP3-NAR. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι το πιο αναμενόμενο τόσο λόγω χωρικής ανάλυσης (GCM) όσο και παλαιότητας του ως κλιματικό πείραμα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα συμπεράσματα για το NAM-44 είναι αρκετά πρώιμα στη παρούσα μελέτη καθώς το πείραμα είναι νεοσύστατο, και μόλις το έτος 2014 αρχίσαν να γίνονται διαθέσιμα τα δεδομένα του. Στη περίπτωση του Spencer Creek, όπου η αξιολόγηση των κλιματικών πειραμάτων έγινε στην περίοδο 1989-2000 όπου ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα παρατήρησης, το συμπέρασμα για το καλύτερο κλιματικό πείραμα είναι ακόμα πιο αβέβαιο. Για τους παραπάνω λόγους, κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων, ελήφθησαν υπόψη και τα αποτελέσματα του πειράματος NARCCAP για τις περιοχές Yellow και Spencer Creek, ως το ωριμότερο περιοχικό πείραμα που έχει συσταθεί για τη Βόρεια Αμερική. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η επιλογή των βαρών για την εξαγωγή της συνολικής επίδοσης των κλιματικών πειραμάτων έγινε με γνώμονα ότι και οι τρεις συνιστώσες είναι εξίσου σημαντικές στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, με τον τρόπο αυτό εισάγεται ένας παράγοντας αβεβαιότητας ου μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με ανάλυση ευαισθησίας στα τρία διαφορετικά βάρη που χρησιμοποιήθηκαν.

Επικουρικά με την ταξινόμηση των κλιματικών πειραμάτων βάσει των τριών δεικτών που περιγράφηκαν, εκτιμήθηκε και η ικανότητα τους να αναπαριστούν τις ακραίες τιμές κατακρήμνισης. Χρησιμοποιήθηκε το S_{SCORE} αλλά μόνο για τις τιμές κατακρήμνισης στο 95^ο ποσοστημόριο και άνω. Τα αποτελέσματα έδειξαν θετική συσχέτιση της χωρικής κλίμακας των προσομοιώσεων με την

ικανότητα αναπαραγωγής των υψηλών τιμών κατακρήμνισης. Δείχθηκε επίσης ότι με την διόρθωση μεροληπτικών σφαλμάτων, η ικανότητα των δεδομένων να αναπαριστούν τις μεγάλες τιμές κατακρήμνισης αυξήθηκε. Στις περιπτώσεις των περιοχών του Exeter και του Yellow που η καταγεγραμμένη κατακρήμνιση προήλθε από πλεγματοποιημένα δεδομένα, η μέθοδος MSBC διόρθωσε σε μεγαλύτερο βαθμό την μεροληψία στο 95^ο ποσοστημόριο και άνω σε σχέση του Πλατύ και του Spencer Creek όπου τα δεδομένα παρατήρησης προήλθαν από μετεωρολογικούς σταθμούς (σημειακές μετρήσεις). Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στη μεγάλη διαφορά χωρικής κλίμακας των δεδομένων. Έτσι, η μέθοδος διόρθωσης καλείται όχι μόνο να διορθώσει τις μεροληψίες στα δεδομένα του μοντέλου, αλλά και να τα καταβιβάσει σε υψηλότερη χωρική ανάλυση.

Εξετάσθηκαν στη συνέχεια οι υπερετήσιες τάσεις αλλαγής στις υδρολογικές παραμέτρους σύμφωνα με τα διαφορετικά κλιματικά σενάρια από τα οποία ελήφθησαν δεδομένα. Βρέθηκε ότι η θερμοκρασία ακολουθεί στατιστικά σημαντική αύξηση σε όλα τα εξεταζόμενα μελλοντικά σενάρια. Αντίθετα, η τάση στην αλλαγή της μέσης ετήσιας κατακρήμνισης διαφέρει ανάλογα το σενάριο και την περιοχή μελέτης. Σημαντικό ρόλο έχει η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφανειακή απορροή που δύναται να αυξήσει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή σε όλες τις περιοχές μελέτης. Έτσι, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου προβλέπεται από όλα τα κλιματικά σενάρια στατιστικά σημαντική αύξηση στη μέση βροχόπτωση (βλ. Spencer Creek), η απορροή δεν προβλέπεται να αυξηθεί σε στατιστικά σημαντικό βαθμό. Παρατηρήθηκε επίσης ότι σε κάποιες περιπτώσεις που η τάση ήταν πολύ κάτω από τη στατιστική σημαντικότητα, η διόρθωση μεροληπτικού σφάλματος προκάλεσε αλλαγή στο πρόσημο της τάσης της κατακρήμνισης (βλ. κατακρήμνιση του κλιματικού πειράματος Ensembles A1B για την περιοχή του Exeter –Πίνακας 16). Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στην απορροή σε κάποιες περιπτώσεις, λόγω της συνεργιστικής επίδρασης που έχει η αλλαγή στην κλίση της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας στις υδρολογικές διεργασίες. Το τελευταίο γεγονός αποδεικνύει ότι η χρήση δεδομένων που περιέχουν μεροληπτικά σφάλματα σε υδρολογικά μοντέλα, δίνει λανθασμένες προβολές την μελλοντικής υδρολογίας.

Η περίοδος 2011-2100 χωρίστηκε έπειτα σε τρεις 30ετίες για τις οποίες εξήχθησαν οι αλλαγές σε σχέση με την τριακονταετία 1971-2000 της ιστορικής περιόδου των προσομοιώσεων. Συμπερασματικά, στην λεκάνη του Exeter, παρατηρήθηκε πως τα σενάρια εντονότερης κλιματικής αλλαγής προσομοιώνουν μεγαλύτερη αύξηση στην μέση κατακρήμνιση, ενώ μόνο το ηπιότερο RCP26, κατέδειξε μείωση αυτής. Σε συνδυασμό με την άνοδο στη θερμοκρασία, η μελλοντική παροχή προβλέπεται να αλλάξει κατά μικρό ποσοστό, που κυμάνθηκε από -7% έως +4% στις προσομοιώσεις μη διορθωμένων και -4% έως +6% στις προσομοιώσεις των διορθωμένων κλιματικών δεδομένων. Φαίνεται δηλαδή ότι η επίπτωση της διόρθωσης σφαλμάτων μεροληψίας δεν επηρέασε σημαντικά τα αποτελέσματα της απορροής. Για την περιοχή του Πλατύ, παρατηρήθηκε πως η μέση αλλαγή στην κατακρήμνιση στις μελλοντικές περιόδους μελέτης, δεν επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από την διόρθωση σφαλμάτων μεροληψίας, εκτός της περίπτωση των Ensembles. Η συμπεριφορά αυτή εξηγείται ενδεχομένως από το ποσοστό των ημερών με ίχνη κατακρήμνισης ($P < 0.1 \text{ mm/day}$) που παρουσιάζουν σε σχέση με τα δεδομένα παρατήρησης. Αντίθετα, τα νεότερης γενιάς περιοχικά πειράματα δείχνουν μικρές αποκλίσεις. Στην θερμοκρασία, παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις μεταξύ διορθωμένων και μη μέσων όρων αλλάζει έως και 20°C , σε αντίθεση με αυτές του Exeter που παρουσίαζαν μικρές αποκλίσεις. Παρατηρώντας έπειτα τις προβλέψεις για τις μελλοντικές περιόδους, αντιλαμβάνεται κανείς ότι η περιοχή του Πλατύ, δέχονται από νωρίς τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος, που στις προσομοιώσεις των διορθωμένων δεδομένων φτάνουν και στο -65%. Για την περιοχή του Yellow, η διόρθωση δείχνει να έχει επίδραση στην μέση κατακρήμνιση σε κάποιες περιπτώσεις, ενώ μέτρια αλλαγή παρατηρείται λόγω της διόρθωσης στους μέσους όρους της θερμοκρασίας. Η συμπεριφορά της παροχής δεν είναι ξεκάθαρη, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις προβλέπεται να αυξηθεί, έως και 18% στα διορθωμένα δεδομένα, με το CMIP3-NAR μόνο να προβλέπει ραγδαία μείωση της ίδιας τάξης. Στο Spencer Creek, η διόρθωση των σφαλμάτων επέφερε σε όλες τις περιπτώσεις μεγάλη αύξηση στην αλλαγή της μέσης κατακρήμνισης, ενώ στη θερμοκρασία, υπήρξε μια μέτρια επίδραση. Το υδρολογικό αποτέλεσμα των δύο παραμέτρων προέβλεψε ότι η παροχή θα αυξηθεί σε αντίστοιχα ποσοστά της κατακρήμνισης.

Μελετήθηκε έπειτα η επικείμενη αλλαγή στην εποχικότητα στα διορθωμένα δεδομένα των περιοχικών κλιματικών πειραμάτων που αξιολογήθηκαν ως τα βέλτιστά σε κάθε περιοχή μελέτης. Εκτός των βασικών συμπερασμάτων που συζητήθηκαν εκτενώς στην αντίστοιχη παράγραφο, επαληθεύεται η υπόθεση του γιατί κλιματικά πειράματα με μικρό αριθμό μοντέλων θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή. Παρατηρείται στα διαγράμματα της εποχικότητας στα οποία συμμετέχουν περισσότερες κλιματικές προσομοιώσεις, οι εποχιακές τάσεις και η αλλαγή σε αυτές είναι αρκετά πιο ξεκάθαρες (βλ. RCP45 και RCP85 στις περιοχές Πλατύ και Exeter).

Τέλος μελετήθηκε η αλλαγή σε ακραίες τιμές της ημερήσιας κατακρήμνισης και της παροχής, πάλι για τα περιοχικά κλιματικά πειράματα που αξιολογήθηκαν ως τα βέλτιστά σε κάθε περιοχή μελέτης. Από τα αποτελέσματα στα τέσσερα ποσοστημόρια που εξετάστηκαν, μπορεί να συμπεραθεί πως η αλλαγή στο 95^ο ποσοστημόριο της κατακρήμνισης και της απορροής δεν προσφέρει πληροφορία για την αλλαγή στα ακραία γεγονότα απορροής, καθώς πίπτει περισσότερο στη σφαίρα της «μέσης» υδρολογίας, παρά συνδέεται με ακραία γεγονότα. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι σε λεκάνες απορροής με μικρή επιφάνεια, τα ακραία γεγονότα απορροής συνδέονται συνήθων με κατακρήμνιση μεγάλης έντασης σε ένα διάστημα μικρότερο της ημέρας. Έτσι, η χρονική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή, δεν είναι η πλέον κατάλληλη για ανάλυση ακραίων φαινομένων. Έτσι, δεν δύναται να δοθεί η πλήρης εικόνα της αλλαγής στον πλημμυρικό κίνδυνο που μπορεί να φέρει η εντατικοποίηση του υδρολογικού κύκλου λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Η ετερογένεια σε γεωγραφικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά (έκταση, κλίση κλπ) κρίνουν σαφώς τον αριθμό των επιλεγμένων περιοχών μελέτης περιορισμένο για να μπορούν να εξαχθούν καθολικά συμπεράσματα στο πως θα επηρεαστεί κάθε κλιματική ζώνη στις οποίες ανήκουν οι περιοχές μελέτης από τα διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής. Όμως, μέσα από την ανάλυση που έγινε, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τις βασικές αλλαγές που επίκεινται στις περιοχές αυτές, τόσο σε επίπεδο κλιματικών οδηγών, όσο και υδρολογικών χαρακτηριστικών.

Εν κατακλείδι πρέπει να τονισθεί η βελτίωση που επιφέρει στην προσομοίωση της κατακρήμνισης η αύξηση στη χωρική ανάλυση των κλιματικών μοντέλων.

Στην ανάλυση που διεξήχθη, η αύξηση στη χωρική ανάλυση αύξησε την ικανότητα αναπαράστασης της κλιματολογίας στα μοντέλα, όπως φάνηκε στην σύγκριση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων των GCMs με τα οδηγούμενα RCMs, τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των παλαιότερης και της νεότερης γενιάς κλιματικών μοντέλων, αλλά και την αύξηση στη χωρική ανάλυση των περιοχικών μοντέλων του EUROCORDEX πάνω από την περιοχή του Πλατύ. Ωστόσο, υπάρχει χώρος για περαιτέρω βελτίωση των κλιματικών μοντέλων, άρα και των κλιματικών προβλέψεων. Το κλίμα της γης ενσωματώνει διεργασίες που καλύπτουν 14 τάξεις μεγέθους στο χώρο, από την κλίμακα των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα (10^{-6}m) έως το μέγεθος της ίδιας της γης (10^8m), ενώ περίπου τόσες είναι και οι τάξεις μεγέθους του χρόνου που διέπουν τις διαφορετικές διεργασίες που συμβάλουν στο κλίμα. Η κλιματική επιστήμη έχει επιδείξει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια, όμως έχει ακόμα πολύ δρόμο να καλύψει. Σημασία όμως δεν έχει μονάχα να κάνουμε καλύτερες προβλέψεις, αλλά να τις χρησιμοποιούμε προς όφελος της ανθρωπότητας, παρά να περιμένουμε απλά να επαληθευτούν.

6.2 Καινοτόμα σημεία

Η παρούσα διδακτορική διατριβή συνεισφέρει στην βασική έρευνα πάνω στην κλιματική αλλαγή, μέσω της μεθόδου στατιστικής διόρθωσης των μεροληπτικών σφαλμάτων στην κατακρήμνιση MSBC, η οποία στηρίζεται σε καθιερωμένες μεθόδους διόρθωσης που όμως έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται στα εκάστοτε δεδομένα.

Στην εφαρμοσμένη έρευνα, συγκρίθηκαν υπό κοινό πλαίσιο και με χρήση ίδιων μεθόδων, δεδομένα από κλιματικά πειράματα διαφορετικών γενεών, καθώς επίσης και κλιματικά πειράματα διαφορετικής χωρικής ανάλυσης. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη σύγκριση των κλιματικών πειραμάτων χρησιμεύουν στην αξιολόγηση της επίδοσης αυτών σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες.

Για την επεξεργασία των δεδομένων που αναλύθηκαν στην παρούσα διατριβή, αναπτύχθηκαν μία σειρά από προγράμματα γραμμένα σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB καθώς και μία σειρά από δέσμες ενεργειών

κελύφους unix (unix shell scripts) που χρησιμοποιήθηκαν για την διαχείριση των κλιματικών δεδομένων που σε συνολικό όγκο πλησίασαν το 1TB σε μορφή Network Common Data Form.

6.3 Προτάσεις μελλοντικής έρευνας

Βασικό πεδίο βελτίωσης της παρούσας έρευνας είναι ο αριθμός των κλιματικών προσομοιώσεων του NAM-44 με στόχο την βελτίωση των προβλέψεων πάνω από τις περιοχές μελέτης της Βορείου Αμερικής. Δεδομένου ότι το NA-CORDEX είναι σχετικά νέο πείραμα, αναμένεται σύντομα να εμπλουτιστεί με νέες προσομοιώσεις.

Δεύτερο σημαντικότερο πεδίο βελτίωσης είναι η εξέλιξη της μεθόδου MSBC με έμφαση την πρόβλεψη της μη στασιμότητας του κλίματος. Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί με χρήση προγνωστικών παραγόντων στην επιλογή των παραμέτρων βαθμονόμησης της μεθόδου.

Ο αριθμός των εξεταζόμενων λεκανών απορροής μπορεί να γίνει μεγαλύτερος, ώστε τα αποτελέσματα των υδρολογικών προσομοιώσεων να αντιπροσωπεύουν περισσότερο την μέση υδρολογία των περιοχών μελέτης.

Όπως και τα κλιματικά, θα πρέπει οι προσομοιώσεις να διεξαχθούν με περισσότερα του ενός υδρολογικά μοντέλα με στόχο την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας που υπεισέρχεται στα αποτελέσματα από την υδρολογική προσομοίωση.

Ευχαριστίες

"We acknowledge the modeling groups, the Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) and the WCRP's Working Group on Coupled Modelling (WGCM) for their roles in making available the WCRP CMIP3 multi-model dataset. Support of this dataset is provided by the Office of Science, U.S. Department of Energy."

We acknowledge the E-OBS dataset from the EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) and the data providers in the ECA&D project (<http://www.ecad.eu>)"

"We wish to thank the North American Regional Climate Change Assessment Program (NARCCAP) for providing the data used in this paper. NARCCAP is funded by the National Science Foundation (NSF), the U.S. Department of Energy (DoE), the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), and the U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development (EPA)."

7 Βιβλιογραφία

- Allen G. Richard, Pruitt O. William, Members ASCE 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* Vol. 117, No. 5.: 758-773.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M.: Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- Allen, R.G., Pruitt, W.O., (1986). Rational use of the FAO Blaney-Criddle Formula. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 112, No. 2, May 1986, 139-155. doi 10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:2(139).
- Ankersen T., 2010. The Blackwater River Watershed – A technical report.
http://waterinstitute.ufl.edu/WorkingGroups/CEWM/ConservationClinic/downloads/Blackwater_River_Watershed-Technical_Report_Final.pdf
- Arora, V. K., et al., 2009: The Effect of Terrestrial Photosynthesis Down Regulation on the Twentieth-Century Carbon Budget Simulated with the CCCma Earth System Model. *Journal of Climate*, 22, 6066-6088.
- Arora, V. K., et al., 2011: Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. *Geophysical Research Letters*, 38, L05805.
- Assessment Program dataset, National Center for Atmospheric Research Earth System Grid data portal, Boulder, CO. Data downloaded 2013-11-14. [doi:10.5065/D6RN35ST]
- Aumont, O., E. Maier-Reimer, S. Blain, and P. Monfray, 2003: An ecosystem model of the global ocean including Fe, Si, P colimitations. *Global Biogeochemical Cycles*, 17, 1060.
- Aumont, O., L. Bopp, 2006: Globalizing results from ocean in situ iron fertilization studies. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, Gb2017.
- Balsamo, G., P. Viterbo, A. Beljaars, B. van den Hurk, M. Hirschi, A. K. Betts, and K. Scipal, 2009: A Revised Hydrology for the ECMWF Model: Verification from Field Site to Terrestrial Water Storage and Impact in the Integrated Forecast System. *Journal of Hydrometeorology*, 10, 623-643.
- Beal D. (2007), Information Criteria Methods in SAS® for Multiple Linear Regression Models. SESUG Proceedings (c) SESUG, Inc (<http://www.sesug.org>)
- Beck, C., J. Grieser, B. Rudolf, 2005: A New Monthly Precipitation Climatology for the Global Land Areas for the Period 1951 to 2000. – Climate status report 2004, 181–190, German Weather Service, Offenbach, Germany. Reprint available at <http://gpcc.dwd.de>.
- Bellouin, N., J. Rae, A. Jones, C. Johnson, J. Haywood, and O. Boucher, 2011: Aerosol forcing in the Climate Model Intercomparison Project (CMIP5) simulations by HadGEM2-ES and the role of ammonium nitrate. *Journal of Geophysical Research*, 116, 1-25.
- Bellouin, N., O. Boucher, J. Haywood, C. Johnson, A. Jones, J. Rae, and S. Woodward, 2007: Improved representation of aerosols for HadGEM2. Hadley Centre technical note.
- Beniston, M., Stephenson, D.B., Christensen, O.B., Ferro, C.A.T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylha, K., Koffi, B., Palutikof, J., Scholl, R., Semmler, T., Woith, K., (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81, 71–95.
- Bergstrom, S., (1995). The HBV model. In: V.P. Singh (Ed.). *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO, USA. ISBN No: 0-918334-91-8.
- Bergstrom, S., Carlsson, B., Grahn, G., and Johansson, B. (1997). A more consistent approach to catchment response in the HBV model, *Vannet i Norden*, No. 4.

- Biagorria, G. A., et al., Assessing uncertainties in crop model simulations using daily bias-corrected Regional Circulation Model outputs. *Clim. Res.*, 34 (3): 211-222, 2007
- Blaney, H. F. and Criddle, W. D.: Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, Washington, USA, 48, 1950.
- Blaney, H.F. and W.D. Criddle, 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil cons. Serv. SCS-TP 96:44.
- Blaney, H.F. and W.D. Criddle, 1962. Determining consumptive use and irrigation water requirements. USDA Tech Bull. 1275:59.
- Block, P., F. Filho, L. Sun, and H. Kwon (2009), A streamflow forecasting framework using multiple climate and hydrological models, *Journal of the American Water Association*, 45: 828-843. DOI:10.1111/j.1752-1688.2009.00327.x.
- Bloschl, G., Reszler, C., Komma, J., (2007). A spatially distributed flash flood forecasting model. *Environmental Modeling and Software* 23 (2008) 464 – 478.
- Boberg, F., Christensen, J.H., 2012. Overestimation of Mediterranean summer temperature projections due to model deficiencies. *Nature Climate Change*, 2(6), pp.433–436. Available at: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nclimate1454>.
- Bohm U, Kucken M, Ahrens W, Block A, Hauffe D, Keuler K, Rockel B, Will A (2006) CLM—the climate version of LM: brief description and long-term applications. *COSMO Newsletter* 6.
- Boyer, C., Chaumont, D., Chartier, I., and Roy, A.G., (2010). Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries, *Journal of Hydrology* 384, 65–83.
- Burnash, R. J. C., (1995). The NWS River Forecast System-catchment modeling. In: Singh, V. P. (Ed.). *Computer Models of Watershed Hydrology*, 311-366.
- Burnash, R.J.C., R.L. Ferral, and McGuire, R.A., (1973). A Generalized Streamflow Simulation System-Conceptual Modeling for Digital Computers, U.S. Department of Commerce, National Weather Service and State of California, Dept. of Water Resources, pp 204.
- Cariolle, D., and H. Teyssedre, 2007: A revised linear ozone photochemistry parameterization for use in transport and general circulation models: multi-annual simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 2183-2196.
- Christensen JH, Christensen OB, Lopez P, van Meijgaard E, Botzet M (1996) The HIRHAM4 regional atmospheric climate model. Scientific report DMI, Copenhagen, Report 96-4
- Christensen, J.H., & Christensen, O. B. (2003). Climate Modelling: Severe summertime flooding in Europe. *Nature*. 421, 805-806, doi:10.1038/421805a
- Christian, J. R., et al., 2010: The global carbon cycle in the Canadian Earth system model (CanESM1): Preindustrial control simulation. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 115, G03014.
- Collins M, Booth BBB, Harris GR, Murphy JM, Sexton DMH, Webb MJ (2006) Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Clim Dyn* 27:127–147. doi:10.1007/s00382-006-0121-0
- Collins, W. J., et al., 2008: Evaluation of the HadGEM2 model. Hadley Centre technical note.
- Collins, W.D., C.M. Bitz, M.L. Blackmon, G.B. Bonan, C.S. Bretherton, J.A. Carton, P. Chang, S.C. Doney, J.J. Hack, T.B. Henderson, J.T. Kiehl, W.G. Large, D.S. McKenna, B.D. Santer, and R.D. Smith, 2006. "The Community Climate System Model Version 3 (CCSM3)," *J. Climate*, 19(11):2122-2143.
- Coulibaly, P., (2009). Multi-model approach to hydrologic impact of climate change. From Headwaters to the Ocean. CRC Press 2009, pp. 249–255. doi: 10.1201/9780203882849.ch37
- Cox, P. M., R. A. Betts, C. B. Bunton, R. L. H. Essery, P. R. Rowntree, and J. Smith, 1999: The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity. *Climate Dynamics*, 15, 183-203.

- Croft, B., U. Lohmann, and K. von Salzen, 2005: Black carbon ageing in the Canadian Centre for Climate modelling and analysis atmospheric general circulation model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 1931-1949.
- daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid south United States. *J. of Applied Engineering in Agriculture American Society of Agricultural Engineers (ASCE)*: ISSN 088378542: Vol. 21(2): 197-202
- Davies, T., M. J. P. Cullen, A. J. Malcolm, M. H. Mawson, A. Staniforth, A. A. White, and N. Wood, 2005: A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131, 1759-1782.
- Delworth, T. L., et al., 2006: GFDL's CM2 global coupled climate models. Part I: Formulation and simulation characteristics. *Journal of Climate*, 19, 643-674.
- Deque, M. (2007), Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values, *Global Planet. Change*, 57: 16-26, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.030.
- Deque, M., C. Dreveton, A. Braun, and D. Cariolle, 1994: The ARPEGE/IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics*, 10, 249-266.
- Dibike, Y. B., Coulibaly, P., (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 307(1-4), 145-163.
- Dibike, Y. B., Coulibaly, P., (2007). Validation of hydrological models for climate scenario simulation: the case of Saguenay watershed in Quebec. *Hydrological Processes*, 21, 3123-3135
- Dickinson RE, Errico RM, Giorgi F, Bates GT. A regional climate model for western United States. *Clim Change* 1989, 15:383-422.
- Donner, L. J., et al., 2011: The Dynamical Core, Physical Parameterizations, and Basic Simulation Characteristics of the Atmospheric Component AM3 of the GFDL Global Coupled Model CM3. *Journal of Climate*, 24, 3484-3519.
- Doorenbos J., W.O. Pruitt, 1977, Guidelines for predicting crop water requirements, FAO-ONU, Rome, Irrigation and Drainage Paper no. 24 (rev.), 144 pp.
- Dufresne, J.-L., et al., 2012: Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-012-1636-1.
- Dunne, J. P., et al., 2013: GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth System Models Part II: Carbon system formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of Climate*, 25, 6646-6665. doi:10.1175/JCLI-D-12-00150.1.
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (2000). Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289:2068-2074
- Engen-Skaugen, T. (2007), Refinement of dynamically downscaled precipitation and temperature scenarios, *Climatic Change*, 84: 365-382. DOI:10.1007/s10584-007-9251-6.
- ENSEMBLES Deliverable D3.2.2: RCM-specific weights based on their ability to simulate the present climate, calibrated for the ERA40-based simulations, available at: www.ensembleu.org (last access: 20 February 2011), 2011.
- Essery, R. L. H., M. J. Best, R. A. Betts, P. M. Cox, and C. M. Taylor, 2003: Explicit representation of subgrid heterogeneity in a GCM land surface scheme. *Journal of Hydrometeorology*, 4, 530-543.
- Farda A, Stepanek P, Halenka T, Skalak P, Belda M (2007) Model ALADIN in climate mode forced with ERA-40 reanalysis (coarse resolution experiment). *Meteorol J* 10:123-130
- Feddersen H., and U. Andersen, A method for statistical downscaling of seasonal ensemble predictions. *Tellus*, 57A, 398-408, 2005

- Fichefet, T., and M. A. M. Maqueda (1997), Sensitivity of a global sea ice model to the treatment of ice thermodynamics and dynamics. *J. Geophys. Res.*, 102(12): 609-646.
- Fichefet, T., and M. A. M. Maqueda, 1999: Modelling the influence of snow accumulation and snow-ice formation on the seasonal cycle of the Antarctic sea-ice cover. *Climate Dynamics*, 15, 251-268.
- Flato, G.M., (2005). The third generation coupled global climate model (CGCM3). <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/models/cgcm3.shtml>
- Fooladmand HR, Ahmadi SH (2009). Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ETo in south of Iran. *Irrig. Drain.*, 58: 234-245.
- Forbes, K.A., Kienzie S.W., Coburn, C.A., Byrne, J.M., and Rasmussen J., (2010). Simulating the hydrological response to predicted climate change on a watershed in southern Alberta, Canada, *Climatic Change*, doi10.1007/s10584-010-9890-x.
- Fowler, H., S. Blenkinsop, and C. Tebaldi (2007), Linking climate change modelling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *Int. J. Climatol.*, 27: 1547–1578. DOI:10.1002/joc.1556.
- GFDL GAMDT (The GFDL Global Model Development Team), (2004). The new GFDL global atmospheric and land model AM2-LM2: Evaluation with prescribed SST simulations. *J. Climate* 17:4641-4673.
- GFDL GAMDT (The GFDL Global Model Development Team), 2004: The new GFDL global atmospheric and land model AM2-LM2: Evaluation with prescribed SST simulations. *J. Climate* 17:4641-4673.
- Giorgi F, Mearns LO. Approaches to the simulation of regional climate change: A review. *Rev Geophys* 1991, 29:191–216.
- Giorgi F, Mearns LO. Introduction to special section: Regional climate modelling revisited. *J Geophys Res* 1999, 104:6335–6352.
- Giorgi F, Mearns LO. Introduction to special section: Regional climate modelling revisited. *J Geophys Res* 1999, 104:6335–6352.
- Giorgi, F. and X. Bi (2005), Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21715. DOI:10.1029/2005GL024288.
- Giorgi, F., and L. O. Mearns (1991), Approaches to the simulations of regional climate change: A review. *Rev. Geophys.*, 29:191-216. DOI:10.1029/90RG02636.
- Giorgi, F., Climate change hot-spots, *Geophys. Res. Lett.*, 33:L08707, doi:10.1029/2006GL025734, 2006.
- Giorgi, F., Regcm version 4.1 reference manual, Tech. rep., ICTP Trieste, 2011.
- Goodness C., Land care in desertification affected areas: from science towards application, Booklet series B, number 7, 2008.
- Goosse, H., and T. Fichefet (1999), Importance of ice–ocean interactions for the global ocean circulation: A model study. *J. Geophys. Res.*, 104(23): 337-355.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. C., Mitchell, J. F. B., Wood, R. A., (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16, 147-168.
- Griffies, S. M., 2009: Elements of MOM4p1. GFDL Ocean Group Tech. Rep. No. 6. NOAA/GFDL.
- Grillakis MG, Tsanis IK, Koutroulis AG, 2011. Climate change impact on the hydrology of Spencer Creek watershed in Southern Ontario, Canada. *Journal of Hydrology*, *Journal of Hydrology* ; 409:1-19. DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.06.018
- Grillakis MG, Tsanis, IK, and Koutroulis AG, 2010. Application of the HBV hydrological model in a flash flood case in Slovenia, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 2713-2725, doi:10.5194/nhess-10-2713-2010.

- Grillakis. M. G., Koutroulis A. G., Tsanis I.K, (2011). Climate change impact on Spencer Creek runoff, Ontario, Canada. *Journal of Hydrology*, 409, Issues 1-2, 1-19, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.06.018
- Groisman, P.Ya., T.R. Karl, D.R. Easterling, R.W. Knight, P.F. Jamason, K.J. Hennessy, R. Suppiah, C.M. Page, J. Wibig, K. Fortuniak, V.N. Razuvaev, A. Douglas, E. Forland, and P.M. Zhai (1999), Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change, *Climatic Change*, 42 (1999), pp. 243–283. DOI: 10.1023/A:1005432803188.
- Gudmundsson, L., J.B. Bremnes, J.E. Haugen, and T. Engen-Skaugen, (2012), Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations - a comparison of methods, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3383-3390, doi:10.5194/hess-16-3383-2012.
- Hagemann, S., C. Chen, J. O. Haerter, J. Heinke, D. Gerten, and C. Piani (2011), Impact of a Statistical Bias Correction on the Projected Hydrological Changes Obtained from Three GCMs and Two Hydrology Models. *J. Hydrometeor.*, 12:556–578. DOI: 10.1175/2011JHM1336.1.
- Halloran, P. R., 2012: Does atmospheric CO₂ seasonality play an important role in governing the air-sea flux of CO₂? *Biogeosciences*, 9, 2311-2323.
- Hansen J.W., et al., Translating forecasts into agricultural terms: advances and challenges, *Clim. Res.*, 33, 27-41, 2006
- Hanson, L.S., and Vogel, R. The probability distribution of daily rainfall in the United States. *Proc. In World Environment and Water Resources Congress Conference*. 2008.
- Hasumi, H., and S. Emori, 2004: K-1 Coupled GCM (MIROC)Description. Center for Climate System Research, University of Tokyo.
- Haugen JE, Haakensatd H (2006): Validation of HIRHAM version 2 with 50 and 25 km resolution, RegClim general technical report, no. 9, pp 159–173
- Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201
- Hazeleger, W., et al., 2012: EC-Earth V2.2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. *Climate Dynamics*, 39, 2611-2629.
- HEC-HMS User's Manual, (2009). US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Heim, Jr., R.R., (2000). Drought indices: A review, Chapter 11. In *Drought: A Global Assessment* (Donald A. Wilhite, ed.). (Routledge Hazards and Disasters Series, volume 1). Routledge: London, 159-167.
- Henson, S. A., D. Raitsos, J. P. Dunne, and A. McQuatters-Gollop, 2009: Decadal variability in biogeochemical models: Comparison with a 50-year ocean colour dataset. *Geophysical Research Letters*, 36, L21601.
- Hofstra, N., M. Haylock, M. New, P. Jones, and C. Frei (2008), Comparison of six methods for the interpolation of daily, European climate data, *J. Geophys. Res.*, 113, D21110, doi:10.1029/2008JD010100.
- Holland, M., D. Bailey, B. Briegleb, B. Light, and E. Hunke, 2012: Improved sea ice shortwave radiation physics in CCSM4: The impact of melt ponds and aerosols on arctic sea ice. *Journal of Climate*, 25, 1413-1
- Horton, P., B. Schaeffli, A. Mezghani, H. Benoit, and A. Musy (2006), Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty, *Hydrol. Process.*, 20: 2091-2109. DOI:10.1002/hyp.6197.
- Hourdin, F., et al., 2012: Impact of the LMDZ atmospheric grid configuration on the climate and sensitivity of the IPSL-CM5A coupled model. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-012-1411-3.
- Hourdin, F., I. Musat, S. Bony, P. Braconnot, F. Codron, J. L. Dufresne, L. Fairhead, M. A. Filiberti, P. Friedlingstein, J. Y. Grandpeix, G. Krinner, P. LeVan, Z. X. Li, and F. Lott (2006), The LMDZ4 general

- circulation model: Climate performance and sensitivity to parametrized physics with emphasis on tropical convection. *Climate Dyn.*, 27: 787–813. DOI: 10.1007/s00382-006-0158-0.
- HRCA. 1990. Hamilton region conservation authority-MacLaren plansearch lavalin, Volume 1—Technical Report: Canada/Ontario Flood Damage Reduction Program.
- Hunke, E. C., and W. H. Lipscomb, 2008: CICE: the Los Alamos Sea Ice Model Documentation and Software User's Manual Version 4.1. Los Alamos National Laboratory, 76.
- Huntington, T. G. (2006), Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology* 319: 83–95. DOI:10.1016/j.jhydrol.2005.07.003.
- Hurkmans, R., W. Terink, R. Uijlenhoet, P. Torfs, D. Jacob, and P. Troch (2010), Changes in streamflow dynamics in the Rhine basin under three high-resolution regional climate scenarios, *J. Climate*, 23: 679-699. DOI:10.1175/2009JCLI3066.1.
- Hydrologic Engineering Center (2000). Geospatial Hydrologic Modeling Extension (HEC-GeoHMS): User's Manual. DRAFT. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Ilyina, T., K. Six, J. Segschneider, J. Maier-Reimer, H. Li, and I. Nunez-Riboni, 2012: The global ocean biogeochemistry model HAMOCC: Model architecture and performance as component of the MPI-Earth System Model in different CMIP5 experimental realizations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, doi:10.1002/jame.20017.
- Ines, A.V.M. and J.W. Hansen (2006), Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies, *Agricultural and Forest Meteorology* 138 (2006) 44–53. DOI:10.1016/j.agrformet.2006.03.009.
- Integrated Hydrological Modelling System. Manual Version 5.10. (2006). Swedish Meteorological and Hyrdological Institute.
- IPCC 2007: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007: Technical Summary. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC SRES, 2000. Special Report on Emission Scenarios, a Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. see Nakicenovic et al., 2000).
- IPSL, 2005. The New IPSL Climate System Model: IPSL-CM4. Institut Pierre Simon Laplace des Sciences de l'Environnement Global, Paris, France, p. 73.
- Iversen, T., et al., 2013: The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M. Part 2: Climate Response and Scenario Projections *Geoscientific Model Development*, 6, 1-27.
- Jacob D (2001). A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorol Atmos Phys* 77(1–4):61–73
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. (Eds.): *Evapotranspiration and irrigation water requirements*, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70, American Society of Civil Engineers: New York. 332pp., 1990.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. Mitchell, J.F.B, 2004 Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp.

- Jungclaus J.H., M. Botzet, H. Haak, N. Keenlyside, J-J Luo, M. Latif, J. Marotzke, U. Mikolajewicz, E. Roeckner, 2006. "Ocean Circulation and Tropical Variability in the AOGCM ECHAM5/MPI-OM," *J. Climate*, 19:3952-3972.
- Kay A L, Bell V A, Blyth E M, Crooks S M, Davies H N and Reynard N. S., (2013). A hydrological perspective on evaporation: historical trends and future projections in Britain. *Journal of Water and Climate Change* 4 - 3 pp 193–208 doi:10.2166/wcc.2013.014
- Kendon, J., P. Rowell, G. Jones and E. Buonomo (2007), Robustness of future changes in local precipitation extremes, *Journal of Climate* 21(17) 4280-4297. DOI: 10.1175/2008JCLI2082.1
- Kerkhoven, E., Gan, T.Y., (2011). Unconditional uncertainties of historical and simulated river flows subjected to climate change, *Journal of Hydrology*, 396(1-2), 113-127, doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.10.042.
- Khan, M.S., Coulibaly, P., (2010). Assessing Hydrologic Impact of Climate Change with Uncertainty Estimates: Bayesian Neural Network Approach. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 482–495. doi: 10.1175/2009JHM1160.1
- Kirkevåg, K., et al., 2013: Aerosol-climate interactions in the Norwegian Earth System Model – NorESM1-M. *Geoscientific Model Development*, 6, 207-244.
- Kirono, Dewi G.C., K.J. Hennessy, F. Mpelasoka and D. Kent (2011), Approaches for generating climate change scenarios for use in drought projections - a review, CAWCR Technical Report No. 034, National Library of Australia Cataloguing-in-Publication entry, ISBN: 978-1-921826-13-9 (PDF) Electronic Resource.
- Kjellstrom E, F. Boberg, M. Castro, H. Christensen, G. Nikulin and E. Sanchez (2010), Daily and monthly temperature and precipitation statistics as performance indicators for regional climate models. *Clim Res* 44:135–150. DOI: 10.3354/cr00932
- Kjellstrom E, Barrington L, Gollvik S, Hansson U, Jones C, Samuelsson P, Rummukainen M, Ullersig A, Wille/n U, Wyser K (2005) A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3).
- Klemes, V. (1986), Operational testing of hydrological simulation models, *Hydrol. Sci. J.*, 31(1), 13– 24.
- Komuro, Y., et al., 2012: Sea-Ice in Twentieth-Century Simulations by New MIROC Coupled Models: A Comparison between Models with High Resolution and with Ice Thickness Distribution. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90A, 213-232.
- Kottek, M., J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, and F. Rubel, 2006: World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263.)
- Koutroulis A.G., Tsanis I.K., Daliakopoulos I.N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394 (1-2) , pp. 90-100.
- Koutroulis, A.G., Vrohidou, A.E.K. and Tsanis, I.K., (2010). Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the island of Crete. *Journal of Hydrometeorology* 2010. doi: 10.1175/2010JHM1252.1
- Kozanis, S., Christofides A. and Efstratiadis A., (2010). Scientific documentation of the Hydrognomon software version 4, 173 pages, Athens (in Greek).
- Krinner, G., et al., 2005: A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system. *Global Biogeochemical Cycles*, 19, GB1015.
- Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., Maurer, T., Pinskiwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., Szwed, M., (2005). Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. *Hydrological Sciences Journal* 50 (5), 797–810.
- Kundzewicz, Z.W., Radziejewski, M., Pinskiwar, I., (2006). Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research* 31, 51–58.

- Lavaysse, C., M. Vrac, P. Drobinski, M. Lengaigne and T. Vischel (2012), Statistical downscaling of the French Mediterranean climate: assessment for present and projection in an anthropogenic scenario, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 651-670, DOI:10.5194/nhess-12-651-2012.
- Lawrence, D. M., et al., 2011: Parameterization Improvements and Functional and Structural Advances in Version 4 of the Community Land Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 3, 2011MS000045.
- Lawrence, D.M., Slater A.G., (2010). The contribution of snow condition trends to future ground Climate. *Clim Dyn* (2010) 34:969–981. doi: 10.1007/s00382-009-0537-4.
- Leander, R., and T. A. Buishand (2007), Re-sampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *J Hydrol.* 332(3-4):487-496. DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.08.006
- Leander, R., T. Buishand, B. van den Hurk, and M. de Wit (2008), Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output, *J. Hydrol.*, 351: 331-343. DOI:10.1016/j.jhydrol.2007.12.020.
- Leavesley, G. H., (1994). Modeling the effects of climate change on water resources-A Review, *Climatic Change* 28, 159–177.
- Lenderik G, van der Hurk B, van Meijgaard E, van Ulden A, Cuijpers H, (2003) Simulation of present day climate in RACMO2: first results and model developments, KNMI, technical report 252:24
- Lenderink, G., A. Buishand, and W. van Deursen (2007), Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1145-1159. DOI:10.5194/hess-11-1145-2007.
- Lieke A. Melsen, Henny A.J. van Lanen, Niko Wanders, Marjolein H.J. van Huijgevoort & Graham P. Weedon, 2011. Reference evapotranspiration with radiation based and temperature-based methods – impact on hydrological drought using watch forcing data. Technical Report No. 39. EU FP6 WATCH (contract number: 036946).
- Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.) 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Lindstrom, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M., and Bergstrom, S. (1997). Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of Hydrology*. 201, 272–288.
- Lohmann, U., K. von Salzen, N. McFarlane, H. G. Leighton, and J. Feichter, 1999: Tropospheric sulfur cycle in the Canadian general circulation model. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 104, 26833-26858.
- Loukas, A., Vasiliades, L., Dalezios, N. R., (2002). Potential climate change impacts on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMA1 simulation results. *Journal of Hydrology*, 259(1-4), 163-188.
- Lu, J., G. Sun, S.G. McNulty and D.M. Amatya, A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States, *Journal of the American Water Resources Association*, 2005.
- Madec, G., 2008: NEMO ocean engine. Technical note. IPSL.
- Madec, G., P. Delecluse, M. Imbard, and C. Levy (1998), OPA version 8.1 Ocean General Circulation Model reference manual. Notes du Po le de Modelisation, No. 11, Institut Pierre-Simon Laplace, 91 pp. [Available from Laboratoire d’Oceanographie Dynamique et de Climatologie, Universite ParisVI, Paris 75252, France.]
- Maier-Reimer, E., I. Kriest, J. Segschneider, and P. Wetze, 2005: The HAMburg Ocean Carbon Cycle Model HAMOCC 5.1. Reports on Earth System Science.
- Maraun, D., et al. (2010), Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user, *Rev. Geophys.*, 48, RG3003. DOI:10.1029/2009RG000314.
- Minville, M., F. Brissette, and R. Leconte (2008), Uncertainty of the impact of

- climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology* 358(1-2):70-83.
DOI:10.1016/j.jhydrol.2008.05.033.
- Martin, G. M., et al., 2011: The HadGEM2 family of Met Office Unified Model climate configurations. *Geoscientific Model Development*, 4, 723-757.
- Matson, G. C., 1916, The Pliocene Citronelle Formation of the Gulf Coastal Plain: U.S.Geological Survey Professional Paper 98-L, p. 167-192.
- Maurer, E.P., A.W. Wood, J.C. Adam, D.P. Lettenmaier, and B. Nijssen, 2002, A Long-Term Hydrologically-Based Data Set of Land Surface Fluxes and States for the Conterminous United States, *J. Climate* 15(22), 3237-3251.
- McGregor J.L. Regional climate modelling. *Meteorol Atmos Phys* 1997, 63:105–117.
- McKee, T., Doesken, N., Kleist, J., (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Am. Met. Soc., Boston, 179–184
- McKee, T.B., Doesken, N. J., Kliest, J., (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.
- McLaren, A. J., et al., 2006: Evaluation of the sea ice simulation in a new coupled atmosphere-ocean climate model (HadGEM1). *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 111, C12014.
- McMahon TA, Peel MC, Lowe L, Srikanthan R, McVicar TR, 2012. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 9: 11829–11910 - Supplementary Material Section S5: Penman-Monteith and FAO-56 Reference Crop models.
- Mearns, L. O., W. J. Gutowski, R. Jones, L.-Y. Leung, S. McGinnis, A. M. B. Nunes, and Y. Qian: A regional climate change assessment program for North America. *EOS*, Vol. 90, No. 36, 8 September 2009, pp. 311-312.
- Mearns, L.O., et al., 2007, updated 2012. The North American Regional Climate Change Assessment Program dataset, National Center for Atmospheric Research Earth System Grid data portal, Boulder, CO. Data downloaded 2013-11-19. [doi:10.5065/D6RN35ST]
- Meehl GA, Stocker TF, Collins WD, Friedlingstein P, Gaye AT, et al. Global climate projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, et al. eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press; 2007.
- Meehl, G. A., 2007: Global climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Basis*.(Solomon et al., eds.) Cambridge University Press:Cambridge. pp. 747-845.
- Meehl, G. A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, and K. E. Taylor, 2007: The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383-1394.
- Meinshausen, M., Raper, S. C. B., and Wigley, T. M. L.: Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, *MAGICC6 – Part 1: Model description and calibration*, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 1417-1456, doi:10.5194/acp-11-1417-2011, 2011.
- Merryfield, W. J., et al., 2013: The Canadian Seasonal to Interannual Prediction System. Part I: Models and Initialization. *Monthly Weather Review*, doi:10.1175/MWR-D-12-00216.1.
- Merz, R., J. Parajka, and G. Blöschl (2009), Scale effects in conceptual hydrological modeling, *Water Resour. Res.*, 45, W09405, doi:10.1029/2009WR007872.

- Michalakes, J., S. Chen, J. Dudhia, L. Hart, J. Klemp, J. Middlecoff, and W. Skamarock (2001): Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model. Developments in Teracomputing: Proceedings of the Ninth ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and Norbert Kreitz. World Scientific, Singapore. pp. 269-276.
- Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J. C. J., Lang, H., Parmet, B. W.A.H., Schadler, B., Schulla, J., and Wilke, K., (2001). Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin, *Climatic Change* 49, 105–128.
- Milly, P. C. D., and A. B. Shmakin, 2002: Global modeling of land water and energy balances. Part I: the land dynamics (LaD) model. *Journal of Hydrometeorology*, 3, 283-299.
- Milly, P.C.D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A., and Delworth, T.L., 2002, Increasing risk of great floods in a changing climate: *Nature*, 415, 514-517, doi:10.1038/415514a.
- Minville, M., Brissette, F., Leconte, R., (2008). Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed, *Journal of Hydrology*, 358(1-2), 70-83, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.05.033.
- Mitchell, T. D., P. D. Jones, 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. – *Int. J. Climatol.* 25, 693–712.
- Mizuta R, Oouchi K, Yoshimura H, Noda A, Katayama K, et al. 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model—mean climate states. *J Meteorol Soc Japan* 2006, 84:165–185.
- Mohawesh OE (2010). Spatio-temporal calibration of Blaney-Criddle equation in arid and semiarid environment. *Water Resour. Manage.*, 24: 2187-2201.
- Monteith, J. L.: Evaporation and environment, in: *The state and movement of water in living organisms*, Symposium Society Experimental Biology, edited by: Fogg, G. E., 19, 205–234, Cambridge University Press, London, 1965.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant & T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747-756.
- Moss, R., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J. F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D. van Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J. P. van Ypersele, and M. Zurek, 2008: Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.
- Music, B., and D. Caya, 2007: Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *J. Hydromet.*, 8(5), 969-988.
- Nakicenovic, N., Davidson, O., Davis, G., Grubler, A., Kram, T., Rovere, E., Metz, M., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Sankovski, A., Shukla, P., Swart, R., Watson, R., Dadi, Z., (2000). Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge. 599 pp.
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Gröbler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Raihi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, and Z. Dadi (2000), IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, UK (available at <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>).
- Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe (1970), River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.

- Neale, R. B., et al., 2010: Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 4.0). NCAR Technical Note NCAR/TN-486+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 268.
- Notz, D., F. A. Haumann, H. Haak, J. H. Jungclauss, and J. Marotzke, 2012: Sea-ice evolution in the Arctic as modeled by MPI-ESM. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, doi:10.1002/jame.20016.
- O'Connor, F. M., C. E. Johnson, O. Morgenstern, and W. J. Collins, 2009: Interactions between tropospheric chemistry and climate model temperature and humidity biases. *Geophysical Research Letters*, 36, L16801.
- Oleson, K. W., et al., 2010: Technical Description of version 4.0 of the Community Land Model (CLM) NCAR Technical Note NCAR/TN-478+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 257.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andreassian, V., Anctil, F., and Loumagne, C.: Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfallrunoff modelling, *J. Hydrol.*, 303, 290–306, 2005.
- Ozkul, S., (2009). Assessment of climate change effects in Aegean river basins: the case of Gediz and Buyuk Menderes Basins, *Climatic Change* 97, 253–283, doi: 10.1007/s10584-009-9589-z.
- Palmer, J. R., and I. J. Totterdell, 2001: Production and export in a global ocean ecosystem model. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 48, 1169-1198.
- Pavakis, P., 2004. Hydrological study of Platis basin. Organisation for the development of estern Crete.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Koppen–Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633–1644. ISSN 1027-5606
- Penman, H. L.: Natural evaporation from open water, bare soil and grass, *Proc. R. Soc. Lond. A*, 193, 120–145, 1948.
- Perkins SE, Pitman AJ, Holbrook NJ, McAneney J (2007). Evaluation of the AR4 climate models' simulated daily maximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. *Journal of Climate* 20:4356–4376. DOI: 10.1175/JCLI4253.1
- Piani C., Weedon G.P., Best M., Gomes S.M., Viterbo P., Hagemann S., Haerter J.O., 2010. Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *Journal of Hydrology* 395 (2010) 199–215. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024
- Piani, C., J. Haerter, and E. Coppola (2010), Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2):187-192, DOI 10.1007/s00704-009-0134-9.
- Plummer D, Caya D, Cote/ H, Frigon A, Biner S, Giguere M, Paquin D, Harvey R, de Elia R (2006) Climate and climate change over North America as simulated by the Canadian regional climate model. *J Clim* 19:3112–3132. doi:10.1175/JCLI3769.1
- Pope, V.D., Gallani, M.L., Rowntree, P.R., and Stratton, R.A. (2000). The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model — HadAM3. *Climate Dynamics* 16, 123–146. doi:10.1007/s003820050009.
- Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J.: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, *Mon. Weather Rev.*, 100, 81–92, 1972.
- Prudhomme, C. and Williamson, J.: Derivation of RCM-driven potential evapotranspiration for hydrological climate change impact analysis in Great Britain: a comparison of methods and associated uncertainty in future projections, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 10, 597-624, doi:10.5194/hessd-10-597-2013, 2013.
- Radu R, Deque M, Somot S (2008) Spectral nudging in a spectral regional climate model. *Tellus* 60: 898–910. doi: 10.1111/j.1600-0870.2008.00341.x.
- Randel, D.A., et al., 2007: Climate models and their evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Basis*. (Solomon et al., eds.) Cambridge University Press:Cambridge. pp. 589-662.

- Rao, A.R., Hamed, K.H., (2000). Flood Frequency Analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 376.
- Reick, C. H., T. Raddatz, V. Brovkin, and V. Gayler, 2013: The representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM Journal of Advances in Modeling Earth Systems, doi:10.1002/jame.20022.
- Reto Knutti, Jan Sedlacek. (2012) Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. Nature Climate Change 3:4, 369-373.
- Rogelj J, Meinshausen M & Knutti R, 2012. Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. Nature Climate Change: DOI: 10.1038/NCLIMATE1385.
- Rojas, R., L. Feyen, A. Dosio, and D. Bavera (2011), Improving pan-European hydrological simulation of extreme events through statistical bias correction of RCM-driven climate simulations. Hydrol. Earth Syst. Sci., 15:2599–2620. DOI:10.5194/hessd-8-3883-2011.
- Rummukainen, M., (2010), State-of-the-art with regional climate models. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 1: 82–96. doi: 10.1002/wcc.8.
- Salas-Melia D., F. Chauvin, M. Deque, H. Douville, J.F. Gueremy, P. Marquet, S. Planton, J.F. Royer, and S. Tyteca, 2005. "Description and Validation of the CNRM-CM3 Global Coupled Model," submitted to Clim. Dyn. (in review).
- Salas-Melia, D., 2002: A global coupled sea ice-ocean model. Ocean Modelling, 4, 137-172.
- Samuel, J., Coulibaly, P., and Metcalfe, R., (2011), Estimation of Continuous Streamflow in Ontario Ungauged Basins: Comparison of Regionalization Methods, J. Hydrol. Eng., 16(5), 447–459.
- Sanchez E, Gallardo C, Gaertner MA, Arribas A, Castro M (2004) Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. Glob Planet Change 44:163–180. doi:10.1016/j.gloplacha.2004.06.010
- Sanford, Ward E. and David L. Selnick, 2012. Estimation of Evapotranspiration Across the Conterminous United States Using a Regression with Climate and Land-Cover Data. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 1-14. DOI: 10.1111/jawr.12010
- Schneider, S.H., et al., Assessing key vulnerabilities and risk from climate change. Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M. L. Parry, O. F.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics, 6, 461-464.
- Seferian, R., et al., 2013: Skill assessment of three earth system models with common marine biogeochemistry. Climate Dynamics, 40, 2549–2573.
- Semenov, M. A., and F. J. Doblas-Reyes, Utility of dynamical seasonal forecasts in predicting crop yield, Clim. Res., 34, 71-81, 2007
- Semenov, V. and L. Bengtsson 2002, Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM, Climate Dynamics, 19 (2002), pp. 123–140. DOI: 10.1007/s00382-001-0218-4.
- Semmler, T., Jacob, D., (2004). Modeling extreme precipitation events-a climate change simulation for Europe Global and Planetary Change 44, 119–127.
- Shabalova, M., W. van Deursen, and T. Buishand (2003), Assessing future discharge of the river Rhine using regional climate model integrations and a hydrological model, Clim. Res., 23: 233-246. DOI:10.3354/cr023233.
- Sharma, D., A. Das Gupta, and M. S. Babel (2007), Spatial disaggregation of bias corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River basin, Thailand. Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1373–1390. doi:10.5194/hessd-4-35-2007.

- Sharma, M., Coulibaly, P., Dibike, Y., (2010). Assessing the Need for Downscaling RCM Data for Hydrologic Impact Study. *Journal of Hydrologic Engineering*, in press, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000349](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000349)
- Shevliakova, E., et al., 2009: Carbon cycling under 300 years of land use change: Importance of the secondary vegetation sink. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, GB2022.
- Sibson, R. (1981). "A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2)". In V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester: John Wiley. pp. 21–36.
- Slatyer, R. O. and Mollroy, I. C.: Evaporation and the principle of its measurement, in: *Practical Meteorology*, CSIRO (Australia) and UNESCO, Paris, 1961.
- Sluiter R, 2009. Interpolation methods for climate data - Literature review. KNMI, R&D Information and Observation Technology. Intern rapport ; IR 2009-04
- Stephens, G. L., L'Ecuyer, T., Forbes, R., Gettleman, A., Golaz, J.-C., Bodas-Salcedo, A., Suzuki, K., Gabriel, P., Haynes, J., (2010). Dreary state of precipitation in global models, *J. Geophys. Res.*, 115, D24211, doi:10.1029/2010JD014532.
- Stigler, Stephen M. (1989). "Francis Galton's Account of the Invention of Correlation". *Statistical Science* 4 (2): 73–79. doi:10.1214/ss/1177012580. JSTOR 2245329.
- Sultana, Z., Coulibaly, P., (2010). Distributed modeling of future changes in hydrological processes of Spencer Creek watershed. *Hydrological Processes*, 8 (25), 1254-1270 doi: 10.1002/hyp.7891.
- Takata, K., S. Emori, and T. Watanabe, 2003: Development of the minimal advanced treatments of surface interaction and runoff. *Global and Planetary Change*, 38, 209-222.
- Takemura, T., M. Egashira, K. Matsuzawa, H. Ichijo, R. O'Ishi, and A. Abe-Ouchi, 2009: A simulation of the global distribution and radiative forcing of soil dust aerosols at the Last Glacial Maximum. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 3061-3073.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T. Y. Nakajima, and T. Nakajima, 2005: Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 110, D02202.
- Taylor, K. E., R. J. Stouffer and G. A. Meehl, 2009: A Summary of the CMIP5 Experiment Design, <http://www-pcmdi.llnl.gov/>
- Thieme, M. J., A. Gobiet, and A. Leuprecht (2011a), Empirical statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. *Int. J. Climatol.*, 31: 1530-1544. DOI:10.1002/joc.2168.
- Thieme, M. J., A. Gobiet, and G. Heinrich (2011b), Empirical-statistical downscaling and error correction of regional climate models and its impact on the climate change signal, *Climatic Change*, online first (Sept 2011).
- Thiessen A.H. 1911. Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 39(7): 1082-1084.
- Thorndike, A. S., D. A. Rothrock, G. A. Maykut, and R. Colony, 1975: Thickness Distribution of Sea Ice *Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres*, 80, 4501-4513.
- Thornthwaite, C. W., 1944, in Report of committee on transpiration and evaporation: *Am. Geophys. Union Trans.*, v. 25, pt. 5, p. 683-693.
- Trenberth, K. E., et al., Observations: surface and atmospheric climate change, In: *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution to working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Maning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Trenberth, K. E., The changing character of precipitation, DOI: 10.1175/BAMS-84-9-1205, *AMS Forum*, 2003

- Tsanis IK, Grillakis MG, Koutroulis AG, Jacob D (2013). Reducing Uncertainty on Global Precipitation Projections. *J Earth Sci Clim Change* 5:178. doi: 10.4172/2157-7617.1000178
- Tsanis, I.K., Koutroulis A.G., Daliakopoulos N.I., Jacob D., (2011). Severe Climate-Induced Water Shortage and Extremes in Crete, *Climatic Change Letters*, in press, doi: 10.1007/s10584-011-0048-2
- Turc, L.: Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, *Ann. Agron.*, 12, 13–49, 1961.
- Uppala, S.M., Kallberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., Da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J.K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G.A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R.P., Andersson, Arpe, K., Balmaseda, M.A., Beljaars, A.C.M., Van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, Holm, E., Hoskins, B.J., Isaksen, L., Janssen, P.A.E.M., Jenne, R., McNally, A.P., Mahfouf, J-F., Morcrette, J-J., Rayner, N.A., Saunders, R.W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K.E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., 2005. The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. Meteo. Soc.* 131, 2961- 3012.
- USDA Soil Conservation Service, 1970. Irrigation water requirements. Tech. Realise No 21: 92.
- USGS, 2011. U.S. Geological Survey. National Hydrography Dataset high-resolution flowline data. The National Map, accessed April 15, 2011.
- van der Linden P., J.F.B. Mitchell (eds.) 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- van Pelt, S.C., P. Kabat, H. W. ter Maat, B. J. J. M. van den Hurk, A. H. Weerts (2009), Discharge simulations performed with a hydrological model using bias corrected regional climate model input, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13: 2387-2397. DOI:10.5194/hess-13-2387-2009.
- Verdin, K. L. 2011. ISLSCP II HYDRO1k Elevation-derived Products. In Hall, Forrest G., G. Collatz, B. Meeson, S. Los, E. Brown de Colstoun, and D. Landis (eds.). ISLSCP Initiative II Collection. Data set. Available on-line [<http://daac.ornl.gov/>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. doi:10.3334/ORNLDAAAC/1007.
- Verseghy, D. L., 2000: The Canadian Land Surface Scheme (CLASS): Its history and future. *Atmosphere-Ocean*, 38, 1-13.
- Vlcek, O., R. Huth, (2009), Is daily precipitation Gamma-distributed?. Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov-Smirnov test, *Atmospheric Research*, 93 (4), pp. 759-766. DOI: 10.1016/j.atmosres.2009.03.005
- Voldoire, A., et al., 2013: The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation. *Climate Dynamics*, 40, 2091-2121.
- von Salzen, K., et al., 2013: The Canadian Fourth Generation Atmospheric Global Climate Model (CanAM4). Part I: Representation of Physical Processes. *Atmosphere-Ocean*, 51, 104-125.
- Voronoi G., 1908. "Nouvelles applications des parametres continus a la theorie des formes quadratiques". *Journal fur die Reine und Angewandte Mathematik* 133: 97–178. doi:10.1515/crll.1908.133.97.
- Vrac, M., P. Naveau (2007), Stochastic downscaling of precipitation: From dry events to heavy rainfalls, *Water Resour. Res.*, 43, W07402. DOI:10.1029/2006WR005308.
- Vrochidou AEK, Tsanis IK, Grillakis MG, Koutroulis AG, 2012. The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale, *Journal of Hydrology*, published online, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.10.046.
- Wang Y, Leung LR, McGregor JL, Lee D-K, Wang W-C, et al. Regional climate modelling: Progress, Challenges, and Prospects. *JMeteorol Soc Japan* 2004, 82:1599–1628.
- Wang, Q.J., (1998). Using genetic algorithms to optimize model parameters, *Environmental Modelling & Software*, 1 (25), 27-34

- Watanabe, M., et al., 2010: Improved Climate Simulation by MIROC5. Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, 23, 6312-6335.
- Weedon, G. P., S. Gomes, P. Viterbo, W. J. Shuttleworth, E. Blyth, H. Osterle, J. C. Adam, N. Bellouin, O. Boucher, and M. Best (2011), Creation of the WATCH forcing Data and its use to assess global and regional reference crop evaporation over land during the twentieth century. *J. Hydrometeorol.*, 12:823–848. DOI: 10.1175/2011JHM1369.1.
- Weedon, G.P., S. Gomes, P. Viterbo, H. Oesterle, J.C. Adam, N. Bellouin, O. Boucher, M. Best. 2010. The WATCH Forcing Data 1958-2001: a meteorological forcing dataset for land surface- and hydrological-models. WATCH Technical Report 22, 41p (available at www.eu-watch.org).
- Wegman, E.J., Scott, D.W. Said, Y.H. 2006: Report of the US House Committees on Energy and Commerce and the sub-committee on Oversight and Investigations on 'The "Hockey Stick" global climate reconstructions'. Available at http://web.archive.org/web/20060716210311/http://energycommerce.house.gov/108/home/07142006_Wegman_Report.pdf (accessed at 16/6/2014).
- Whitfield, P.H., Wang, J.Y., Cannon, A.J., (2003). Modeling future streamflow extremes-floods and low flows in Georgia Basin, British Columbia. *Canadian Water Resources Journal*, 28, 633–656.
- Wilby, R. L., L. E. Hay, G. H. Leavesley (1999), A comparison of downscaled and raw GCM output: implications for climate change scenarios in the San Juan River basin, Colorado, *J. Hydrol.*, 225:67–91. DOI:10.1016/S0022-1694(99)00136-5.
- Wilby, R. L., S. P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, L. O. Mearns (2004), Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods, supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TGCIA, 27.
- Wilks, D. S. (1995), *Statistical Methods in Atmospheric Sciences*. Academic Press, New York.
- Wilks, D.S. (2006), On “field significance” and the false discovery rate, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45 (2006), pp. 1181–1189. DOI: 10.1175/JAM2404.1
- Winton, M., 2000: A reformulated three-layer sea ice model. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17, 525–531.
- Wood, A., L. Leung, V. Sridhar, D. Lettenmaier (2004), Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 62:189-216. DOI:10.1023/B:CLIM.0000013685.99609.9e.
- World Bank - The International Bank for Reconstruction and Development, World development report 2010.
- Xu, C. Y. Singh, V. P.: Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods, *Hydrol. Process.*, 12, 429–442, 1998.
- Xystrakis, F. Matzarakis, A. (2011). "Evaluation of 13 Empirical Reference Potential Evapotranspiration Equations on the Island of Crete in Southern Greece." *J. Irrig. Drain Eng.*, 137(4), 211–222.
- Yoder, R. E., Odhiambo, L. O., Wright, W. C. (2004): Evaluation of methods for estimating
- Zhang T., (2005). Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: an overview. *Reviews of Geophysics*, 43, 1-23, doi:10.1029/2004RG000157.
- Zorita, E., H. von Storch (1999), The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with More Complicated Methods. *Journal of Climate*, 12:2474-2489. DOI: 10.1175/1520-0442(1999)012<2474:TAMAAS>2.0.CO;2.
- Περιφέρεια Κρήτης, Γενική Διεύθυνση Περιφέρειας, Διεύθυνση Υδάτων 2000. «Διαχειριστική Μελέτη για την Κρήτη»

Παράρτημα Α - Χαρακτηριστικά των κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν

1. Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας του κλιματικού πειράματος NARCCAP

Πίνακας Α-1: Χαρακτηριστικά των τεσσάρων GCMs που χρησιμοποιήθηκαν για οριακές συνθήκες στα όρια των RCMs του κλιματικού πειράματος NARCCAP (όπως υιοθετήθηκε από τον Randel 2007). L είναι ο αριθμός των κάθετων επιπέδων, οι μοίρες (°) αναφέρονται στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος, το Top αναφέρεται στην ατμοσφαιρική πίεση στο υψηλότερο επίπεδο του μοντέλου. Η ρεολογία αναφέρεται στη ροή ως χαρακτηριστικό του θαλάσσιου πάγου (μοντελοποιείται ως ένα ιξώδες πλαστικό), το free drifts αναφέρεται σε μοντελοποίηση της κίνησης του πάγου, έτσι ώστε πάγου παρασύρει ελεύθερα με τα ρεύματα του ωκεανού. Το routing αναφέρεται στη δρομολόγηση της ροής που προβλέπεται σε κάθε μοντέλο της επιφάνειας της γης. Τα Layers και Bucket αναφέρονται στη διαμόρφωση των στρωμάτων του εδάφους και τέλος το canopy δείχνει αν η βλάστηση προβλέπεται στην προσομοίωση από κάθε μοντέλο.

Model	Sponsor	Atmosphere Top Resolution	Ocean Resolution	Sea Ice	Coupling / Adjustments	Land Surface	Main Reference
CCSM3	NCAR	Top = 2.2 hPa T85 (1.4x1.4°) L=26	0.3-1° L40	Rheology, leads	No adjustments	Layers, canopy, routing	Collins, 2006
CGCM3.1	CCCMA	Top = 1 hPa T47 (1.9°x1.9°) L31	0.9 x 1.4° L29	Rheology, leads	Heat, fresh water	Layers, canopy, routing	Flato, 2005
GFDL CM2.1	NOAA-GFDL	Top = 3 hPa 2.0°x 2.5°	0.3-1.0°	Rheology, leads	No adjustments	Bucket, canopy, routing	GFDL, 2004
UKMO - HadCM3	Hadley Centre	Top = 5 hPa 2.5°x3.75° L19	1.25°x1.25° L20	Free drifts, leads	No adjustments	Layers, canopy, routing	Gordon 2000, Pope, 2000

2. Περιοχικά μοντέλα του κλιματικού πειράματος NARCCAP

Πίνακας A-2: Χαρακτηριστικά των περιοχικών κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος NARCCAP.

	CRCM	ECPC/ECP2	HRM3	MM5I	RCM3	WRFP/WRFG
Dynamics	Nonhydrostatic, Compressible	Hydrostatic, Incompressible	Hydrostatic, Compressible	Nonhydrostatic, Compressible	Hydrostatic, Compressible	Nonhydrostatic, Compressible
Lateral Boundary Treatment	9 points spectral nudging of horizontal wind.	Perurbations relaxed at boundaries; spectral filter	4 points (Davies and Turner 1977)	4 points (linear relaxation)	12 points (exponential relaxation)	15 grid points (exponential relaxation)
Land Surface	CLASS	NOAH	MOSES	NOAH	BATS	NOAH
Thermal/Water Layers	3/3	4/4	4/4	4/4	1/3	4/4
Vegetation Types	21 vegetation classes	13 classes	53 classes (Wilson and Henderson- Sellers 1985)	16 classes from USGS SiB model	19 classes	24 classes from USGS
Boundary Layer	Local K, gradient Richardson number formulation	Hong-Pan non-local K	First order turbulent mixing	Hong-Pan (MRF) countergradient, non-local K	Non-local K, countergradient flux	Yonsei Univ. (explicit entrainment)
Explicit Moist Physics	Removal of supersaturation	Removal of supersaturation	Prognostic cloud liquid and ice; liquid potential temperature	Dudhia simple ice	SUBEX, prognostic cloud water	Prognostic cloud liquid and ice, rain, snow
Cumulus Parameterization	Mass Flux	Simplified Arawaka-Schubert	Mass Flux, including downdraft	Kain- Fritsch2 mass flux	Grell with Fritsch-Chappell closure	Kain- Fritsch2 mass flux [WRFP] / Grell [WRFG]
Number of Vertical Levels	29	28	19	23	18	35
Type of Vertical Coordinate	Gal-Chen scaled-height	Normalized pressure	Hybrid terrain following & pressure	Sigma	Terrain following	Terrain following
Original Grid Size	160 x 135	193 x 152	171 x 146	154 x 129	160 x 130	155 x 130
Sponge Zone Depth (pts)	10	23 (x) / 18 (y)	8	15	13	10.5
Length of Timestep	900 Seconds	100 seconds	300 Seconds	120 seconds	150 Seconds	150 seconds
tasmin/tasmax Calculation	timestep	timestep	timestep	timestep	3-hourly	hourly
Spectral Nudging	Yes	Yes	No	No	No	No
Longwave Radiation Scheme	Morcrette (1984)	Chou and Suarez (1994)	PRECIS	RRTM	CCM3	CAM3
SW Radiation scheme	Fouquart & Bonnel (1980)	Chou (1992)	PRECIS	MM5 cloud scheme (not CCM2)	CCM3	CAM3
Uniform Aerosols?	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes (ozone varies)
Key reference	Music and Caya, 2007	Jones et al., 2004	-	-	Giorgi, 2011	Michalakes et al., 2001

3. Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES

Πίνακας Α-3: Χαρακτηριστικά των πέντε GCMs που χρησιμοποιήθηκαν για οριακές συνθήκες στα όρια των RCMs του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES. Αναφέρεται το ινστιτούτο, η περίοδος, η χωρική ανάλυση του πλέγματος (R: αναφέρεται σε κανονικό πλέγμα, G: σε Γκαουσιανό πλέγμα). Τα Levels είναι ο αριθμός των κάθετων επιπέδων κάθε μοντέλου .

Period	Modeling Institute - Model	Years	Grid Resolution	Levels	Key reference
C20C3M (1860-2000)	METO_HC - HadCM3	1860-2000	R:1.25x1.875°	17	Gordon et al., 2000
	MPIMET - ECHAM5-OM	1860-2000	G: 1.875°	31	Jungclauss et al., 2006
	IPSL - CM4	1960-2000	R: 2.4x3.75°	19	IPSL, 2005
	CNRM – CM3	1860-2000	G: 2.8125°	23	Salas-Melia et al., 2005
	NERSC - CCSM3	1860-2000	G: 2.8125°	31	Collins et al., 2006
Scenario A1B	METO_HC - HadCM3	2000-2100	R:1.25x1.875°	17	Gordon et al., 2000
	MPIMET - ECHAM5-OM	2000-2100	G: 1.875°	31	Jungclauss et al., 2006
	IPSL - CM4	2000-2100	R: 2.4x3.75°	19	IPSL, 2005
	CNRM – CM3	2000-2050	G: 2.8125°	45	Salas-Melia et al., 2005
	NERSC - CCSM3	2000-2100	G: 2.8125°	31	Collins et al., 2006

4. Περιοχικά μοντέλα του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES

Πίνακας A-4: Χαρακτηριστικά των περιοχικών κλιματικών μοντέλων του κλιματικού πειράματος ENSEMBLES.

No	Modeling Institute - Model	Scenario	Period	Grid points	Levels	Key reference
1	Rosby Centre - C4IRCA3	A1B	1951-2099	206*206	31	Farda et al. (2007)
2	CNRM - RM5.1	A1B	1951-2050	120x128	31	Radu et al. (2008)
3	DMI - HIRHAM5	A1B	1951-2099	90 x 95	31	Christensen et al. (1996)
4	ETHZ - CLM	A1B	1951-2099	91 x 97	32	Bohm et al. (2006)
5	ICTP - REGCM3	A1B	1951-2099	98 x 86	34	Giorgi and Mearns (1999)
6	KNMI - RACMO2	A1B	1951-2099	95 x 85	40	Lenderik et al. (2003)
7	METNO - HIRHAM	A1B	1951-2050	198 x 213	31	Haugen and Haakensatd (2006)
8	METO - HC HadRM3Q0	A1B	1951-2099	115 x 118	19	Collins et al. (2006)
9	METO - HC HadRM3Q3	A1B	1951-2099	115 x 118	19	Collins et al. (2006)
10	METO - HC HadRM3Q16	A1B	1951-2099	115 x 118	19	Collins et al. (2006)
11	MPI-M - REMO	A1B	1951-2099	85 x 95	27	Jacob (2001)
12	OURANOS - MRCC4.2.1	A1B	1951-2050	209x209	29	Plummer et al. (2006)
13	SMHI - RCA3	A1B	1951-2099	85 x 95	24	Kjellstrom et al. (2005)
14	UCLM-PROMES v2005	A1B	1951-2050	123x113	28	Sanchez et al. (2004)
15	VMGO - RRCM	A1B	1951-2099			

5. Μοντέλα γενικής κυκλοφορίας του κλιματικού πειράματος CORDEX

Πίνακας A-5: Χαρακτηριστικά των GCMs που χρησιμοποιήθηκαν για οριακές συνθήκες στα όρια των RCMs του κλιματικού πειράματος CORDEX. Αναφέρεται το Ινστιτούτο, τα επιμέρους μοντέλα και οι κύριες αναφορές αυτών.

1 Model Name 2 Vintage	1 Institution 2 Main Reference	Atmosphere 1 Component Name 2 Horizontal Grid 3 Nr of Vert Lvl's 4 Grid Top 5 References	Aerosol 1 Component Name or type 2 References	Atmos Chemistry 1 Component Name 2 References	Land Surface 1 Component Name 2 References	Ocean 1 Component Name 2 Horizontal Resolution 3 Number of Ver Levels 4 Top Level 5 Z Co-ord 6 Top BC 7 References	Ocean Biogeochemistry 1 Component Name 2 References	Sea Ice 1 Component Name 2 References
(1) CanESM2 (2) 2010	(1) Canadian Center for Climate Modelling and Analysis (2) Arora et al., 2011; von Salzen et al., 2013	(1) Included (2) Spectral T63 (3) 35 levels (4) 0.5hPa (5) (von Salzen et al., 2013	(1) Interactive (2) (Lohmann et al., 1999; Croft et al., 2005; von Salzen et al., 2013)	(1) Included (2) (von Salzen et al., 2013)	(1) CLASS 2.7; CTEM (2) (Verseghy, 2000) (Arora et al., 2009; von Salzen et al., 2013)	(1) Included (2) 256x192 (3) 40 (4) 0 m (5) depth (6) rigid lid (7) (Merryfield et al., 2013)	(1) CMOC (2) (Arora et al., 2009; Christian et al., 2010)	(1) Included (2) (Merryfield et al., 2013)
1 CNRM-CM5 ³ 2 2010	(1) Centre National de Recherches Meteorologiques and Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique. (2) (Voldoire et al., 2013)	(1) ARPEGE-Climat (2) TL127 (3) 31 (4) 10 hPa (5) (Déqué et al., 1994; Voldoire et al., 2013)	Prescribed	(1) (3-D linear ozone chemistry model) (2) (Carnolle and Teyssedre, 2007)	(1) SURFEX (Land and Ocean Surface) (2) (Voldoire et al., 2013)	(1) NEMO (2) 0.7 degree on average ORCA1 (3) 42 (4) 5 m (5) Z-coordinate (6) linear filtered (7) (Madec, 2008)	(1) PISCES (2) (Aumont and Bopp, 2006; Séférian et al., 2013)	(1) Gelato5 (Sea Ice) (2) (Salas-Melia, 2002; Voldoire et al., 2013)
1 EC-EARTH 2 2010	(1) Europe (2) (Hazeleger et al., 2012)	(1) IFS c31r1 (2) 1.125 longitudinal spacing, Gaussian grid T159L62 (3) 62 (4) 1 hPa (5) (Hazeleger et al., 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) HTESSEL (2) (Balsamo et al., 2009)	(1) NEMO_ecmwf (2) The grid is a tripolar curvilinear grid with a 1 degree resolution. ORCA1 (3) 31 (4) 1 m (5) Z (6) free surface linear filtered (7) (Hazeleger et al., 2012)	Not implemented	(1) LIM2 (2) (Fichefet and Maqueda, 1999)
1 HadGEM2-ES 2 2009	(1) UK Met Office Hadley Centre (2) (Bellouin et al., 2007; Collins et al., 2008; Martin et al., 2011)	(1) HadGAM2 (2) 1.875 degrees in longitude by 1.25 degrees in latitude N96 (3) 38 (4) 39254.8 m (5) (Davies et al., 2005)	(1) Interactive (2) (Bellouin et al., 2011)	(1) Atmospheric Chemistry (2) (O'Connor et al., 2009)	(1) Included (2) (Cox et al., 1999; Essery et al., 2003)	(1) Included (2) 1 deg by 1 deg between 30 N/S and the poles; meridional resolution increases to 1/3 deg at the equator N180 (3) 40 (4) 5.0 m	1) Included (2) (Palmer and Totterdell, 2001; Halloran, 2012)	(1) Included (2) (Thorndike et al., 1975; McLaren et al., 2006)

1 GFDL-ESM2M 2 2011	(1) NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (2) (Dunne et al., 2012; Dunne et al., 2013)	(1) Included (2) 2.5 degree longitude, 2 degree latitude M45L24 (3) 24 (4) midpoint of top box is 3.65 hPa hPa (5) (Delworth et al., 2006)	Semi-interactive	Not implemented	(1) Included (2) (Milly and Shmakin, 2002; Shevliakova et al., 2009; Donner et al., 2011)	(1) MOM4.1 (2) 1 degree tripolar 360X200L50 (3) 50 (4) 0 m (5) z* (6) non-linear split-explicit (7) (Griffies, 2009; Dunne et al., 2012)	(1) TOPAZ (2) (Henson et al., 2009; Dunne et al., 2013)	(1) SIS (2) (Winton, 2000; Delworth et al., 2006)
1 IPSL-CM5A-MR 2 2009	(1) Institut Pierre Simon Laplace (2) (Dufresne et al., 2012)	(1) LMDZ5 (2) 144x143 equivalent to 1.25° x 2.5° LMDZ144x143 (3) 39 (4) 0.04 hPa (5) (Hourdin et al., 2012)	Semi-interactive	Not implemented	(1) Included (2) (Krinner et al., 2003)	(1) Included (2) 2x2-0.5° ORCA2 (3) 31 (4) 0m (5) depth (6) linear filtered (7) (Madec, 2008)	(1) PISCES (2) (Aumont et al., 2003; Aumont and Bopp, 2006)	(1) Included (2) (Fichefet and Maqueda, 1999)
1 MIROC5 2 2010	(1) University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (2) (Watanabe et al., 2010)	(1) CCSR / NIES / FRCGC AGCM6 (2) 1.40625 x 1.40625 degree T85 (3) 40 (4) about 2.9 hPa	(1) SPRINTARS (2) (Takemura et al., 2005; Takemura et al., 2009)	Not implemented	(1) MATSIRO (2) (Takata et al., 2003)	(1) COCO4.5 (2) 1.4degree (zonally) x 0.5-1.4 degree (meridionally) (3) 50 (4) 1.25m (5) hybrid s-z (6) linear split-explicit (7) (Hasumi and Emori, 2004)	Not implemented	(1) Included (2) (Komuro et al., 2012)
1 MPI-ESM-LR 2 2009	(1) Max Planck Institute for Meteorology (2)	(1) ECHAM6 (2) approx 1.8 deg T63 (1) 47 (4) 0.01 hPa	Prescribed	Not implemented	(1) JSBACH (2) (Reick et al., 2013)	(1) MPIOM (2) average 1.5 deg GR15 (3) 40 (4) 6 m (5) depth	(1) HAMOCC (2) (Maier-Reimer et al., 2005; Ilyina et al., 2012)	(1) Included (2) (Notz et al., 2012)
1 NorESM1-M 2 2011	(1) Norwegian Climate Centre (2) (Iversen et al., 2013)	(1) CAM4-Oslo (2) Finite Volume 1.9 degrees latitude, 2.5 degrees longitude (3) 26 (4) 2.194067 hPa (5) (Neale et al., 2010; Kirkevåg et al., 2013)	(1) CAM4-Oslo (2) (Kirkevåg et al., 2013)	(1) CAM4-Oslo (2) (Kirkevåg et al., 2013)	(1) CLM4 (2) (Oleson et al., 2010; Lawrence et al., 2011)	(1) NorESM-Ocean (2) 1.125 degrees along the equator (3) 53 (4) 1 m (5) hybrid Z-isopycnic (6) non-linear split-explicit (7)	Not implemented	(1) CICE4 (2) (Hunke and Lipscomb, 2008; Holland et al., 2012)

³A CNRM-CM5-2 version exists that only differs from CNRM-CM5 in the treatment of volcanoes.

Παράρτημα Β - Χαρακτηριστικά δεδομένων παρατήρησης που χρησιμοποιήθηκαν

Κατακρήμνιση Πλατύς		
Δεδομένα από σταθμούς εντός και γύρω από την λεκάνη από 1/9/1973 έως 31/12/2006. (Πηγή: Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων)		
	Lat	Lon
Βυζάρι	35.2059	24.6967
Γερακάρι	35.2258	24.5816
Μέλαμπες	35.1302	24.6430
Αγ. Γαλήνη	35.0975	24.6895
Θερμοκρασία Πλατύς		
Δεδομένα από σταθμούς στην Κρήτη από 1/1/1955 έως 31/12/2004. (Πηγή: EMY)		
	Lat	Lon
Ανώγεια	35.2833	24.8833
Βάμος	35.4167	24.2000
Γότυς	35.0500	24.9667
Ζαρός	35.1333	24.9000
Ηράκλειο	35.3333	25.1833
Ιεράπετρα	35.0000	25.7333
Καστέλι Ηρακλείου	35.2000	25.3333
Παλαιόχωρα	35.2333	23.6833
Σητεία	35.2000	26.1000
Σούδα	35.5500	24.1167
Τυμπάκι	35.0000	24.7667
Χανιά	35.5000	24.0333
Φούρνοι	35.2667	25.3333
Ρεθυμνο	35.3500	24.5167
Τζερμιάδο	35.2000	25.4833
Απορροή Πλατύς		
Δεδομένα από την έξοδο της λεκάνης από 1/9/1973 έως 31/12/1999. (Πηγή: Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων)		
Αγ. Γαλήνη	35.0975	24.6895

Κατακρήμνιση/Θερμοκρασία Εχε		
Δεδομένα από σταθμούς εντός και γύρω από την λεκάνη από 1/9/1950 έως 31/12/2012. (Πηγή: E-OBS)		
	Lat	Lon
Cell center	51.125	-3.875
Cell center	51.125	-3.625
Cell center	51.125	-3.375
Cell center	50.875	-3.625
Cell center	50.875	-3.375
Απορροή Εχε		
Δεδομένα στην έξοδο της λεκάνης από 1/9/1956 έως 31/12/2011. (Πηγή: GRDC)		
Thoverton	50.804	3.510

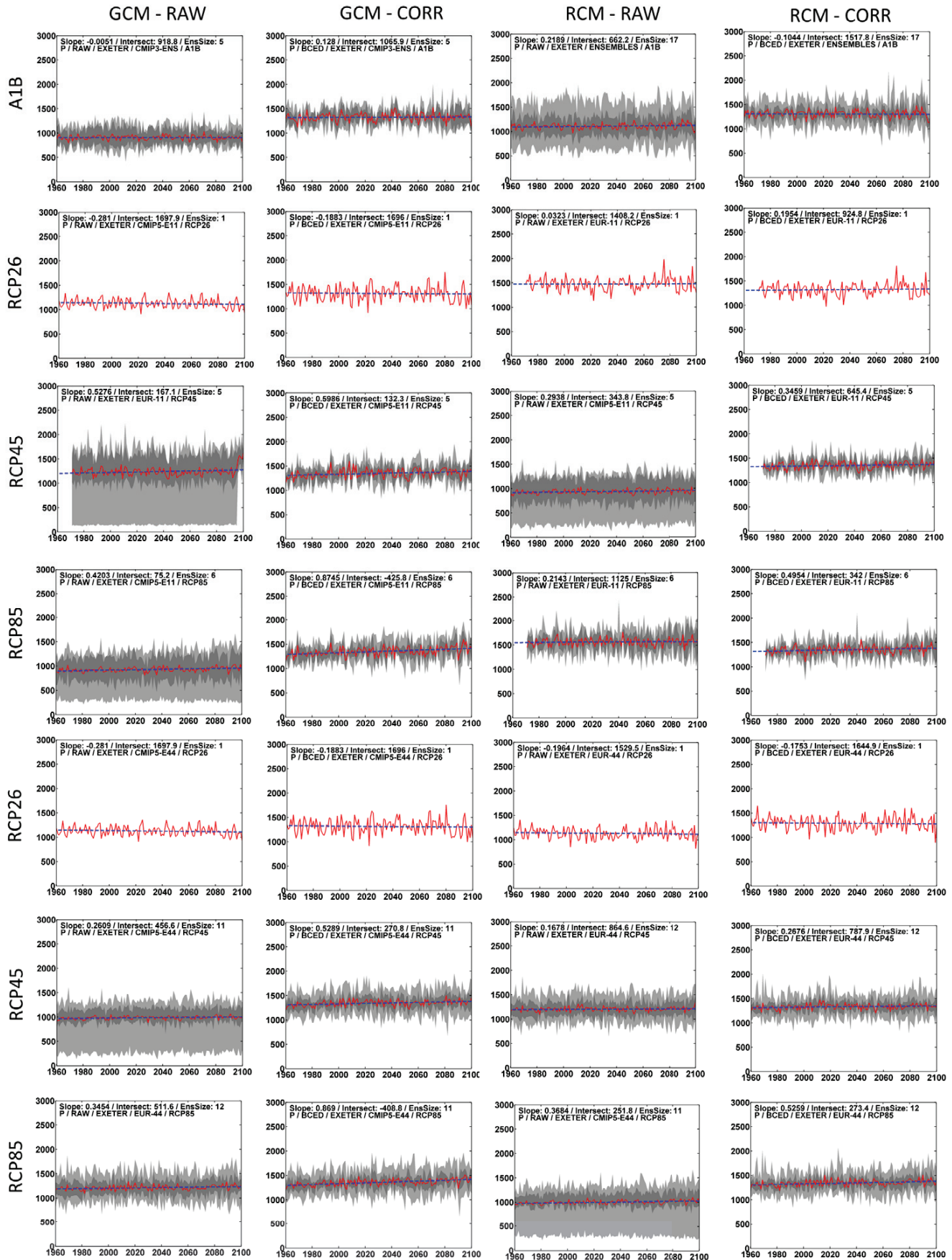
Κατακρήμνιση/Θερμοκρασία Yellow		
Δεδομένα από πλεγματοποιημένη βάση δεδομένων από 1/1/1950 έως 31/12/1999. (Πηγή: Maurer et al., 2002)		
	Lat	Lon
Cell center	31.5625	-86.1875
Cell center	31.4375	-86.4375
Cell center	31.4375	-86.3125
Cell center	31.4375	-86.1875
Cell center	31.3125	-86.5625
Cell center	31.3125	-86.4375
Cell center	31.3125	-86.3125
Cell center	31.3125	-86.1875
Cell center	31.1875	-86.5625
Cell center	31.1875	-86.4375
Cell center	31.1875	-86.3125
Cell center	31.1875	-86.1875
Cell center	31.0625	-86.6875
Cell center	31.0625	-86.5625
Cell center	31.0625	-86.4375
Cell center	31.0625	-86.3125
Cell center	31.0625	-86.1875
Cell center	30.9375	-86.6875
Cell center	30.9375	-86.5625
Cell center	30.9375	-86.4375
Cell center	30.8125	-86.6875
Cell center	30.8125	-86.5625
Cell center	30.6875	-86.5625
Cell center	31.5625	-86.1875
Απορροή Yellow		
Δεδομένα από την έξοδο της λεκάνης από 1/9/1938 έως 31/12/2012. (Πηγή: USGS)		
Milligan, Fla	30.753	-86.6291

Κατακρήμνιση/Θερμοκρασία Spencer Creek		
Δεδομένα από σταθμούς εντός και γύρω από την λεκάνη από 1/1/1989 έως 31/12/2008. (Πηγή: Environment Canada)		
	Lat	Lon
Hamilton RBG	43.287	-79.910
Hamilton Airport	43.175	-79.930
Απορροή Spencer Creek		
Δεδομένα στην έξοδο της λεκάνης από 1/1/1989 έως 31/12/2008. (Πηγή: GRDC)		
Dundas	43.266	-79.965

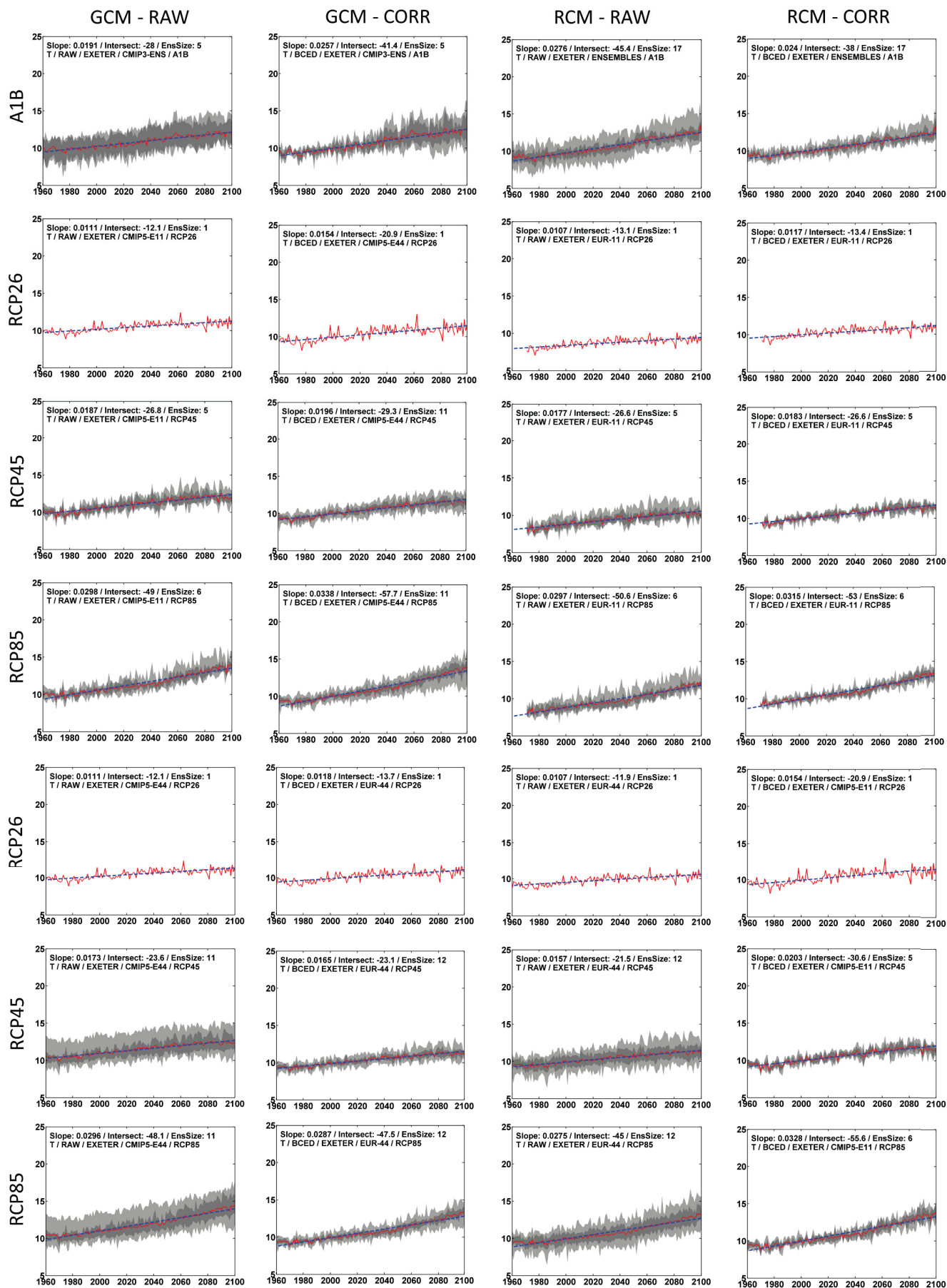
**Παράρτημα Γ – χρονοσειρές υδρολογικών
παραμέτρων εισόδου και εξόδου από τα
υδρολογικά μοντέλα.**

Παράρτημα Γ – χρονοσειρές υδρολογικών παραμέτρων εισόδου και εξόδου από τα υδρολογικά μοντέλα.

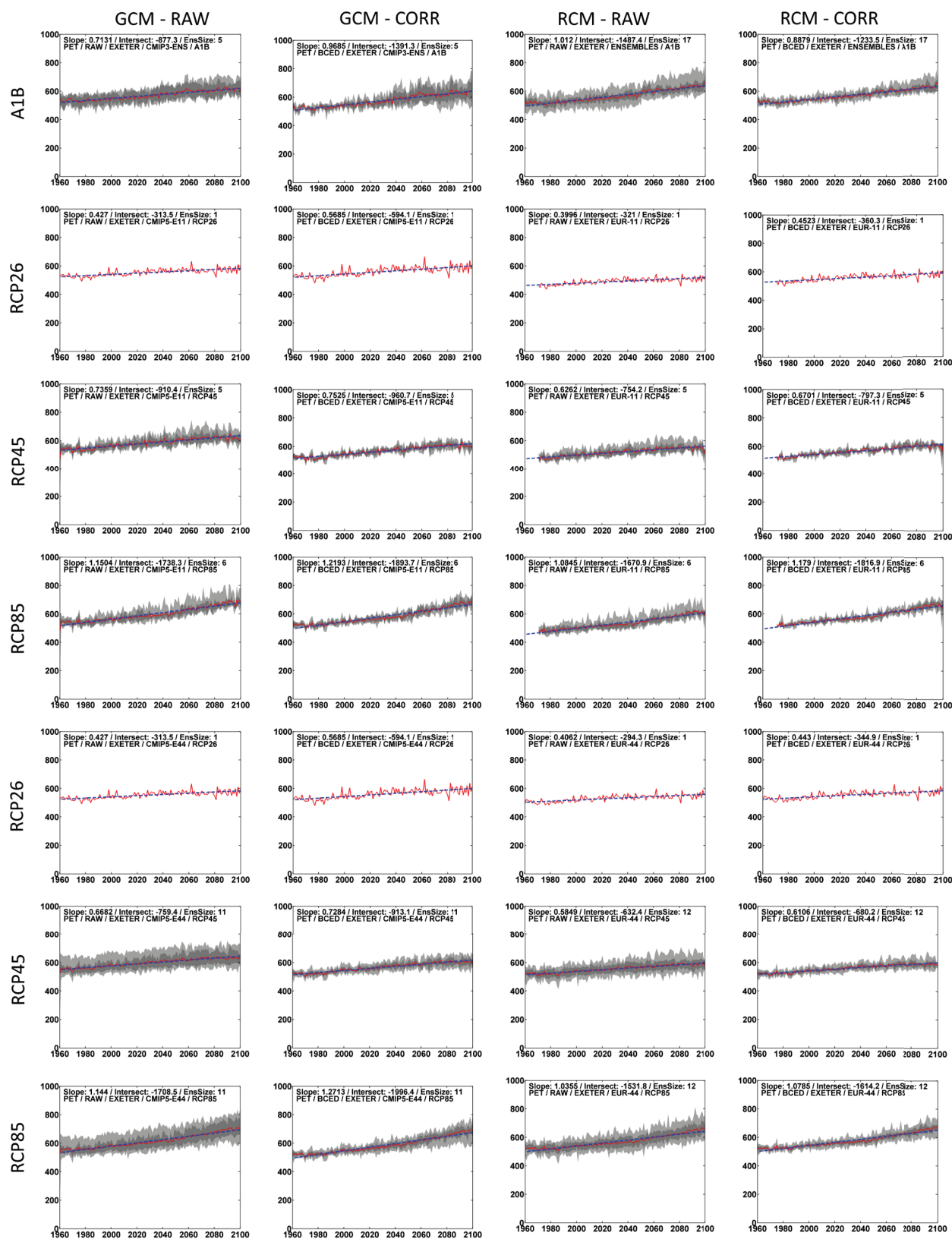
Γ.1 – Λεκάνη Exeter



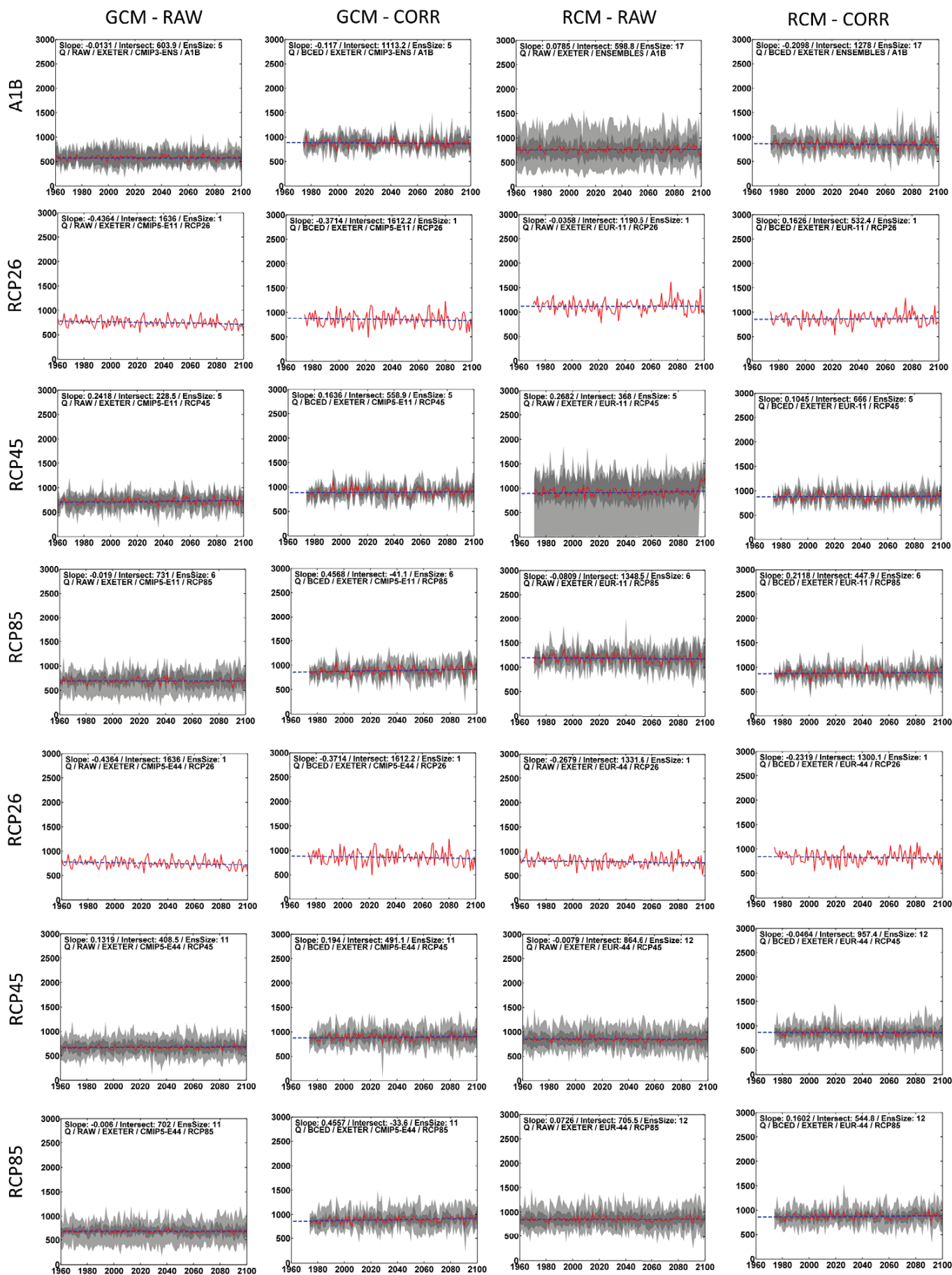
Εικόνα Π.Γ.1.1: Χρονοσειρές κατακρήμνισης για την περιοχή του Exeter για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



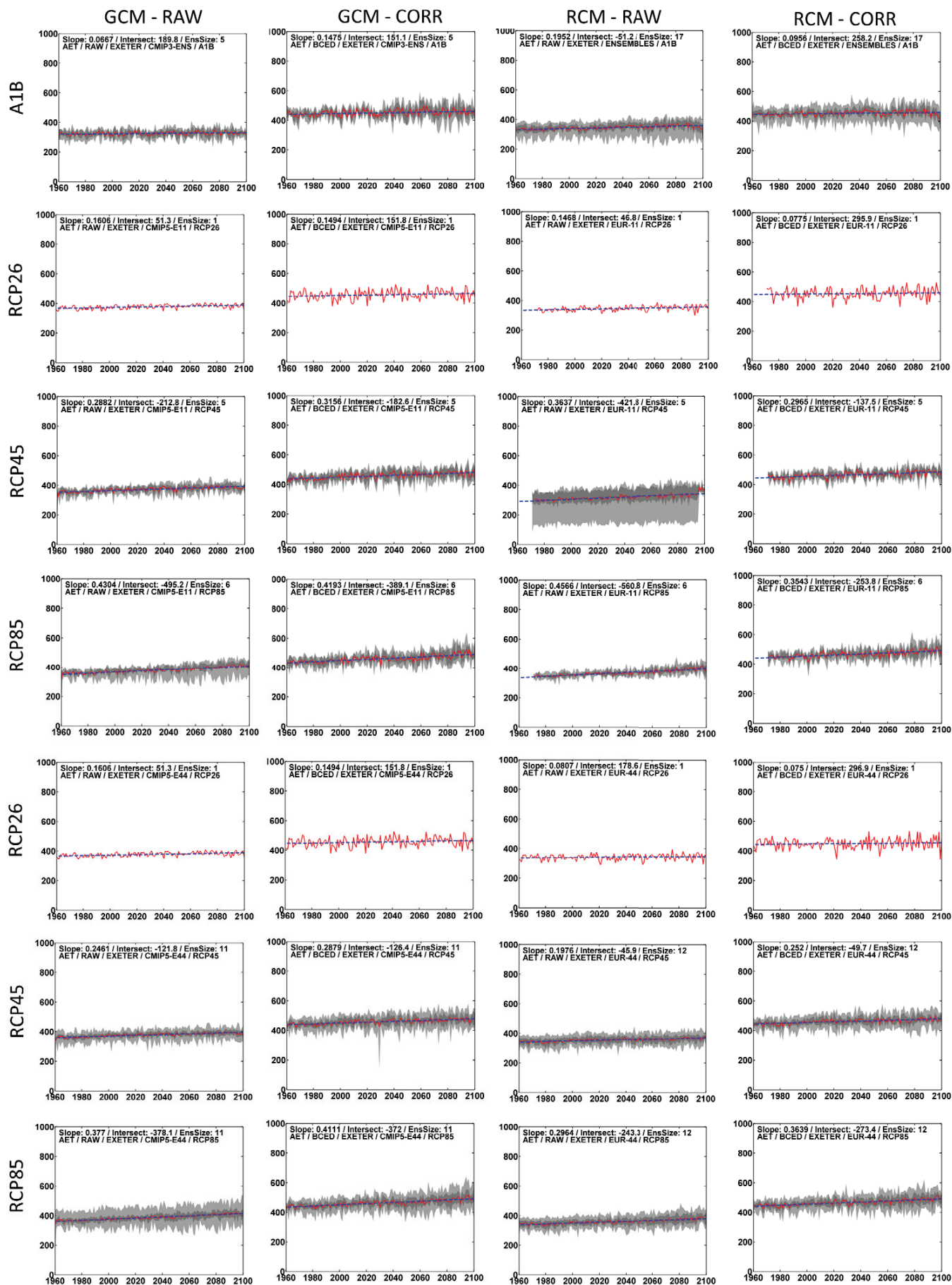
Εικόνα Π.Γ.1.2: Χρονοσειρές θερμοκρασίας για την περιοχή του Exeter για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων)



Εικόνα Π.Γ.1.3: Χρονοσειρές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Exeter για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

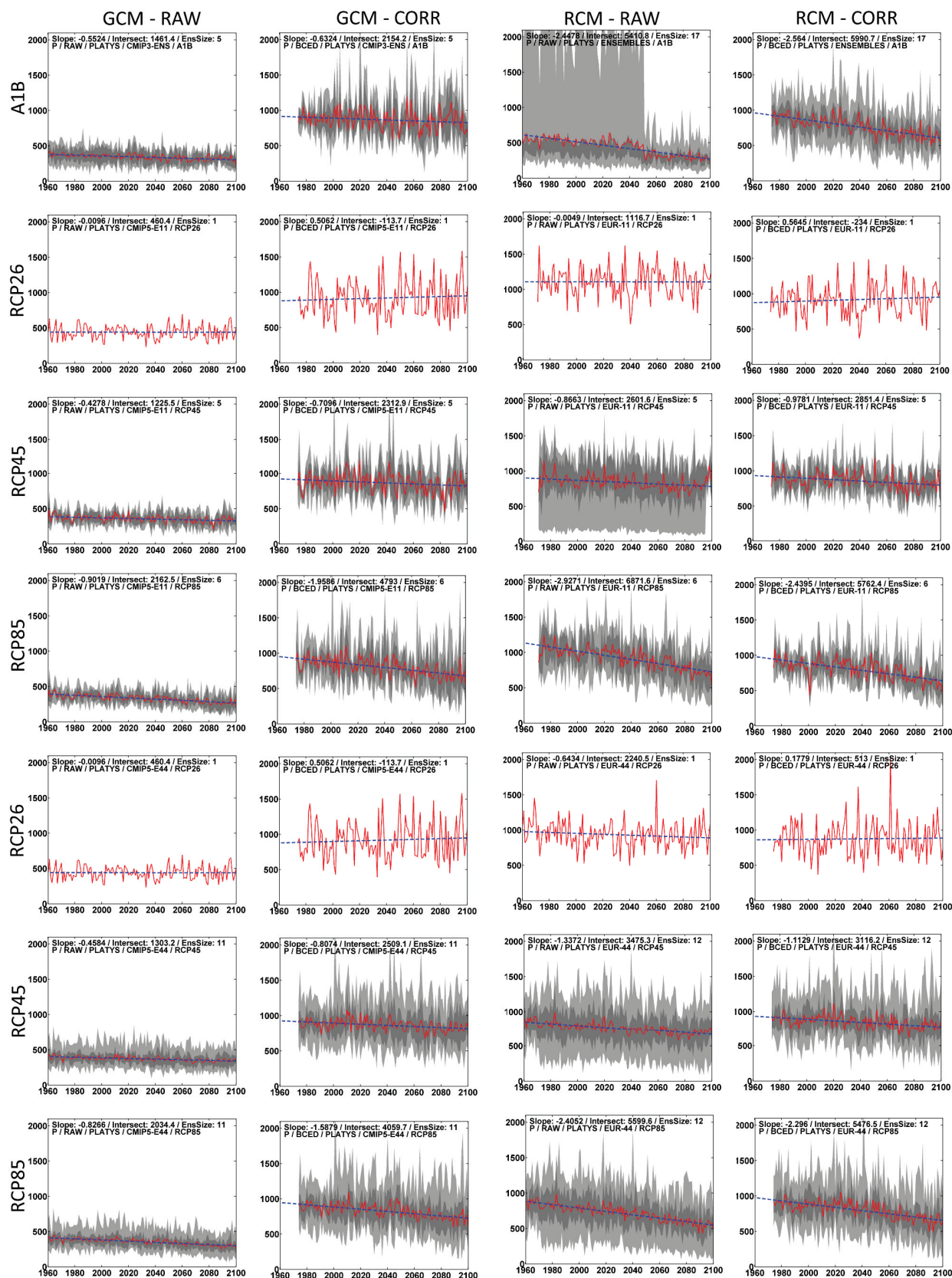


Εικόνα Π.Γ.1.4: Χρονοσειρές εκτιμημένης παροχής για την περιοχή του Exeter για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

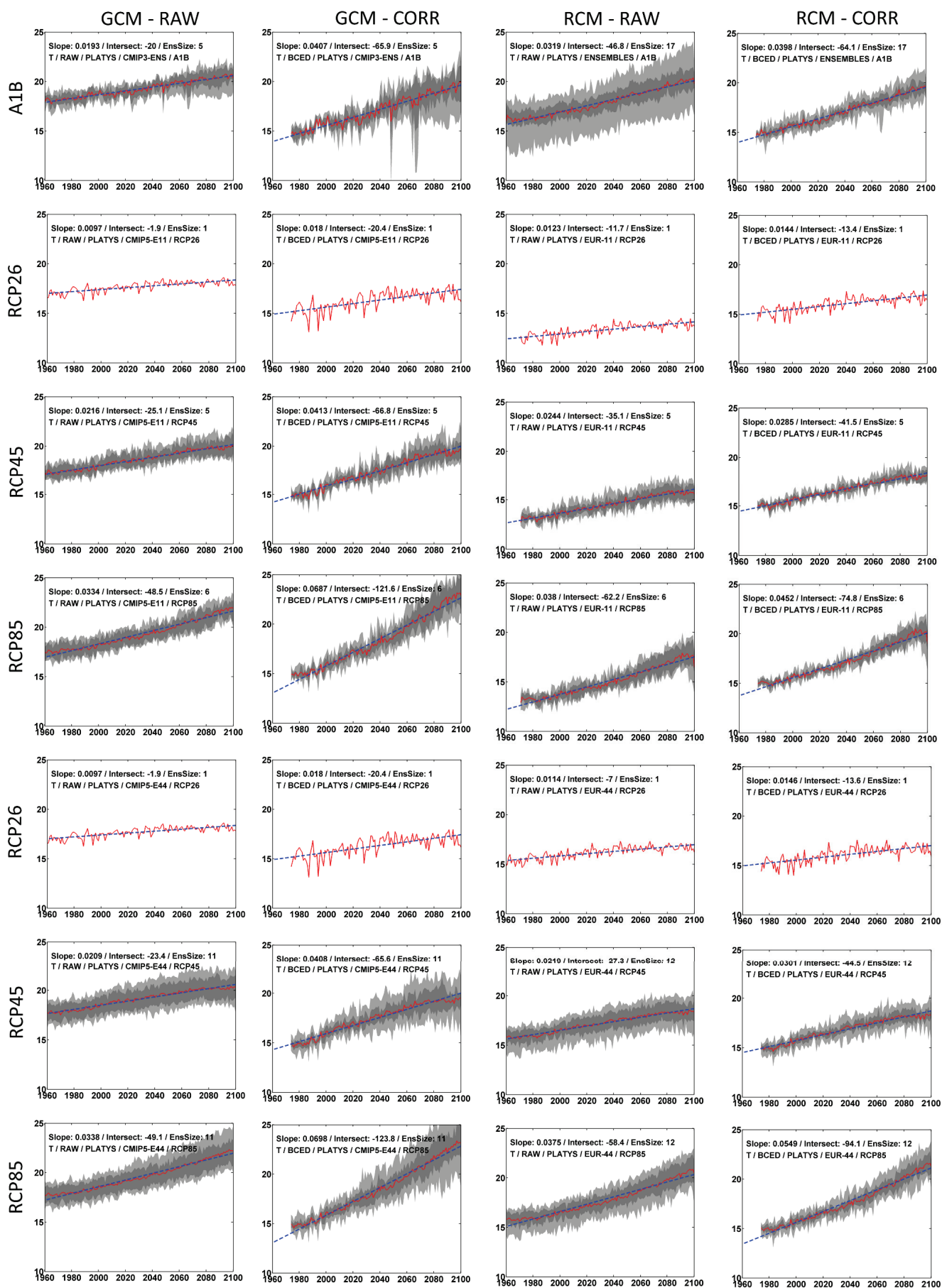


Εικόνα Π.Γ.1.5: Χρονοσειρές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Exeter για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοιχτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων)

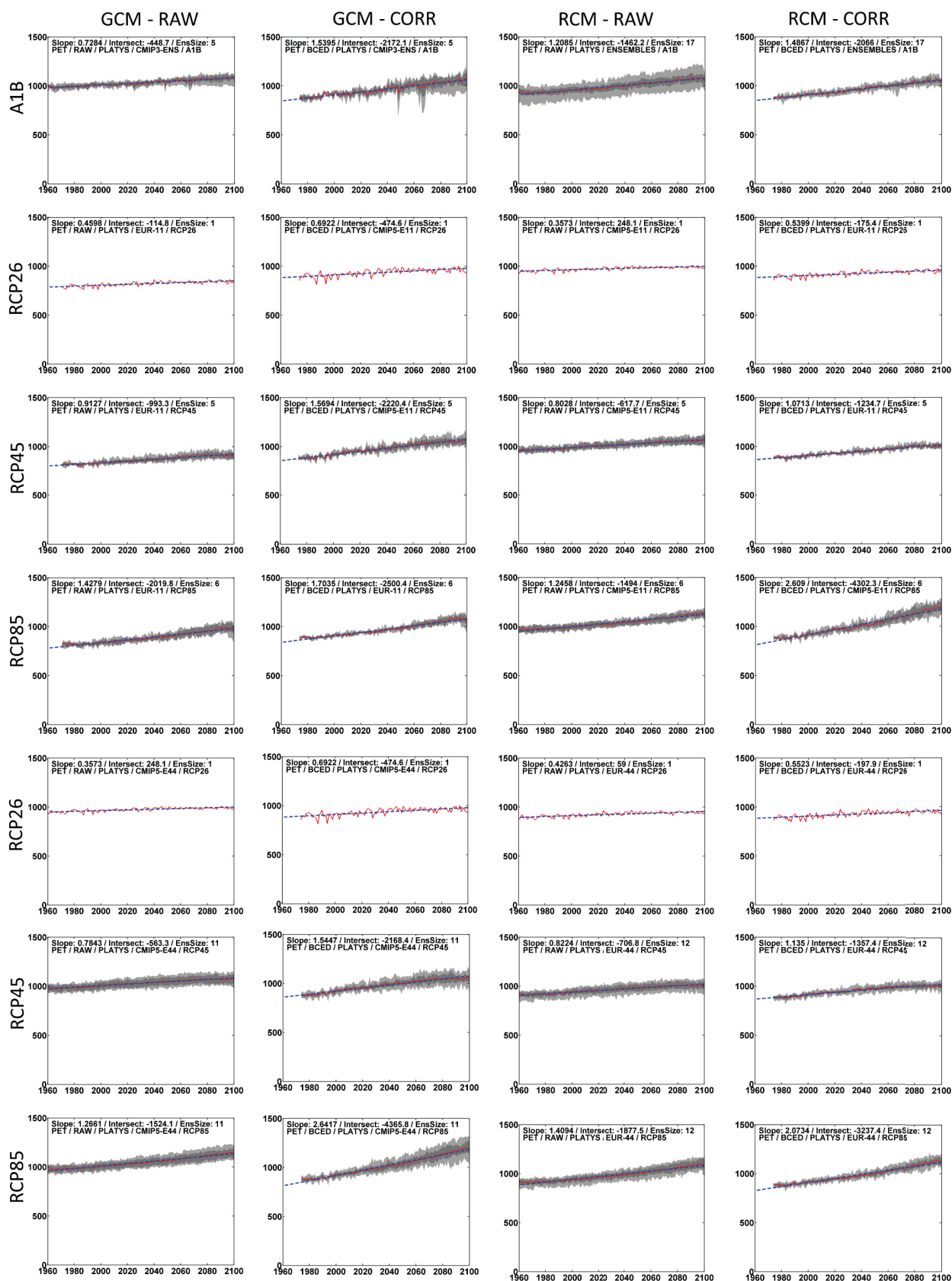
Γ.2 – Λεκάνη Πλατού



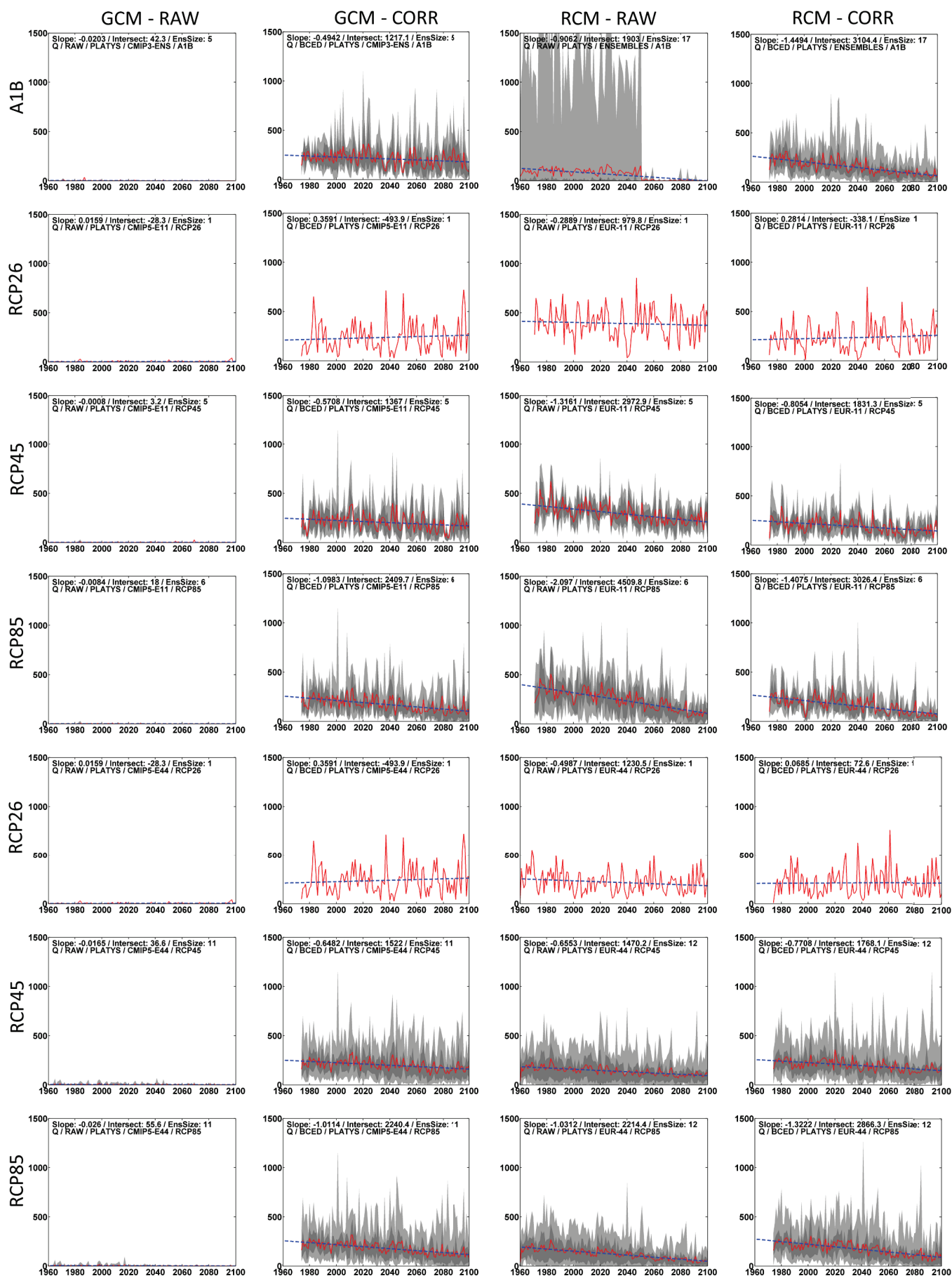
Εικόνα Π.Γ.2.1: Χρονοσειρές κατακρήμνισης για την περιοχή του Πλατού για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



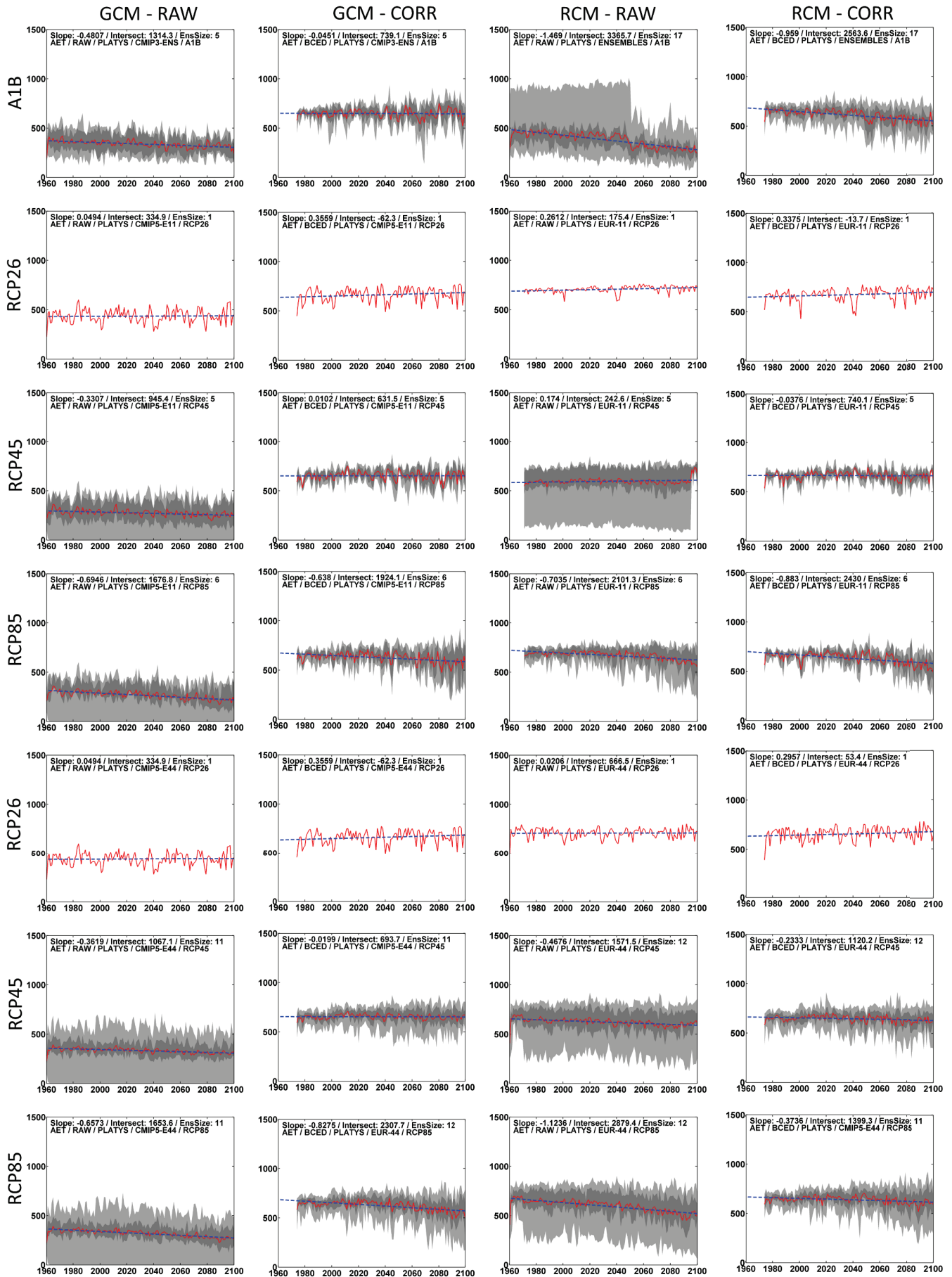
Εικόνα Π.Γ.2.2: Χρονοσειρές θερμοκρασίας για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοιχτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



Εικόνα Π.Γ.2.3: Χρονοσειρές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

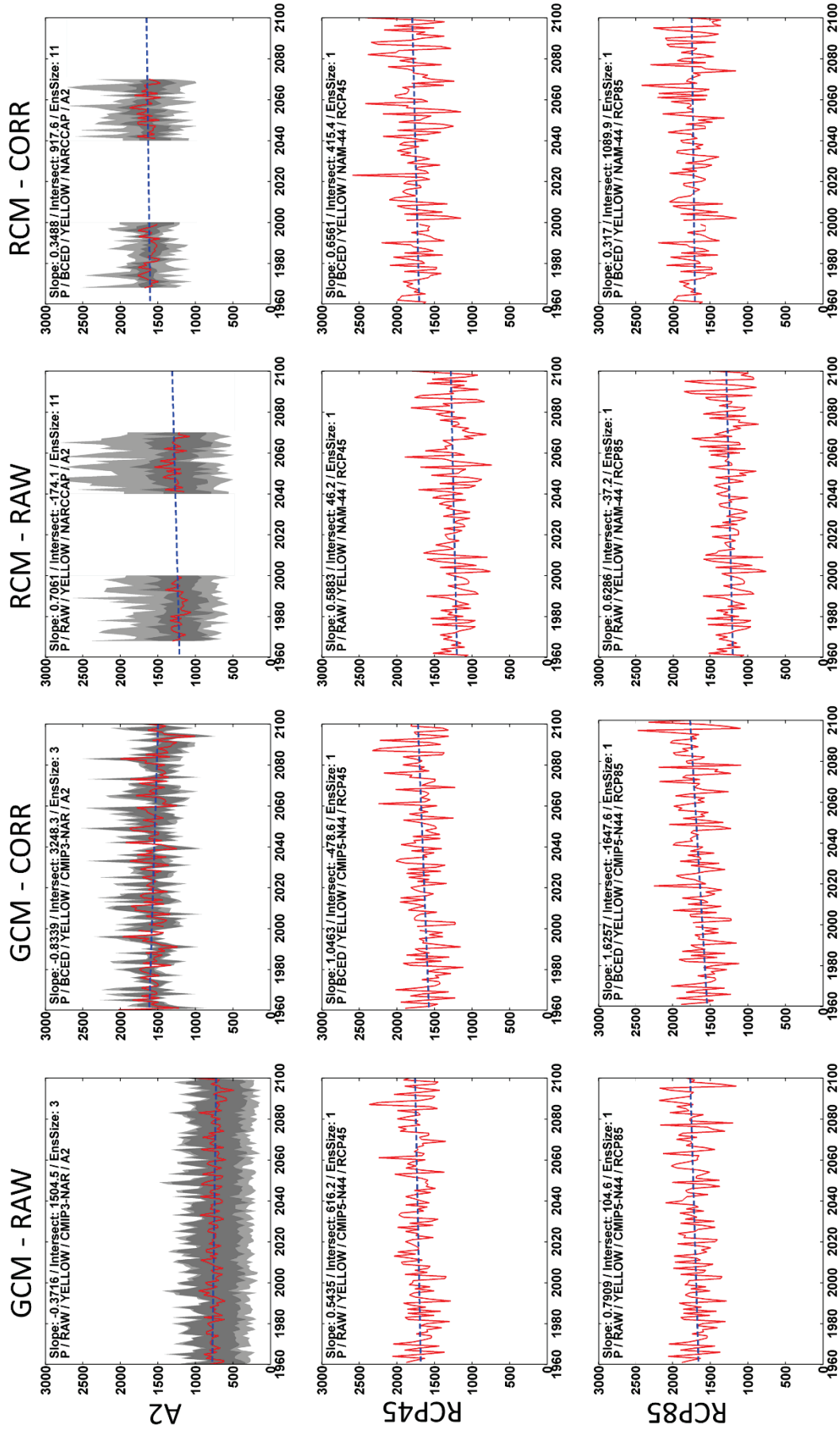


Εικόνα Π.Γ.2.4: Χρονοσειρές εκτιμημένης απορροής για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

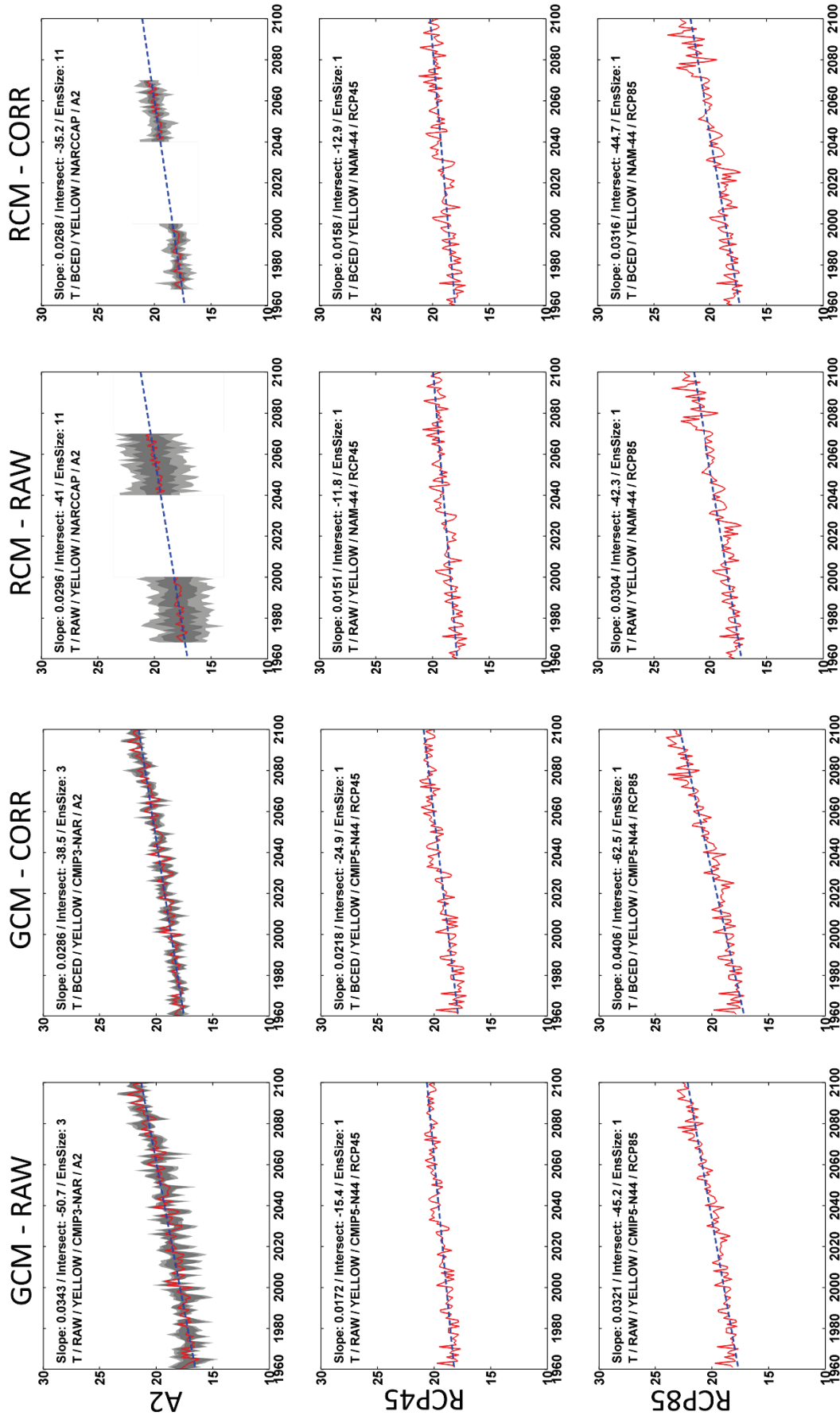


Εικόνα Π.Γ.2.5: Χρονοσειρές πραγματικής εξαμηνιαίας για την περιοχή του Πλατού για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

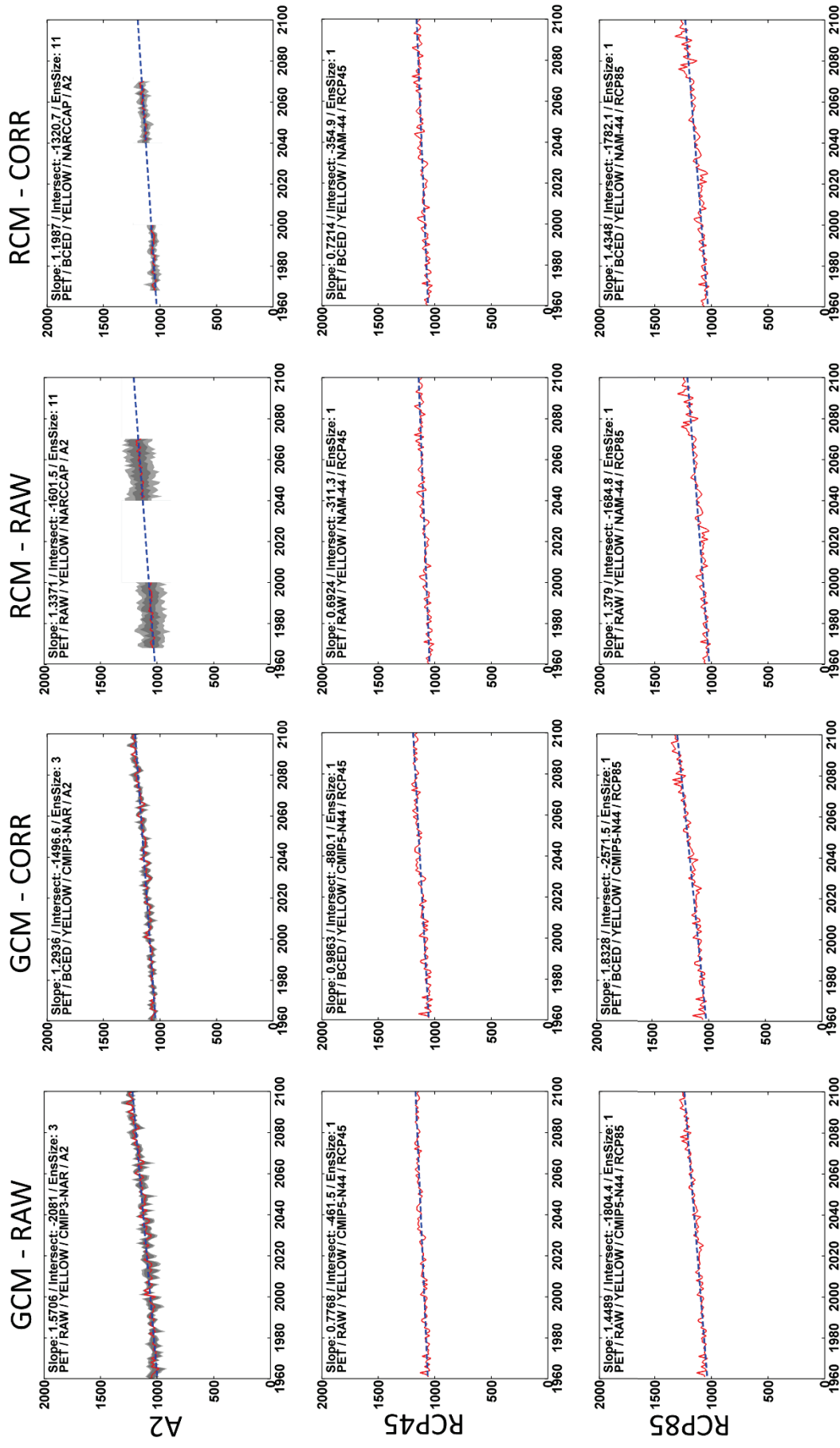
Γ.3 – Λεκάνη Yellow



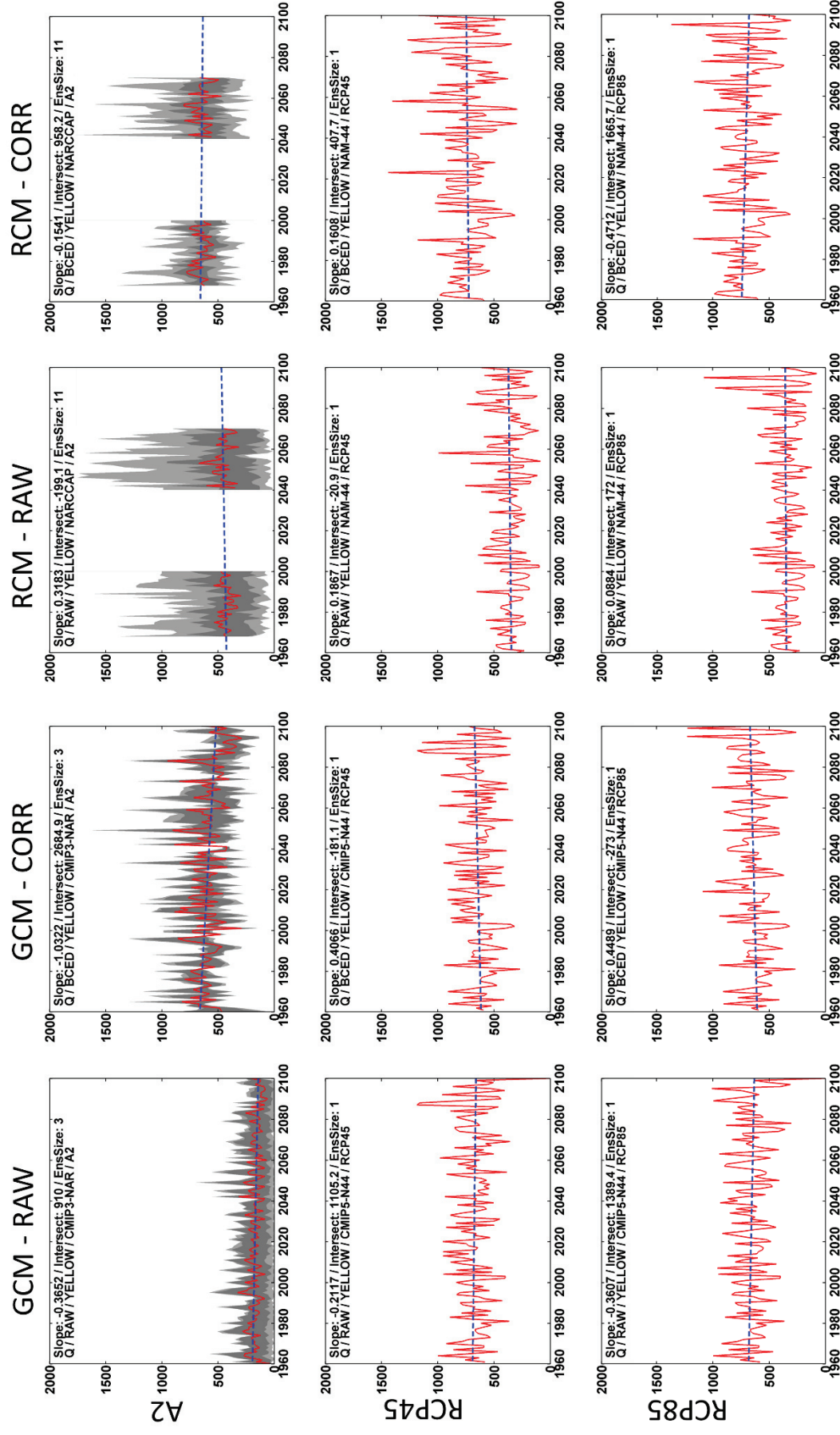
Εικόνα Π.Γ.3.1: Χρονοσειρές κατακρήμνισης για την περιοχή του Yellow για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



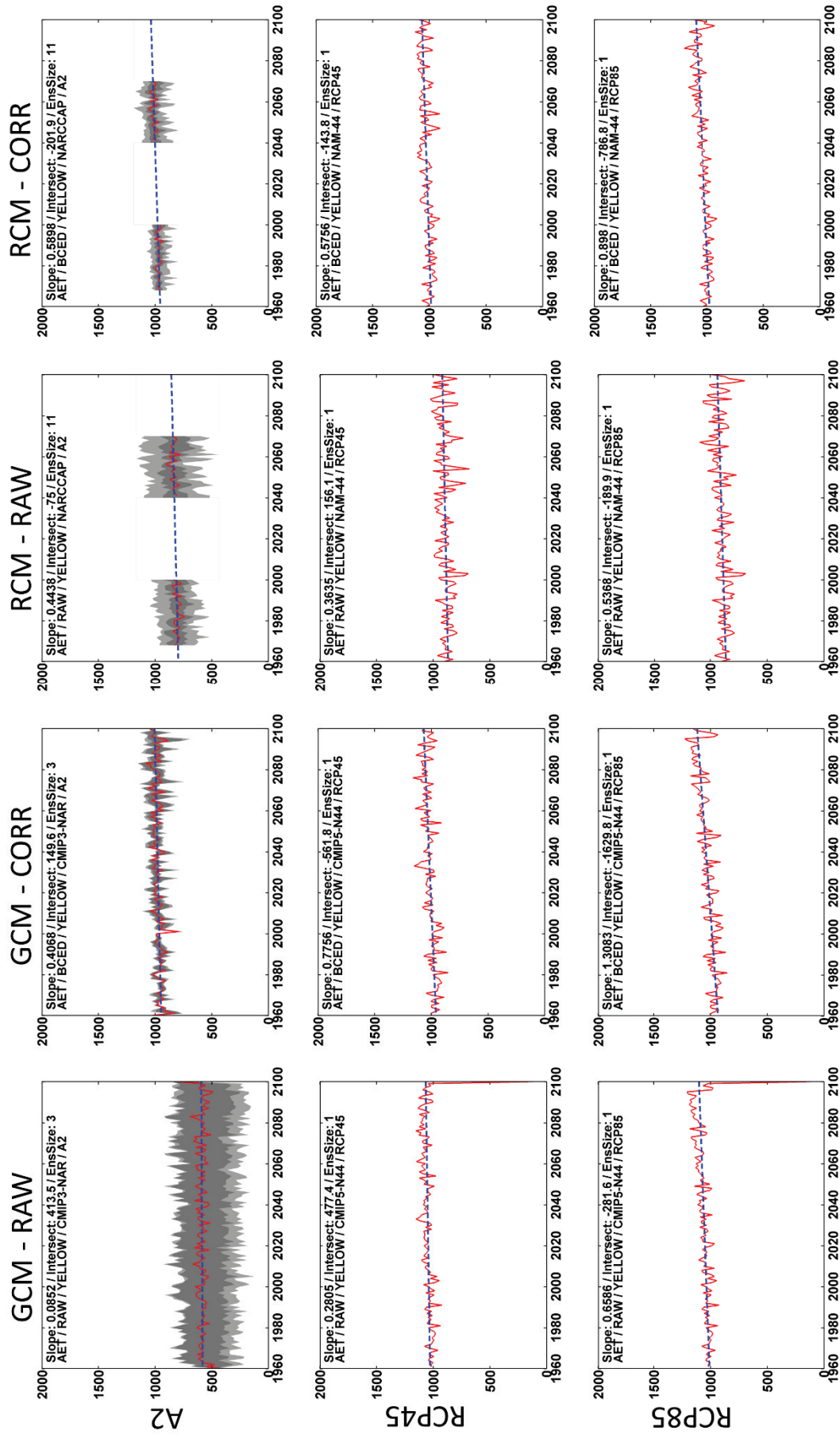
Εικόνα Π.Γ.3.2: Χρονοσειρές θερμοκρασίας για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



Εικόνα Π.Γ.3.3: Χρονοσειρές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

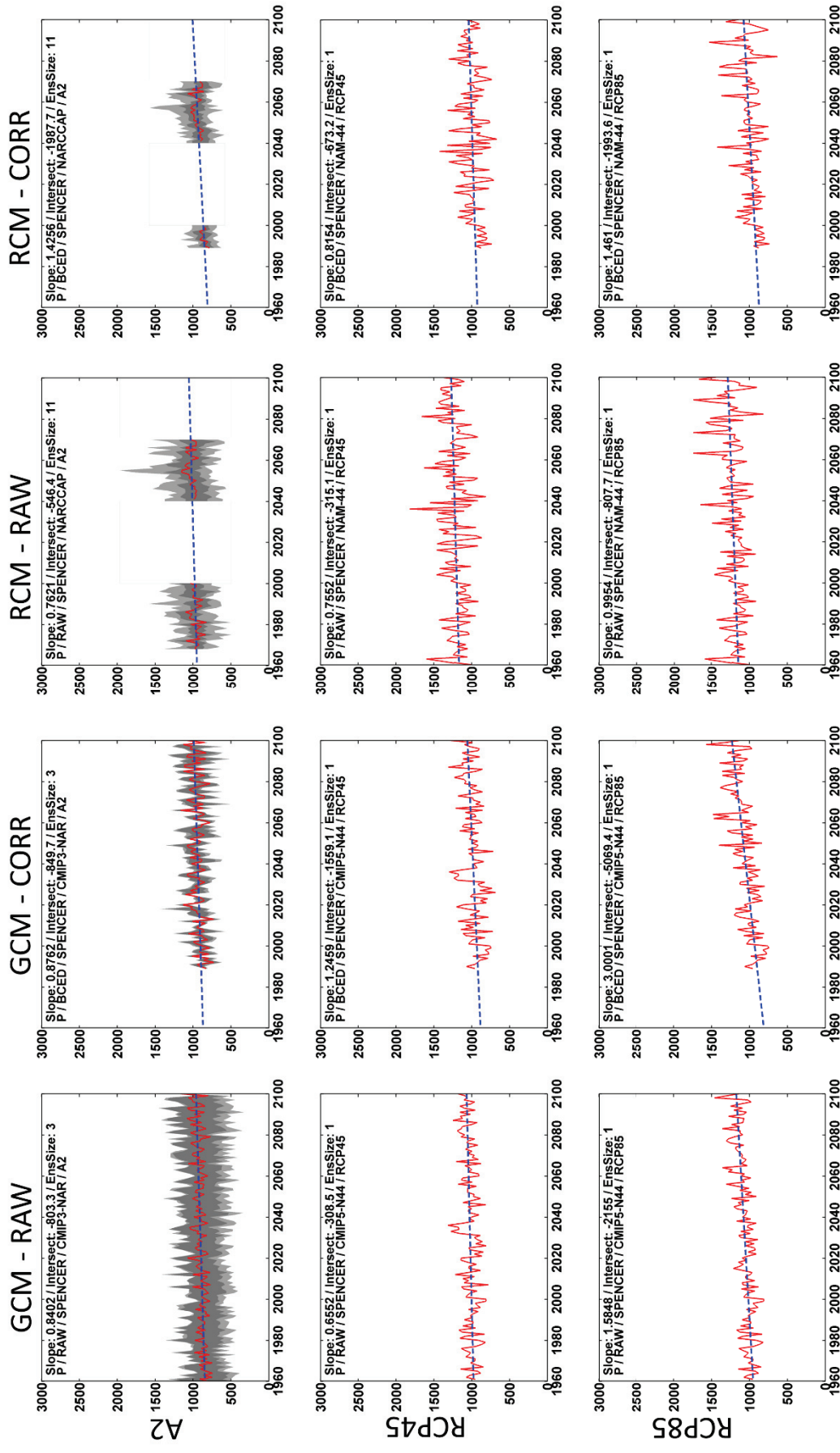


Εικόνα Π.Γ.3.4: Χρονοσειρές εκτιμημένης απορροής για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

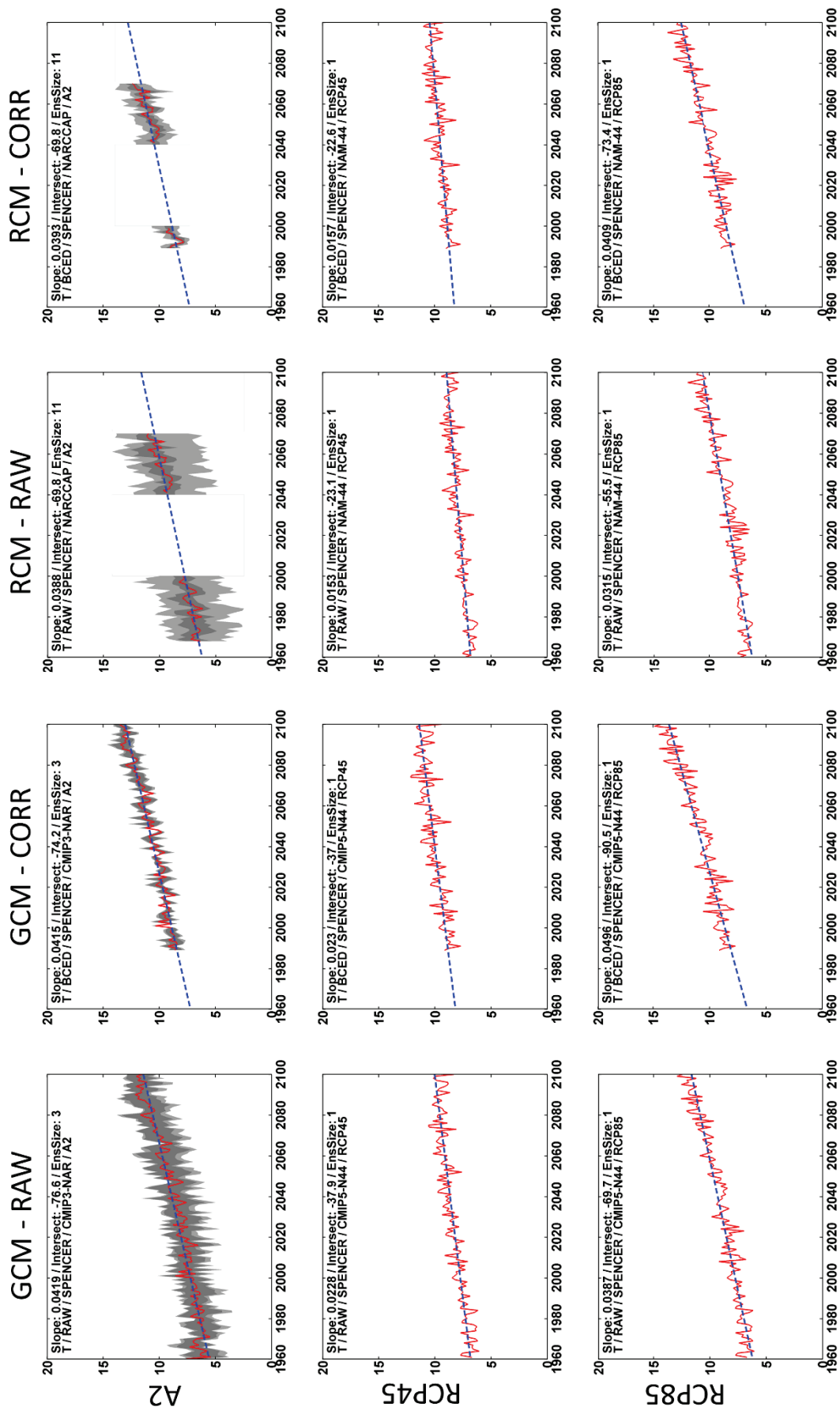


Εικόνα Π.Γ.3.5: Χρονοσειρές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Πλατύ για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).

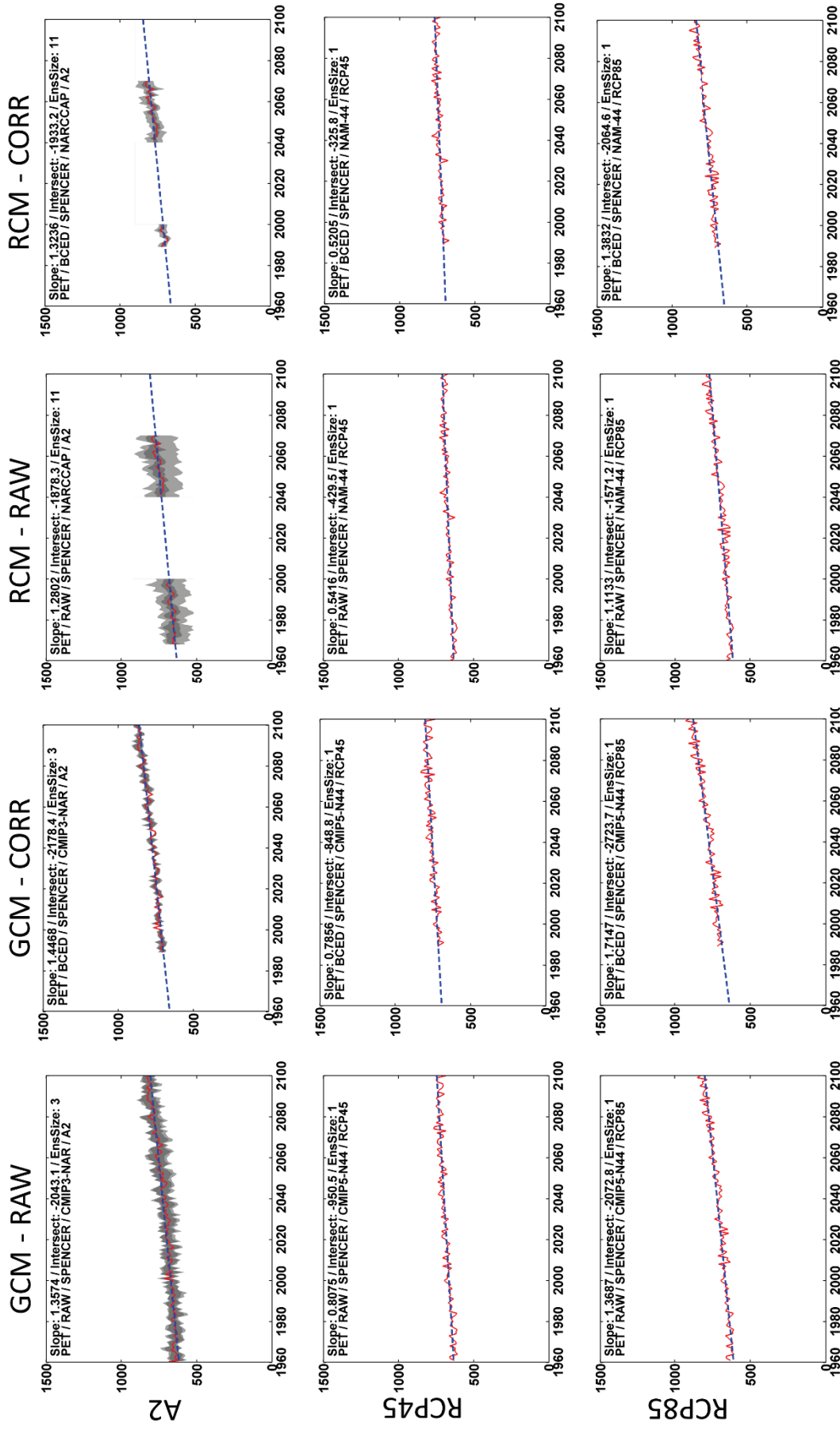
Γ.4 – Λεκάνη Spencer Creek



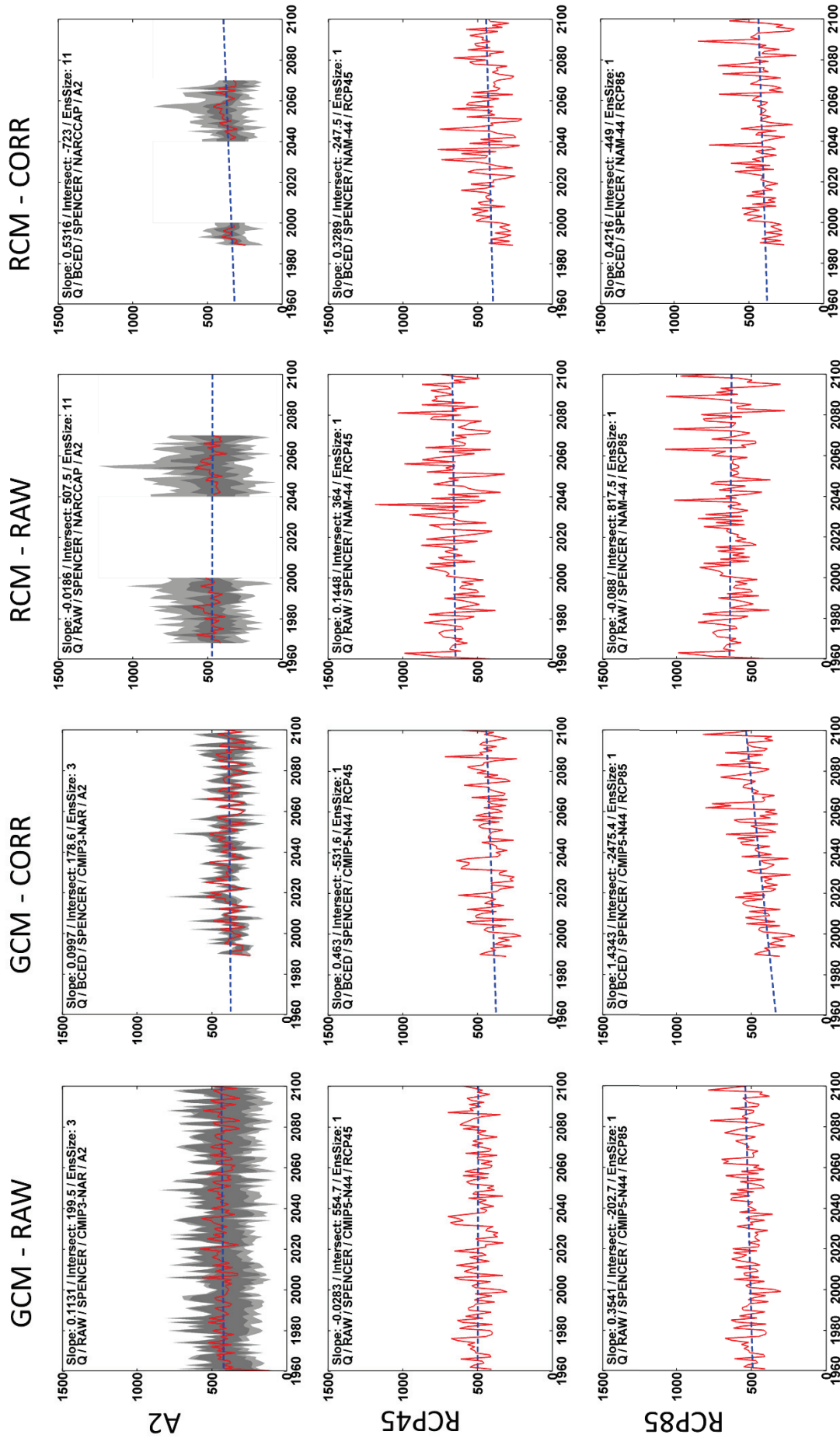
Εικόνα Π.Γ.4.1: Χρονοσειρές κατακρήμνισης για την περιοχή του Spencer Creek για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



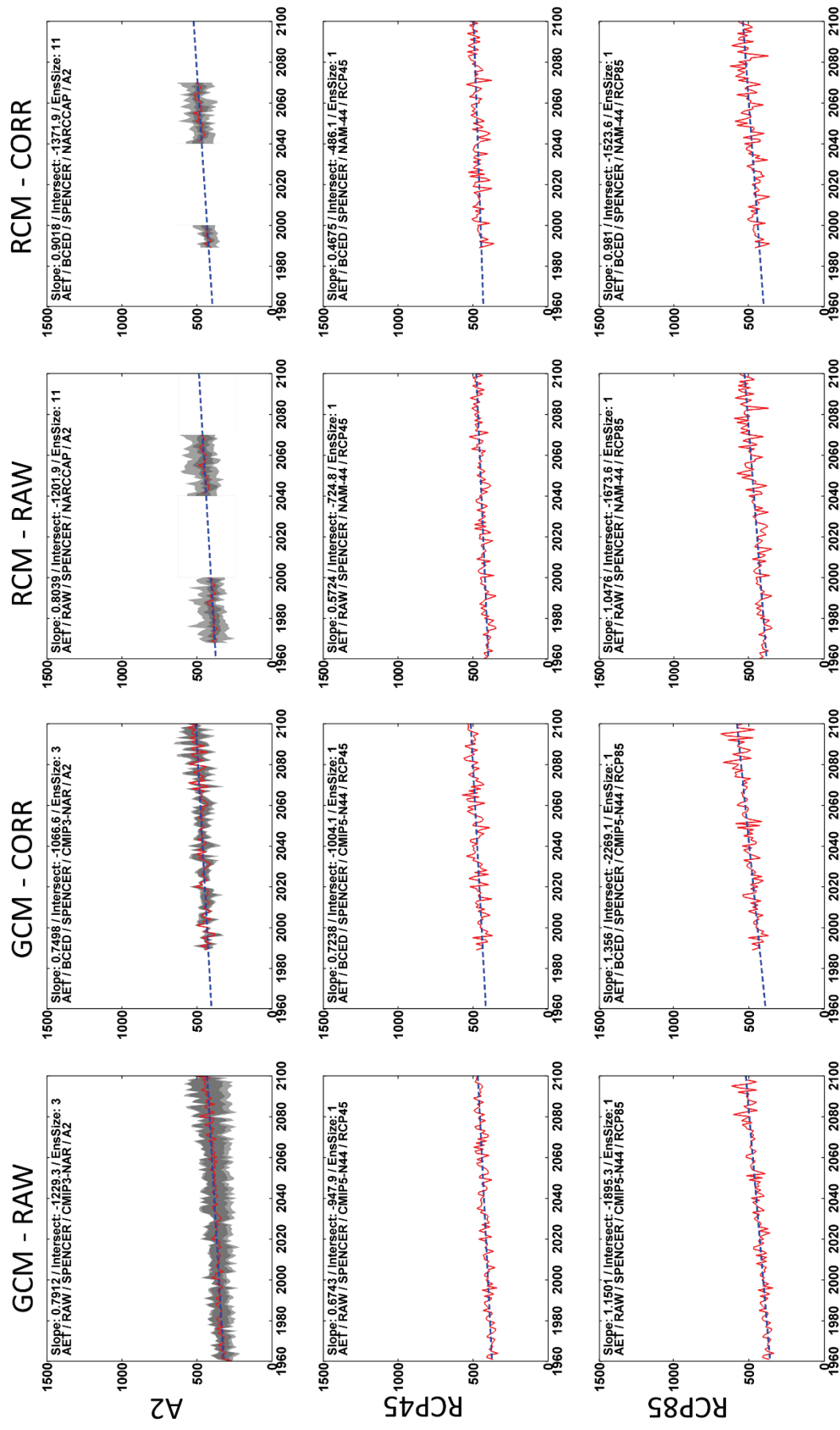
Εικόνα Π.Γ.4.2: Χρονοσειρές θερμοκρασίας για την περιοχή του Spencer Creek για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



Εικόνα Π.Γ.4.3: Χρονοσειρές δυναμικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Spencer Creek για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



Εικόνα Π.Γ.4.4: Χρονοσειρές εκτιμημένης απορροής για την περιοχή του Spencer Creek για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).



Εικόνα Π.Γ.4.5: Χρονοσειρές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του *Spencer Creek* για κάθε κλιματικό πείραμα. Με κόκκινη γραμμή παρουσιάζεται ο μέσος όρος των χρονοσειρών όλων των μοντέλων που συμμετείχαν στο συγκεκριμένο κλιματικό πείραμα. Με ανοικτό γκρι παρουσιάζεται το ελάχιστο και το μέγιστο μεταξύ των μοντέλων, ενώ με σκούρο γκρι, τα εσωτερικά τεταρτημόρια (25%-75% των μοντέλων).