



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη των μελλοντικών μεταβολών της ξηρασίας στη
Μεσόγειο υπό διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής**

Παρασκευή Ι. Γιαννοπούλου

**Επιβλέπουσα
Μαρία Χατζάκη, Επίκουρη Καθηγήτρια**

ΑΘΗΝΑ

ΜΑΡΤΙΟΣ 2021

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις μεταβολές της ξηρασίας και της βροχόπτωσης σε επιλεγμένες περιοχές της Μεσογείου για τη χρονική περίοδο από το 1971 έως τα τέλη του αιώνα υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής. Η υδρο-γεωμορφολογία της Μεσογείου, την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη στις κλιματικές μεταβολές, ενώ οι μελλοντικές προβολές από διαφορετικά κλιματικά μοντέλα συγκλίνουν στην αύξηση της συχνότητας και της σφοδρότητας των γεγονότων ξηρασίας.

Η ξηρασία αποτελεί ένα φαινόμενο που ενδέχεται να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε περιοχή με άγνωστη χρονική διάρκεια. Η εμφάνισή της εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες κλιματικούς, ανθρωπογενείς, ακόμα και γεωλογικούς και επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις περιοχές που πλήττει με κύρια επίπτωση την έλλειψη νερού για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς.

Οι περιοχές μελέτης (σε Ιταλία, Ελλάδα, Τουρκία, Κύπρο και Ιορδανία) που επιλέχθηκαν είναι περιοχές με εδάφη βεβαρυμμένα σε γεωγενές χρώμιο. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τρεις κλιματικές προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RCA4 SHMI για δύο μελλοντικά σενάρια κλιματικής (RCP4.5 και RCP8.5), τα οποία ήταν διαθέσιμα μέσω του EURO-CORDEX. Για τη μελέτη της ξηρασίας, εφαρμόστηκε ο δείκτης Standardized Precipitation Index SPI12, ο οποίος δίνει ενδείξεις για μειωμένη ροή στο υδρόρεμα και τη δεξαμενή αποθήκευσης.

Από τη σύγκριση των μελλοντικών περιόδων με το παρόν κλίμα και από τη μελέτη των τάσεων προκύπτει ότι η βροχόπτωση θα παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μείωση, ενώ αναμένονται ακραίες και εκτεταμένες ξηρασίες που σηματοδοτούν μειώσεις στα υπόγεια ύδατα.

Λέξεις Κλειδιά: Μεσόγειος, Κλιματική Αλλαγή, Κλιματικά Μοντέλα, Βροχόπτωση, Δείκτης Ξηρασίας

Abstract

In this thesis, we study the changes in drought and precipitation regimes for selected areas of the Mediterranean during the period from 1971 to the end of the century. Mediterranean, due to its hydrogeomorphology, is particularly vulnerable to climate change, while future climate projections of several climate models agree on the increase of frequency and intensity of drought events.

Drought is a phenomenon that can appear in all regions with unknown duration. Its onset depends on various climatological, anthropogenic, and geological factors and it exhibits severe impacts, with most important the shortage of water for supply and irrigation purposes.

Case areas of Mediterranean countries (in Italy, Greece, Turkey, Cyprus, and Jordan) with mainly of geogenic origin Cr(VI) contaminated waters, are selected as an example of a specific water pressure problem. For the climatic analysis, we used data of three different simulations of the regional climate model (RCM) RCA4 SMHI, under two future emission scenarios, i.e. RCP4.5 and RCP8.5, which became available via EURO-CORDEX initiative. For the study of drought, we applied the Standardized Precipitation Index SPI12, which is used as an indicator for reduced stream flow and reservoir storage.

From the comparison of future periods with the present climate and the respective trends analysis, it is found that future precipitation will exhibit a statistically significant decrease, while extreme and prolonged droughts are anticipated, signifying reductions in groundwater and reservoir levels.

Keywords: Mediterranean, Climate Change, Climate Models, Precipitation, Drought Index

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	4
A.1. Ο πλανήτης Γη	4
A.2. Κλιματολογία & Μετεωρολογία	4
A.2.1. Καιρός & Κλίμα	5
A.2.2. Παράγοντες και Στοιχεία Κλίματος	5
A.3. Το Κλίμα της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου	5
A.4. Κλιματική αλλαγή	6
A.4.1. Ξηρασία.....	7
A.5. Κλιματική αλλαγή στην Κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο	7
A.6. Κλιματικά μοντέλα	8
A.6.1. Τι είναι ένα κλιματικό μοντέλο	8
A.6.2. Ποια είναι τα κλιματικά μοντέλα	9
A.6.3. Μελλοντικά κλιματικά σενάρια – Αντιπροσωπευτικές Κατευθύνσεις Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways - RCPs)	10
B. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	12
B.1. Οι Περιοχές Μελέτης και Στοιχεία για το Κλίμα τους	12
B.1.1. ΙΤΑΛΙΑ.....	13
B.1.2. ΕΛΛΑΔΑ	13
B.1.3. ΚΥΠΡΟΣ.....	14
B.1.4. ΤΟΥΡΚΙΑ.....	15
B.1.5.ΙΟΡΔΑΝΙΑ	16
B.1.6. OMAN.....	17
B.2. Δεδομένα	19
B.3. Δείκτης ξηρασίας SPI	19

Γ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	21
Γ.1. Επιλογή δεδομένων των μοντέλων	21
Γ.2. Πακέτο υπολογισμού του δείκτη SPI στην R.....	24
Γ.3. Επεξεργασία δεδομένων.....	25
Δ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	26
Δ.1. Ιταλία	26
Δ.2. Ελλάδα	32
Δ.3. Κύπρος	38
Δ.4. Τουρκία	44
Δ.5. Ιορδανία	50
Ε ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	56
ΣΤ. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έλλειψη νερού και τα προβλήματα στην ποιότητα του νερού στις χώρες της Μεσογείου φαίνονται να εντείνονται εξ αιτίας της έντονης αγροτικής δραστηριότητας και της αστικής και βιομηχανικής ανάπτυξης.

Η ξηρασία αποτελεί ένα φαινόμενο που ενδέχεται να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε περιοχή με άγνωστη χρονική διάρκεια. Η εμφάνισή της εξαρτάται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες κλιματικούς, ανθρωπογενείς, ακόμα και γεωλογικούς και επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις περιοχές που πλήττει με κύριες επιπτώσεις την έλλειψη νερού για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς, καθώς και την αύξηση της θερμοκρασίας, την αποξήρανση του εδάφους, την αύξηση των επιπέδων αλάτωσης και την εκδήλωση πυρκαγιών.

Η υδρο-γεωμορφολογία της Μεσογείου, την καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτη στις κλιματικές μεταβολές, ενώ οι μελλοντικές προβολές από διαφορετικά κλιματικά μοντέλα συγκλίνουν στην αύξηση της συχνότητας και της σφοδρότητας των γεγονότων ξηρασίας. Κάτω από το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, είναι σημαντικό να διερευνώνται οι μεταβολές των προτύπων της βροχής, όπως οι χωρικές και χρονικές κατανομές των εκτεταμένων ξηρασιών και των ακραίων γεγονότων βροχής.

Συγκεκριμένες περιοχές της Μεσογείου σε Ιταλία, Ελλάδα, Τουρκία, Κύπρο και Ιορδανία, με βεβαρυμμένα ύδατα κυρίως από γεωγενές εξασθενές χρώμιο Cr(VI) αποτελούν παράδειγμα ειδικού προβλήματος υδατικής πίεσης, το οποίο πρέπει να προσεγγιστεί μέσω της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πηγών.

Για το λόγο αυτό, έγινε ενδελεχής μελέτη της μελλοντικής συμπεριφοράς της βροχόπτωσης και της ξηρασίας, στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος ERANETMED CrITERIA, η οποία αποτελεί και τον στόχο της παρούσας εργασίας. Συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι μέθοδοι ανάλυσης. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ενώ το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί μία σύνοψη των σημαντικότερων συμπερασμάτων.

A. Θεωρητικό Υπόβαθρο

A.1. Ο πλανήτης Γη

Η όψη της Γης συνεχώς μεταβάλλεται. Είναι αποτέλεσμα πολύπλοκων διαδικασιών που αλληλεπιδρούν τόσο στο εσωτερικό της Γης όσο και στην επιφάνειά της. Η Γη είναι από τους μικρότερους πλανήτες του ηλιακού μας συστήματος και τρίτος σε σειρά από τον Ήλιο. Αποτελείται από δύο μεγάλα συστήματα, το εσωτερικό και το εξωτερικό. Το εσωτερικό της Γης, το οποίο αποτελείται από πολλά «στρώματα», χαρακτηρίζεται κυρίως από κάποιες συγκεκριμένες σημαντικές επιφάνειες όπως την ασυνέχεια Moho (χωρίζει τον στερεό φλοιό από τον μανδύα) και την ασυνέχεια Gutenberg (χωρίζει τον μανδύα με τον πυρήνα). Το εσωτερικό της Γης μελετάται μέσω γεωτρήσεων (σε βάθη 8-10km), γεωφυσικών διασκοπήσεων, μελέτη μετεωριτών που πέφτουν στην επιφάνειά της και αλλά και μέσω εργαστηριακών αναλύσεων. Το εσωτερικό της Γης αποτελείται από τον στερεό φλοιό, τον μανδύα και τον πυρήνα. Η επιφάνεια της Γης κατά τα $\frac{3}{4}$ της είναι καλυμμένη από θάλασσα, ενώ στεριά είναι μόλις το 29%. Κοιτώντας τον παγκόσμιο χάρτη θα παρατηρήσει κανείς εκτός από την προαναφερθείσα αναλογία σε θάλασσα – ξηρά, την άνιση κατανομή των ηπείρων στα δύο ημισφαίρια. Η εικόνα αυτή δεν ήταν πάντα η ίδια κατά την εξέλιξη της Γης στο γεωλογικό χρόνο, γεγονός που μας καθιστά προφανές ότι ο πλανήτης είναι ένα ζωντανό σώμα που ωριμάζει όπως κάθε οργανισμός (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2013).

Η επιφάνεια της Γης περιβάλλεται από ένα σύστημα το οποίο καλείται ατμόσφαιρα και αποτελεί το μέρος όπου λαμβάνουν χώρα τα περισσότερα φυσικά φαινόμενα, που γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο. Γίνεται κατανοητό ότι ο πλανήτης Γη είναι ακόμα Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στο κομμάτι της ατμόσφαιρας συμβαίνουν τα πιο εύκολα αντιληπτά από τον άνθρωπο φαινόμενα. Αυτά ξεκίνησαν να καταγράφονται από τους πρώτους κίολας πολιτισμούς μέσω φυσικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η ένταση του ανέμου, η ποσότητα και η ένταση της βροχής. Γίνεται λοιπόν προφανές ότι η μελέτη του πλανήτη Γη είτε αφορά το εσωτερικό του, την επιφάνεια ή το υπέργειο τμήμα του, πρόκειται για μια ιδιαίτερα περίπλοκη υπόθεση πολυπαραγοντική (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1997).

A.2. Κλιματολογία & Μετεωρολογία

Η Κλιματολογία και η Μετεωρολογία είναι κλάδοι της μελέτης του γεω-περιβάλλοντος άρρηκτα συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Αν και οι δύο επιστήμες έχουν το ίδιο πεδίο έρευνας και μελέτης παρουσιάζουν αρκετές διαφοροποιήσεις στο καθαυτό αντικείμενο μελέτης.

Κλιματολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την περιγραφή και εξήγηση των καιρικών συστημάτων που εμφανίζονται από τόπο σε τόπο σε χρόνο μελέτης μιας κανονικής περιόδου. Στόχος της είναι η περιγραφή του κλίματος και η συσχέτισή του με το φυσικό περιβάλλον και τον άνθρωπο. Μία κανονική περίοδος μελέτης κατά σύμβαση είναι συνήθως 30 έτη, αλλά υπάρχουν και φαινόμενα

για τα οποία η περίοδος αυτή μπορεί να διαμορφωθεί στα 10-15 έτη (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1997).

Η μετεωρολογία είναι η επιστήμη που αποτελείται και αποδίδει αποτελέσματα μέσω της φυσικής, της χημείας και της δυναμικής της ατμόσφαιρας. Στόχος της είναι η κατανόηση και η πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών φαινομένων για κάθε σημείο, κάθε στιγμή της ημέρας (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1997).

A.2.1. Καιρός & Κλίμα

Ο καιρός είναι μια έννοια που αναφέρεται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή για συγκεκριμένο και περιορισμένο χρονικό διάστημα. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι ο καιρός είναι ένας όρος που έχει παροδικότητα και δεν μπορεί να έχει μεγάλη έκταση. Ωστόσο η επαναληψιμότητά του στο χρόνο και τον τόπο οδηγεί στην έννοια του κλίματος (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1997).

Ο όρος κλίμα αναφέρεται στον συνδυασμό όλων των συνθηκών του καιρού που επικρατούν σε μια περιοχή, για ένα χρονικό διάστημα της τάξης των τριάντα ή και περισσότερων ετών. Είναι δηλαδή, ο μέσος καιρός, που προσδιορίζεται από τις μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η υγρασία, ο άνεμος, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η ατμοσφαιρική μέτρηση των σωματιδίων. Η έννοια του κλίματος, ωστόσο, περιλαμβάνει και τα ακραία καιρικά φαινόμενα που παρατηρούνται στην εκάστοτε περιοχή. Η συχνότητα εμφάνισης αυτών μας βοηθά στην κλιματική διάκριση μεταξύ δύο ή και παραπάνω περιοχών οι οποίες έχουν ίδιες ή σχεδόν ίδιες μέσες τιμές των μετεωρολογικών τους παραμέτρων. (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1997)

A.2.2. Παράγοντες και Στοιχεία Κλίματος

Το κλίμα, από περιοχή σε περιοχή, εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων όπως:

- Το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο
- Η φύση της επιφάνειας της ξηράς ή/και της θάλασσας
- Το ανάγλυφο και ο προσανατολισμός
- Η φυτοκάλυψη του εδάφους
- Τα κέντρα υψηλής και χαμηλής πίεσης
- Η θαλάσσια κυκλοφορία (El Niño)
- Η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας
- Ο κύκλος του νερού
- Ο άνθρωπος

A.3. Το Κλίμα της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου

Το μεσογειακό κλίμα αποτελεί ένα μεταβατικό κλίμα μεταξύ της εύκρατης και της τροπικής ζώνης. Εκτός από την Λεκάνη της Μεσογείου, το μεσογειακό κλίμα απαντάται στην κεντρική Καλιφόρνια, την κεντρική Χιλή, το νότιο άκρο της Αφρικής και τη νοτιοδυτική Αυστραλία.

Βασικό στοιχείο που διαμορφώνει το κλίμα που εμφανίζεται στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου είναι η ύπαρξη υψηλών κορυφών στις περιοχές γύρω της. Επιπλέον, ένα ακόμα στοιχείο που συνθέτει αυτήν την πολύπλοκη κλιματική κατάσταση είναι η ύπαρξη πολλών νησιών, χερσονήσων και τοπικών θαλασσών που δημιουργούν ένα πολύπλοκο μοτίβο ξηράς και θάλασσας (Lionello et al., 2006).

Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιο βροχερό χειμώνα (Lionello et al., 2006). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού το κλίμα διαμορφώνεται από τη μετατόπιση της αντικυκλωνικής ράχης προς το βορρά. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι αέριες μάζες κινούνται προς νότο. Επιπροσθέτως, παρατηρείται μικρότερη μεταβολή των θερμοκρασιών στις ηπειρωτικές περιοχές κατά τη διάρκεια του χειμώνα και μεγαλύτερες το καλοκαίρι, συγκριτικά με τις περιοχές κοντά στη θάλασσα όπου η επίδραση της θάλασσας είναι μεγαλύτερη (Bolle, 2003). Οι εσωτερικές παρουσιάζουν μεγαλύτερες θερινές και μικρότερες χειμερινές θερμοκρασίες συγκριτικά με τα παράλια.

Εκτός της ποικιλότητας που παρατηρείται στη θερμοκρασία, υπάρχει και σημαντική διακύμανση των βροχοπτώσεων. Κατά την χειμερινή περίοδο, η παρουσία των βροχοπτώσεων είναι πιο έντονη ενώ κατά το θέρος, είναι από μικρή έως ελάχιστη. Η μεταβολή της κατανομής των βροχοπτώσεων φαίνεται να διαμορφώνεται ως εξής. Είναι πιο έντονες στις προσήνεμες περιοχές και μείωσή τους από βορρά προς νότο και από δυτικά προς ανατολικά.

Όπως φάνηκε, το κλίμα της Μεσογείου επηρεάζεται και διαμορφώνεται όχι μόνο από τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, αλλά και από την κατανομή της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

A.4. Κλιματική αλλαγή

Ο όρος κλιματική αλλαγή σχετίζεται με τη μεταβολή των μέσων όρων των μετεωρολογικών παραμέτρων, ελάττωση ή αύξηση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, μετά από συνεχή παρατήρηση σε μια κανονική περίοδο (Ahrens, 2003). Η μεταβολή του κλίματος μπορεί να αναφέρεται σε παγκόσμια κλίμακα ή να έχει και τοπικό χαρακτήρα. Πρόκειται για στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος, που μπορεί να οφείλονται τόσο σε φυσικές διεργασίες όσο και σε ανθρώπινη δραστηριότητα.

Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες, η τάση για υπερθέρμανση του πλανήτη, παρατηρείται από τα μέσα του 20ού αιώνα, δηλαδή, από όταν η αυξηθηκε η ανθρώπινη δράση και κατ' επέκταση ενισχύθηκε το φαινόμενο του θερμοκηπίου, φαινόμενο κατά το οποίο η θέρμανση που προκύπτει παγιδεύεται και δεν μπορεί να εκπεμφθεί στο διάστημα.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο, ωστόσο οι ανθρώπινες δραστηριότητες το επιταχύνουν. Τον τελευταίο αιώνα η καύση ορυκτών καυσίμων και πετρελαίου, αύξησε τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα και αυτό επειδή κατά την καύση των προαναφερθέντων συνδυάζεται ο περιεχόμενος άνθρακας με το οξυγόνο του αέρα δημιουργώντας την παραπάνω ένωση. Δευτερευόντως το φαινόμενο ενισχύουν και δράσεις όπως η γεωργία και η βιομηχανία, ωστόσο σε πολύ μικρότερο βαθμό (<https://climate.nasa.gov/causes/>).

Όπως αναφέρθηκε η κλιματική αλλαγή είναι αποτέλεσμα της αύξησης της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ωστόσο είναι μία αρκετά σύνθετη έννοια που εξαρτάται και καθορίζεται από πληθώρα παραγόντων που αλληλεξαρτώνται. Εκτός λοιπόν από τις συγκεντρώσεις του CO₂ που συμβάλλουν σημαντικά στην κλιματική αλλαγή, σημαντικοί παράγοντες αποτελούν οι παραλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και η μεταβολή της τροχιάς της Γης (Στάθης, 2015)

Κάποιες από τις σημαντικότερες επιπτώσεις έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω. Πιο αναλυτικά από τις πιο σπουδαίες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι οι παρακάτω:

- Η συνεχής αύξηση της θερμοκρασίας
- Η μεταβολή στο χωρικό και χρονικό μοτίβο των βροχοπτώσεων
- Η ξηρασία και τα έντονα κύματα καύσωνα
- Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας
- Το λιώσιμο των πάγων (<https://climate.nasa.gov/effects/>).

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία κατάσταση η οποία επηρεάζει τον ολόκληρο τον πλανήτη. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι για την αντιμετώπισή της και τον μετριασμό των επιπτώσεών της.

A.4.1. Ξηρασία

Αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί η ξηρασία. Η ξηρασία είναι μία περίοδος όπου παρατηρείται ασυνήθιστα ξηρός καιρός. Αν η περίοδος αυτή είναι αρκετά μεγάλη ενδέχεται να προκαλέσει υδρολογική ανισορροπία. Ωστόσο η ξηρασία είναι μια ιδιαίτερα σύνθετη έννοια. Για να γίνει σε κάθε περίπτωση κατανοητό, θα πρέπει να διευκρινιστεί η δραστηριότητα για την οποία υπάρχει ενδιαφέρον κάθε φορά και σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις. Μια χρονική περίοδος με ανώμαλο έλλειμμα υετού, ονομάζεται μετεωρολογική ξηρασία. Ωστόσο υφίσταται και η έννοια της υπερ-ξηρασίας, η οποία χαρακτηρίζεται ως διεισδυτική και διαρκεί πολύ περισσότερο από το κανονικό, μία δεκαετία ή ίσως και περισσότερο (Collins et al., 2013)

Επομένως, ξηρασία είναι η έλλειψη νερού που όμως επηρεάζει το υδρολογικό σύστημα μιας γεωγραφικής περιοχής, προκαλώντας ανησυχία στους υδρογεωλόγους. Η ανεπάρκεια υετού επηρεάζει άμεσα συνθήκες του εδάφους και των φυτών ωστόσο χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να κλονιστεί η ισορροπία του συστήματος.

A.5. Κλιματική αλλαγή στην Κεντρική και Ανατολική Μεσόγειο

Η ανατολική Μεσόγειος αποτελεί ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο στις κλιματικές αλλαγές τμήμα του πλανήτη Γη. Σύμφωνα με μελέτες σχετικές με τις κλιματικές μεταβολές, αναμένεται να υπάρξει διαφοροποίηση στο μοτίβο των βροχοπτώσεων. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι η τάση στις θερμοκρασιακές μεταβολές συνάδουν με τα μέχρι τώρα αποτελέσματα για την κλιματική αλλαγή (Barkhordarian et al., 2012). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με στοιχεία του ESPON (Ευρωπαϊκό Δίκτυο

Παρακολούθησης για την εδαφική ανάπτυξη και συνοχή) προβλέπεται να είναι σημαντικές, ενώ φαίνεται να επηρεάζει έντονα την Ιταλία και τα ανατολικά Βαλκάνια. Αναμένεται μάλιστα ορισμένες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου να επηρεαστούν και πιο έντονα από αυτήν (ESPON, 2012).

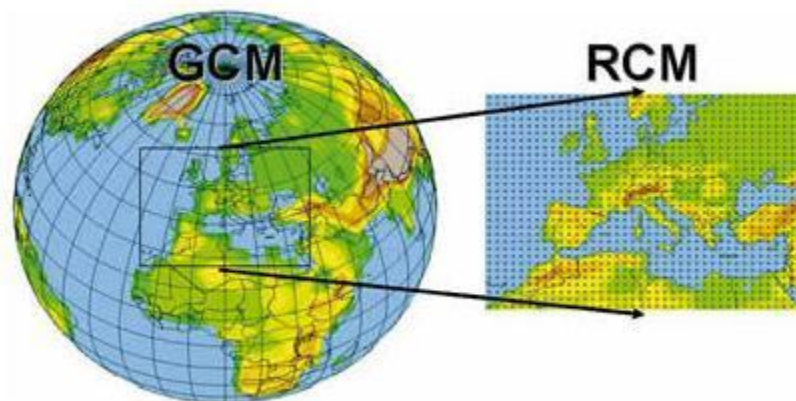
Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της θερμοκρασίας παρουσιάζουν αυξητική τάση στην Ανατολική Μεσόγειο για την περίοδο 2071-2100 συγκριτικά με το διάστημα 1990-2019, της τάξης 2°C έως 4°C αναλόγως την εποχή. Αυτή η αύξηση βέβαια ενδέχεται να ξεπεράσει τους 4°C όσο ενισχύονται οι συνθήκες του φαινομένου του θερμοκηπίου (Cloetingh et al., 2017). Η κλιματική αλλαγή στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου θα έχει σημαντικά αρνητικές συνέπειες για τον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα, ιδίως λόγω της θερμικής πίεσης και των μειωμένων υδάτινων πόρων. Η αύξηση του πληθυσμού και η οικονομική ανάπτυξη ενδέχεται να επιδεινώσουν την κατάσταση (Lelieveld et al., 2012).

A.6. Κλιματικά μοντέλα

A.6.1. Τι είναι ένα κλιματικό μοντέλο

Ένα κλιματικό μοντέλο αποτελεί την προσομοίωση του παγκόσμιου, και όχι μόνο, κλίματος ή συγκεκριμένα ενός φαινομένου εκφρασμένο μέσω των αριθμητικών μεθόδων. Τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται προκειμένου να μελετηθούν εκτενώς οι αλλαγές που προκαλούνται από φυσικές και ανθρωπογενείς διαδικασίες (Lynch, 2008; Edwards, 2010).

Τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να επιβεβαιώσουν ή να διαψεύσουν μια θεωρητική υπόθεση, να εξηγήσουν τους ατμοσφαιρικούς μηχανισμούς και την ευαισθησία τους στους διάφορους παράγοντες. Είναι απαραίτητα εργαλεία για την παρακολούθηση του παγκόσμιου κλίματος, τη διερεύνηση παρελθοντικών συνθηκών αλλά και μελλοντικές εκτιμήσεις. Το ενεργειακό ισοζύγιο είναι η βάση όλων των κλιματικών μοντέλων καθώς υπολογίζονται από την εισερχόμενη μικρού μήκους κύματος ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από τον ήλιο, καθώς και την εξερχόμενη, υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη Γη. Προσομοιάζουν το κλιματικό σύστημα σύμφωνα με τις φυσικές βιολογικές και χημικές διεργασίες.



Εικόνα 1: Εικονική απεικόνιση κλιματικού μοντέλου (F. Giorgi, WMO Bulletin 57 (2), 2008)

A.6.2. Ποια είναι τα κλιματικά μοντέλα

Η μελλοντική αξιολόγηση του κλίματος πραγματοποιείται μέσω κλιματικών μοντέλων όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Τύποι των κλιματικών μοντέλων (με σειρά αυξανόμενης πολυπλοκότητας) είναι οι παρακάτω:

- Μοντέλα Ενεργειακού Ισοζυγίου (Energy Balance Models – EBM)
- Μοντέλα Ενδιάμεσης Πολυπλοκότητας (Earth Models of Intermediate Complexity – EMICs)
- Μοντέλα Γενικής κυκλοφορίας (Global Circulation Models – GCMs)
- Μοντέλα Γήινου Συστήματος (Earth System Models – ESMs)

Τα «Μοντέλα Ενεργειακού Ισοζυγίου» έχουν την απλούστερη δομή και είναι μονοδιάστατα. Λαμβάνουν υπόψη τους φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες που καθορίζουν το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης.

Τα «Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας» σχεδιάστηκαν με σκοπό τη μελέτη της τρισδιάστατης δομής της ατμόσφαιρας και την απόκριση του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος στις αυξανόμενες συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου (https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html). Αναπαριστούν τις φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα, στον ωκεανό, την κρούσφαιρα και την ξηρά. Λαμβάνουν υπόψη μέσες χρονικές ή χωρικές τιμές, με μικρό αριθμό βαθμών ελευθερίας (Goosse et al., 2010)

Σήμερα βρισκόμαστε στην εποχή των Μοντέλων του Γήινου Συστήματος (ESM), τα οποία έχουν σαν στόχο να προσομοιώσουν όλες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις συνιστώσες του κλιματικού συστήματος. Περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, πηγαίνοντας πέρα από τα GCM που αναπαριστούν τις φυσικές ατμοσφαιρικές και ωκεάνιες διεργασίες.

Ένας ακόμα διαχωρισμός των κλιματικών μοντέλων γίνεται σε παγκόσμια (Global Climate Models) και περιοχικά (Regional Climate Models). Οι φυσικές διεργασίες της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και της επιφάνειας του εδάφους αντιπροσωπεύονται από τα παγκόσμια μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. (<https://www.ipcc-data.org/>). Για την προσομοίωση του κλίματος και των κατά τόπους αλλαγών σε διαφορετικά χρονικά και χωρικά πλαίσια, καθώς αντιπροσωπεύουν τις κλιματικές αλλαγές που συντελέστηκαν στο παρελθόν αλλά και πιθανές μελλοντικές. Αρνητικό χαρακτηριστικό αποτελεί η ανάλυσή τους, η οποία είναι ανεπαρκής. Αναφέρονται έτσι καθώς για τον προσδιορισμό τοπικού κλίματος όπου είναι απαραίτητη η καλή τοπογραφία, τα αποτελέσματα είναι χαμηλής ανάλυσης και κατ' επέκταση ανεπαρκή. Έτσι, η ανάγκη για υψηλότερης ανάλυσης αποτελέσματα, γίνεται χρήση περιοχικών μοντέλων (Giorgi and Gutowski, 2015).

Για την εφαρμογή περιοχικών μοντέλων, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός πλευρικών και ωκεάνιων συνθηκών, που όμως προέρχονται από πραγματικά δεδομένα παρατηρήσεων ή από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. Έχουν την ικανότητα προσομοίωσης ατμοσφαιρικών και επιφανειακών

διεργασιών καθώς τα δεδομένα που έχουν από την τοπογραφία είναι αρκετά υψηλής ανάλυσης όπως επίσης και οι αντιθέσεις ξηράς-θάλασσας, διάφορα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και άλλες παράμετροι που αφορούν την εκάστοτε περιοχή μελέτης (<https://glossary.ametsoc.org/>).

Στόχος των περιοχικών κλιματικών μοντέλων είναι η αποτύπωση των κύριων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μια περιορισμένη κλίμακα (Giorgi and Mearns 1991).

Καθώς τα διάφορα μοντέλα βασίζονται σε διαφορετικές παραμετροποιήσεις και μπορεί να δίνουν καλύτερα αποτελέσματα για διαφορετικές παραμέτρους και περιοχές, για να έχουμε πιο αξιόπιστες προσομοιώσεις, θεωρείται απαραίτητη η σύγκριση των αποτελεσμάτων από διαφορετικά μοντέλα και η παρουσίαση των μέσων (ensemble) αποτελεσμάτων αυτών συνοδευόμενα από την αντίστοιχη αβεβαιότητα (π.χ. Knutti et al. 2010).

A.6.3. Μελλοντικά κλιματικά σενάρια – Αντιπροσωπευτικές Κατευθύνσεις Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways - RCPs)

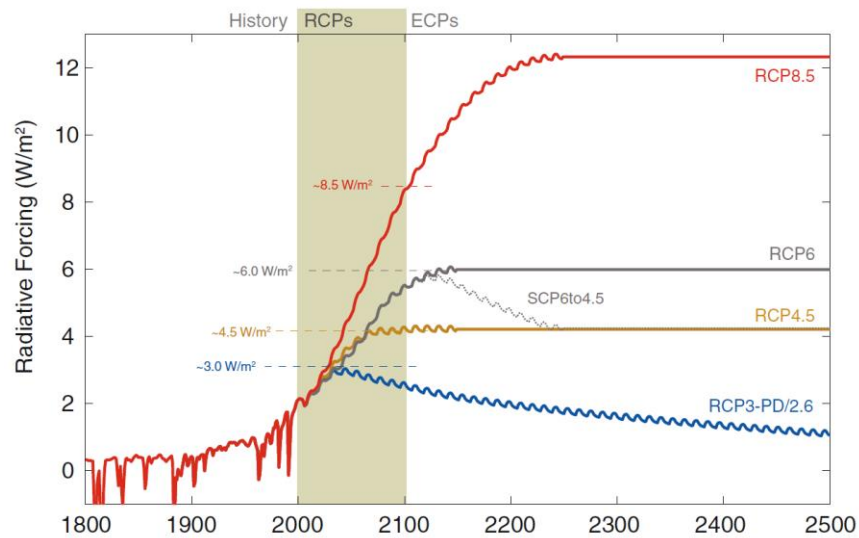
Τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στην 5^η Έκθεση της IPCC (<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>) και τα οποία ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές Κατευθύνσεις Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways- RCPs), είναι από τα πιο σύγχρονα για την παρουσίαση των εκπομπών των θερμοκηπικών αερίων. Σημειώνεται ότι στο πλαίσιο της 6^{ης} Έκθεσης της IPCC, η οποία αναμένεται μέσα στο 2021, αναπτύχθηκε μία νέα οικογένεια σεναρίων, τα Shared Socioeconomic Pathways, SSPs.

Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν τέσσερα βασικά σενάρια που πήραν το όνομά τους από τη συνολική μεταβολή του ισοζυγίου της ακτινοβολίας σε W/m^2 το έτος 2100 σε σχέση με το 1970: RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 και RCP2.6. Το RCP8.5 αντιστοιχεί σε πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που οδηγούν σε $8.5 W/m^2$ αύξηση ακτινοβολία, η οποία συνεχίζει αυξάνεται ακόμη και μετά το 2100. Τα RCP 4.5 και RCP6.0 είναι σενάρια που παρουσιάζουν σταθερότητα της κατάστασης και μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων των μελλοντικών εκπομπών (van Vuuren et al., 2011).

Στη συνέχεια αναφέρονται συνοπτικά τα βασικά στοιχεία του κάθε κλιματικού σεναρίου:

- Το κλιματικό σενάριο RCP2.6, φαίνεται να είναι το πιο ήπιο αφού προβάλλει περιορισμένη αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας στους $2^{\circ} C$. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να υπάρξει ήπια ανάπτυξη του πληθυσμού και της οικονομίας, περιορισμός της ενέργειας και της χρήσης γης. Επιπλέον το σενάριο RCP2.6 παρουσιάζει μέγιστη εκπομπή αερίων στα $3W/m^2$ έως το 2100 και ελάττωση στα $2.6W/m^2$ μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα.
- Το κλιματικό σενάριο RCP4.5, υποδεικνύει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σταθεροποιούνται στα $4.5W/m^2$ έως το τέλος του αιώνα. Στη περίπτωση του σεναρίου αυτού, θεωρούνται επιτακτικές οι αλλαγές στην πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας και την μείωση των ενεργειακών εκπομπών για την ανάπτυξη της τεχνολογίας με χρήση άνθρακα.

- Το κλιματικό σενάριο RCP6 καθιστά σαφή την παρέμβαση στην κλιματική πολιτική καθώς οι εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων αγγίζει τα $6\text{W}/\text{m}^2$ έως τα τέλη του αιώνα.
- Τέλος, το κλιματικό σενάριο RCP8.5 είναι το σενάριο με τις μεγαλύτερες εκπομπές. Αυτές οφείλονται σε μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και αύξηση των αναγκών για ενέργεια, κατάσταση που συνεπάγεται την αυξημένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου χωρίς καμία πολιτική και μέριμνα για βελτίωση της κλιματικής κατάστασης. Σε αυτό το σενάριο οι ακτινοβολία αυξάνεται ραγδαία και φτάνει έως και τα $8.5\text{W}/\text{m}^2$ έως το 2100 .



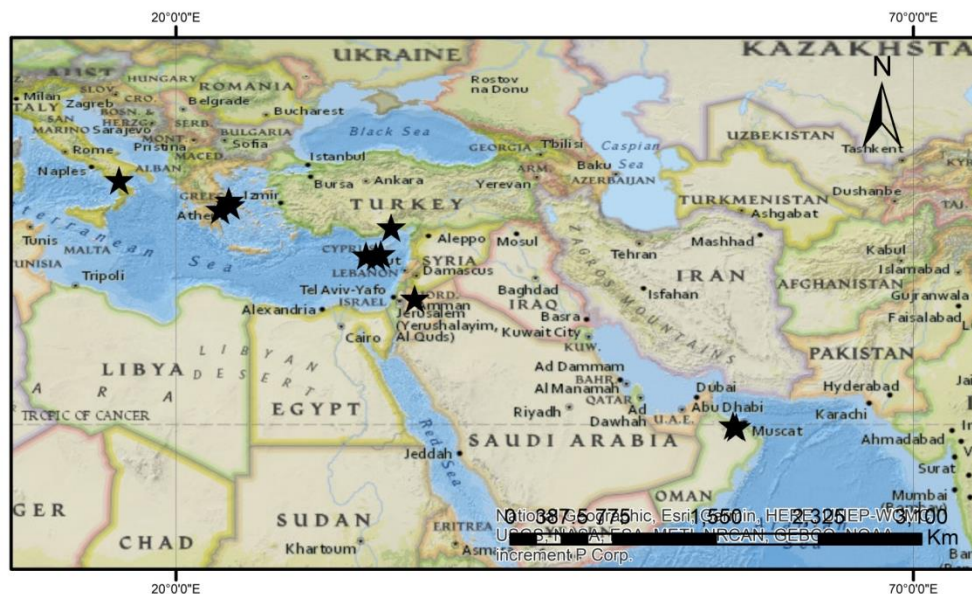
Διάγραμμα 1: Συνολική ακτινοβολία (ανθρωπογενής και φυσική) για τα RCPs ακόμα και μετά το πέρας του αιώνα (Meinshausen et al. 2011)

B. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η παρούσα εργασία αποτελεί τμήμα του ερευνητικού προγράμματος CrITERIA (www.criteria.gr) του οποίου στόχος είναι η μελέτη των υδάτων ως προς την ρύπανσή τους από γεωγενές χρώμιο. Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος, χρειάστηκε να γίνει μελέτη του μελλοντικού κλίματος προκειμένου να εξεταστεί η πορεία τις ξηρασίας για τις περιοχές μελέτης (Hatzaki et al. 2019).

B.1. Οι Περιοχές Μελέτης και Στοιχεία για το Κλίμα τους

Η παρούσα εργασία εστιάζει σε πέντε συγκεκριμένες περιοχές της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου, οι οποίες επιλέχθηκαν στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος ERANETMED-CrITERIA (<https://www.criteria.gr/>) και οι οποίες περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους:



Χάρτης 1: Περιοχές μελέτης της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου

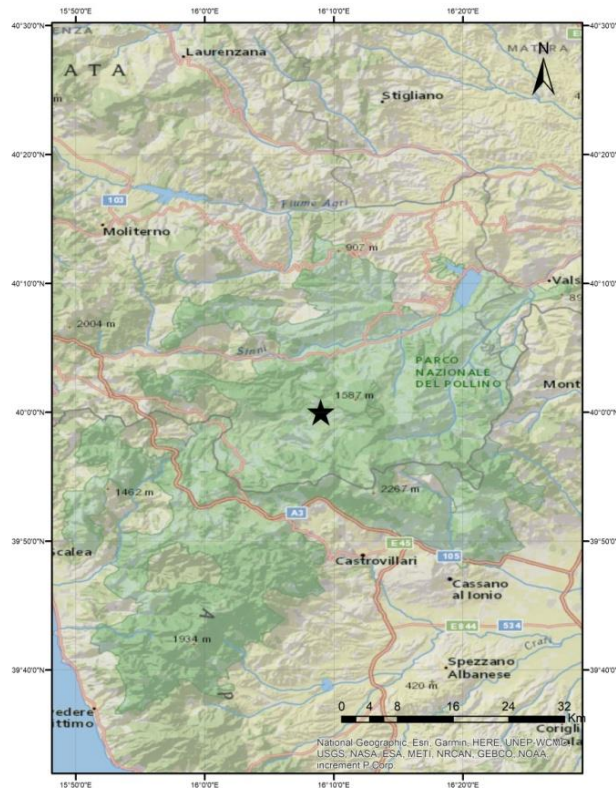
Οι περιοχές μελέτης βρίσκονται σε χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Μεσογείου. Στην Ιταλία είναι το Πολίνο, στην Ελλάδα το Λουτράκι, ο Ασωπός και η Εύβοια, στην Κύπρο ο Πρόδρομος, το Φρέναρος και η Λάρνακα, στην Τουρκία η πόλη Μερσίν και τέλος στην Ιορδανία η περιοχή Ζάρκα. Οι περιοχές μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ως παράδειγμα για την προβολή του προβλήματος της διαχείρισης υδάτων, λόγω της γεωγενούς προέλευσης Cr(VI) που μολύνει τα ύδατά τους. Το Ομάν αποτελεί περιοχή σύγκρισης για να προσδιοριστεί η προέλευση του Cr που μολύνει επιφανειακά αλλά και υπόγεια ύδατα λόγω ξηρών συνθηκών. Η παρόμοια γεωλογία και η τάση για συνθήκες που βαίνουν από ημι-άνυδρες σε ξηρές, κατέστησε τις επιλεγμένες περιοχές κατάλληλες για μελέτη.

Το Ομάν αντιπροσωπεύει το άνυδρο άκρο των περιοχών μελέτης. Το κλίμα του χαρακτηρίζεται από ημι-άνυδρες και ξηρές κλιματικές συνθήκες. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από σπάνια βροχόπτωση, ενώ η

Θερμοκρασία παρουσιάζει μικρή μεταβλητότητα, σύμφωνα με τα στοιχεία από τον μετεωρολογικό σταθμό Rustaq. Παρακάτω παρατίθεται ο μορφολογικός χάρτης της περιοχής Rustaq.

B.1.1. ΙΤΑΛΙΑ

Η περιοχή μελέτης στην Ιταλία βρίσκεται στην περιοχή του Πολίνο (Χάρτης 2). Το κλίμα του Πολίνο χαρακτηρίζεται από σύντομα, πολύ θερμά ηλιόλουστα καλοκαίρια, ενώ οι χειμώνες είναι μακρείς, πολύ ψυχροί και κυρίως νεφελώδεις. Ακόμα και κατά τους θερινούς μήνες οι έντονες βροχοπτώσεις αποτελούν χαρακτηριστικό φαινόμενο της περιοχής. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές ετησίως κυμαίνονται από -1°C έως 26°C ενώ σπάνια μπορεί να λάβει τιμές από -6°C έως 30°C .

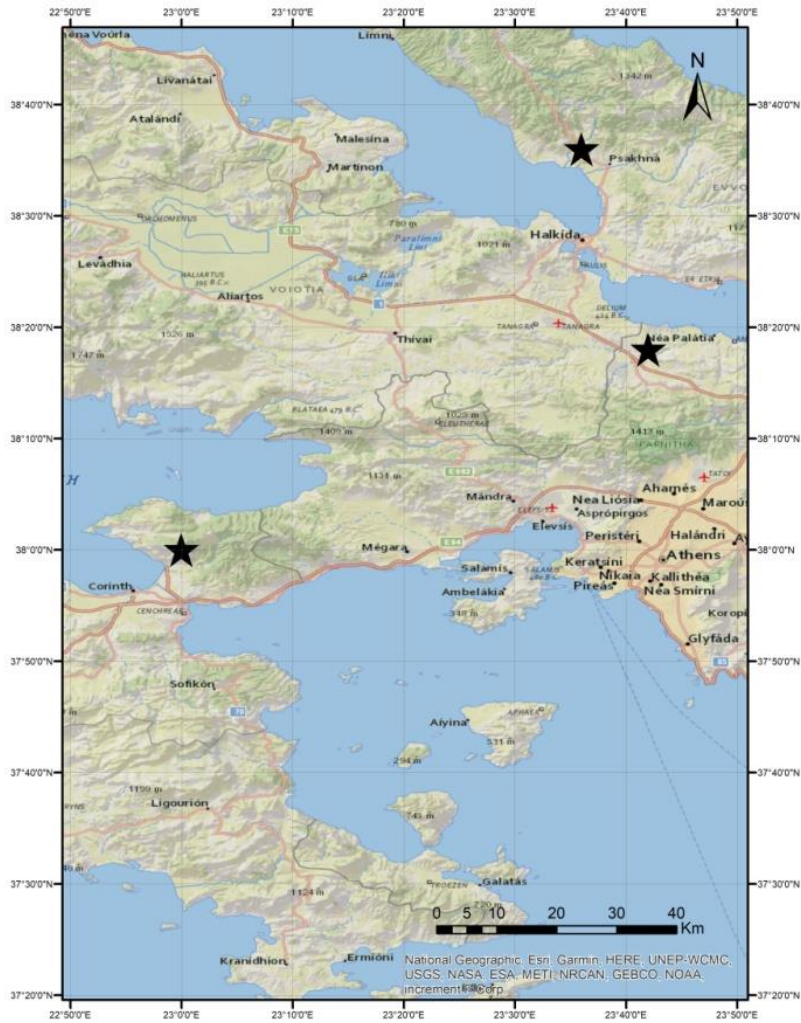


Χάρτης 2: Περιοχή μελέτης Ιταλίας

B.1.2 ΕΛΛΑΔΑ

Η περιοχές μελέτης στην Ελλάδα είναι το Λουτράκι, ο Ασωπός και η Εύβοια. Ως επί το πλείστον το κλίμα των παραπάνω περιοχών χαρακτηρίζεται ως ήπιο και γενικά θερμό. Οι βροχοπτώσεις κατανέμονται κυρίως στους χειμερινούς μήνες, ενώ το καλοκαίρι είναι σχετικά ξηρό. Η αναλογία μεταξύ ξηράς και θάλασσας είναι ένα προς τρία και σε συνδυασμό με το ανάγλυφο της χώρας, είναι από τους κυριότερους παράγοντες που έχουν διαμορφώσει το κλίμα. Λόγω των πεδιάδων στην ανατολική Ελλάδα και την Αττική, το κλίμα που προκύπτει χαρακτηρίζεται ως ξηρό. Βάσει κλιματολογικών κριτηρίων το έτος μπορεί να χωριστεί σε δύο εποχές. Την ψυχρή και βροχερή περίοδο, που διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου μέχρι τα τέλη Μαρτίου, και την θερμή και χωρίς βροχές περίοδο που διαρκεί από

τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, κατά τους οποίους οι θερμοκρασίες κυμαίνονται, κατά μέσο όρο 5 – 10°C, στις παραθαλάσσιες περιοχές και από 0 – 5°C στις ηπειρωτικές περιοχές. Θερμότερη περίοδος και με τις λιγότερες βροχοπτώσεις για το έτος, θεωρείται το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου, που η μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 29°C και 35°C.



Χάρτης 3: Περιοχές μελέτης Ελλάδας

Β.1.3. ΚΥΠΡΟΣ

Το κλίμα της Κύπρου «βρίσκεται» ανάμεσα στην Ευρώπη όσο και την Αφρική, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να καταταχθεί σε μία μόνο κατηγορία αλλά να χαρακτηρίζεται ως σύνθετο. Οι οροσειρές Τρόδος και Πενταδάκτυλου και η παρουσία της θάλασσας, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος ολόκληρου του νησιού. Το κλίμα της Κύπρου χαρακτηρίζεται ως θερμό και ξηρό κατά την περίοδο του καλοκαιριού, από τα μέσα Μαΐου ως τα μέσα Σεπτεμβρίου, ενώ οι χειμώνες είναι βροχεροί και ήπιοι – μέσα Νοεμβρίου έως μέσα Μαρτίου. Ενδιάμεσα επικρατούν οι μεταβατικές περίοδοι άνοιξη και φθινόπωρο. Κατά τους θερινούς μήνες οι θερμοκρασίες είναι ιδιαίτερα υψηλές,

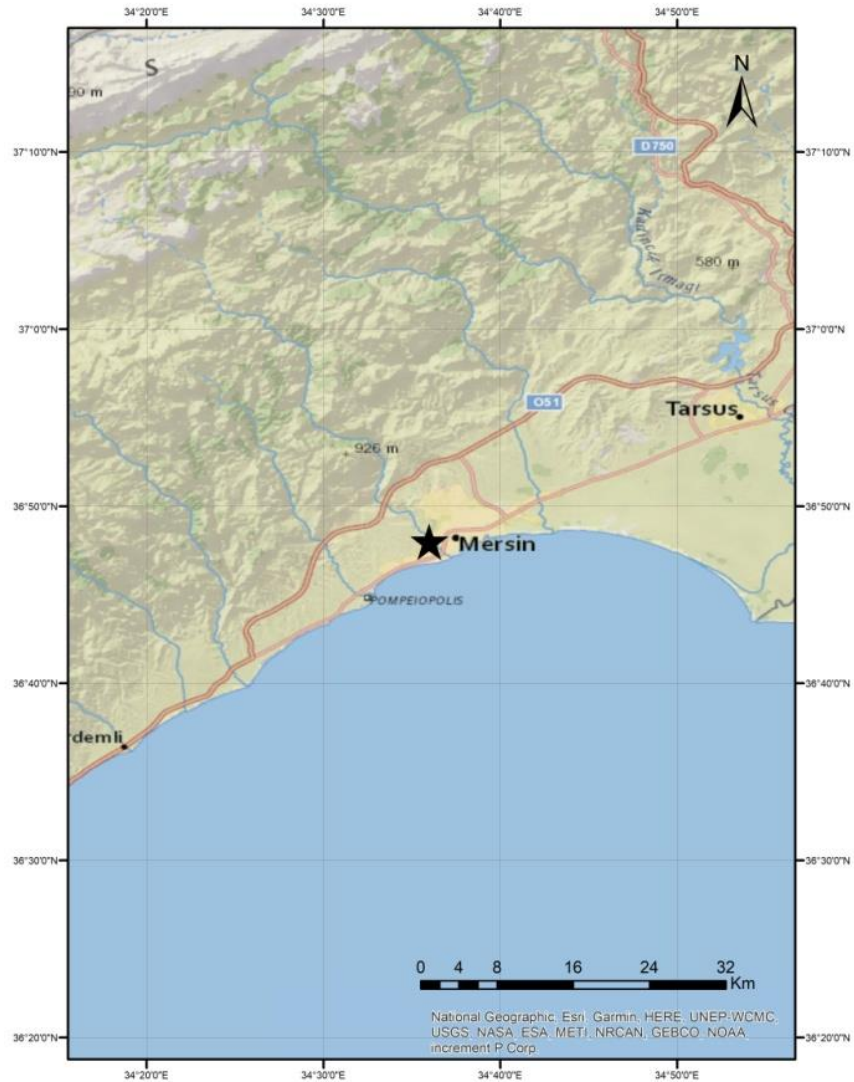
επικρατεί αίθριος καιρός, ενώ η βροχόπτωση δεν ξεπερνά το 5% της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης. Η χειμερινή περίοδος και ιδιαίτερα κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο, συνδέεται με βροχόπτωση που αντιστοιχεί περίπου στο 60% της βροχόπτωσης ολόκληρου του έτους και εντοπίζεται κυρίως στα βουνά των περιοχών μελέτης όπου κατά τους χειμερινούς μήνες οι άνεμοι είναι ψυχροί και οι βροχοπτώσεις έντονες.



Χάρτης 4: Περιοχές μελέτης Κύπρου

B.1.4. ΤΟΥΡΚΙΑ

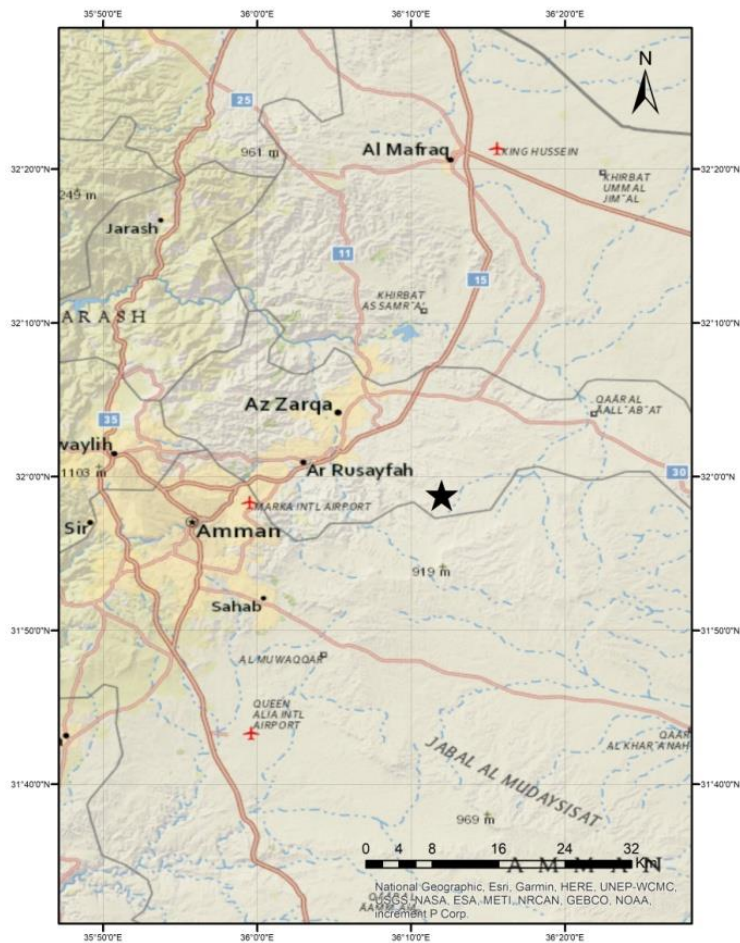
Η περιοχή που μελετήθηκε στην Τουρκία είναι το Mersin, το οποίο βρίσκεται απέναντι από το ΒΑ τμήμα της Κύπρου. Είναι μία από τις πιο θερμές περιοχές της Τουρκίας με μέση ημερήσια θερμοκρασία τους 24°C. Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως θερμό και εύκρατο. Οι βροχοπτώσεις κατανέμονται κυρίως στην ψυχρή περίοδο του έτους. Τους περισσότερους μήνες του έτους η θερμοκρασία είναι άνω των 25°C και μερικές φορές φτάνει έως και τους 34°C. Η μέση θερμοκρασία στο Mersin παρουσιάζει αυξανόμενη τάση.



Χάρτης 5: Περιοχή μελέτης Τουρκίας

B.1.5.ΙΟΡΔΑΝΙΑ

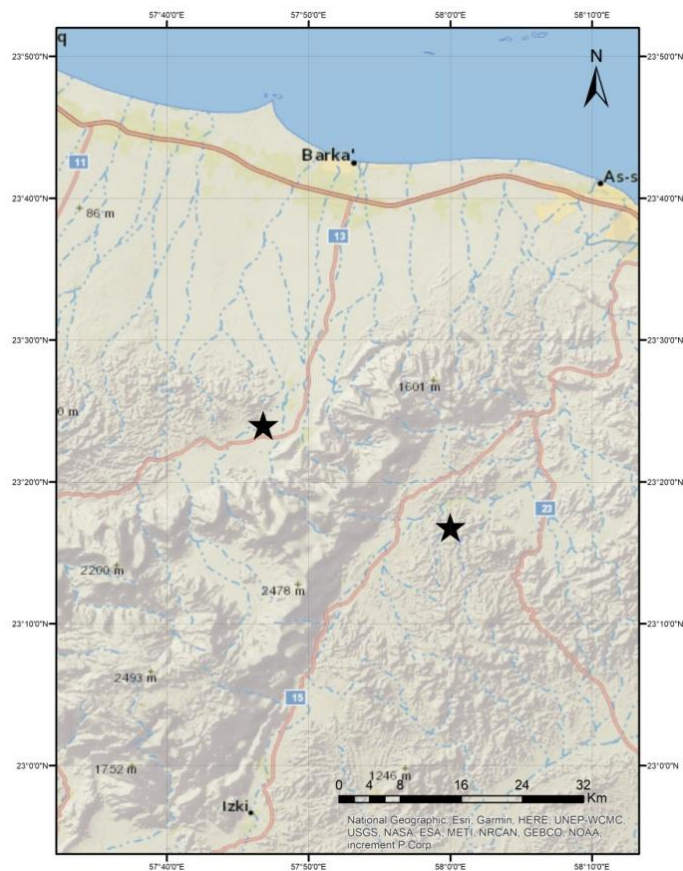
Το κλίμα της Ιορδανίας χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό, αποτελούμενο από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και υγρούς και σχετικά κρύους χειμώνες. Η βροχερή περίοδος διαρκεί από τα τέλη Νοεμβρίου έως και τον Μάρτιο. Το χειμώνα η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι στους 4°C, ενώ κατά τους θερινούς μήνες η μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας δεν ξεπερνά τους 30°C. Στην Ιορδανία η περιοχή ενδιαφέροντος είναι αυτή του ποταμού Ζάρκα ο οποίος βρίσκεται στα ΒΔ της χώρας.



Χάρτης 6: Περιοχή μελέτης Ιορδανίας

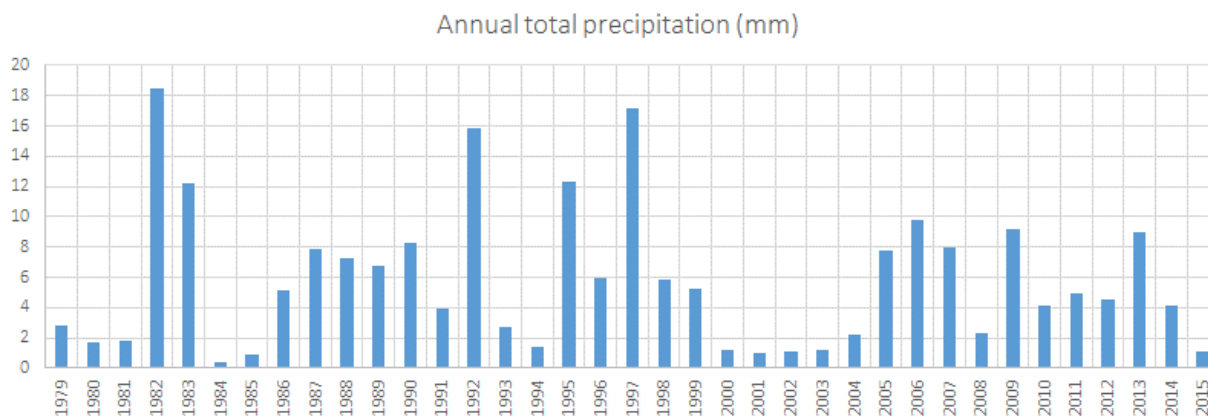
B.1.6. OMAN

Το Ομάν, αν και δεν αποτελεί περιοχή της Μεσογείου, χρησιμοποιήθηκε ως το ακραίο παράδειγμα ξηρών συνθηκών και ως αναφορά για τις μελλοντικές συνθήκες ξηρασίας της Μεσογείου.



Χάρτης 7: Περιοχές μελέτης Ομάν

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβλητότητα των κατακρημνισμάτων για την περιοχή μελέτης. Φαίνεται ότι ο συνολικός υετός κυμαίνεται από 0 έως 20mm. Λόγω των χαμηλών αυτών τιμών, ο δείκτης ξηρασίας SPI12 δεν μπορεί να υπολογιστεί. Έτσι, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η συνολική βροχόπτωση (Hatzaki et al, 2019).



Διάγραμμα 2: Χρονική παρουσίαση των βροχοπτώσεων για την περιοχή Rustaq του Ομάν για την περίοδο 1979-2015 (Hatzaki et al, 2019)

B.2. Δεδομένα

Για τη μελέτη και την προβολή των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών, υπάρχουν τα διάφορα κλιματικά μοντέλα, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Για τις ανάγκες του προγράμματος, επιλέχθηκε το μοντέλο RCA4 του Σουηδικού Μετεωρολογικού και Υδρολογικού Ινστιτούτου (SMHI), το οποίο παρέχει αξιόπιστες προβολές για το μέλλον.

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις προσομοιώσεις του μοντέλου RCA4 με συνοριακές συνθήκες τριών παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (CNRM, MOHC και MPI) για την περίοδο 1971-2095, και για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Το μοντέλο RCA4 και οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>), της οποίας οι προσομοιώσεις καλύπτουν τις περιοχές της Ευρώπης, της Μεσογείου και εν μέρει τη Μέση Ανατολή.

Τα δεδομένα προσομοίωσης που προέκυψαν, καλύπτουν την χρονική περίοδο 1971 έως το 2095. Η ιστορική περίοδος των προσομοιώσεων είναι από το 1971 έως το 2005, ενώ τα RCP σενάρια εφαρμόστηκαν μετά το 2006. Έτσι, η ανάλυση χωρίζεται σε τρεις χρονικές περιόδους:

- 1971-2000: Περίοδος αναφοράς (κλίμα του παρόντος)
- 2021-2050: Εγγύς μέλλον
- 2071-2095: Απώτερο μέλλον

Προκειμένου να καθοριστεί και να κατανοηθεί το κλιματικό υπόβαθρο των περιοχών ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκαν στατιστικές αναλύσεις και δοκιμές σε εποχιακές και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, εξετάζοντας τη μεταβλητότητα και τις τάσεις τους για το παρόντικό και το μελλοντικό κλίμα.

Η μελέτη των ακραίων γεγονότων πραγματοποιείται βάσει κλιματικών δεικτών. Οι δείκτες ακραίας ξηρασίας και ακραίων βροχοπτώσεων παρέχουν μια συνοπτική συνολική εικόνα των γεγονότων ξηρασίας και πλημμυρών για ολόκληρη την εξεταζόμενη περιοχή.

Αξιολογούνται οι ακόλουθοι δείκτες:

- TP: Συνολική βροχόπτωση (σε mm) για την υγρή και την ξηρή περίοδο του έτους
- SPI12: Τυπικός δείκτης βροχής (SPI).

B.3. Δείκτης ξηρασίας SPI

Ο δείκτης ξηρασίας (**Standardized Precipitation Index, SPI**) χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό μετεωρολογικών ξηρασιών. Μετρά ανωμαλίες των κατακρημνισμάτων σε μια περιοχή συγκριτικά με παρατηρούμενα ποσά υετού για δεδομένη περίοδο παρατήρησης (π.χ. 1, 3, 12, 48 μήνες). Το όνομα του δείκτη συνήθως τροποποιείται ανάλογα με το χρονικό διάστημα εφαρμογής έτσι για παράδειγμα ο SPI3 και ο SPI12 αναφέρονται σε περίοδο παρατήρησης τριών και δώδεκα μηνών, αντίστοιχα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ξηρασία είναι μία περίοδος έλλειψης υετού. Με τη χρήση του δείκτη SPI μπορούν να παρασταθούν αυτές οι ανωμαλίες για περίοδο που κυμαίνεται από 1 έως 48 μήνες, χρονικά διαστήματα που όπως ενδέχεται να έχουν διαφορετικές πιθανές επιπτώσεις. Παρακάτω περιγράφονται οι SPI για όλα τα χρονικά διαστήματα.

- SPI1 – SPI3: Η περίοδος παρατήρησης είναι από 1 έως 3 μήνες. Οι επιπτώσεις είναι άμεσες και περιλαμβάνουν μείωση της υγρασίας του εδάφους και μείωση των ροών στα ποτάμια.
- SPI3 – SPI12: Ο δείκτης SPI υπολογίζεται για περίοδο 3 έως 12 μήνες. Παρατηρείται μειωμένη εισαγωγή και αποθήκευση αποθεμάτων.
- SPI12 – SPI48: Η περίοδος παρατήρησης αυξάνεται και κυμαίνεται από 12 έως 48 μήνες. Πλέον οι επιπτώσεις είναι μεγαλύτερης σημασίας καθώς επηρεάζονται και τα υπόγεια αποθέματα καθώς υπάρχει πολύ μειωμένη είσοδος υδάτων στους ταμιευτήρες.

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω, η περίοδος συσσώρευσης και η ξηρασία παρουσιάζουν σχέση αμφίδρομη καθώς επηρεάζουν τόσο το φυσικό περιβάλλον (π.χ. εδάφη) και τον άνθρωπο (π.χ. ύδρευση και άρδευση) (<https://edo.jrc.ec.europa.eu/edon2/rhp/index.php?id=1000>)

Ο δείκτης SPI αποδίδει ικανοποιητικά τις επιπτώσεις αλλαγής του κλίματος. Πρωταρχικός σκοπός του δείκτη SPI είναι ο προσδιορισμός της ξηρασίας στους διαθέσιμους υδάτινους πόρους. Βασίζεται σε σχέσεις ξηρασίας-συχνότητας, ενώ προτάθηκε από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) ως ο βασικός δείκτης παρακολούθησης της ξηρασίας. Ο δείκτης SPI μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές κλίμακες χρόνου ενώ τα δεδομένα που απαιτούνται είναι οι μηνιαίες τιμές υετού. Τέλος, ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι πως λόγω του προγράμματος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών, μπορεί να συμπληρώσει τιμές για μικρές περιόδους εγγραφής για τις οποίες λείπουν δεδομένα. Παρακάτω εμφανίζεται πίνακας με τιμές που μπορεί να λάβει ο δείκτης ξηρασίας SPI καθώς και μία σύντομη εξήγηση αυτών.

Πίνακας 1: Τιμές που μπορεί να λάβει ο δείκτης ξηρασίας SPI

2.0+	Εξαιρετικά υγρό
1.5-1.99	Πολύ υγρό
1.0-1.49	Μέτρια υγρό
-0.99-0.99	Σχεδόν κανονικό
-1.0(-1.49)	Μέτρια ξηρό
(-1.5)(-1.99)	Πολύ ξηρό
-2.0-	Εξαιρετικά ξηρό

Όπως αναφέρθηκε, ο δείκτης SPI μπορεί αν υπολογιστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ο **SPI12** που αντιπροσωπεύει την ετήσια τιμή για το αντίστοιχο υδρολογικό έτος. Ο δείκτης SPI12 είναι μια σύγκριση κατακρημνισμάτων για δώδεκα συνεχείς μήνες με αντίστοιχα τους δώδεκα προηγούμενους διαδοχικούς μήνες περασμένων ετών που υπάρχουν καταγεγραμμένα δεδομένα.

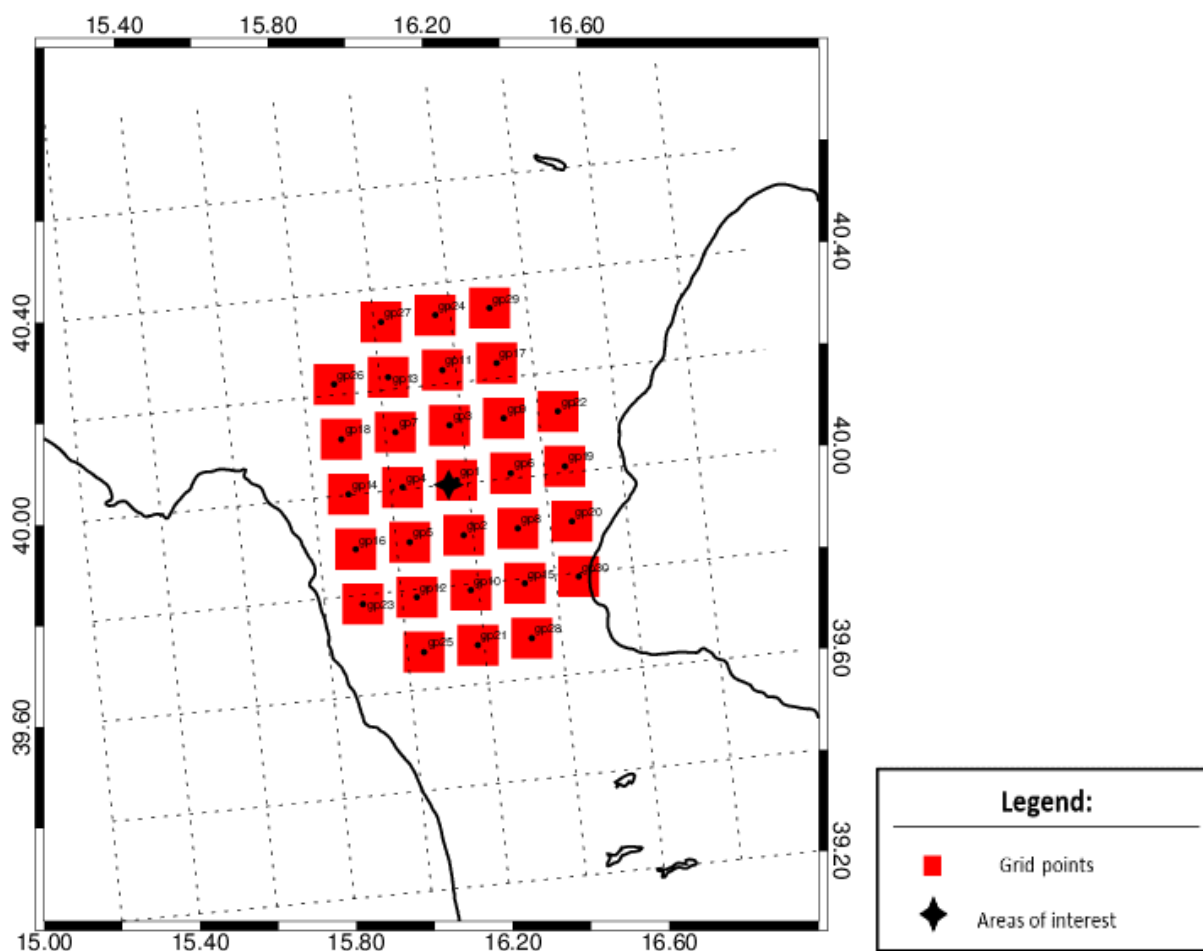
Γ. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να επεξεργαστούν τα δεδομένα και να κατασκευαστούν οι χάρτες που δείχνουν την χρονική εξέλιξη της ξηρασίας στις περιοχές μελέτης, καθώς και οι χάρτες που προέκυψαν για τις περιοχές μελέτης σε Ιταλία, Ελλάδα, Κύπρο, Τουρκία, Ιορδανία.

Γ.1. Επιλογή δεδομένων των μοντέλων

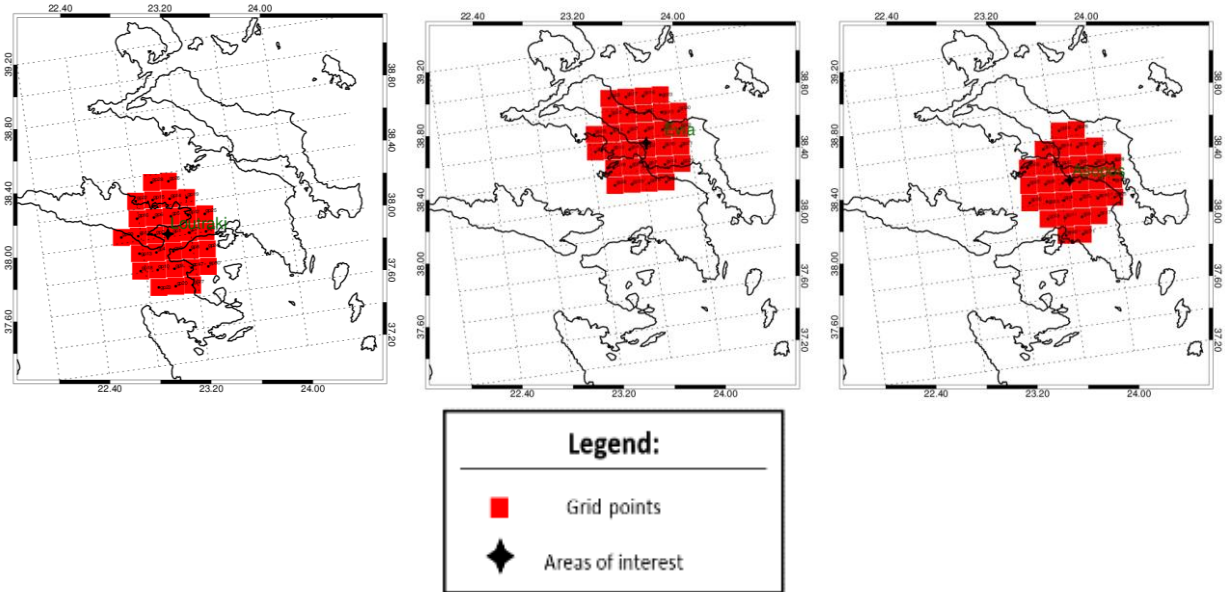
Τα δεδομένα της βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν από τις τρεις κλιματικές προσομοιώσεις, καλύπτουν μία γεωγραφική περιοχή γύρω από τη θέση μελέτης για κάθε χώρα. Καθώς τα δεδομένα των μοντέλων δίνονται σε μορφή πλεγματικών κελιών (grid cells), επιλέξαμε τα 30 κοντινότερα κελιά γύρω από το κέντρο της κάθε θέσης μελέτης.

Η χωρική κατανομή των κελιών αυτών για κάθε μία από τις 5 περιοχές μελέτης δίνεται στους χάρτες 8 έως 12:

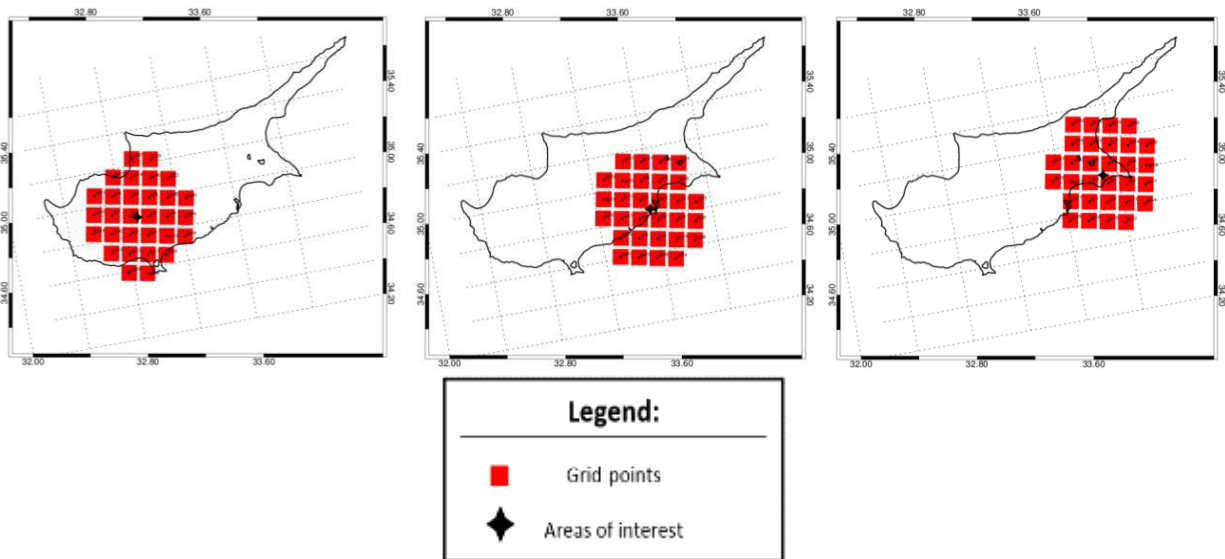


Χάρτης 8: Πλεγματικά κελιά του περιοχικού μοντέλου RCA4 για την περιοχή του Πολίνου

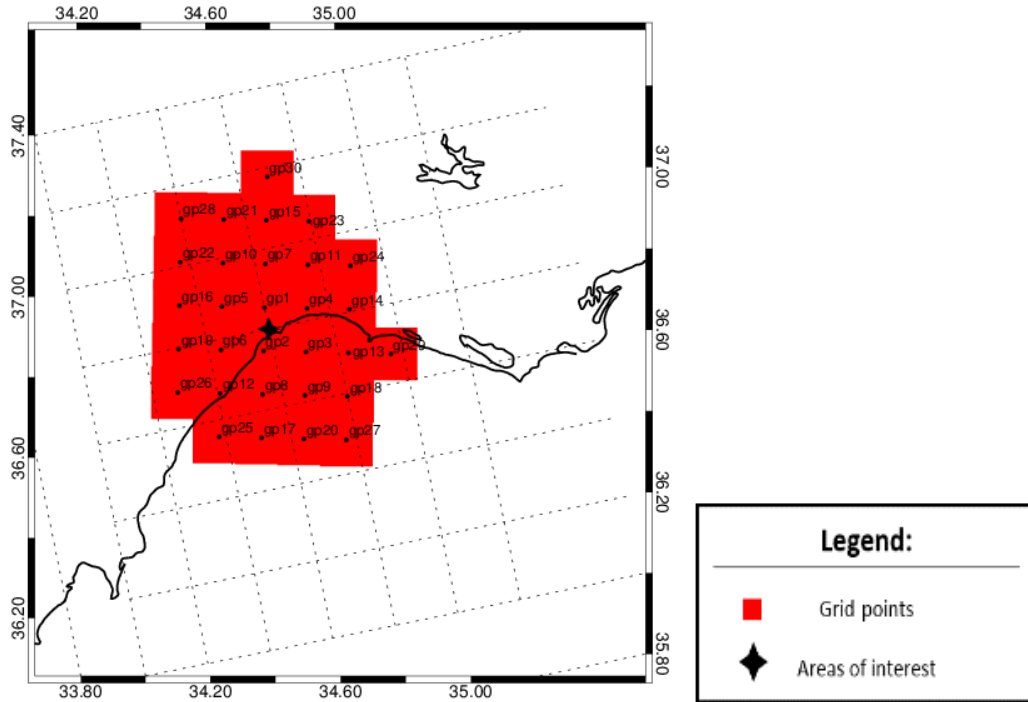
Για την Ελλάδα, όπως αναφέρθηκε, αλλά και φαίνεται και στον ακόλουθο χάρτη, υπήρξαν τρεις περιοχές μελέτης στην Αττική το Λουτράκι, ο Ασωπός και η Εύβοια. Στους χάρτες που παρατίθενται παρακάτω, παρουσιάζεται το πλέγμα συλλογής δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Σημειώνεται όμως ότι η ανάλυση των αποτελεσμάτων για την Ελλάδα δίνεται σε ένα χάρτη συνολικά, καθώς οι περιοχές γειτνιάζουν και τα πλεγματικά δεδομένα καλύπτουν και τις τρεις περιοχές.



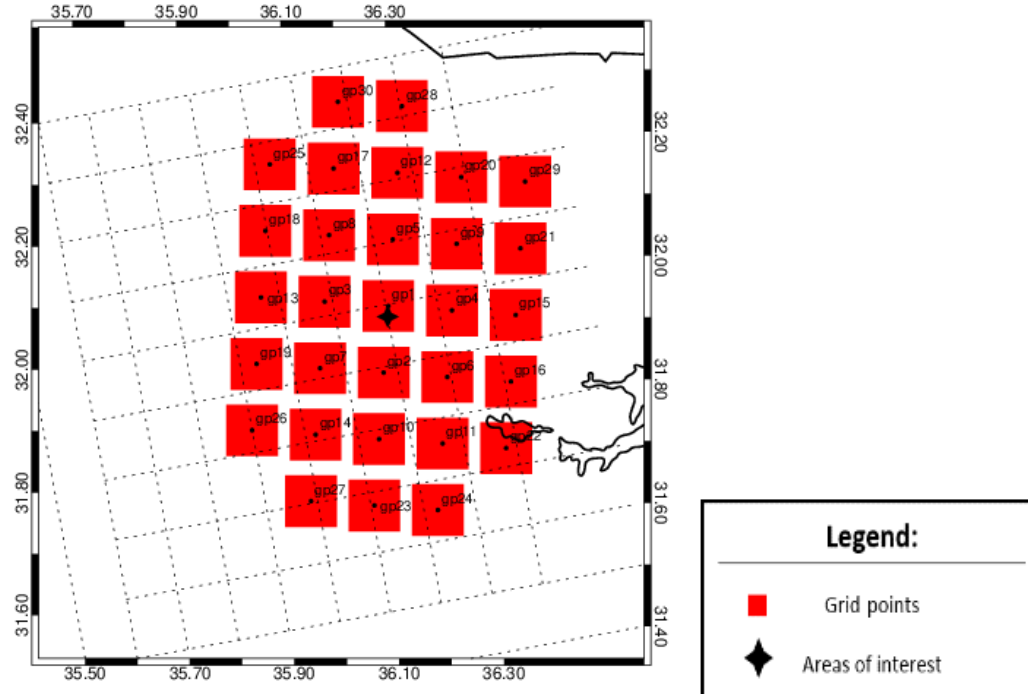
Χάρτης 9: Πλεγματικά κελιά του περιοχικού μοντέλου RCA4 για τις περιοχές Λουτρακίου, Ασωπού και Ευβοίας



Χάρτης 10: Πλεγματικά κελιά του περιοχικού μοντέλου RCA4 για τις περιοχές Πρόδρομος, Λάρνακα και Φρέναρος



Χάρτης 11: Πλεγματικά κελιά του περιοχικού μοντέλου RCA4 για την περιοχή Mersin στην Τουρκία



Χάρτης 12: Πλεγματικά κελιά του περιοχικού μοντέλου RCA4 για την περιοχή του ποταμού Ζάρκα στην Ιορδανία

Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα σε spreadsheet που περιλαμβάνει τις παρακάτω πληροφορίες:

- Γεωγραφικό μήκος
- Γεωγραφικό πλάτος
- Τις τιμές του δείκτη ξηρασίας SPI από κλιματικά μοντέλα για το παρόν, το κοντινό και το μακρινό μέλλον για το ήπιο και το πιο ακραίο σενάριο αντιστοίχως.

Τα δεδομένα αυτά ήταν σε διαφορετικά αρχεία για κάθε περιοχή μελέτης

Γ.2. Πακέτο υπολογισμού του δείκτη SPI στην R

Το πρώτο βήμα επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων έγινε μέσω προγράμματος της «R». Η R είναι γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα και το περιβάλλον που παρέχει στο χρήστη κάνει υπολογιστική στατιστική και γραφήματα. Είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό διαχείρισης δεδομένων, υπολογισμό και γραφική απεικόνιση. Περιλαμβάνει εγκατάσταση και αποθήκευση δεδομένων μέσω υπολογισμών σε πίνακες. Διαθέτει εργαλεία ανάλυσης δεδομένων, διαχείριση γραφικών για ανάλυση δεδομένων, ενώ είναι πολύ καλά αναπτυγμένη και αποτελεσματική για επαναλαμβανόμενες λειτουργίες καθορισμένες από τον χρήστη. Η R έχει πολλές δυνατότητες για στατιστικές εφαρμογές αλλά και όχι μόνο, με τη χρήση των κατάλληλων πακέτων (<https://www.r-project.org/about.html>).

Η χρήση της προγράμματος R έγινε για τον υπολογισμό του δείκτη ξηρασίας SPI12. Γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε ειδικό πακέτο του προγράμματος, το SPEI. Τα δεδομένα που εισάγονται στο συγκεκριμένο πακέτο για τον υπολογισμό του SPI είναι ο μηνιαίος υετός σε mm για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο (<https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/SPEI.pdf>).

Στο πρόγραμμα R εισήχθησαν τα δεδομένα της μηνιαίας βροχόπτωσης για κάθε πλεγματοειδές κελί και κάθε περιοχή μελέτης προκειμένου να εξαχθούν οι ετήσιες τιμές του δείκτη ξηρασίας, δηλαδή ο SPI12 για κάθε περιοχή ενδιαφέροντος. Παρακάτω παρατίθενται οι εντολές της R προκειμένου να ληφθούν τα ζητούμενα.

1. `data ← read.table(monthly_rcp45_CyA.txt,header=TRUE)`
2. `spi12_rcp45_CyA ← spi(data,12,red.start=c(1,1),ref.end=c(30,12))`
3. `spi12_rcp45_CyA ← unlist(spi12_rcp45_CyA$fitted,use.names=TRUE)`
4. `write.table(spi12_rcp45_CyA,"spi12_rcp45_CyA.txt")`

Οι παραπάνω εντολές που αναφέρονται, δόθηκαν με τη μορφή που χρησιμοποιήθηκαν για μία από τις περιοχές μελέτης της Κύπρου, για το σενάριο RCP45, για το «παρόν». Με επαναλαμβανόμενη την παραπάνω διαδικασία το αποτέλεσμα που λήφθηκε ήταν οι τιμές του δείκτη ξηρασίας σε ετήσια βάση για κάθε περιοχή μελέτης για τα σενάρια RCP45 και RCP85.

Το αποτέλεσμα περιλάμβανε τρεις παραμέτρους:

- Γεωγραφικό μήκος και πλάτος
- Ετήσιος δείκτης ξηρασίας

Γ.3. Επεξεργασία δεδομένων

Τα παραπάνω αρχεία αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των χαρτών. Το πρόγραμμα επεξεργασίας των παραπάνω δεδομένων για την εξαγωγή των χαρτών έγινε με το πρόγραμμα ArcMap GIS. Το ArcMap GIS είναι μια ολοκληρωμένη συλλογή από προϊόντα λογισμικού για Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών. Χρησιμοποιείται σε μια ποικιλία εφαρμογών, οι οποίες περιλαμβάνουν σχεδιασμό ανάλυση, διαχείριση και καταγραφή γεωγραφικών συστημάτων, περιβαλλοντική διαχείριση, καταγραφή εδαφών κ.α. Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για να παρασταθούν οι χάρτες μεταβολής του δείκτη ξηρασίας είναι ArcMap 10.2.2. Για την περιγραφή των εντολών που δόθηκαν στο πρόγραμμα, θα δοθεί ως παράδειγμα το Case Study της Ελλάδας.

- I. Catalog Δεξί κλικ→New→Shapefile
Name: gr_near45
Feature Type: Point
Description: Geographic Coordinate Systems→World→WGS1984→Ok→Ok
- II. Γραμμή εργαλείων
Editor→Start Editing
Στο menu editor επιλέγω το εικονίδιο create features
Δεξί κλικ στην επιφάνεια εργασίας: Absolute X,Y (οι συντεταγμένες θα πρέπει να είναι σε Decimal Degrees)
- III. Γραμμή εργαλείων
Add data→επιλέγω το lon_lat_SPls_Gr_A_B_C.xls (έτσι έχει ονομαστεί το προϊόν από την R)
Δεξί κλικ στο Table of Contents πάνω στο «Φύλλο1\$»→Display XY Data→Ok
- IV. Βάζουμε την ακτογραμμή
Add Data→ Επιλέγω την ακτογραμμή

Έως αυτό το σημείο έχουν εμφανιστεί τα σημεία των σταθμών καταγραφής και η ακτογραμμή.

- V. Geostatistical Analyst→Geostatistical Wizard
Στο πεδίο Dataset→Source Dataset (δεν γίνεται οποιαδήποτε μεταβολή στα πεδία)→Data Field [near45]
Next→Next→Finish→Ok
- VI. Geoprocessing→Arctoolbox→ 3D Analyst Tools→Raster Interpolation→ Kriging
- Input Point Features: Φύλλο1\$Events
- Z value: near45
- Kriging method: ordinary
- Semivariogram model: linear
Στην επιλογή:
Advanced Parameters: 0,001
Output cellsize: 0,001
Number of points: 92
~Environments → Raster Analysis – στο πεδίο αυτό τέθηκε η «μάσκα» προκειμένου οποιαδήποτε απεικόνιση να περιοριστεί στην ξηρά.

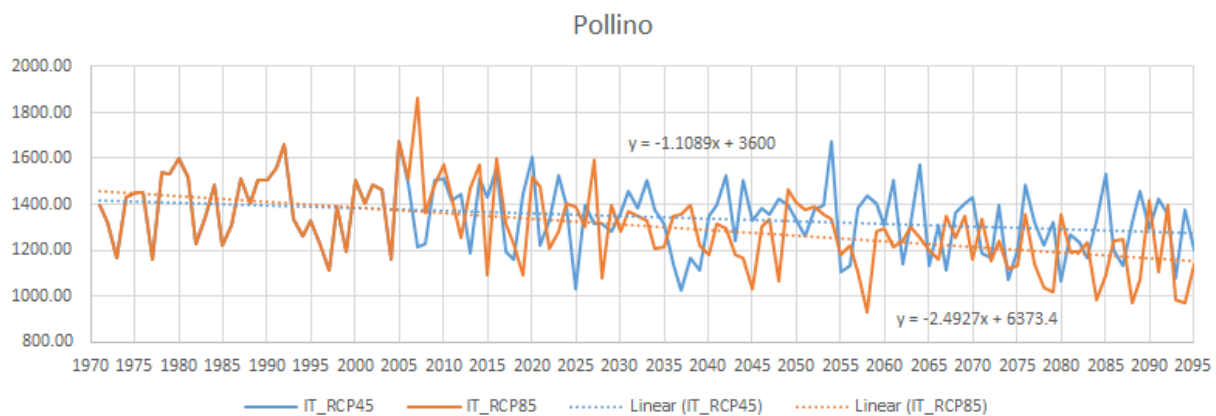
Δ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρατίθενται οι χάρτες που προέκυψαν για κάθε περιοχή μελέτης και ο σχολιασμός τους. Επιπλέον, σε κάθε χώρα θα συμπεριληφθούν τα δεδομένα βροχόπτωσης για την πληρότητα της παρεχόμενης πληροφορίας.

Δ.1. Ιταλία

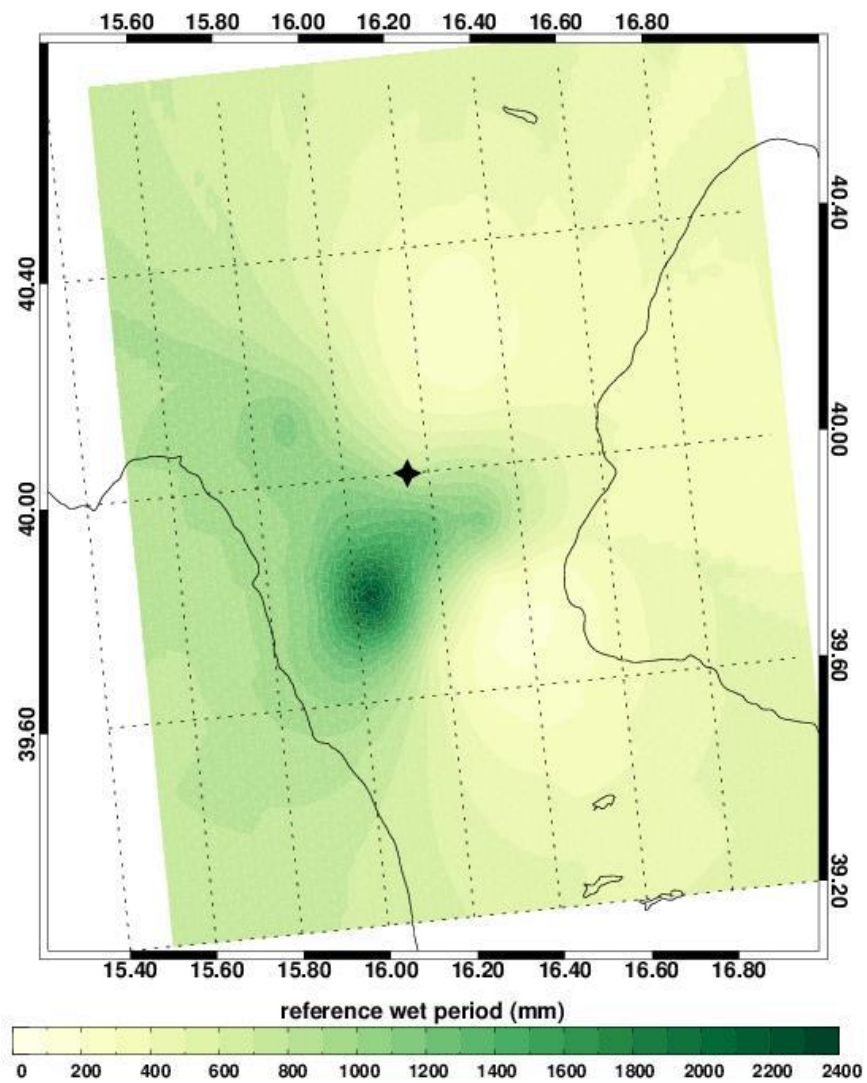
Η ανάλυση των ετήσιων βροχοπτώσεων σύμφωνα με τα δεδομένα του μοντέλου, έδειξε τάση προς ξηρότερες συνθήκες, η οποία μάλιστα είναι στατιστικά σημαντική για το σενάριο RCP8.5, πιο συγκεκριμένα προβλέπεται μείωση της τάξης των 25mm/δεκαετία.

Η σύγκριση μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου, έδειξε ότι τέλη του αιώνα στις περιόδους ξηρασίας θα υπάρξουν ελλείμματα νερού (30%) σε σχέση με τις υγρές περιόδους (20%, 26% για τα δύο σενάρια, αντίστοιχα).

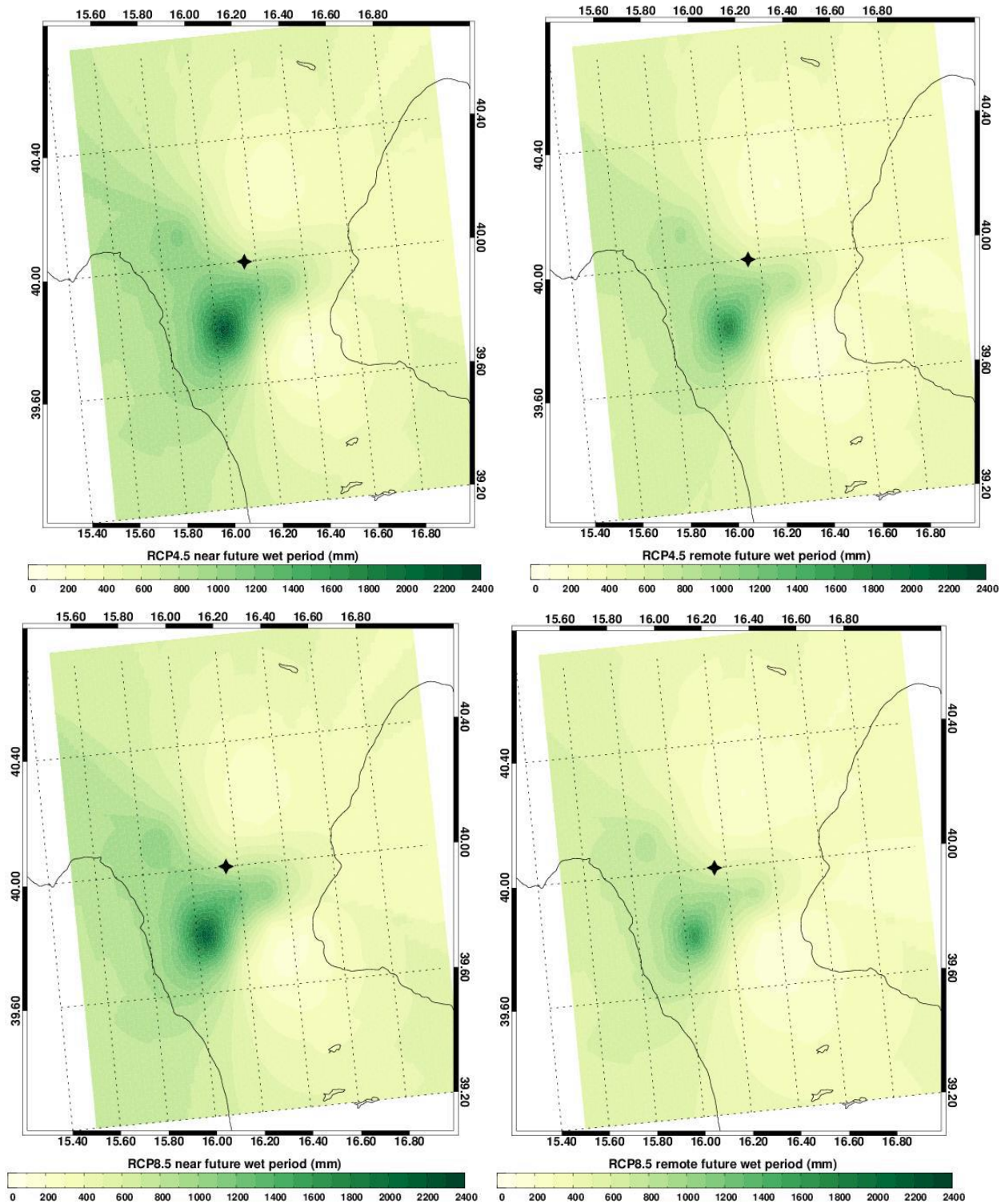


Διάγραμμα 3: Χρονική εξέλιξη της βροχόπτωσης για την περιοχή του Πολίνο για την περίοδο 1971-2095 για τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

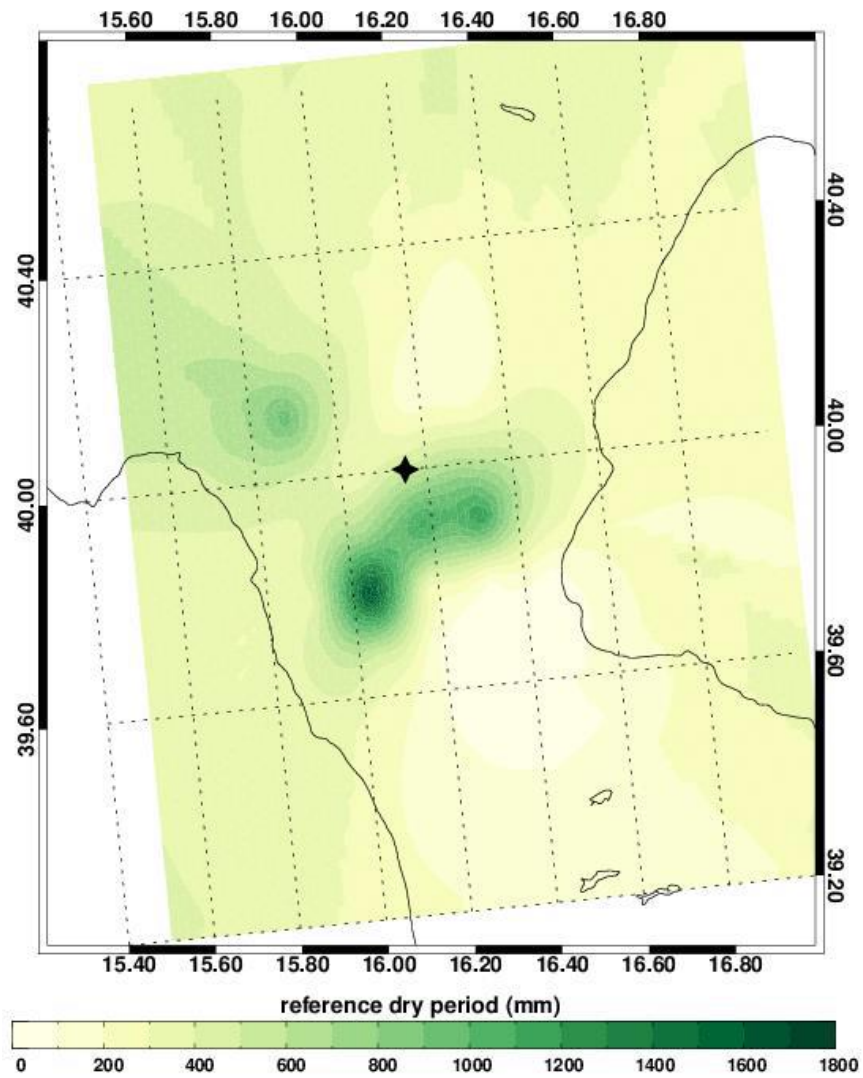
Στους Χάρτες 3 έως 6 εμφανίζεται χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την υγρή και εν συνεχεία την ξηρή περίοδο.



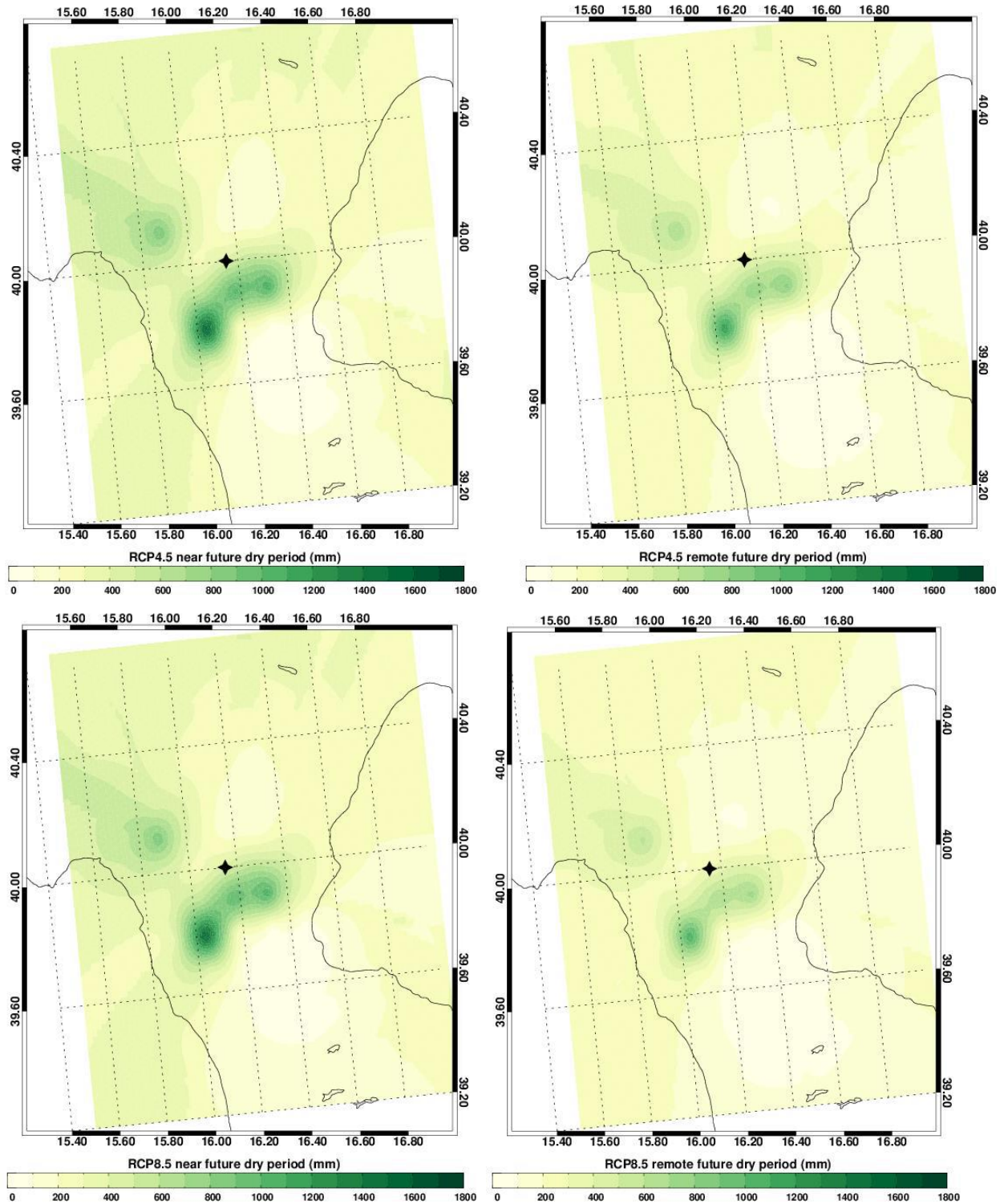
Χάρτης 13: Χάρτης χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης (σε mm) κατά την υγρή περίοδο για την περιοχή του Πολίνο στην Ιταλία για την περίοδο αναφοράς (Hatzaki et. al, 2019)



Χάρτης 13: Χάρτες χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης σε (mm) κατά την υγρή περίοδο για την περιοχή του Πολίνο στην Ιταλία για το σενάριο RCP4.5 στο κοντινό (πάνω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (πάνω δεξιά) και για το σενάριο RCP8.5 στο κοντινό (κάτω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (κάτω δεξιά αντίστοιχα)

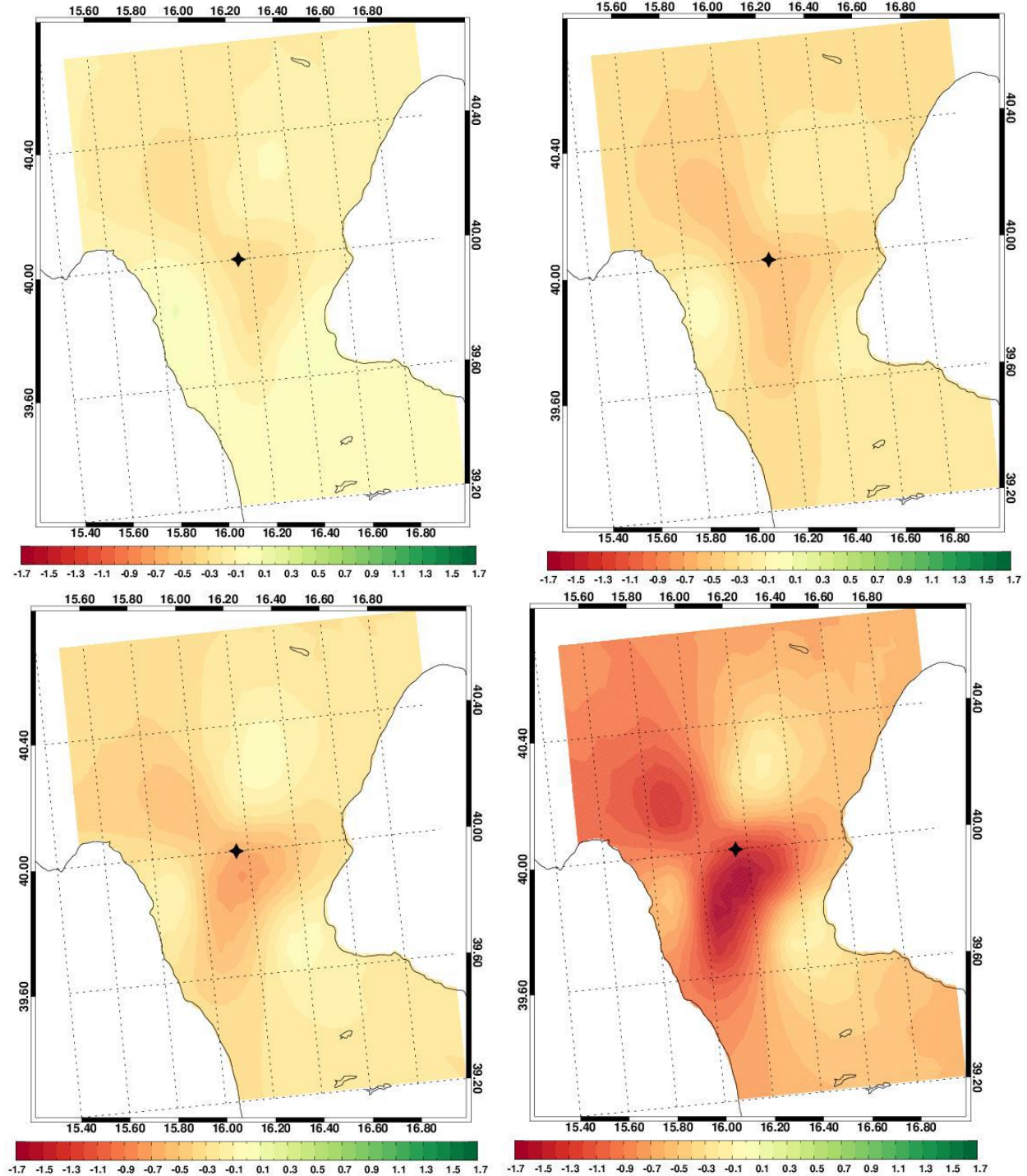


Χάρτης 14: Χάρτης χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης κατά την ξηρή περίοδο για την περιοχή του Πολίνο στην Ιταλία για την περίοδο αναφοράς



Χάρτης 15: Χωρική απεικόνιση των βροχοπτώσεων (σε mm) για την περιοχή του Πολίνο κατά την ξηρή περίοδο για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό μέλλον (πάνω δεξιά) και το μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά) και για το σενάριο RCP 8.5 (κάτω δεξιά και αριστερά αντίστοιχα)

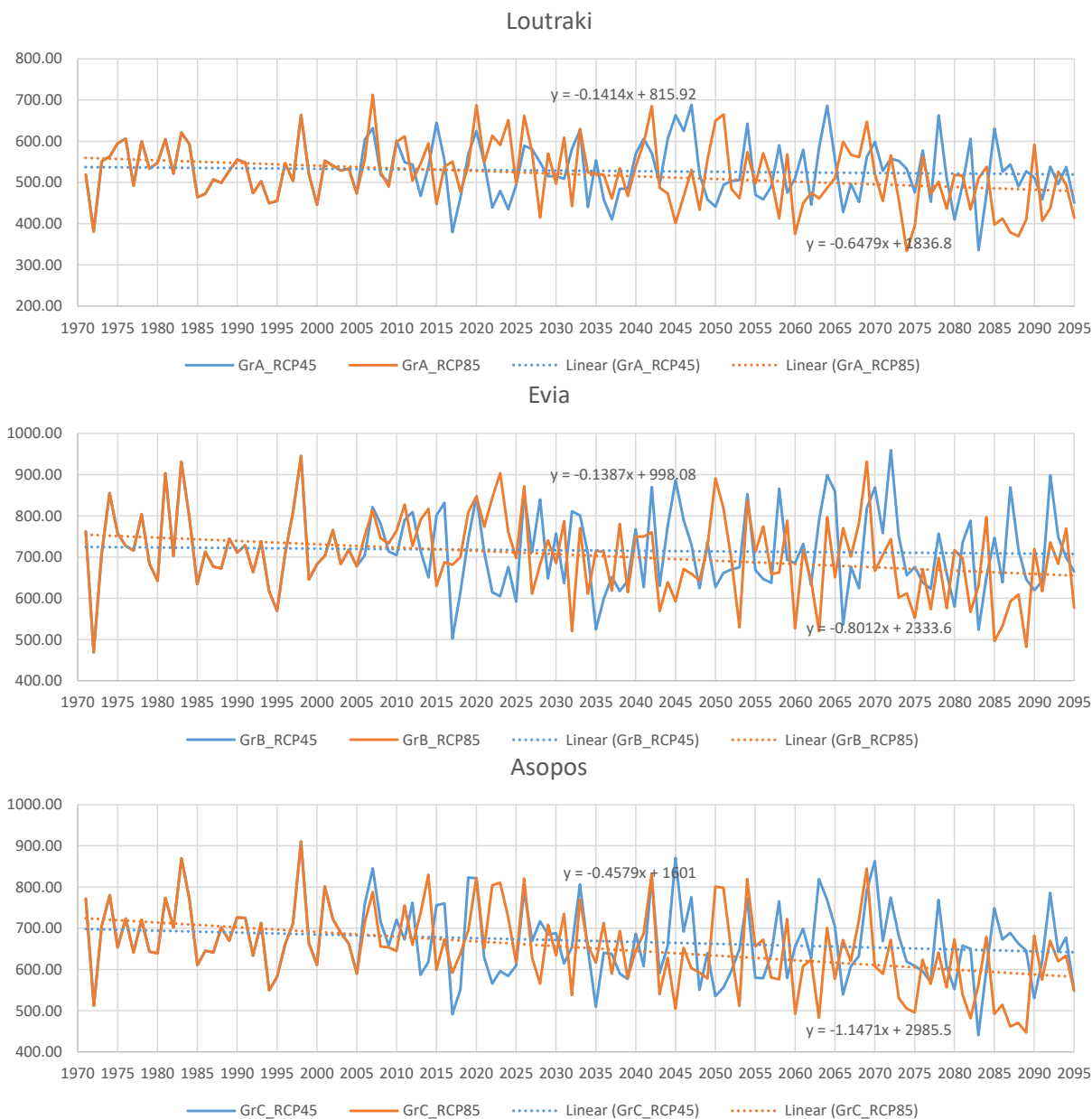
Από την ανάλυση του SPI12 και την απεικόνισή του, διαπιστώνεται αρνητική τάση και για τα δύο κλιματικά σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, από το 2030 και έπειτα, οι τιμές του SPI12 οι τιμές ξεπερνούν το -1, δείχνοντας μέτριες έως ξηρές συνθήκες σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς, κυρίως για το σενάριο RCP8.5.



Χάρτης 16: Χάρτες που εμφανίζονται οι SPI12 για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό μέλλον (πάνω αριστερά) και για το μακρινό (πάνω δεξιά) και για το σενάριο RCP8.5 για το κοντινό (κάτω αριστερά) και για το μακρινό μέλλον (κάτω δεξιά)

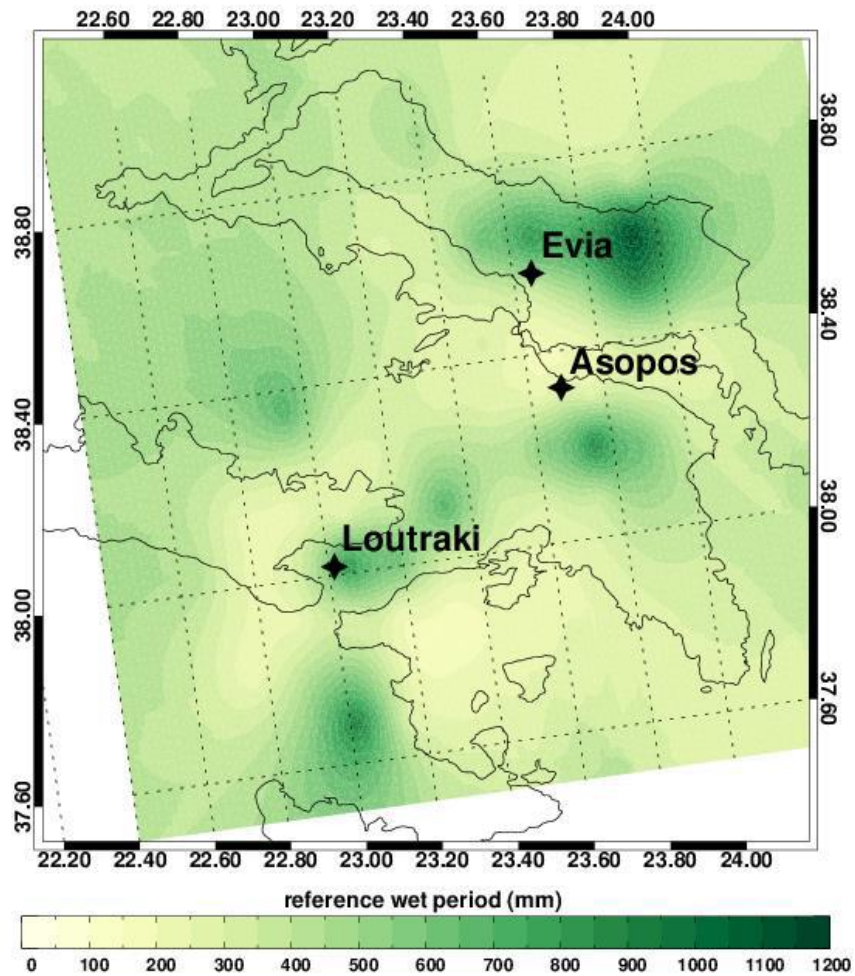
Δ.2. Ελλάδα

Η χρονική εξέλιξη της μελλοντικής βροχόπτωσης όπως προκύπτει από τις προσομοιώσεις του μοντέλου για τα δύο μελλοντικά σενάρια, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 4:

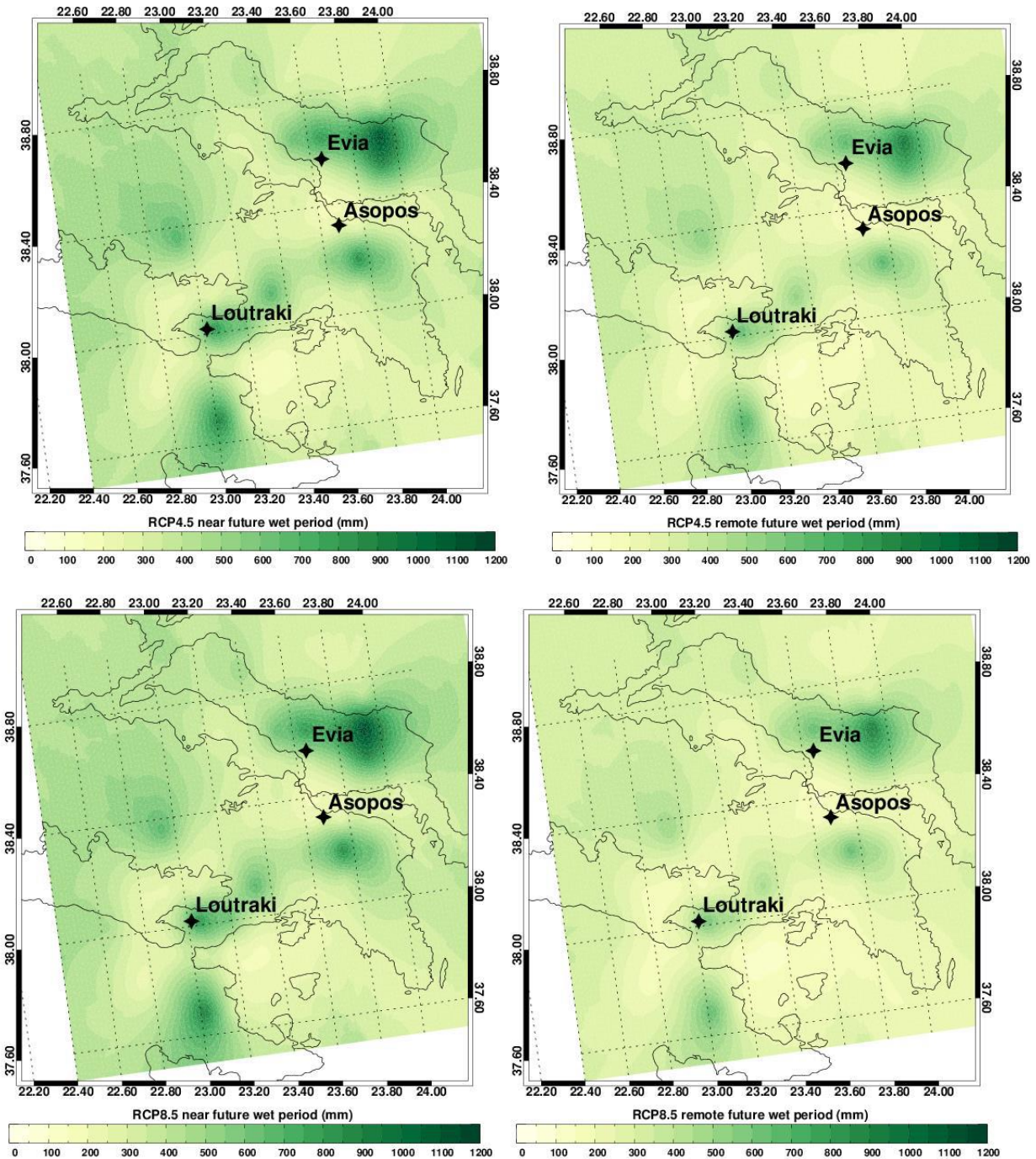


Διάγραμμα 4: Χρονική εξέλιξη της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης για τις περιοχές Λουτρακίου, Ευβοίας και Ασωπού για την περίοδο 1971-2095 σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 (μπλε γραμμή) και RCP8.5 (κόκκινη γραμμή).

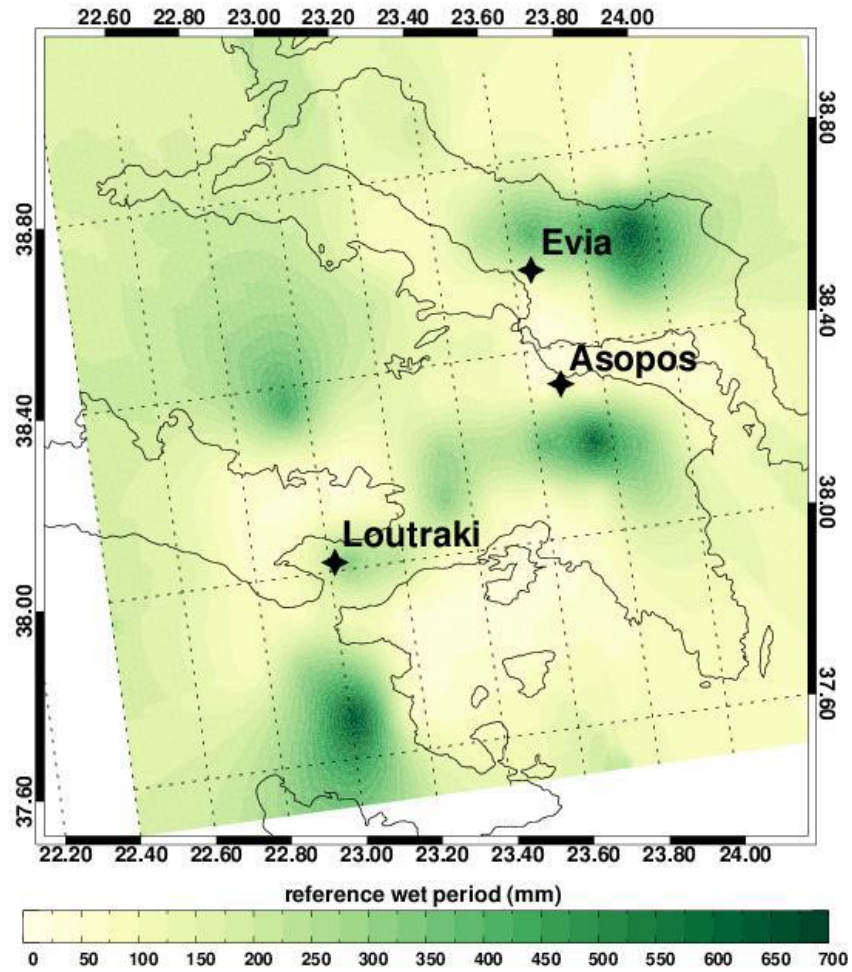
Στους χάρτες που ακολουθούν (Χάρτες 8-11) φαίνεται η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων στις περιοχές μελέτης. Εξαιτίας της πολύπλοκης τοπογραφίας παρατηρείται έντονη μεταβλητότητα. Είναι εμφανής η μείωση των βροχών στο τέλος του αιώνα για το σενάριο RCP8.5.



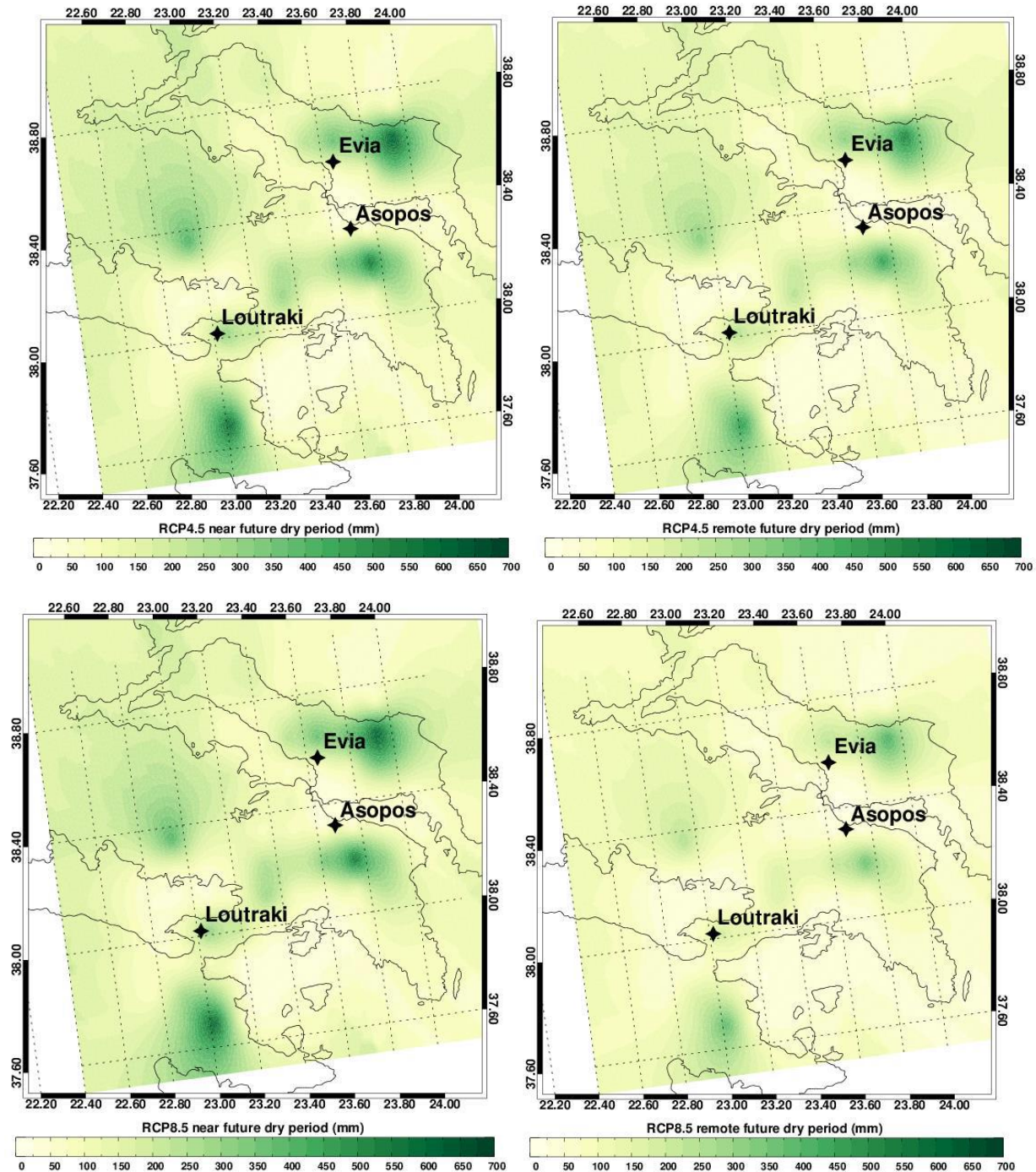
Χάρτης 17: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για την υγρή περίοδο, για τις περιοχές Λουτρακίου, Ασωπού και Ευβοίας στην Ελλάδα για την περίοδο αναφοράς (Hatzaki et al, 2019)



Χάρτης 18: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για την υγρή περίοδο για τις περιοχές ενδιαφέροντος για το κλιματικό σενάριο RCP4.5 για το κοντινό (πάνω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (πάνω δεξιά) και για το σενάριο RCP8.5 για το κοντινό (κάτω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (κάτω δεξιά) αντίστοιχα

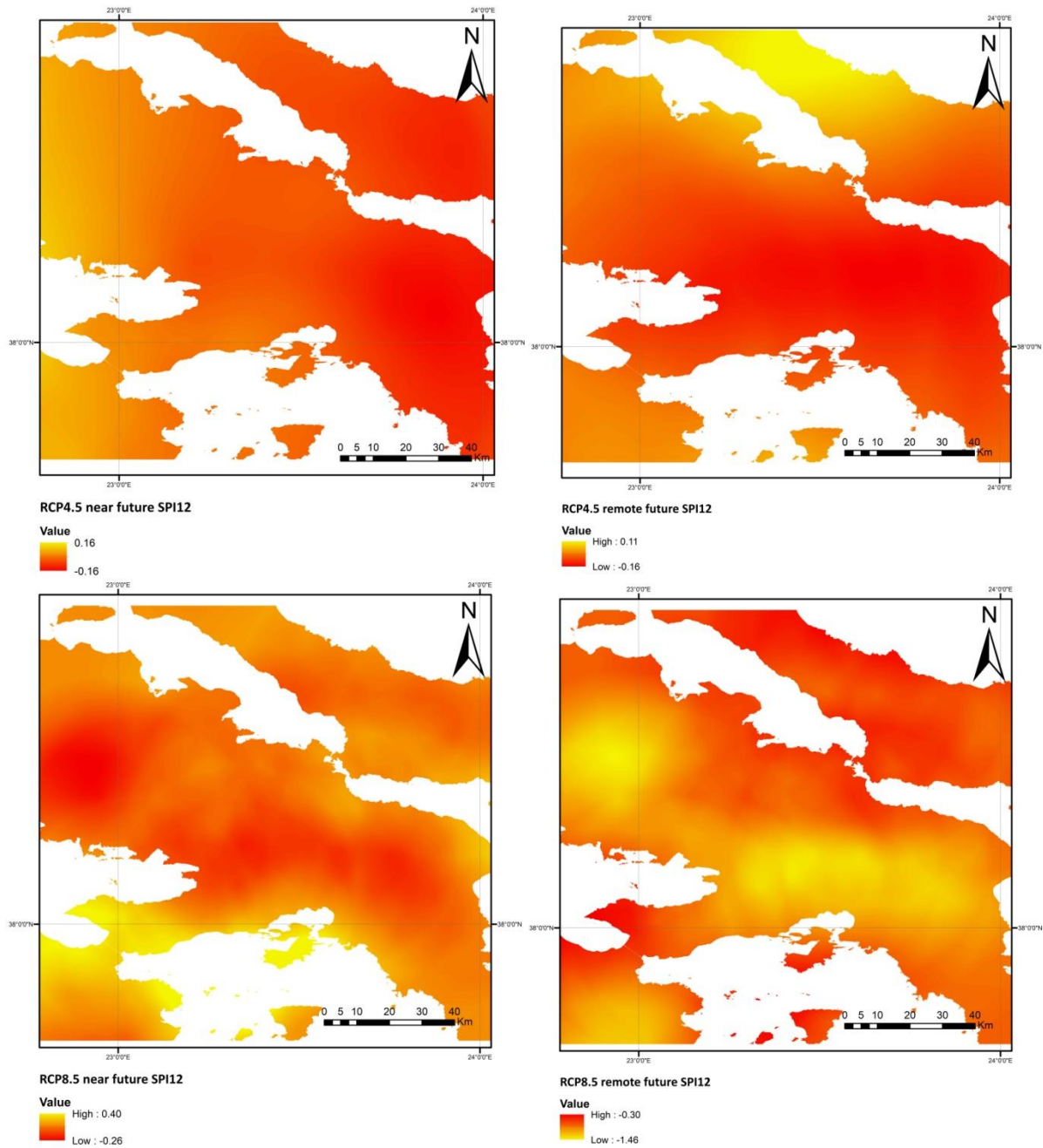


Χάρτης 20: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για την ξηρή περίοδο, για τις περιοχές Λουτρακίου, Ασωπού και Ευβοίας στην Ελλάδα για την περίοδο αναφοράς



Χάρτης 9: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για την ξηρή περίοδο, για τις περιοχές Λουτρακίου, Ασωπού και Ευβοίας στην Ελλάδα για την περίοδο αναφοράς

Αντιστοίχως, στον Χάρτη 12 φαίνεται ο δείκτης ξηρασίας. Για το κοντινό μέλλον οι τιμές του δείκτη ξηρασίας θα παραμείνουν αμετάβλητοι ενώ προς το τέλος του αιώνα θα υπάρξουν σημαντικές περιόδους ξηρασίας.

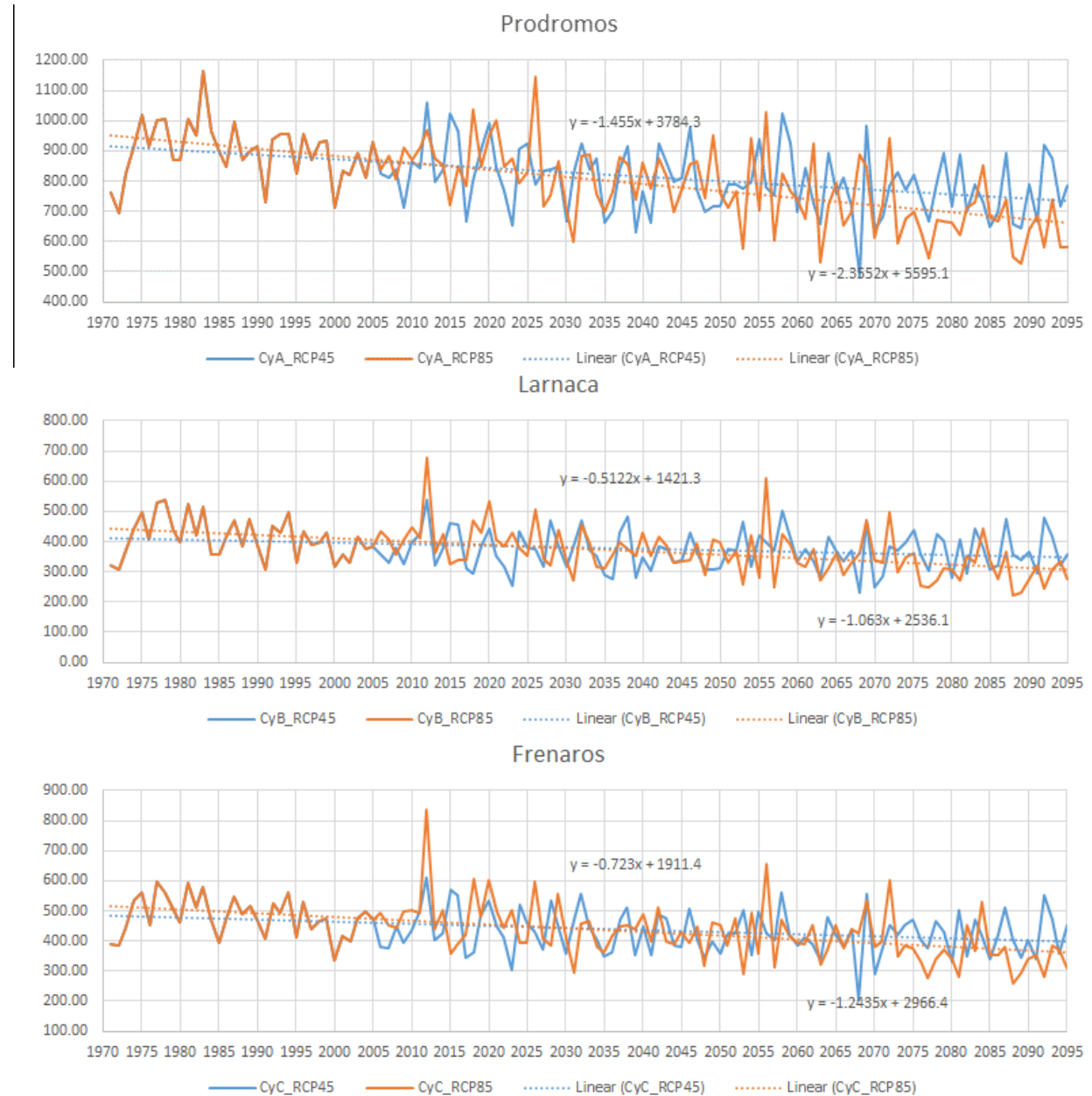


Χάρτης 10: Χάρτες χωρικής κατανομής του δείκτη SPI12 για τις περιοχές ενδιαφέροντος στην Ελλάδα για το κλιματικό σενάριο RCP4.5 για το κοντινό (πάνω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (πάνω δεξιά) και για το σενάριο RCP8.5 για το κοντινό (κάτω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (κάτω δεξιά).

Μελετώντας τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι η ξηρασία για τις περιοχές τις Εύβοιας και του Ασωπού αυξάνονται σημαντικά. Ως προς τις ακραίες κατακρημνίσεις φαίνεται να μην επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό, ωστόσο σημειώνεται μείωση του συνολικού υετού που όμως δεν θα επηρεάσει την εμφάνιση των ακραίων φαινομένων.

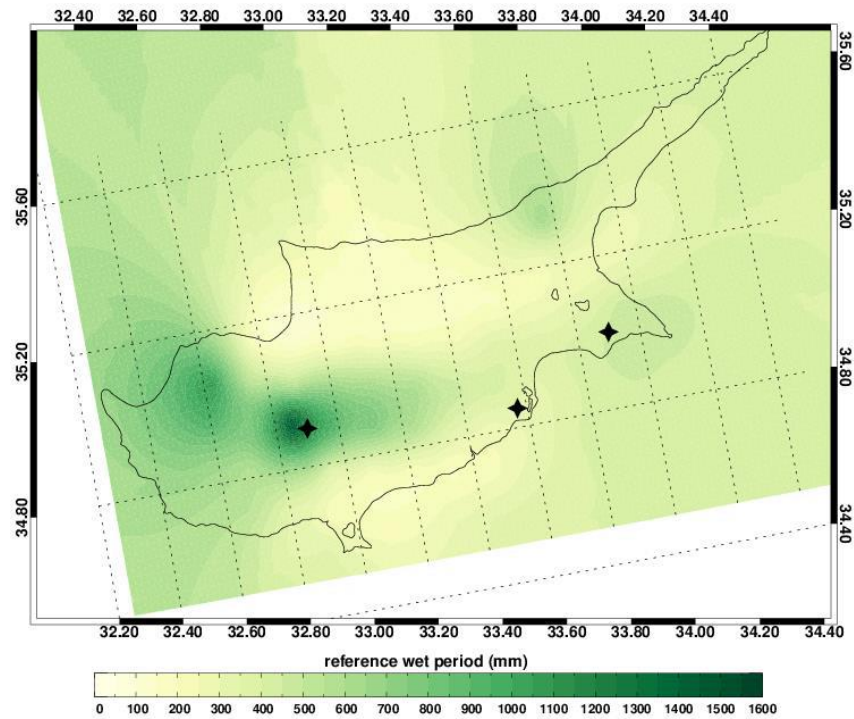
Δ.3. Κύπρος

Οι περιοχές μελέτης της Κύπρου είναι τρεις. Ο Πρόδρομος, η Λάρνακα και το Φρέναρος. Στο παρακάτω Διάγραμμα 5 φαίνεται η χρονική εξέλιξη της βροχόπτωσης για όλη την περίοδο ενδιαφέροντος, δηλαδή, 1970-2095, για κάθε μια από τις περιοχές:

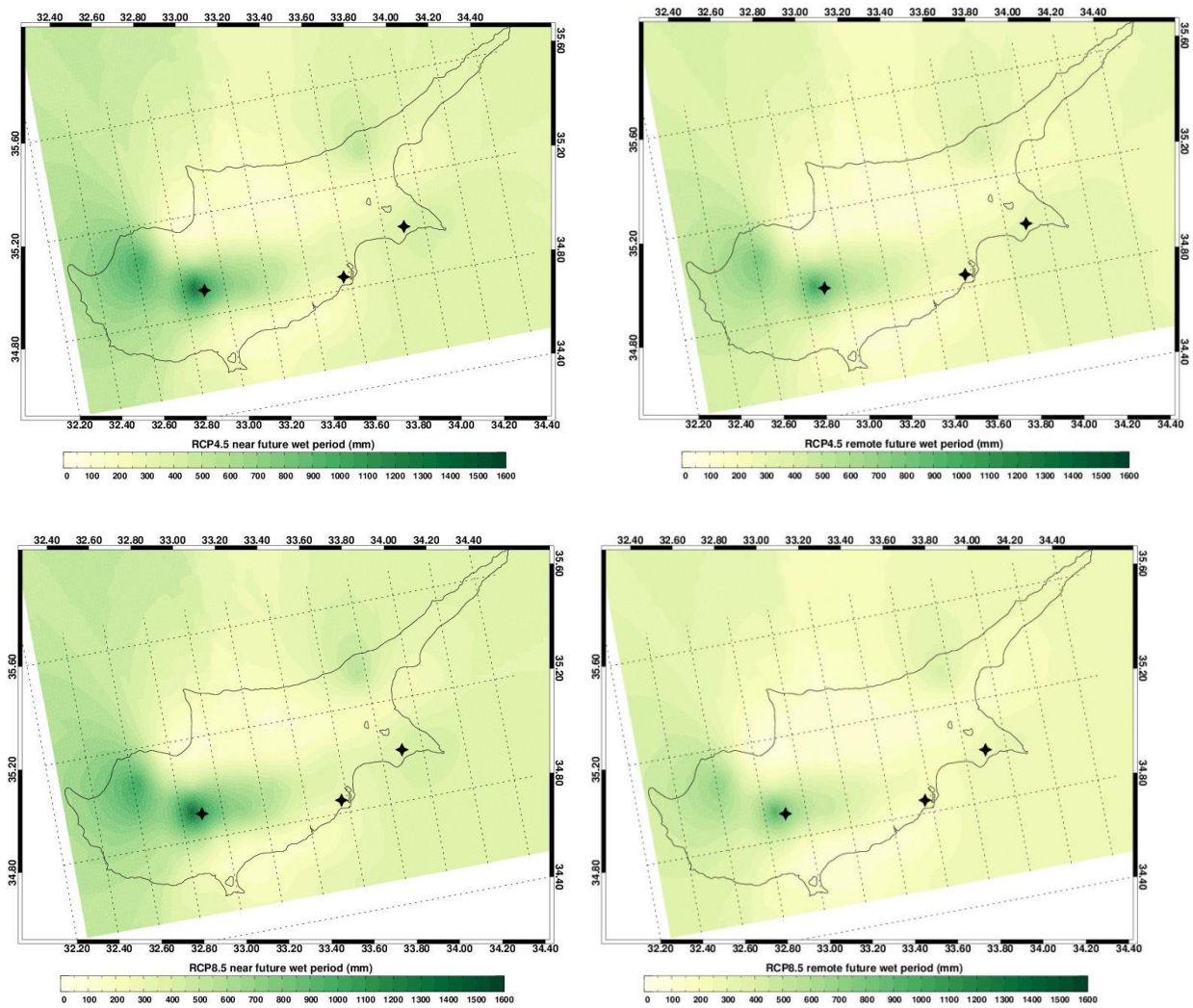


Διάγραμμα 5: Χρονική ανάλυση της βροχόπτωσης για τις περιοχές μελέτης της Κύπρου, Πρόδρομος, Λάρνακα και Φρέναρος για την περίοδο αναφοράς έως και το τέλος του αιώνα, 1971-2095

Στους χάρτες 13-16, φαίνεται η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης για την ξηρή και υγρή περίοδο:

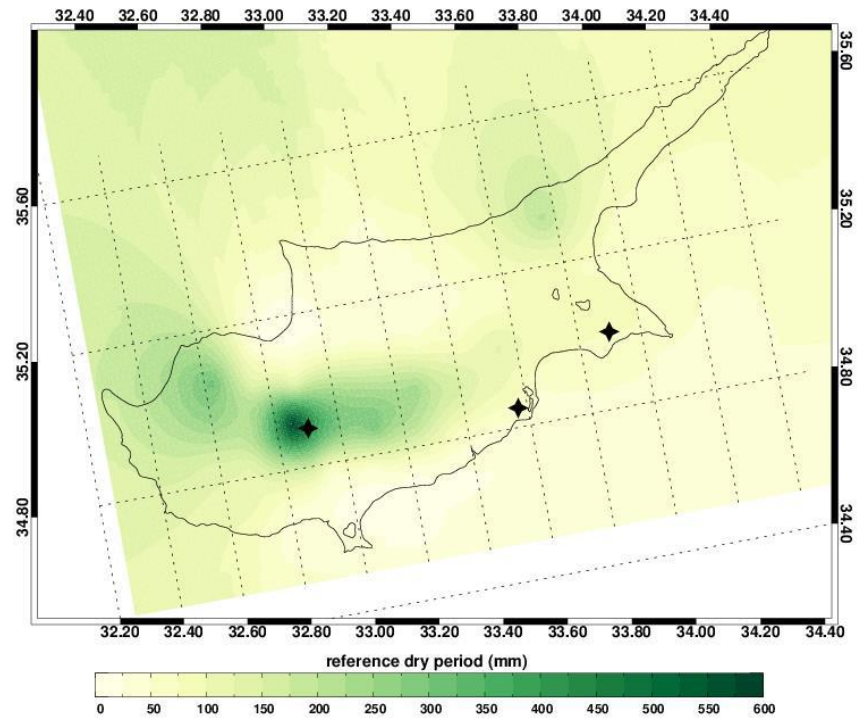


Χάρτης 11: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για τις περιοχές ενδιαφέροντος στην Κύπρο, Λάρνακα, Πρόδρομος και Φρέναρος, για την υγρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς.

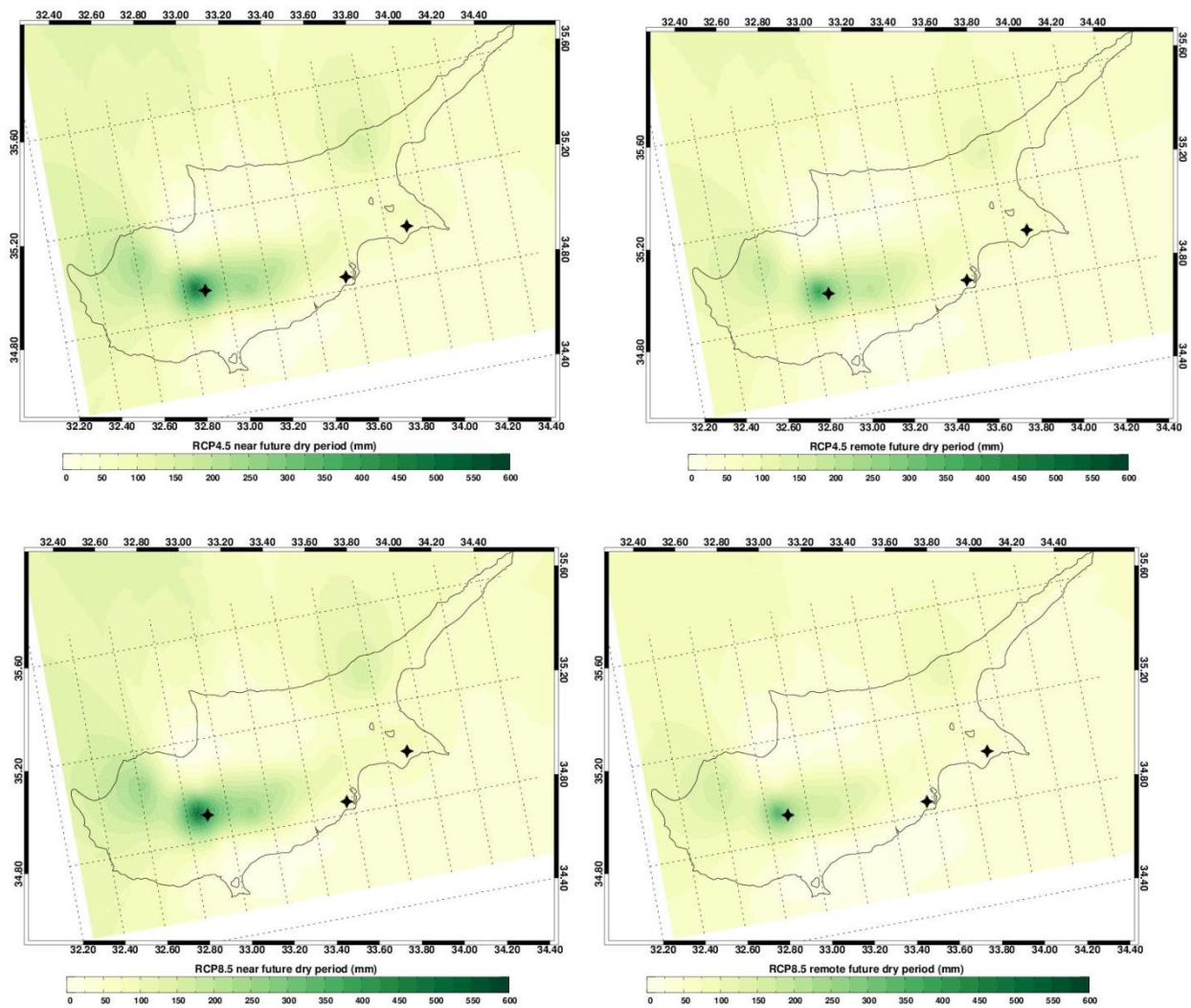


Χάρτης 12: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την Κύπρο για την υγρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς (πάνω χάρτης) για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).

Για την ξηρή περίοδο, οι αντίστοιχοι χάρτες παρατίθενται στη συνέχεια:

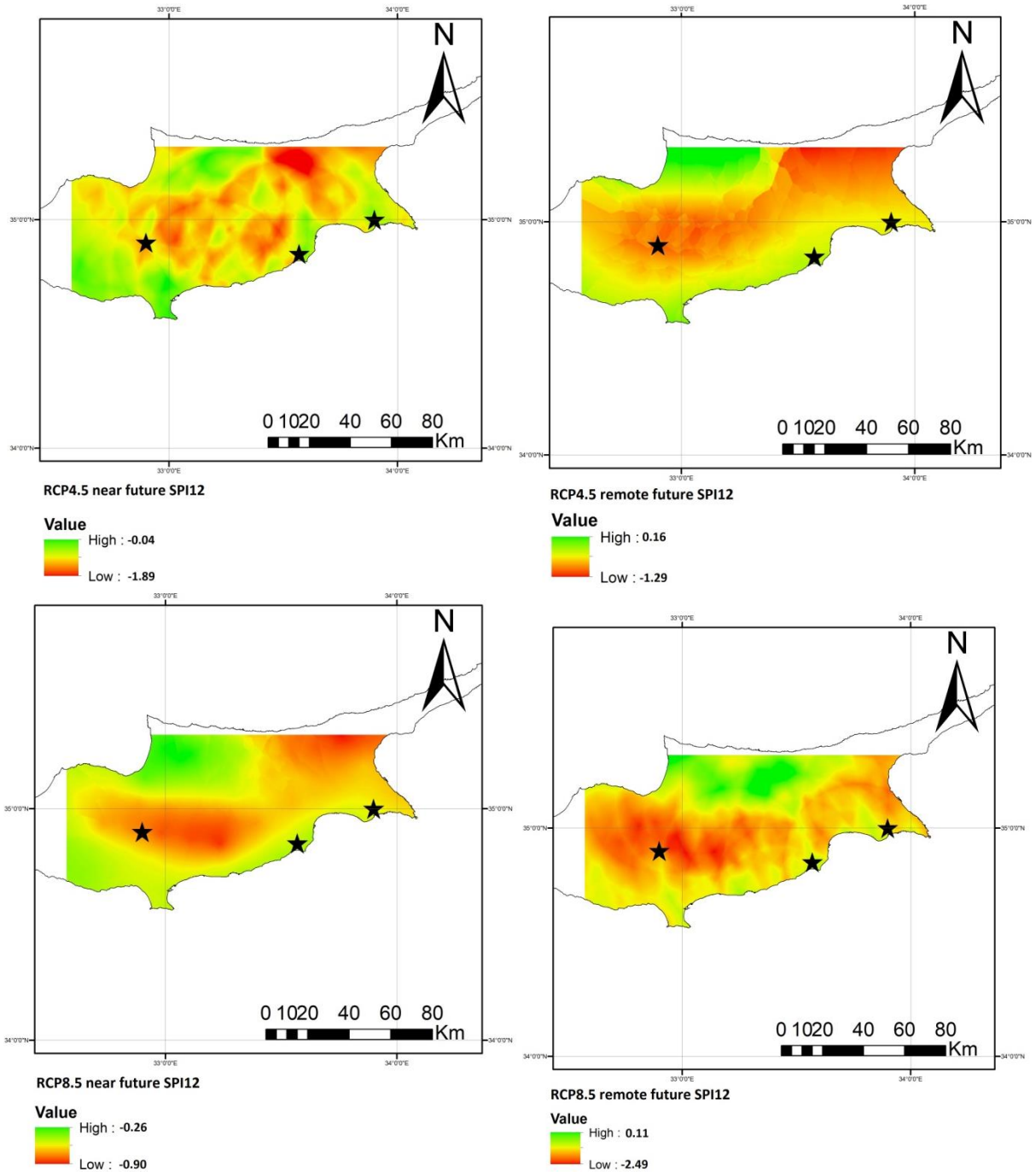


Χάρτης 13: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για την ξηρή περίοδο για τις περιοχές ενδιαφέροντος στην Κύπρο, Λάρνακα, Πρόδρομος και Φρέναρος, για την περίοδο αναφοράς



Χάρτης 14: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την Κύπρο για την ξηρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς (πάνω χάρτης) για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).

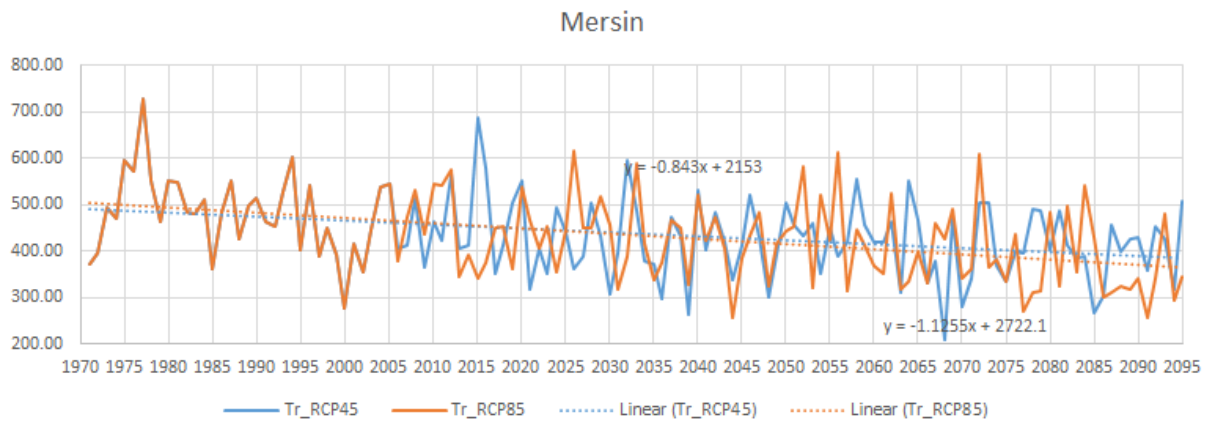
Η ανάλυση του δείκτη ξηρασίας SPI, όπως φαίνεται στους χάρτες που ακολουθούν (Χάρτης 27), εμφανίζει τάσεις από μέτριες έως ακραίες συνθήκες ξηρασίας, ενώ η χωρική του κατανομή δείχνει ότι περισσότερο οι κεντρικές και ορεινές περιοχές του νησιού επηρεάζονται περισσότερο από αυτές.



Χάρτης 27: Χωρική κατανομή του δείκτη SPI12για την Κύπρο για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).

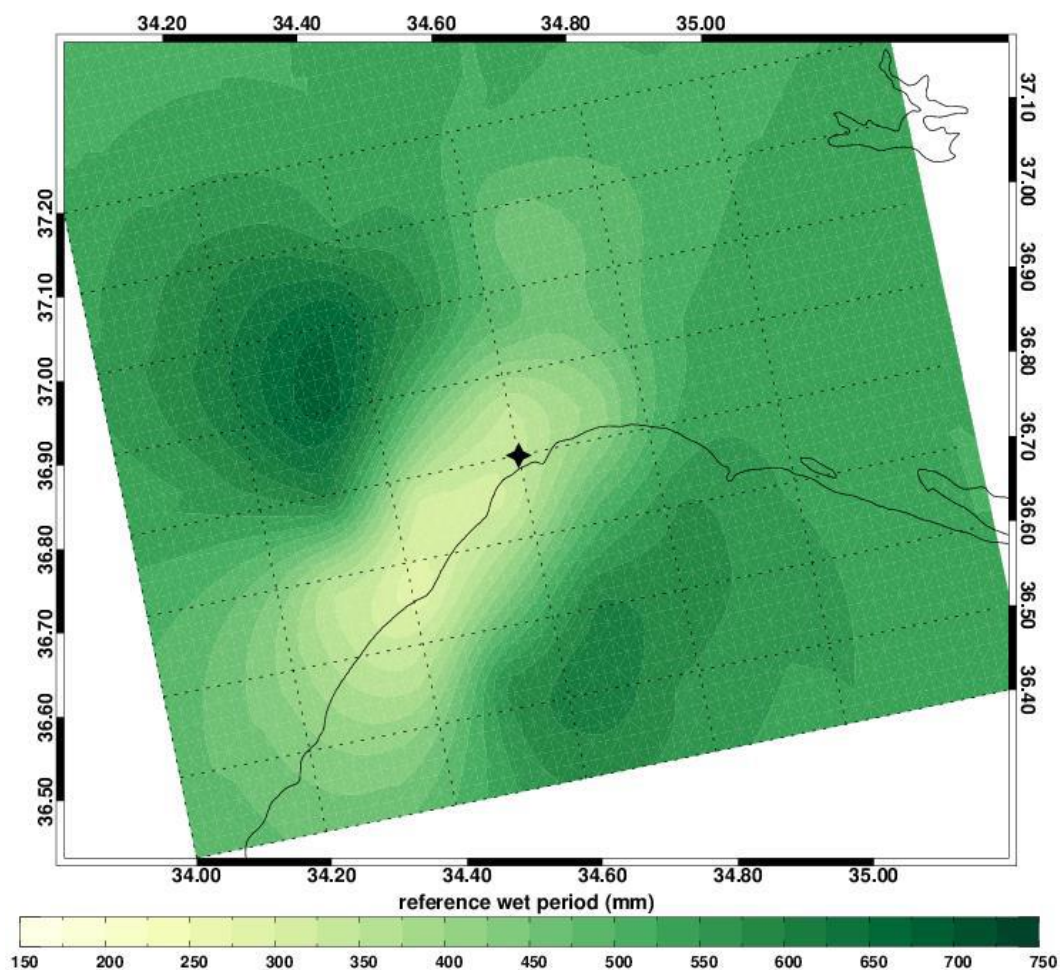
Δ.4. Τουρκία

Η περιοχή μελέτης στην Τουρκία είναι το Μερσίν. Παρακάτω, στο Διάγραμμα 6, φαίνεται η χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων για την περίοδο 1970 έως το 2095.

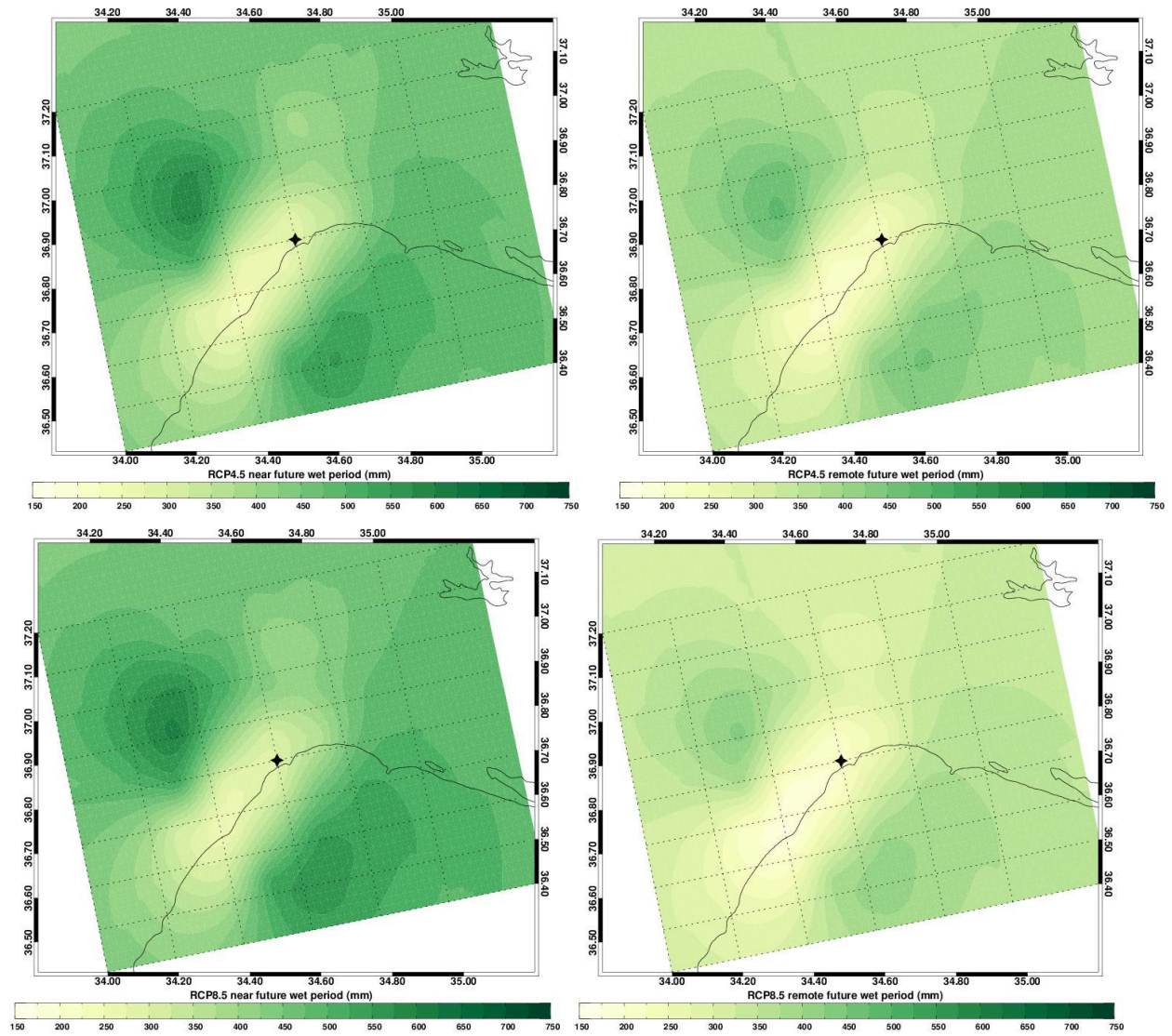


Διάγραμμα 6: Χρονική ανάλυση της βροχόπτωσης για τις περιοχές μελέτης της Τουρκίας για την περίοδο αναφοράς έως και το τέλος του αιώνα, 1971-2095

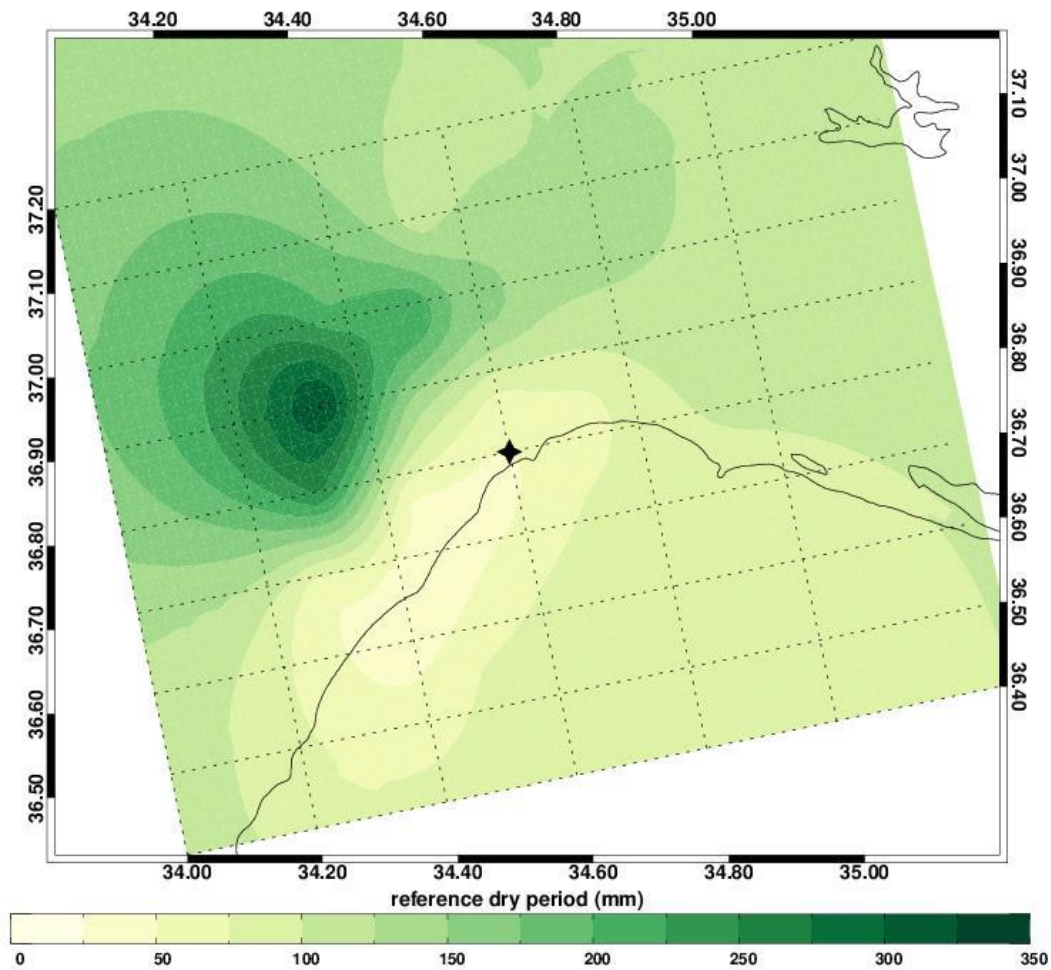
Στη συνέχεια, παρατίθενται οι χάρτες (Χάρτες 18-21) που παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την περίοδο αναφοράς και τα μελλοντικά σενάρια για την υγρή και ξηρή περίοδο, αντίστοιχα.



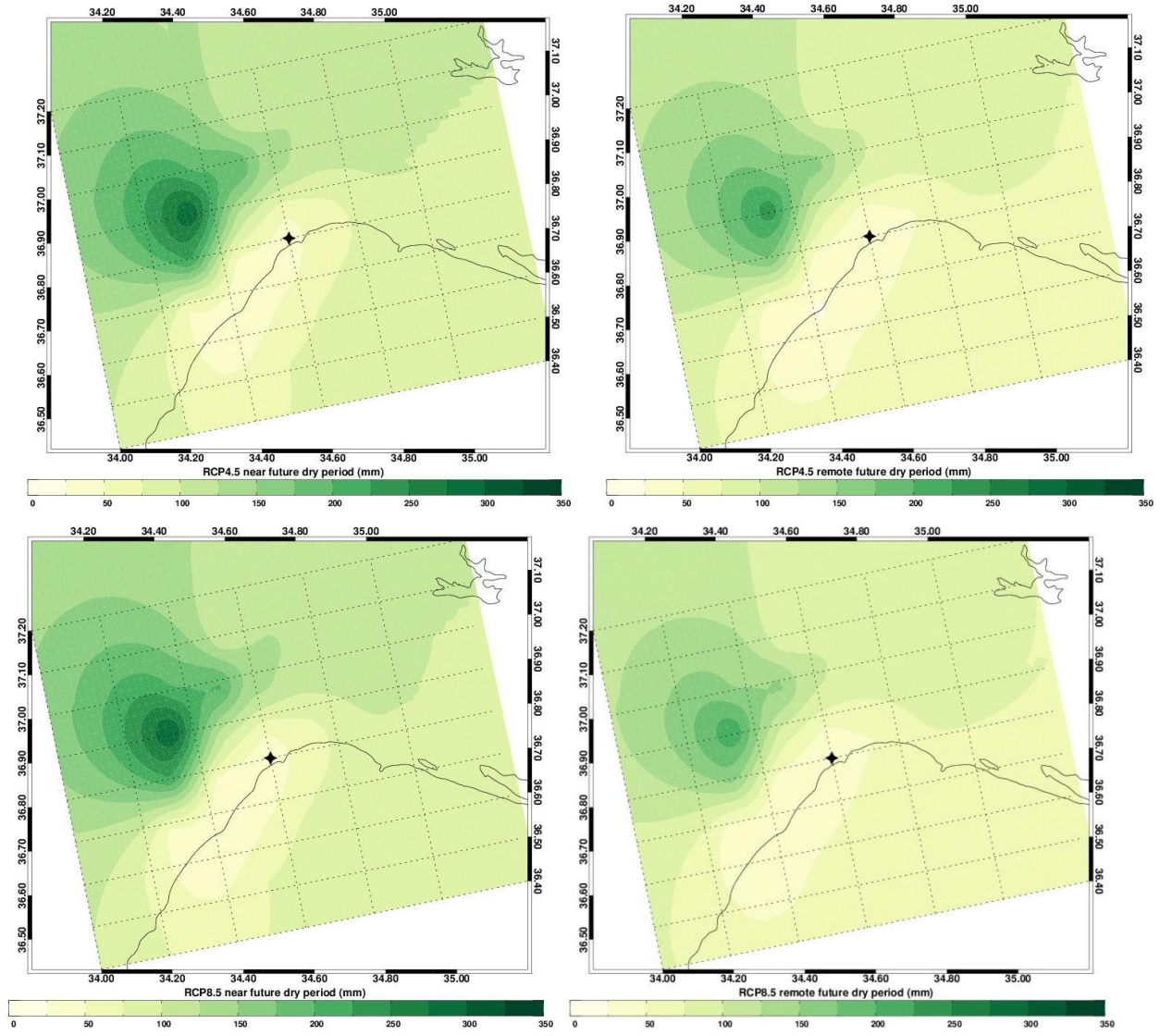
Χάρτης 15: Χωρική κατανομή της βροχόπτωσης (σε mm) για την υγρή περίοδο του έτους για τη χρονική περίοδο αναφοράς για την περιοχή του Μερσίν της Τουρκίας



Χάρτης 16: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για το Μερζίν της Τουρκίας για την υγρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς (πάνω χάρτης) για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).

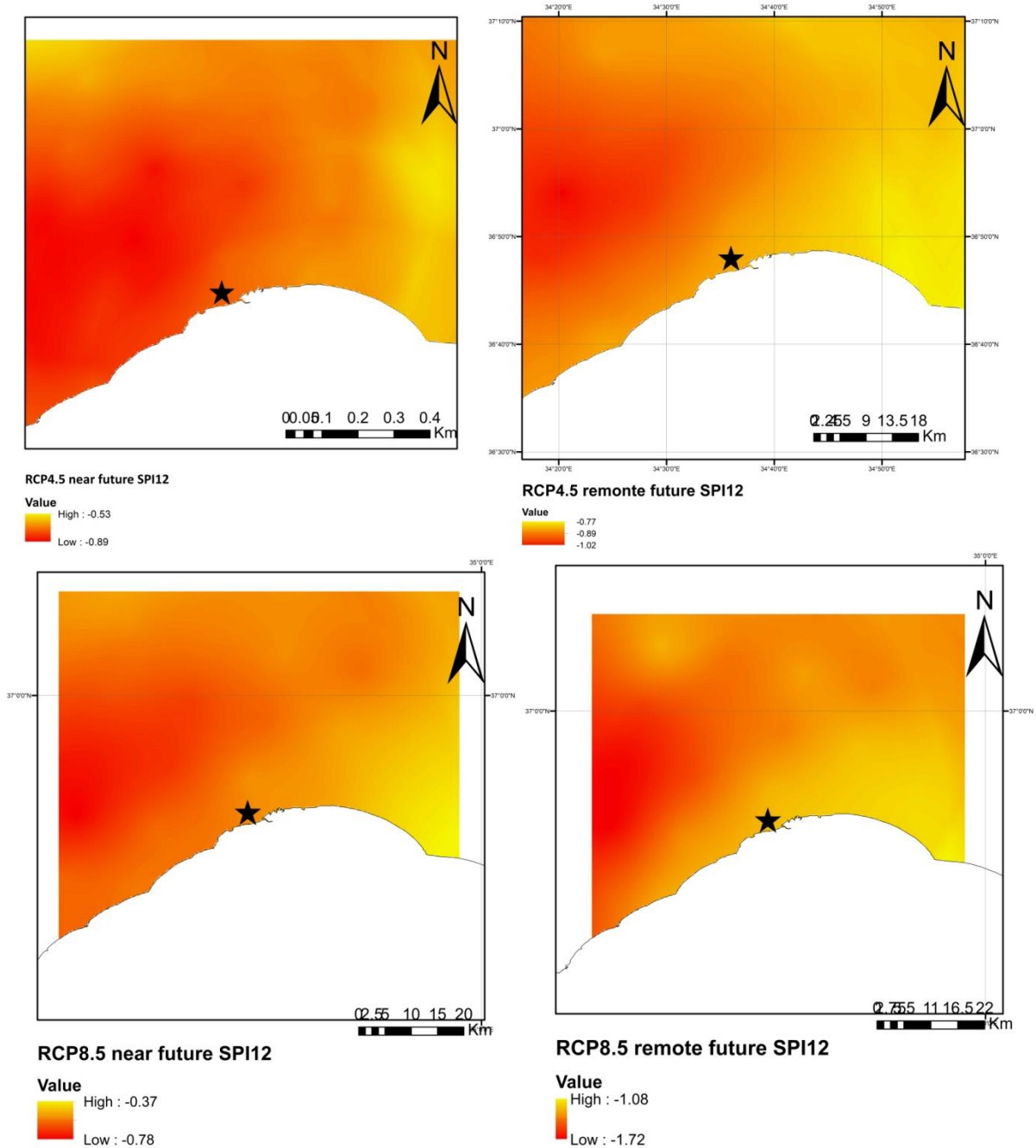


Χάρτης 17: Χάρτης χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης (σε mm) για την ξηρή περίοδο στο Μερσίν της Τουρκίας για την περίοδο αναφοράς



Χάρτης 31: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για το Μερζίν της Τουρκίας για την ξηρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς (πάνω χάρτης) για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).

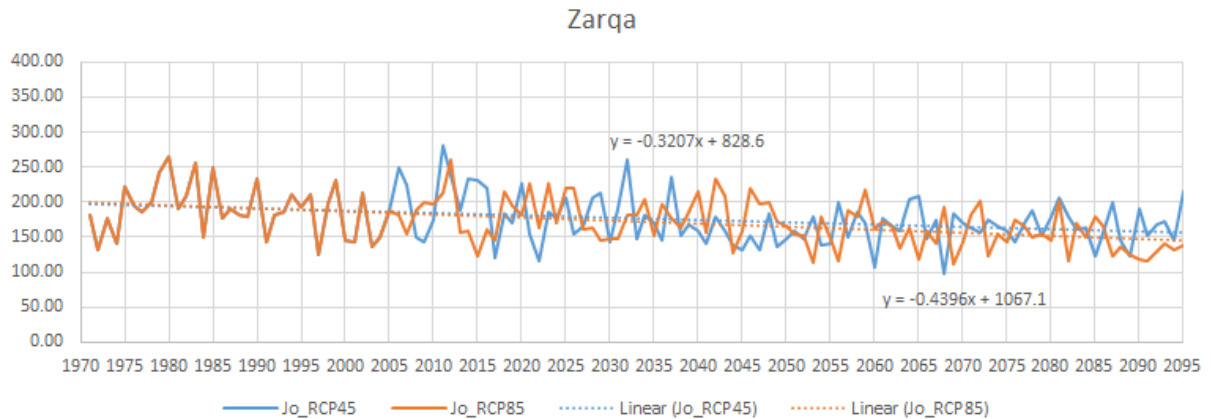
Στη συνέχεια, στον Χάρτη 22 δίνεται η χωρική κατανομή του δείκτη ξηρασίας SPI12. Η ανάλυση του δείκτη ξηρασίας SPI, εμφανίζει μεταβολή από μέτριες έως ακραίες συνθήκες ξηρασίας, ενώ η χωρική του κατανομή δείχνει ότι περισσότερο τα Δυτικά του Μερσίν είναι αυτά που παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάση να κινηθούν προς αυτές τις συνθήκες.



Χάρτης 32: Χωρική κατανομή του δείκτη SPI 12 για την περιοχή Μερσίν της Τουρκίας για το κλιματικό σενάριο RCP4.5 για το κοντινό μέλλον (πάνω αριστερά) και το μακρινό (πάνω δεξιά) και για το σενάριο RCP8.5 για το κοντινό (κάτω αριστερά) και το μακρινό μέλλον (κάτω δεξιά).

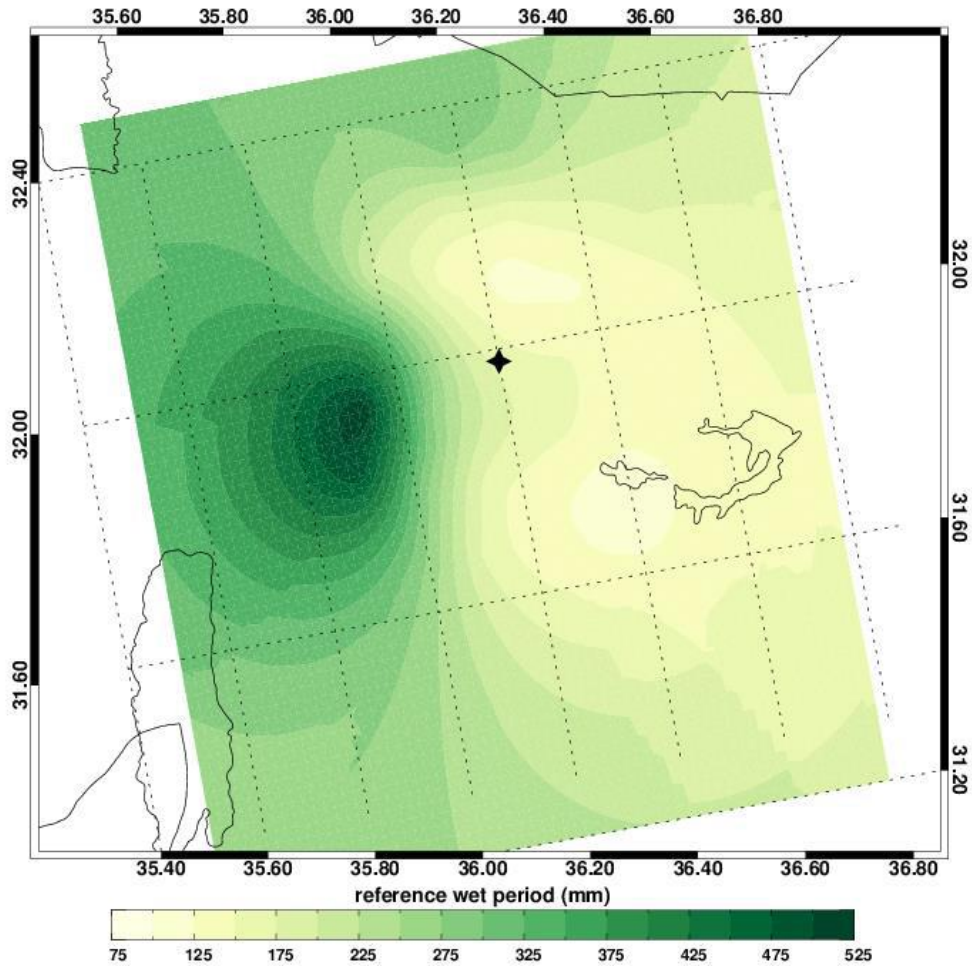
Δ.5. Ιορδανία

Η περιοχή μελέτης στην Ιορδανία είναι αυτή του ποταμού Ζάρκα. Η χρονική εξέλιξη της βροχόπτωσης εμφανίζεται στο διάγραμμα 7. Διακρίνεται εύκολα ότι στην περιοχή του ποταμού Ζάρκα, πρόκειται να συμβεί σημαντική μείωση της βροχόπτωσης και για τα δύο κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

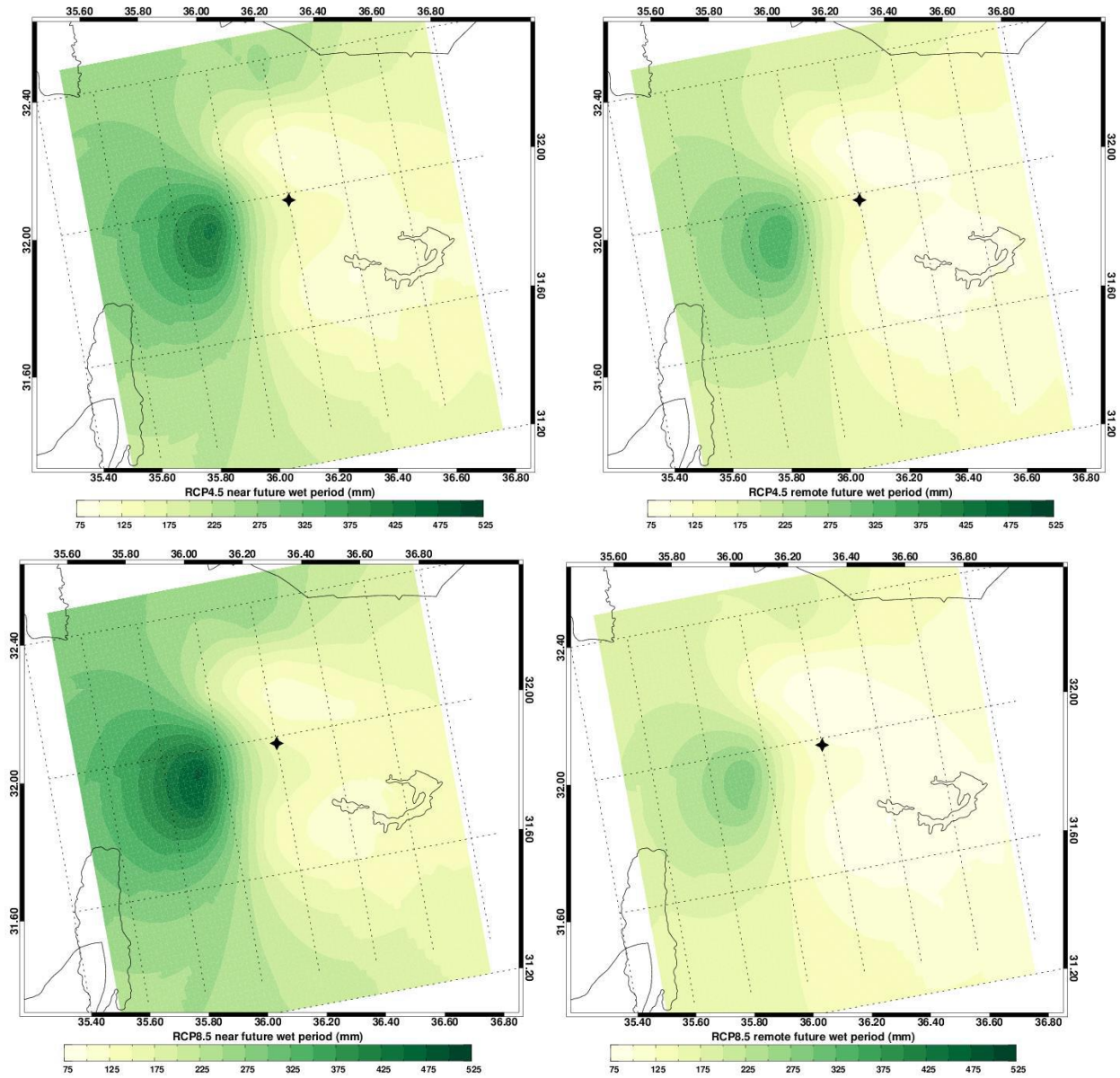


Διάγραμμα 7: Χρονική μεταβολή της βροχόπτωσης για την περιοχή Ζάρκα της Ιορδανίας για την περίοδο 1970-2095 για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. (Hatzaki et al, 2019)

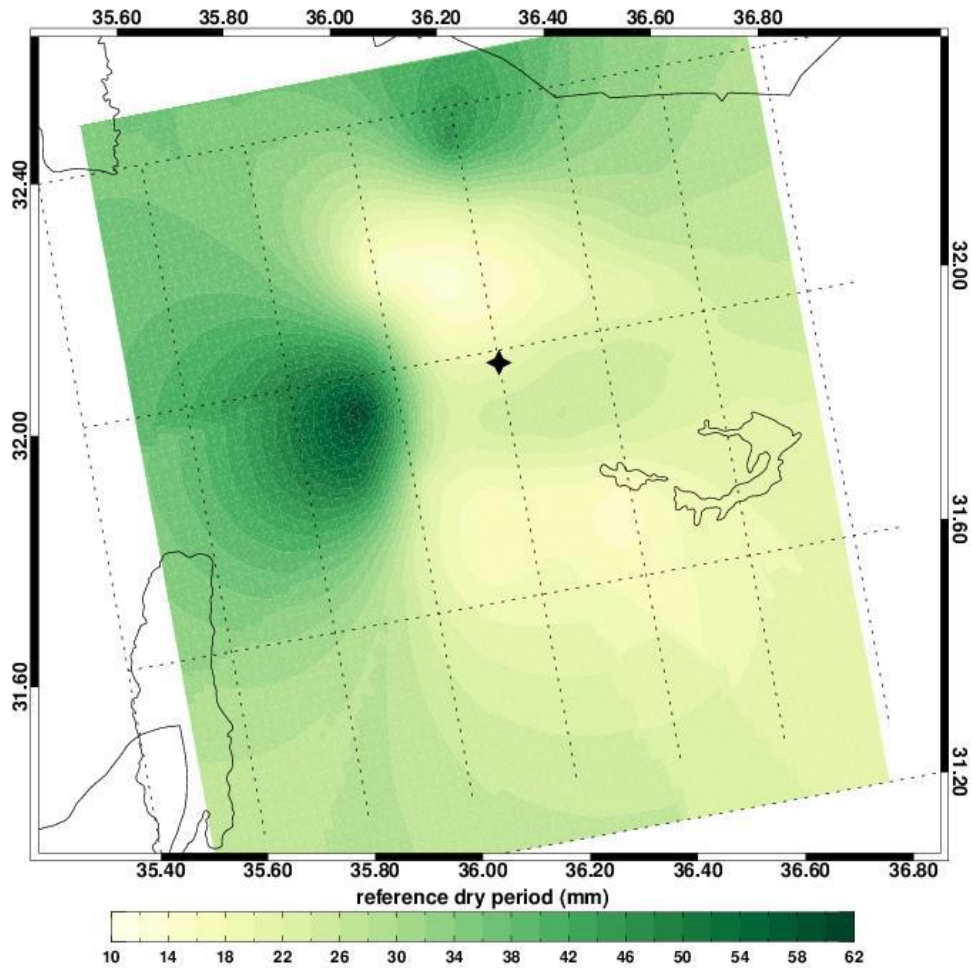
Η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων τόσο σε υγρή όσο και ξηρή περίοδο, παρουσιάζεται στους παρακάτω χάρτες (Χάρτες 23-26). Είναι εμφανές ότι στην περιοχή μελέτης απουσιάζουν σημαντικά οι βροχοπτώσεις ενώ επιπλέον φαίνονται τα πολύ χαμηλά επίπεδα υετού.



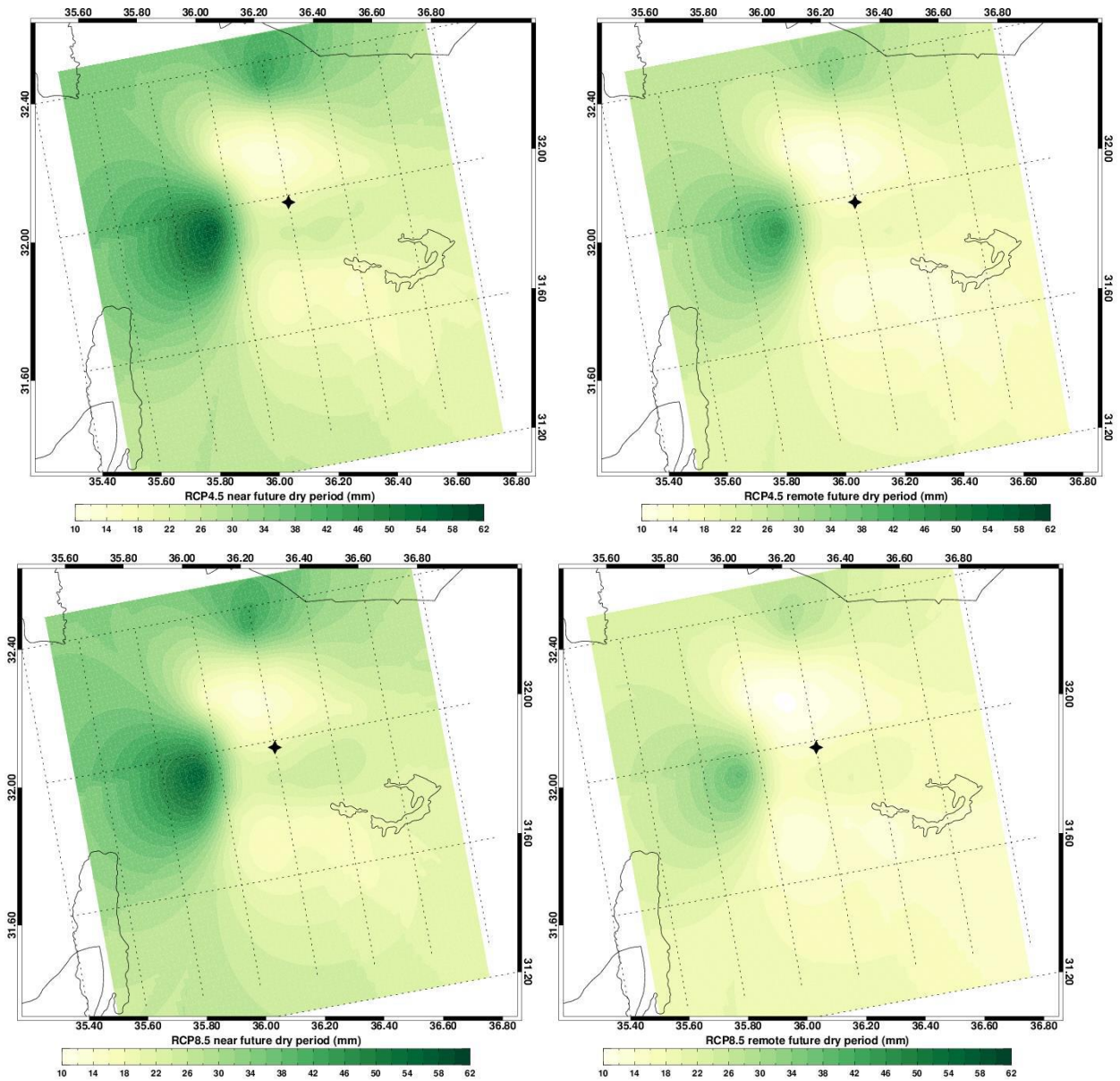
Χάρτης 33: Χάρτης χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων (σε mm) για την περιοχή του ποταμού Ζάρκα της Ιορδανίας κατά τη υγρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς.



Χάρτης 18: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την περιοχή Ζάρκα της Ιορδανίας για την υγρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς (πάνω χάρτης) για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα). (Hatzaki et al, 2019)

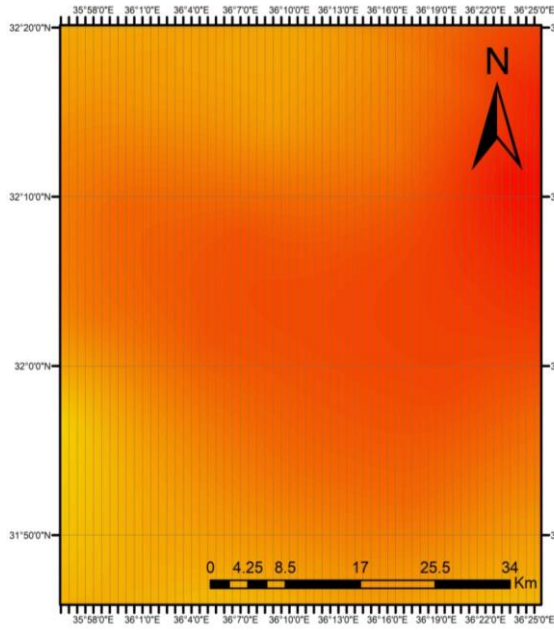


Χάρτης 19: Χάρτης χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης (σε mm) κατά την ξηρή περίοδο για την περιοχή Ζάρκα της Ιορδανίας για την περίοδο αναφοράς

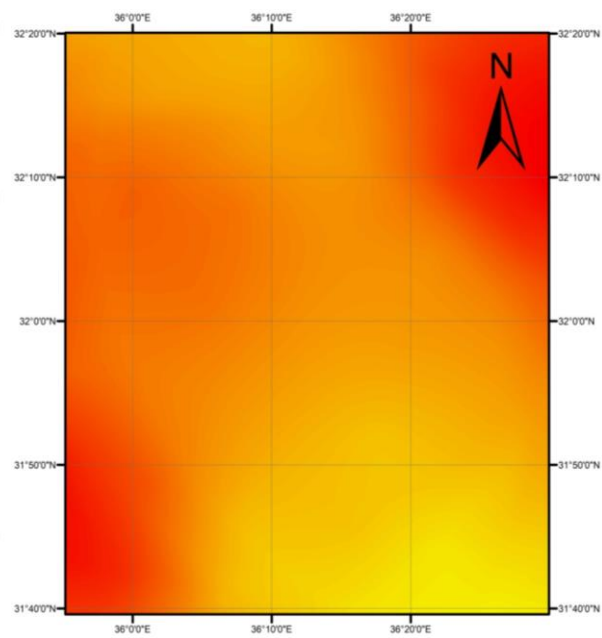
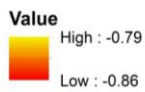


Χάρτης 36: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων για την περιοχή Ζάρκα της Ιορδανίας για την ξηρή περίοδο για την περίοδο αναφοράς (πάνω χάρτης) για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό και μακρινό μέλλον (πάνω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα) και για το σενάριο RCP8.5 για τις αντίστοιχες περιόδους (κάτω αριστερά και δεξιά αντίστοιχα)

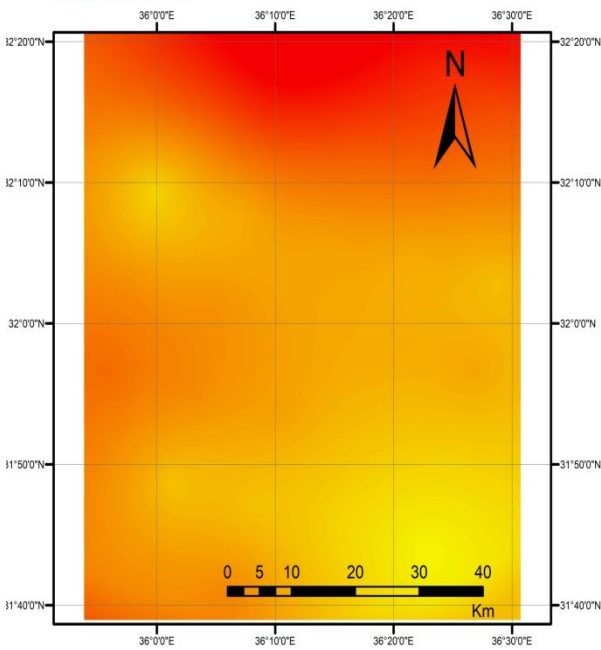
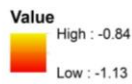
Αντιστοίχως, στους παρακάτω χάρτες (Χάρτης 37) φαίνεται η χωρική ανάλυση του δείκτη ξηρασίας SPI12. Παρατηρώντας τους φαίνεται να υπάρχει τάση προς μέτριες έως πολύ ξηρές συνθήκες κυρίως στις κεντρικές και ορεινές περιοχές.



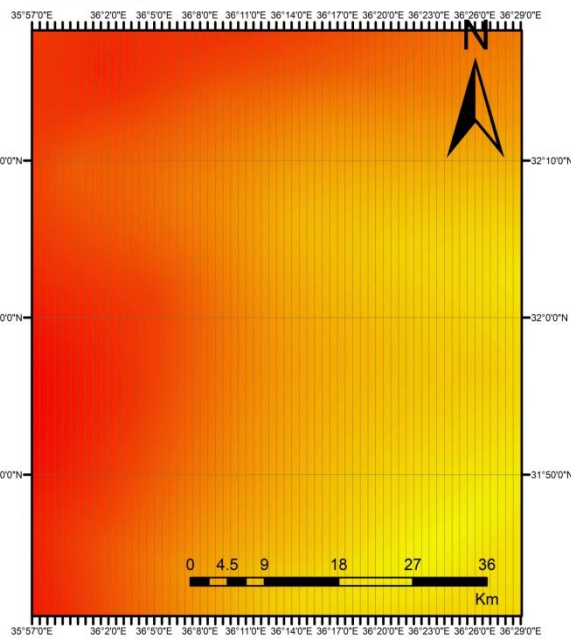
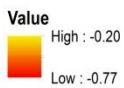
RCP4.5 near future SPI12



RCP4.5 remote future SPI12



RCP8.5 near future SPI12



RCP8.5 remote future SPI12



Χάρτης 20: Χωρική κατανομή του δείκτη SPI12 για την περιοχή του Μερσίν της Τουρκίας για το σενάριο RCP4.5 για το κοντινό (πάνω αριστερά) και για το μακρινό μέλλον (πάνω δεξιά) και για το σενάριο RCP8.5 για το κοντινό (κάτω αριστερά) και για το μακρινό μέλλον (κάτω δεξιά).

Ε Συμπεράσματα για μελλοντικές τάσεις του κλίματος

Η μελέτη και η ανάλυση του παρόντος κλίματος πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να προβλεφθεί πιθανή εξέλιξη των υδρολογικών συνθηκών για τις περιοχές μελέτης στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο. Η χρονική και χωρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση διαφορετικών προσομοιώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RCA4 SMHI. Τα συμπεράσματα αφορούσαν την ένταση της ξηρασίας αλλά και τα φαινόμενα ακραίων βροχοπτώσεων, στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ERANETMED CrITERIA.

Εστιάζοντας στον υετό, από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι για το κλιματικό σενάριο RCP4.5 υποδεικνύεται μια γενική τάση για ξηρότερες συνθήκες, με την τάση αυτή να είναι εντονότερη για το σενάριο RCP8.5 και κυρίως προς το τέλος του αιώνα.

Η δείκτης ξηρασίας SPI 12, δείχνει στατιστικά σημαντικές τάσεις και στα δύο κλιματικά σενάρια, RCP4.5 και RCP8.5 που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία και κυρίως στο δεύτερο, RCP8.5. Σύμφωνα λοιπόν με το κλιματικό σενάριο RCP8.5, αναμένονται ακραίες και παρατεταμένες ξηρασίες, γι' αυτό και θα πρέπει να ληφθούν και να εφαρμοστούν σημαντικά μέτρα για αντιμετώπιση της μείωσης των επιπέδων των υπόγειων υδάτων και αποθεμάτων που πρόκειται να επηρεαστούν.

ΣΤ. Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Ahrens B., 2003: Rainfall downscaling in an alpine watershed applying a multiresolution approach, *Journal of Geophysical Research* 108, doi: 10.1029/2001JD001485. ISSN: 0148-0227
- Barkhordarian, A., Bhend, J., and von Storch, H., 2012: Consistency of observed near surface temperature trends with climate change projections over the Mediterranean region, *Climate Dynamics* 38, 1695–1702. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1060-y>
- Bolle H-J., 2003: *Mediterranean Climate Variability and Trends*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55657-9>
- Cloetingh S., Cronin T., McGuffie K., Oberhansli H., Pirazzoli P., 2017: *Global and Planetary Change*, Chapter, 619-655, https://doi.org/10.1163/9789004353855_006
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Cronin T., McGuffie K., Oberhansli H., Pirazzoli P., 2008: Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area, *Global and Planetary Change – Sierd Cloetingh*, Elsevier, 63(2-3), 127-131. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.003>
- Edwards P. N., 2010: History of Climate Modeling, Focus Article, <https://doi.org/10.1002/wcc.95>
- ESPON, 2012: *Climate change and Europe's regions*, <https://www.espon.eu/climate-2012>
- Freiwan M. and Kadioglu M., 2007: Climate variability in Jordan, *Royal Meteorological Society*, Article, <https://doi.org/10.1002/joc.1512>
- Giorgi F, Gutowski W.J. Jr, 2015: Regional Dynamical Downscaling and the Cordex Initiative, 40: 467-490, <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>
- Giorgi F., 2008: Regionalization of Climate Change Information for Impact Assessment and Adaptation, Vol 57 (2), <https://public.wmo.int/en/bulletin/regionalization-climate-change-information-impact-assessment-and-adaptation>
- Giorgi, F. and Mearns, L.O., 1991: Approaches to the simulation of regional climate change: A review. *Review of Geophysics*, 29(2), 191-216, <http://dx.doi.org/10.1029/90RG02636>
- Goosse H., Barriat P-Y, Loutre M-F, Zunz V., 2010: Introduction to climate dynamics and climate modeling, <https://oer.uclouvain.be/jspui/handle/20.500.12279/286>

- Hatzaki M., Argyraki A., Pyrgaki K., Gkiouleka I., Giannopoulou P., Paternoster M., Bagci Z. H., Shammount M., Moraetis D., Christou A., Zissimos A., Dermatas D., 2019: Assessment of trends in water supply and demand under climate change conditions. ERANETMED-CRITERIA DELIVERABLE WP3 Task 3
- Hertig E., Jacobeit J., 2008: Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area, *Global and Planetary Change* 63(2-3):127–131, doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.003
- IPCC, 2013. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf
- Knutti, R., Abramowitz G., Collins M., Eyring V., Gleckler P. J., Hewitson B., Mearns L., 2010: Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative, Vol. 40:467-490, <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>
- Lelieveld, J., P. Hadjinicolaou, E. Kostopoulou, J. Chenoweth, M. El Maayar, C. Giannakopoulos, C. Hannides, M. A. Lange, M. Tanarhte, E. Tyrlis and E. Xoplaki, 2012: Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change* 114, 667–687. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4Dr>.
- Lionello P., Malanotte P., Rizzoli R., Boscolo P., Alpert V., Artale L. Li, Luterbacher J., May W., Trigo R., Tsimplis M., Ulbrich U., Xoplaki E., 2006: The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues, *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4, 1-26, [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80003-0](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80003-0)
- Lynch P., 2008: The Origins of Computer Weather Prediction and Climate Modeling, *Journal of Computational Physics*, vol. 227
- Meinshausen M., Smith S. J., Calvin K., Daniel J. S., Kainuma M. L. T., Lamarque J-F, Matsumoto K., Montzka S. A., Raper S. C. B., Riahi K., Thomson A., Velders G. J. M., van Vuuren D.P P., 2011: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* 109, 213, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- van Vuuren D.P. Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Thomson A., Hibbard K., Hurtt G. C., Kram T., Krey V., Lamarque J-F, Masui T., Meinshausen M., Nakicenovic N., Smith S. J., Rose S.T., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Ελληνόγλωσση:

It.Auth, Κέντρο Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης ΑΠΘ, Λογισμικό ArcGIS

Μαχαίρας, Π., Μπαλαφούτης, Χ., 1997: Γενική Κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας, University Studio Press

Παπανικολάου Δ.Ι, Σίδερης Χρ.Ι., 2013, Γεωλογία, η επιστήμη της Γης, Πατάκη

Στάθης Δ., 2015, Μαθήματα Δασικής Μετεωρολογίας και κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος

ΔΙΚΤΥΟΓΡΑΦΙΑ

https://climate4impact.eu/impactportal/documentation/backgroundandtopics.jsp?q=regional_models

<http://www.besafenet.net/el-gr/natural-hazards-drought-and-desertification#faq114>

<https://www.criteria.gr/>

https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4668/1/13_chapter_12.pdf

<https://www.espon.eu/climate-2012>

google.com/intl/el/earth/

<https://cran.r-project.org/web/packages/SPEI/SPEI.pdf>

<https://www.ipcc-data.org/>

<https://glossary.ametsoc.org/>

<https://climate.nasa.gov/effects/>

<https://climate.nasa.gov/causes/>

<https://www.euro-cordex.net/>

<https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>

<https://www.r-project.org/about.html>