



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
ΤΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ»

ΚΑΣΣΙΟΥ ΕΥΓΕΝΙΑ



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ., ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΟΜΕΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να αναγνωρίσω την συμβολή συγκεκριμένων προσώπων στην περάτωση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας. Σημαντική ήταν η καθοδήγηση του επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου κ. Γεωργίου Τσακίρη, Καθηγητή Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης στην σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ο οποίος συνέβαλε με καίριες παρατηρήσεις και διορθώσεις. Ακόμα, ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ. Ιωάννη Ναλμπάντη και κ. Χαρίλαο Βαγγέλη για την απεριόριστη υποστήριξη και βοήθεια σε όλα τα μέρη της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον κ. Δημήτριο Τίγκα, Υποψήφιο Διδάκτορα και μέλος του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, για την βοήθεια του στην κατανόηση και επεξεργασία των ανεπτυγμένων προγραμμάτων λογισμικού, DripC και Medbasin καθώς και την κ. Ινώ Παπαγεωργακη, Υποψήφια Διδάκτορα, για την συμβολή της με οδηγίες και συμβουλές επί του σχεδιαστικού λογισμικού, ArcGIS.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, διερευνώνται οι έννοιες της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας και πραγματοποιείται εφαρμογή μελέτης σε μεσογειακές συνθήκες. Η κλιματική αλλαγή, που ως φαινόμενο χαρακτηρίζεται κυρίως από ακραίες καταστάσεις έντονων βροχοπτώσεων και αυξανόμενων θερμοκρασιών, έχει σημαντικές επιπτώσεις στα ανθρώπινα και φυσικά συστήματα με την ξηρασία να αποτελεί ένα μεγάλο παράγοντα φυσικών καταστροφών. Με στόχο την κατανόηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις μετεωρολογικές και υδρολογικές παραμέτρους, συσχετιζόμενες με την ύπαρξη καθεστώτων ξηρασίας, έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα κλιματικών μοντέλων και σεναρίων για το μέλλον. Στην παρούσα εργασία έχουν διερευνηθεί τρία Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), το RACMO2, το REMO και το HadRM3Q0, με καθένα από αυτά να ενσωματώνει το κλιματικό σενάριο A1B και να παρέχει χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για χρονικό εύρος 150 ετών (1950-2100). Ως περιοχή μελέτης, που αντικατοπτρίζει τις μεσογειακές συνθήκες κλίματος, ορίστηκε το νησί της Κρήτης. Η κατάσταση της μετεωρολογικής ξηρασίας επί της περιοχής εφαρμογής εξετάστηκε βάσει των δεικτών ξηρασίας, Standardized Precipitation Index (SPI) και Reconnaissance Drought Index (RDI) ενώ τα συμπεράσματα περί υδρολογικής ξηρασίας αναλύθηκαν βάσει του δείκτη Streamflow Drought Index (SDI). Στα τελικά αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων παρουσιάζονται οι συγκρίσεις τόσο μεταξύ των τριών δεικτών ξηρασίας όσο και μεταξύ των τριών Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων στο επίπεδο που ανταποκρίνονται στις πραγματικές παρατηρήσεις των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων. Για όλο το εύρος της Κρήτης καταμετρώνται τα γεγονότα ξηρασίας και γίνεται η αντίστοιχη κατάταξή τους στις κατηγορίες έντασης της ξηρασίας. Ακόμη, παρατηρείται η διαμόρφωση των τάσεων των δεικτών ξηρασίας όπως εξελίσσεται ανά 50 έτη του συνολικού χρονικού ορίζοντα, αλλά και σε εποχιακή βάση ανά 6 και 3 μήνες.

ABSTRACT

Throughout this thesis, the definition of climate change and drought are being inquired and further research into Mediterranean conditions is being carried out. Climate change, a phenomenon characterized mainly by extreme occurrences of intense rainfall and increasing temperatures, has serious consequences on human and natural systems with drought being a serious factor of natural disasters. For better understanding and evaluating the effects of climate change on meteorological and hydrological parameters, in relation to the presence of drought periods, there have been developed numerous climate models and scenarios for the future. In this project three regional climate models (RCMs) have been researched, which are RAMCO2, REMO, HadRM3Q0, with each of them nesting the climate scenario A1B and providing timeseries of rainfall and temperature for a time range of 150 years (1950-2100). Crete has been chosen as the research area since it reflects the Mediterranean climate conditions. The levels of meteorological drought of the area have been examined based on the following drought indices: Standardized Precipitation Index (SPI), Reconnaissance Drought Index (RDI) while the conclusions of hydrological drought have been analyzed based on the Streamflow Draught Index (SDI). The final results of the data processed, present the comparison between the three drought indices and the three Regional Climate Models as well, at a level that represents the observations and measurements of the hydrological parameters. Events of drought are being surveyed in the full range of the island of Crete and are being classified in categories depending on their intensity. Furthermore, the formation of future trends in the values of drought indices is being observed through the continual change and evolution of these values every 50 years but also on a seasonal level every 6 and 3 months.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	v
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ.....	1
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	3
2.1. ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ	3
2.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	5
2.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ – GENERAL CIRCULATION MODELS (GCMs).....	6
2.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ CGCM3	10
2.3.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ HadCM3	10
2.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ECHAM5 – r3.....	11
2.4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ – DOWNSCALING METHODS.....	11
2.4.1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗ.....	13
2.4.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗ	15
2.4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (Sensitivity Analysis).....	16
2.5. ΠΕΡΙΟΧΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – REGIONAL CLIMATE MODELS (RCMs).....	16
2.5.1. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ CLM	17
2.5.2. ΠΕΡΙΟΧΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ RCA / RCA3.....	18
2.5.3. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HadRM3	19
2.5.4. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RegCM.....	21
2.5.5. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RASMO2.....	21
2.5.6. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO	22
2.5.7. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HIRHAM	22
2.6. ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	24
2.6.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	24
2.6.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΕΝΑΡΙΟ	24
2.6.3. ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ (STORYLINES) ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ	25
2.6.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ SRES ΚΑΙ RCP	26
3. ΞΗΡΑΣΙΑ	29

3.1.	ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΞΗΡΑΣΙΑ.....	29
3.2.	ΑΙΤΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	31
3.3.	ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	32
3.4.	ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	33
3.4.1.	ΔΕΙΚΤΗΣ RDI.....	33
3.4.2.	ΔΕΙΚΤΗΣ SPI.....	34
3.4.3.	ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ PDSI (ΔΕΙΚΤΗΣ PALMER).....	37
3.4.4.	ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ SDI.....	37
3.4.5.	ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	38
3.5.	«ΕΡΓΑΛΕΙΑ-ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ» ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	38
3.5.1.	DrinC.....	38
3.5.2.	Medbasin.....	39
3.5.3.	Mann – Kendall TEST	40
4.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	43
4.1.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	43
4.2.	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	45
4.3.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	46
4.3.1.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ RDI/SPI	46
4.3.2.	ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΣΕ ΕΤΟΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	54
4.3.3.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	57
4.3.4.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ SDI.....	67
4.3.5.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ	69
4.3.6.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ SPI ΚΑΙ RDI ΑΝΑ 50 ΕΤΗ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO.....	71
4.3.7.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI/SPI ΑΝΑ 6 ΜΗΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO.....	90
4.3.8.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI/SPI ΑΝΑ 3 ΜΗΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO.....	94
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ	101
5.1.	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	101
5.2.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	106
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	107
	• ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107
	• ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	113

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα πόλο συγκέντρωσης ολοένα και περισσότερου ενδιαφέροντος από την ερευνητική κοινότητα και όχι μόνο. Το φαινόμενο και κυρίως οι επιπτώσεις του γίνονται αντιληπτά μέσα από την εμφάνιση ακραίων συνθηκών βροχοπτώσεων, θερμοκρασιών αλλά και από γεγονότα πλημμύρας ή ξηρασίας. Η ξηρασία που συναντάται συχνά σε μεσογειακές συνθήκες αποτελεί, συναρτήσει της έντασης που την περιγράφει, έναν από τους μεγαλύτερους κίνδυνους για τα φυσικά, υδατικά και κατ' επέκταση ανθρώπινα συστήματα. Για την κατανόηση της έννοιας της κλιματικής αλλαγής αλλά και των επιπτώσεων της στις υδρομετεωρολογικές παραμέτρους έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμα κλιματικά μοντέλα, γενικής κυκλοφορίας και περιοχικά, τα οποία αναγάγουν τις τιμές των παραμέτρων σε χρονικό ορίζοντα 150 ετών εφαρμόζοντας δυνητικές μελλοντικές εικόνες-σενάρια.

Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα δεδομένα, βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, τριών Περιοχικών μοντέλων, των RACMO2, REMO και HadRM3Q0, διαθέσιμων από το ENSEMBLES RT3 project του Danish Meteorological Institute, τα οποία ενσωματώνουν το σενάριο A1B και αποδίδουν χρονοσειρές τιμών για τα έτη 1950-2100, ενώ χωρικά επικεντρώνονται στο νησί της Κρήτης. Στην συνέχεια τα δεδομένα των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων όπως και οι τιμές απορροής για την λεκάνη του Αποσελέμη χρησιμοποιούνται ως είσοδος για την εξαγωγή των δεικτών ξηρασίας, ώστε να μελετηθεί η κατάσταση μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας. Για την εξαγωγή των αριθμητικών τιμών των δεικτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό DrinC, ενώ για τον υπολογισμό των απορροών της περιοχής, που χρησιμοποιήθηκαν ως παράμετροι για την εξαγωγή του δείκτη SDI, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής MedBasin.

Καταληκτικά, τα προκύπτοντα δεδομένα για τους δείκτες των τριών μοντέλων πινακοποιήθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους, αλλά και με ιστορικά δεδομένα της περιοχής του Ηρακλείου, αποδίδοντας τις συνθήκες ξηρασίας που ισχύουν, παρελθοντικά αλλά και μελλοντικά, για κάθε μοντέλο.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική αυτή αποτελείται από 5 κεφάλαια στα οποία περιγράφεται, τόσο η θεωρητική βάση στην οποία βασίζεται η εφαρμογή για την εύρεση των εντάσεων και συχνοτήτων της ξηρασίας, όσο και το πρακτικό μέρος με τα στάδια που ακολουθήθηκαν έτσι ώστε να προκύψουν τα συμπεράσματα. Στην συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά τα κεφάλαια και το περιεχόμενό τους.

Κεφάλαιο 1^ο

Γίνεται μια γενικότερη τοποθέτηση του θέματος της διπλωματικής εργασίας και επισημαίνεται η δομή της.

Κεφάλαιο 2°

Παρουσιάζεται το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής. Γίνεται μια αναφορά στο κλίμα, στους παράγοντες διαμόρφωσης του, στην έννοια της κλιματικής αλλαγής σε θεωρητικό επίπεδο. Επισημαίνονται τα «εργαλεία» παρατήρησης της κλιματικής αλλαγής, Γενικά Μοντέλα Κυκλοφορίας και Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα, ενώ ακόμα παρουσιάζονται τα σενάρια εκπομπών όπως παρουσιάζονται στην έκθεση του IPCC (SRES).

Κεφάλαιο 3°

Γίνεται μια ανασκόπηση στην έννοια του φαινομένου της ξηρασίας, στους διάφορους τύπους που έχουν διαμορφωθεί καθώς και στους παράγοντες στους οποίους οφείλεται. Παρουσιάζονται, τέλος, οι πιο γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι δείκτες, μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας.

Κεφάλαιο 4°

Πραγματοποιείται η εφαρμογή. Παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης (νήσος Κρήτη) με τα χαρακτηριστικά της, αναλύονται τα προγράμματα-εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την διαχείριση των αρχικών δεδομένων, DrinC, Medbasin και Mann-Kendall trend test, και στην συνέχεια παρουσιάζεται σε βήματα η διαδικασία και οι υπολογισμοί προκειμένου να προκύψουν οι τρεις δείκτες ξηρασίας, RDI, SPI και SDI. Στην συνέχεια, συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δεικτών για τα τρία Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα, REMO, RACMO2 και HadRM3Q0, καθώς και των πραγματικών τιμών παρατήρησης του Ηρακλείου, για διάφορα χρονικά διαστήματα (για 150 έτη, ανα 50 έτη, ανα 6 μήνες και ανα 3 μήνες).

Κεφάλαιο 5°

Ολοκληρώνεται η διπλωματική εργασία με την παρουσίαση σχολίων και γενικότερων συμπερασμάτων από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων των δεικτών για τα τρία μοντέλα.

2. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

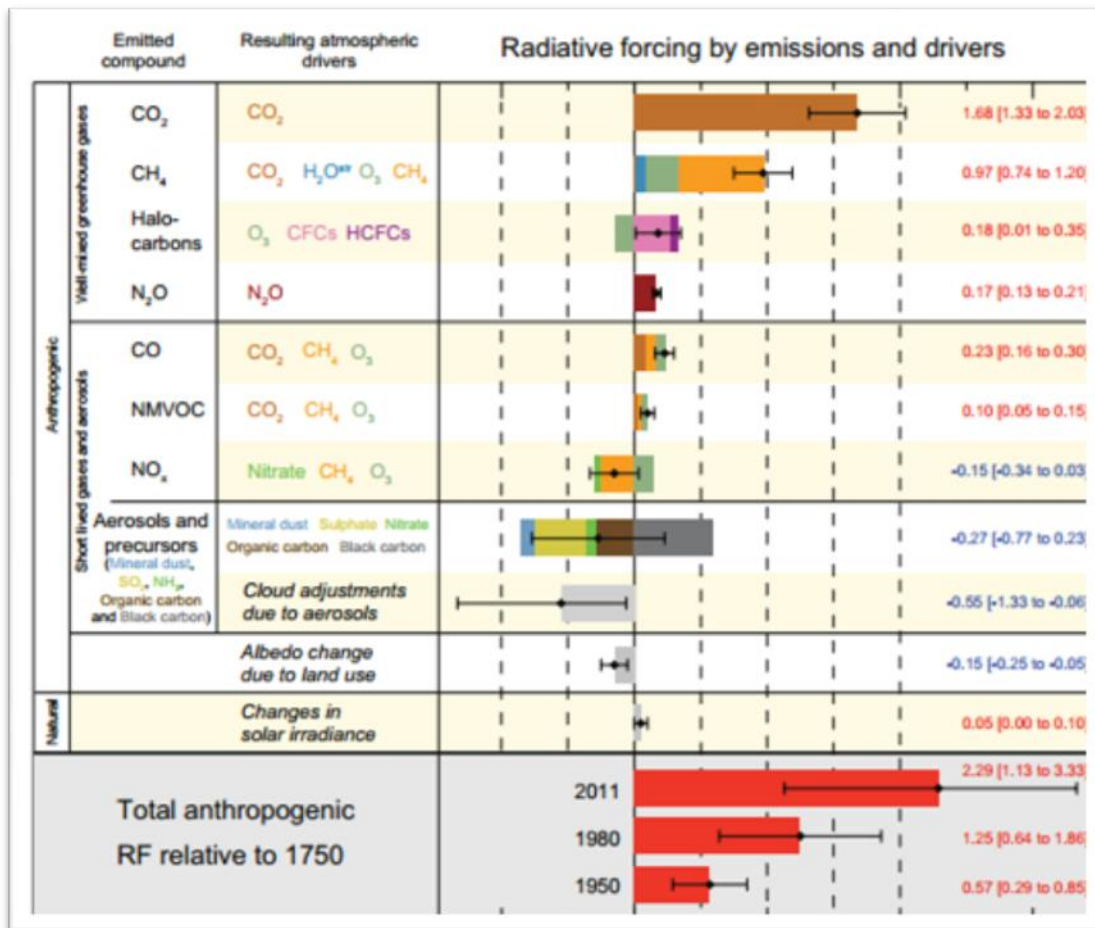
2.1. ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ

Με μια χονδροειδή προσέγγιση κλίμα ορίζεται η μέση καιρική κατάσταση που ισχύει για μια περιοχή και έχει προκύψει από χρονοσειρές μεγάλου μήκους και μακροχρόνιες παρατηρήσεις διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων. Είναι αυτός ο παράγοντας που επηρεάζει την κατανομή της ζωής στις διάφορες περιοχές.

Κατά μια πιο στενή περιγραφή του ορού κλίμα, ως μέση καιρική κατάσταση, πρόκειται για την στατιστική περιγραφή σε όρους μέσων τιμών και μεταβλητότητας επιφανειακών μετεωρολογικών ποσοτήτων, θερμοκρασία, βροχόπτωση και άνεμος για χρονικό διάστημα που ποικίλει από μήνες σε χιλιετίες η εκατομμύρια χρόνια. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός ορίζει ως μια ελάχιστη και τυπική χρονική διάρκεια παρατηρήσεων αυτή των 30 ετών (IPCC, 2012).

Σύμφωνα με επιστημονικές τεκμηριώσεις οι έρευνες καταλήγουν σε συγκεκριμένους παράγοντες διαμόρφωσης και επηρεασμού του κλίματος ανα περιοχές (Bradley, 1999; Alverson et al., 2003). Αυτοί είναι :

- Ανάδραση μεταξύ ατμόσφαιρας – υδρόσφαιρας – λιθόσφαιρας – βιόσφαιρας. Με τον όρο ανάδραση εννοείται η επίδραση ενός γεγονότος στον εαυτό του και σημεία εντοπισμού της κλιματικής ανάδρασης είναι οι διάφορες υδατικές μορφές, χιόνι, υδρατμοί, πάγος, τα σύννεφα.
- Παράμετροι που προκύπτουν από την τροχιά Γης και Ήλιου όπως είναι η εκκεντρότητα και η λοξότητα του άξονα περιστροφής άλλα και η μετάπτωση των ισημεριών. Στην διεθνή ορολογία οι 3 παραπάνω παράμετροι αναφέρονται ως *eccentricity*, *obliquity* και *precession* αντίστοιχα.
- Η μεταβλητότητα του συνολικού όγκου των παγετώνων.
- Η μεταβλητότητα των θαλάσσιων ρευμάτων και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των κινήσεων αυτών, της ταχύτητας και του μοτίβου κυκλοφορίας.
- Η επίδραση της ηφαιστειακής δραστηριότητας.
- Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η γενική επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gases – GHG) στις μεταβλητές της ατμόσφαιρας και στην εξερχόμενη και εισερχόμενη ακτινοβολία.
- Η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα.



Σχήμα 2. 1. Παρατηρήσεις και εκτιμήσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών διεργασιών. Πηγή: Assessment Report 5, Working Group 1, IPCC, 2013.

Σημειώνεται ότι λόγω έλλειψης συνέχειας των διαθέσιμων δεδομένων για εύρος χρόνου η επίδραση των εξωτερικών παραγόντων, ηλιακή ακτινοβολία και ηφαιστειακή δραστηριότητα, δεν μπορεί να συνεκτιμηθεί στις κλιματικές διακυμάνσεις που αφορούν μεγάλες χρονικές κλίμακες (Bard and Frank, 2006). Αντίθετα, ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η παρατηρούμενη αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα από το 1750 (Σχήμα 2.1).

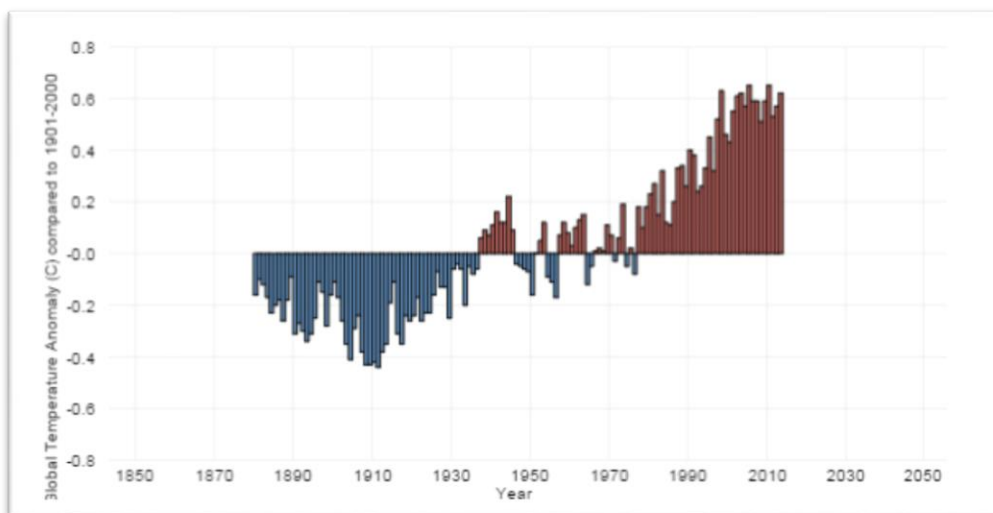
Τα εκπεμπόμενα αέρια και οι μεγάλες συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα προκύπτουν από:

- Καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Γεωργικές δραστηριότητες και εν γενεί αλλαγές στις χρήσεις γης
- Απόβλητα (τοξικά και μη) σε ανοιχτού χώρου χωματερές
- Βιομηχανικές διεργασίες με απελευθέρωση φθοριούχων αερίων

2.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Κατά γενική θεώρηση της κατάστασης η κλιματική αλλαγή είναι γεγονός που διαπιστώνεται από αύξηση των θερμοκρασιών, αλλαγή της κατανομής των βροχοπτώσεων, αύξηση των ακραίων φαινομένων, τήξη των παγετώνων του πλανήτη και επακόλουθα η αύξηση της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας.

Τα παραπάνω τεκμηριώνονται με παρατηρούμενη αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας (συνδυασμένη επιφανειακή θερμοκρασία ξηράς και ωκεανών) κατά 0.85 °C στο χρονικό διάστημα 1880 έως 2012. Η συνολική αύξηση της θερμοκρασίας συγκρίνοντας τις περιόδους 1850 – 1900 και 2003 – 2012 είναι στους 0.78 °C (Διάγραμμα 2.1). Εκτιμάται μάλιστα ότι τα τελευταία 50 χρόνια εμφανίζονται ως θερμότερα από οποιαδήποτε άλλη 50-ετή περίοδο μέσα στα τελευταία 500 χρόνια, ενώ παράλληλα, γίνεται λόγος για αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1.8 έως 4 °C έως το έτος 2100 (IPCC, 2013).



Διάγραμμα 2.1 . Μέση ετήσια παγκόσμια θερμοκρασία από το 1880 συγκρινόμενη με την μέση τιμή της περιόδου 1901 – 2000. Πηγή: LuAnn Dahlman, NOAA, 2009.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα η κλιματική αλλαγή είναι αποτέλεσμα φυσικών εσωτερικών διαδικασιών του κλίματος και ανθρωπίνων παρεμβάσεων και διεργασιών που συνθέτουν την συνολική χρήση της γης και της ατμόσφαιρας και συνδυαστικά διαμορφώνουν το ενεργειακό απόθεμα της Γης. Πρακτικά, μια αλλαγή στην δεδομένη κατάσταση του κλίματος μπορεί να αναγνωριστεί μέσω αλλαγών στις μέσες τιμές ή/και στην μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του κλίματος, η οποία παρατηρείται για διευρυμένο χρονικό ορίζοντα, συνήθως δεκαετίες και άνω (IPCC, 2012).

Σύμφωνα με την Διεθνή Υπηρεσία Καιρού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) η αλλαγή του κλίματος είναι η απόκλιση από την αναμενόμενη μέση καιρική κατάσταση ή τα φυσιολογικά αναμενόμενα κλιματικά δεδομένα σε θερμοκρασία και βροχόπτωση για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και

συγκεκριμένη περιοχή. Σε αντίθεση με τα ακραία φαινόμενα, η αλλαγή του κλίματος είναι μακροπρόθεσμη και αντικατοπτρίζει σημαντικές αλλαγές στην μέση κατάσταση του συστήματος ατμόσφαιρας – ωκεανών – γης που επακόλουθα οδηγεί σε αλλαγές στα πρότυπα κυκλοφορίας και άρα στις περιφερειακές καιρικές συνθήκες (Anderson et al., 2000).

Ακόμη, ο επίσημος ορισμός που περιλαμβάνεται στην Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change) αναφέρει ότι κλιματική αλλαγή σημαίνει εκείνη την αλλαγή που πρωτίστως αποδίδεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα που μεταβάλλει την σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και στην φυσική μεταβολή που παρατηρείται σε συγκρινόμενα χρονικά διαστήματα, κάνοντας έτσι έναν διαχωρισμό μεταξύ της κλιματικής αλλαγής που απορρέει από την ανθρώπινη παρέμβαση και αυτής από τις φυσικές διαδικασίες (UNFCCC, 1992).

Ακόμα, πολλές σύγχρονες μελέτες έχουν ισομοιράσει το βάρος της κλιματικής αλλαγής που παρατηρείται τον 20 αιώνα και κυρίως στην μεταβολή της θερμοκρασίας εξ ίσου σε φυσικές εσωτερικές διαδικασίες και σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, με τις τελευταίες να κυριαρχούν τα τελευταία 45 χρόνια περίπου (Stott et al., 2000).

Στον αντίλογο αυτών, μελέτη των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας για την Αρκτική και υποαρκτικές περιοχές έδειξε ότι οι τάσεις της θερμοκρασίας για τα τελευταία 10 έως 20 χρόνια αντιστοιχίζονται περίπου στις παρατηρήσεις του 19^{ου} αιώνα, γεγονός που δεν συμφωνεί με τις προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων (Przybylak, 2000). Ενώ, σε αρκετές επιστημονικές μελέτες υποστηρίζεται ότι δεν μπορούν να διαχωριστούν τα αποτελέσματα της επίδρασης των φυσικών και ανθρωπογενών διεργασιών στην υπάρχουσα κλιματική αλλαγή καθώς και ότι δεν υπάρχουν απόλυτα ικανοποιητικά στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι οι προβλέψεις για την επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας έχουν διαπιστωθεί στις μέχρι τώρα παρατηρήσεις (Barnett et al., 1999).

2.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ – GENERAL CIRCULATION MODELS (GCMs)

Με δεδομένη την ύπαρξη της κλιματικής αλλαγής έγιναν πολυάριθμες προσπάθειες μέσω επιστημονικής έρευνας τόσο να κατανοηθούν εκείνοι οι παράγοντες, οι μηχανισμοί και οι διαδικασίες που σχετίζονται με το περιβάλλον και την μεταβολή του, όσο και να μοντελοποιηθεί το κλίμα αναφερόμενο σε μια παγκόσμια κλίμακα. Η επίτευξη αυτών έγινε μέσα από την δημιουργία των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας η κατά έναν πιο πρόσφατο όρο των Παγκόσμιων Κλιματικών Μοντέλων.

Πρόκειται ουσιαστικά για εργαλεία που προσομοιώνουν την κλιματική πραγματικότητα και αλλαγή και περιγράφουν κάποιους από τους μηχανισμούς του κλίματος όπως είναι η λευκαύγεια του πάγου, οι κύκλοι κινήσεως των αερίων του θερμοκηπίου, η ωκεάνια κυκλοφορία, η ανάδραση του συστήματος ατμόσφαιρας – ωκεανών και εδάφους – ατμόσφαιρας. Κύριο χαρακτηριστικό των μοντέλων αυτών είναι η δυνατότητα να αναπαράγουν μεγάλης κλίμακας κατανομές των κλιματικών μεταβλητών, θερμοκρασίας,

ατμοσφαιρικής πίεσης, βροχόπτωσης και των ροών θερμότητας στο σύστημα επιφάνειας και βάθος ωκεανού. Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα να προσομοιώσουν κινήσεις και μεταβλητές που σχετίζονται με φαινόμενα του El Niño Southern Oscillation (Ledley et al., 1999).

Σύμφωνα με τον ορισμό του IPCC, τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας είναι αριθμητικά μοντέλα που παρουσιάζουν τις φυσικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε ατμόσφαιρα, ωκεανούς, κρυσφαίρα και επιφάνεια εδάφους και είναι τα πιο εξελιγμένα εργαλεία, μέχρι στιγμής, σε ότι σχετίζεται με την προσομοίωση του παγκόσμιου κλίματος σε επίπεδο δυναμικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών και την μεταξύ τους αλληλεπίδραση, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη συγκέντρωση αερίων θερμοκηπίου.

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας είναι τα μοναδικά κλιματικά εργαλεία που μπορούν, συνδυαζόμενα με περιφερειακά μοντέλα, να αποδώσουν φυσικές και γεωγραφικές εκτιμήσεις σχετιζόμενες με την τοπική αλλαγή κλίματος.

Ως προς τον τρόπο απεικόνισης αυτών των εκτιμήσεων τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιούν έναν παγκόσμιας κλίμακας τρισδιάστατο κάνναβο με οριζόντια ανάλυση που κυμαίνεται από 250 έως 600 χιλιόμετρα, με 10 έως 20 κάθετα επίπεδα για την ατμόσφαιρα και έως 30 για τον ωκεανό. Δεδομένης της χονδροειδούς ανάλυσης αυτής αρκετές εκτιμήσεις και φυσικές διεργασίες που απαιτούν καλύτερη ανάλυση όπως η επίδραση των σύννεφων, των υδρατμών η της ωκεάνιας κυκλοφορίας είναι πολύ δύσκολο να μοντελοποιηθούν επαρκώς (IPCC, 2013).

Σε ότι αφορά το μαθηματικό μοντέλο των GCMs βασίζεται στις εξισώσεις Navier – Stokes, δηλαδή εξισώσεις πρόγνωσης προωθημένες στο χρόνο που αφορούν μεταβλητές θερμοκρασίας, ανέμων, υγρασίας και εξισώσεις κίνησης που αφορούν σε μεταφορά ακτινοβολίας και υδατικό ισοζύγιο (radiative transfer equations, water conservation equations). Οι ίδιες εξισώσεις κίνησης χρησιμοποιούνται και από τα Αριθμητικά Μοντέλα Πρόβλεψης Καιρού (Numerical Weather Prediction models - NWP) χωρίς όμως τα δυο ειδών μοντέλα να ταυτίζονται. Η κυριότερη διαφορά τους, μεταξύ άλλων, είναι ο χρονικός ορίζοντας πρόβλεψης. Ένα Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας προσομοιώνει αριθμητικά τις κλιματικές αλλαγές που οφείλονται σε αργές μεταβολές (έτη) φυσικών παραμέτρων ή/και πλευρικών συνθηκών ενώ ένα Αριθμητικό Μοντέλο Πρόβλεψης Καιρού χρησιμοποιείται για καιρικές προβλέψεις σε μικρό έως μεσαίο χρονικό ορίζοντα (μέρες). Η σύγκρισή των δύο τύπων μοντέλων παρουσιάζεται αναλυτικά στο Σχήμα 2.2 (Geerts and Linacre, 1998).

ΔΙΑΦΟΡΕΣ	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙΡΟΥ (NWP-MODELS)	ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (GCMs)
ΣΚΟΠΟΣ:	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΙΡΟΥ	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΛΙΜΑΤΟΣ
ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ:	ΠΕΡΙΟΧΙΚΗ Η ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ	ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ
ΧΡΟΝΙΚΟ ΕΥΡΟΣ:	ΗΜΕΡΕΣ	ΕΤΗ
ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ:	ΚΥΜΑΙΝΟΜΕΝΗ (ΑΠΟ 20 ΕΩΣ 100 km)	ΣΥΝΗΘΩΣ ΧΟΝΔΡΟΕΙΔΗΣ
ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΙΣ ΑΡΧΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ :	ΥΨΗΛΟΣ	ΧΑΜΗΛΟΣ
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ, ΣΥΝΝΕΦΩΝ:	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΓΑΛΗ
ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΕΔΑΦΟΣ, ΠΑΓΟΣ, ΩΚΕΑΝΟΣ):	ΧΑΜΗΛΟΣ	ΥΨΗΛΟΣ
ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΩΚΕΑΝΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗ :	ΧΑΜΗΛΟΣ	ΥΨΗΛΟΣ
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ:	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ:	ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ	ΠΑΡΑΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ
ΟΜΟΙΟΤΗΤΕΣ		
ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ:	ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ, ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ, ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ	
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:	ΕΚΦΡΑΣΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΝΕΧΕΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ, ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ, ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΗ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ	
ΠΡΟΪΟΝ:	ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΡΦΗ	
ΜΕΓΙΣΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΒΗΜΑ:	ΕΛΕΓΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	

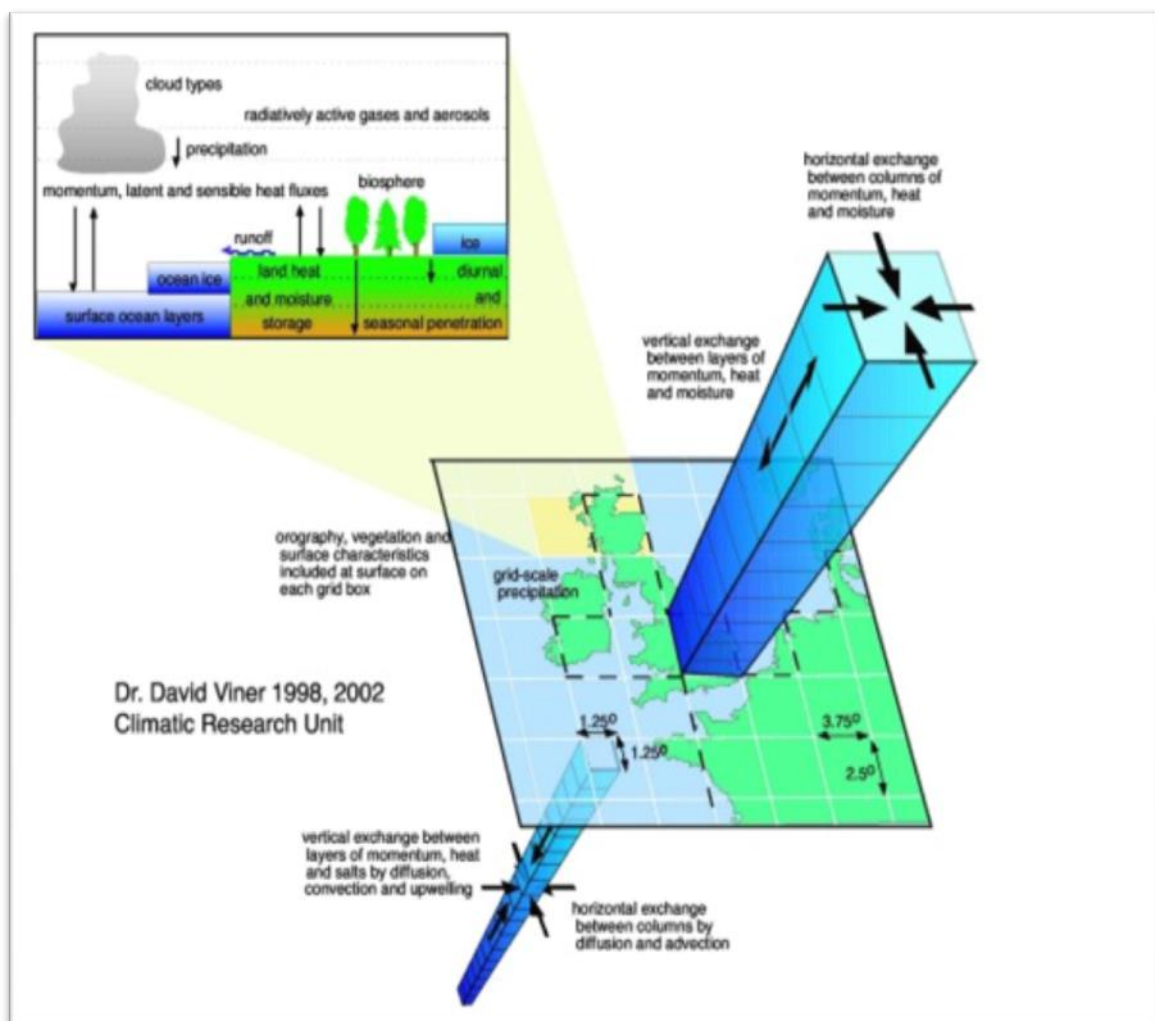
Σχήμα 2. 2 . Πίνακας σύγκρισης Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας και Αριθμητικών Μοντέλων Πρόβλεψης Καιρού. Πηγή:What are General Circulation Models?, Geerts and Linacre, 1998

Όπως αναφέρθηκε, τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιούν διάφορα συστατικά του κλίματος για να πραγματοποιήσουν μελλοντικές προσομοιώσεις. Αναφορικά με αυτούς τους παράγοντες τα GCMs διαχωρίζονται σε δυο τύπους, τα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmospheric GCMs – AGCMs) και τα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Oceanic GCMs - OGCMs). Συχνά, αυτοί οι δυο τύποι μοντέλων συνδυάζονται και προκύπτουν τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά – Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmosphere – Ocean Coupled General Circulation Model - CGCM or AOGCM) (Σχήμα 2.3).

Τα τελευταία θεωρούνται ως τα πιο πλήρη μοντέλα που χρησιμοποιούνται για μελλοντικές προβλέψεις της κλιματικής αλλαγής, ενώ παράλληλα, με την χρήση τιμών θαλάσσιου πάγου και εξατμισοδιαπνοής το αποτέλεσμα είναι ένα πλήρες κλιματικό μοντέλο.

Σχετικά με τον τρόπο που μπορούν να συνδυαστούν τα ατμοσφαιρικά και τα ωκεάνια μοντέλα ώστε να προκύψουν τα συζευγμένα, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες (Carter et al., 1999) :

- Ένα Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας συζευγμένο με μια αναπαράσταση του ωκεανού ως μονοεπιπεδο (slab ocean) και με ένα απλό σχήμα παραμετροποίησης της επιφάνειας του εδάφους.
- Ένα Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας συζευγμένο με μια τριών - διαστάσεων αναπαράσταση του ωκεανού και με ένα απλό σχήμα παραμετροποίησης της επιφάνειας του εδάφους.
- Ένα Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας συζευγμένο με μια τριών - διαστάσεων αναπαράσταση του ωκεανού και με ένα τριών – διαστάσεων μοντέλο αναπαράστασης της βιόσφαιρας.



Σχήμα 2. 3. Αναπαράσταση της εννοιολογικής δομής ενός Συζευγμένου Ατμοσφαιρικού – Ωκεάνιου Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας. Πηγή: Carter et al., Representing Uncertainty in Climate Change Scenarios and Impact Studies, chapter 8, 1999.

2.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ CGCM3

Το μοντέλο CGCM3 αποτελεί δημιούργημα τρίτης γενιάς που μορφοποιήθηκε από το Καναδικό Κέντρο για την Μοντελοποίηση της Κλιματικής Αλλαγής (CCCma) και είναι το τρίτο στην διαδοχή Συζευγμένο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας που ενσωματώνει το Ωκεάνιο Μοντέλο στο υπάρχον Ατμοσφαιρικό.

Στην δυναμική του μοντέλου αξιοποιείται η μεταβλητή του θαλάσσιου πάγου που υπεισέρχεται σε εξισώσεις δυναμικής των ρευστών και θερμοδυναμικής, ενώ για την συγκέντρωση του θαλάσσιου πάγου χρησιμοποιείται μια προγνωστική εξίσωση βασισμένη στο δυναμικό – θερμοδυναμικό μοντέλο του θαλάσσιου πάγου που αναπτύχθηκε από τον Hibler το 1979 (Kim et al., 2002, 2003).

Η τελευταία και πιο εξελιγμένη έκδοση του μοντέλου CGCM3.1 παρέχει δεδομένα σε δυο διαφορετικές αναλύσεις. Η πρώτη, T47, διαθέτει πλήρη κάρναβο με οριζόντια ανάλυση περίπου $3.75^\circ \times 3.75^\circ$ και 31 κατακόρυφα επίπεδα. Τα ωκεάνια δεδομένα δίνονται από οριζόντια ανάλυση $1.85^\circ \times 1.85^\circ$ και 29 κατακόρυφα επίπεδα. Η δεύτερη, T63, διαθέτει κάρναβο με οριζόντια ανάλυση $2.80^\circ \times 2.80^\circ$ και 31 κατακόρυφα επίπεδα ενώ η αντίστοιχη ανάλυση των ωκεανών είναι 1.40° σε γεωγραφικό μήκος και 0.94° σε γεωγραφικό πλάτος. Αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης είναι καλύτερη απεικόνιση των ρευμάτων στους τροπικούς και χαμηλότερης ποιότητας στην ζώνη της Αρκτικής.

2.3.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ HadCM3

Το πλήρες όνομα του ακρωνύμιου του μοντέλου είναι Hadley Centre Coupled Model version 3 και αρχικά αναπτύχθηκε το 1999. Εκείνη την χρονική περίοδο ήταν το μόνο συζευγμένο μοντέλο που δεν απαιτούσε για τις προσομοιώσεις προσαρμογή των ροών, δηλαδή επιπρόσθετες τεχνητές ροές θερμότητας και γλυκού νερού στην επιφάνεια του ωκεανού ώστε να αποφευχθεί η κατάληξη αυτών σε μη ρεαλιστικές κλιματικές καταστάσεις (Reichler and Kim, 2008).

Κυριότερο πλεονέκτημα του μοντέλου HadCM3 είναι η δυνατότητα να συλλαμβάνει το χρονικά – εξαρτώμενο αποτύπωμα των ιστορικών κλιματικών αλλαγών ως απόρροια των φυσικών και ανθρωπογενών παρεμβάσεων (Stott, 2000).

Τα δύο συστατικά μέλη του συζευγμένου μοντέλου, χαρακτηρίζονται απο διαφορετική χωρική ανάλυση ως εξής:

- Το Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας που χρησιμοποιείται είναι το HadAM3 με 19 κατακόρυφα επίπεδα και οριζόντια ανάλυση 2.5° γεωγραφικού πλάτους και 3.75° γεωγραφικού μήκους. Το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι παγκόσμιος κάρναβος 96×73 κελιών που πρακτικά μεταφράζεται σε επίγεια ανάλυση περίπου $417 \text{ km} \times 278 \text{ km}$ στην ζώνη του Ισημερινού και μειωμένη σε $295 \text{ km} \times 278 \text{ km}$ στην ζώνη των 45 μοιρών γεωγραφικού πλάτους.
- Το Ωκεάνιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιεί 20 κατακόρυφα επίπεδα και οριζόντια ανάλυση $1.25^\circ \times 1.25^\circ$. Με αυτή την χωρική ανάλυση παρέχεται η δυνατότητα για επαρκή απεικόνιση σημαντικών δομών του ωκεάνιου χώρου.

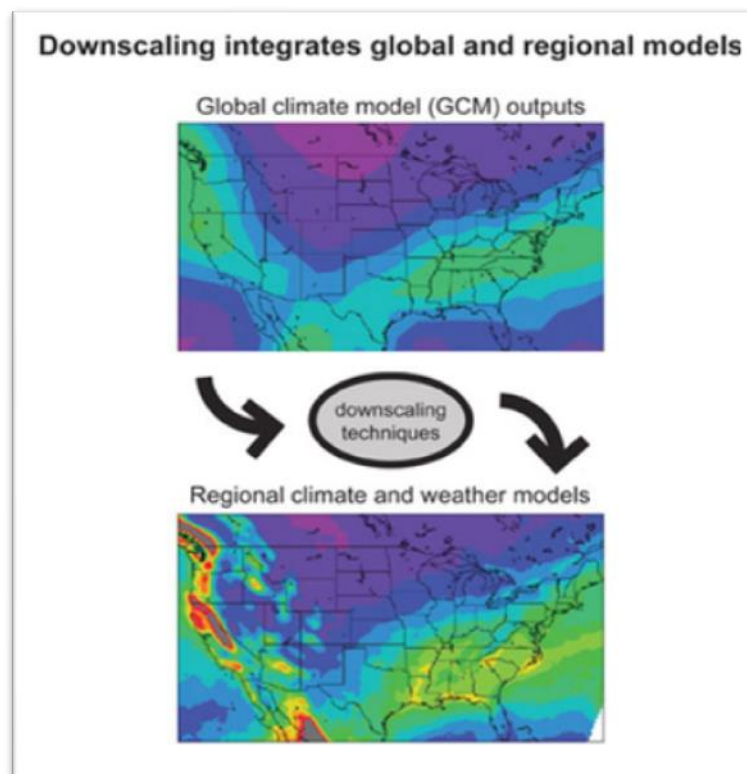
2.3.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ECHAM5 – r3

Πρόκειται για μοντέλο πέμπτης γενιάς που αναπτύχθηκε από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο Max Planck. Συγκρινόμενο με προγενέστερες εκδοχές του, το ECHAM5 – r3 είναι περισσότερο ευέλικτο εφόσον δίνει επιλογές για αφομοίωση των δεδομένων, για επέκταση στην μέση ατμόσφαιρα και για σύζευξη με πολλαπλά μικτά ωκεάνιων επίπεδων. Η οριζοντια αναλυση του μοντελου ειναι $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$.

2.4. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ – DOWNSCALING METHODS

Αποκλιμάκωση (downscaling) λέγεται η διαδικασία εξαγωγής πληροφορίας από δεδομένα μεγάλης κλίμακας έτσι ώστε να είναι εφαρμόσιμη σε προβλέψεις τοπικής εμβέλειας όπως ορίζεται από το National Centre for Atmospheric Research GIS Program – NCAR (Hoar and Nychka, 2008).

Η ανάγκη για την διαμόρφωση τέτοιου είδους τεχνικών προέρχεται από το γεγονός ότι τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας δεν μπορούν να αποδώσουν λεπτομερή χαρακτηριστικά σε κλίμακα μικρότερη του ορισμένου κάρναβου αλλά χονδρικό αποτέλεσμα 2° έως 3° , ενώ σε τοπική κλίμακα είναι αναγκαία υψηλότερη ανάλυση.



Σχήμα 2. 4. Το εξαγόμενο αποτέλεσμα από τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας γίνεται εισαγωγή για τα Περιφερειακά Κλιματικά Μοντέλα μέσω των τεχνικών αποκλιμάκωσης. Πηγή: Lenart M., Downscaling Techniques, 2008

Με την ανάπτυξη διάφορων τύπων τεχνικών αποκλιμάκωσης, το πρόβλημα της χονδροειδούς κλίμακας και της αβεβαιότητας που αυτή εισάγει επιλύεται. Υπό αυτή την νέα συνθήκη το κλίμα και ειδικότερα παράγοντες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης που αντιστοιχίζονται σε ένα φαντίο του κάρναβου του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας (εκατοντάδες χιλιόμετρα σε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος), αποδίδεται σε υψηλότερη ανάλυση (δέκα χιλιόμετρα και λιγότερο).

Σε ο,τι αφορά την τοπική κλίμακα, οι τεχνικές αποκλιμάκωσης αναπτύσσονται με σκοπό να διατηρούν συστατικά του κλίματος αλλά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών. Οι πιο συνήθεις και εύχρηστες τεχνικές κατηγοριοποιούνται σε δυο κύριους τομείς:

- Δυναμική αποκλιμάκωση: το παράγωγο του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιείται ως οδηγός του περιοχικού, αριθμητικού μοντέλου έτσι ώστε να προκύψει υψηλότερης ανάλυσης αποτέλεσμα με την ιδιότητα να προσομοιώνει λεπτομερείς τοπικές συνθήκες (Σχήμα 2.4). Αυτό γενικά σημαίνει ότι είτε δεδομένα παρατήρησης είτε δεδομένα προερχόμενα από χαμηλότερης ανάλυσης μοντέλα χρησιμοποιούνται ως πλευρικά όρια για την διαμόρφωση του τοπικού επιπέδου.
- Στατιστική αποκλιμάκωση: η θεωρία αυτού του τύπου αποκλιμάκωσης βασίζεται σε διάφορες στατιστικές σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ παρατηρήσεων (μεταβλητών) χαμηλού και υψηλού επιπέδου ανάλυσης. Αυτές οι σχέσεις εφαρμόζονται στα δεδομένα των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας ώστε να προκύψουν τοπικά – περιοδικά χαρακτηριστικά από τον παγκόσμιο κάρναβο. Το τελικό αποτέλεσμα είναι τιμές για τις μεταβλητές του κλιματικού συστήματος σε περιφερειακή κλίμακα.

Σύμφωνα με την εκδοχή Wilby and Wigley, 1997, η κατηγοριοποίηση των τεχνικών αποκλιμάκωσης είναι:

- Στατιστικές τεχνικές
 - Τεχνικές παλινδρόμησης - Regression methods (προτιμώμενες λόγω εύκολης προσαρμογής και απλών υπολογισμών)
 - Προσεγγίσεις με καιρικά – βασιζόμενα μοτίβα – Weather pattern – based approaches
 - Στοχαστικές γεννήτριες καιρού - Stochastic weather generators
- Δυναμικές τεχνικές
 - Περιορισμένης επιφάνειας μοντελοποίηση - Limited – area modelling

Παρά το γεγονός ότι όλες οι παραπάνω τεχνικές αποκλιμάκωσης παρέχουν ως αποτέλεσμα εκτιμήσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή περιφερειακής κλίμακας δεδομένων.

Συγκρίνοντας τις δυο κύριες τεχνικές, την στατιστική και την δυναμική, προκύπτουν συγκεκριμένες καίριες διαφορές. Η βασικότερη εξ αυτών, και πλεονέκτημα των στατιστικών μεθόδων, είναι ότι αντί να διατηρούν ένα δυναμικό μοντέλο σε υψηλότερη περιφερειακή ανάλυση, ουσιαστικά εφαρμόζουν δεδομένα από τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας στην συγκεκριμένη περιφέρεια μέσω εξισώσεων που συνδέουν μεταβλητές του παγκόσμιου

κλίματος με μεταβλητές του τοπικού κλίματος. Ακόμα, ένα άλλο πλεονέκτημα των στατιστικών μεθόδων είναι η δυνατότητα να κατασκευάζουν μελλοντικά σενάρια με χρονικό ορίζοντα αρκετές δεκαετίες ή εκατονταετίες σε αντίθεση με το χρονικά περιορισμένο αποτέλεσμα των δυναμικών τεχνικών αποκλιμάκωσης (Maurer and Hidalgo, 2008).

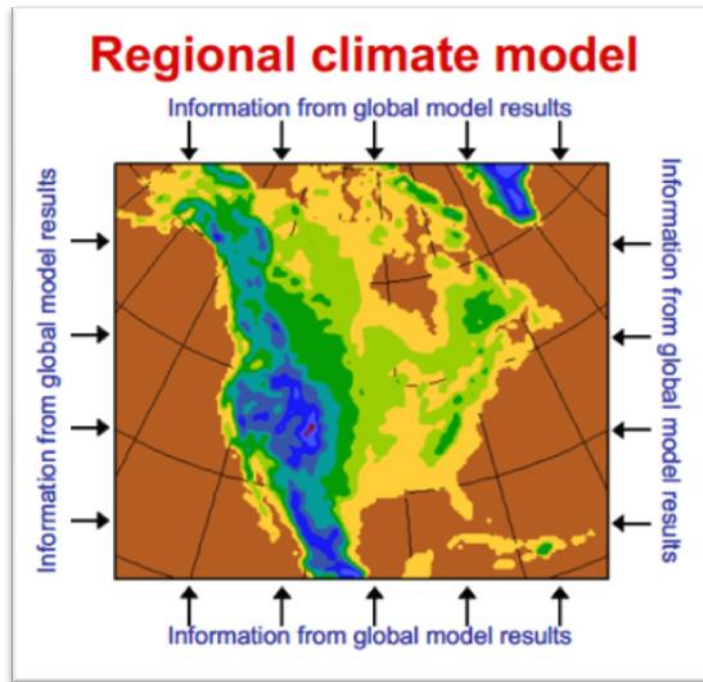
Στον αντίποδα των πλεονεκτημάτων των στατιστικών μεθόδων, η κυριότερη θεωρητική αδυναμία προκύπτει από την έλλειψη δυνατότητας να επαληθευθεί η κύρια και αρχική υπόθεση. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ανεπτυγμένες στατιστικές σχέσεις που εφαρμόζονται επηρεάζονται από τις διαφορετικές συνθήκες των πιθανών κλιματικών αλλαγών, ενώ οι εμπειρικές σχέσεις της δυναμικής αποκλιμάκωσης προσφέρουν ένα πλαίσιο αξιολόγησης της ικανότητας των μοντέλων να προσομοιώνουν την αλληλεπίδραση μεταξύ μικρότερης και μεγαλύτερης κλίμακας (Murphy, 1999).

2.4.1. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗ

Η βάση στην οποία λειτουργούν οι τεχνικές δυναμικής αποκλιμάκωσης είναι οι μηχανικές – μαθηματικές σχέσεις ενέργειας και διατήρησης της μάζας, και πρόκειται για την ίδια βάση που χρησιμοποιείται στην λειτουργία των Περιφερειακών Κλιματικών Μοντέλων (Regional Climate Models – RCMs) που θα αναφερθούν παρακάτω (Barsugli et al., 2009).

Ουσιαστικά, η δυναμική αποκλιμάκωση αναφέρεται στο «φώλιασμα» ενός Περιφερειακού Κλιματικού Μοντέλου μέσα σε ένα ήδη υπάρχον Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας. Για να αποσαφηνιστεί αυτή η διαδικασία, ένα Περιφερειακό Κλιματικό Μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί συγκροτούμενο από τρία επίπεδα. Το πρώτο είναι ευρέως ελεγχόμενο από την είσοδο του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας, το δεύτερο κατασκευάζει συγκεκριμένα τοπικά δεδομένα και το τρίτο χρησιμοποιεί εξισώσεις για την επίλυση του μοντέλου που διαμορφώνεται από τα άλλα δυο επίπεδα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτή την διαδικασία είναι προβλέψεις τοπικού χαρακτήρα που λαμβάνουν και συνδυάζουν τα δεδομένα τόσο του παγκόσμιου όσο και του τοπικού μοντέλου.

Αναλυτικότερα, το προϊόν από τις προσομοιώσεις των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιείται για να παραχθούν διάφορων χρονικών διαστημάτων πλευρικές (κατακόρυφα στοιχεία θερμοκρασίας και ανέμου) και επιφανειακές (π.χ. θερμοκρασία επιφάνειας θάλασσας) οριακές συνθήκες για ένα τρισδιάστατο μοντέλο που επιλέγεται να συλλάβει και να παρουσιάσει την κλιματική κατάσταση μιας συγκεκριμένης περιοχής (Σχήμα 2.5). Οι διάφορων – χρονικών διαστημάτων οριακές συνθήκες εξομοιώνονται κατά μήκος των τεσσάρων πλευρών και της επιφάνειας του μοντέλου και έπειτα το Περιφερειακό Κλιματικό Μοντέλο προσομοιώνει την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και τις εσωτερικές αλληλεπιδράσεις της επιφάνειας (U.S. Geological Survey – USGS).



Σχήμα 2. 5. Ένα Περιφερειακό Κλιματικό Μοντέλο χρησιμοποιεί δεδομένα από το Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας στα όρια των γεωγραφικών διαστάσεων του ώστε να παράγει υψηλής ανάλυσης πληροφορία στο εσωτερικό (χωρική ανάλυση περίπου 50 km). Πηγή: Barsugli et al., Options for Improving Climate Modeling to Assist Water Utility Planning for Climate Change, 2009.

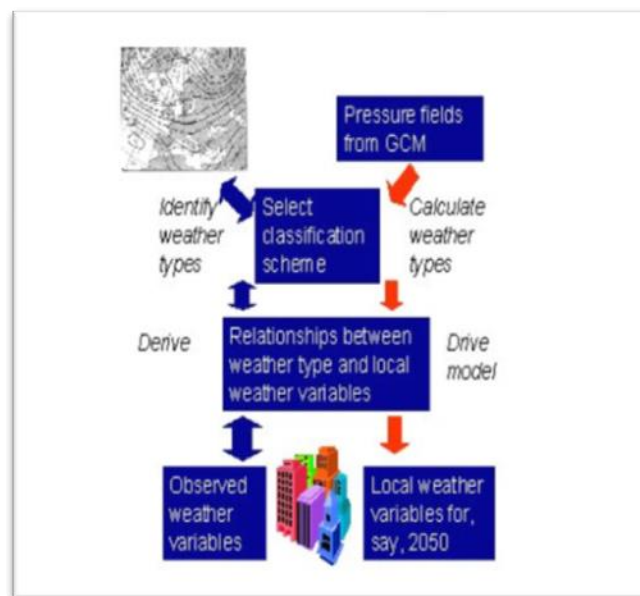
Σύμφωνα με την γενική μεθοδολογία η αποκλιμάκωση εφαρμόζεται σε ιστορικά, χονδροειδούς κλίμακας, μετεωρολογικά δεδομένα που στην ουσία προέρχονται από στοιχεία τοπικού χαρακτήρα και παρατηρήσεις. Η δυναμική μέθοδος χρησιμοποιεί διαθέσιμες παρατηρήσεις ώστε να κατασκευαστούν ακριβείς, τοπικής κλίμακας κλιματικοί παράγοντες από περιόδους του παρόντος και του πρόσφατου παρελθόντος. Έπειτα, το αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής ελέγχεται και αξιολογείται, συγκρίνοντας δεδομένα εξόδου από το Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας με αυτά υψηλότερης ανάλυσης.

Σήμερα, το «φώλιασμα» των Περιφερειακών Μοντέλων μέσα στα Γενικής Κυκλοφορίας, η κύρια δυναμική διαδικασία, μπορεί να συμβεί μόνο μονόδρομα, δηλαδή από τα Γενικής Κυκλοφορίας στα Περιφερειακά, που πρακτικά σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάδραση μεταξύ των δυο μοντέλων. Το σημαντικότερο πρόβλημα που ανακύπτει είναι η ύπαρξη αναντιστοιχιών μεταξύ των δεδομένων προσομοίωσης και αυτών που προκύπτουν από το Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας κατά μήκος της ζώνης των οριακών συνθηκών που τίθενται στο Περιφερειακό Μοντέλο. Ένας ικανοποιητικός τρόπος επίλυσης είναι ο σχεδιασμός μοντέλων μεγαλύτερης επιφάνειας από την περιοχή ενδιαφέροντος έτσι ώστε μερικά από τα φαινόμενα του κάναβου να μπορούν να αφαιρεθούν από τα όρια και να εξαλειφθούν μη απαραίτητα δεδομένα της περιοχής (Bowden et al., 2012).

2.4.2. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΜΑΚΩΣΗ

Οι τεχνικές στατιστικής αποκλιμάκωσης έχουν τις ρίζες τους στην επιστήμη της συνοπτικής κλιματολογίας και στην αριθμητική πρόβλεψη του καιρού. Κυριότερο χαρακτηριστικό που φέρουν είναι αυτό της χρήσης εμπειρικών σχέσεων μεταξύ μεγάλης κλίμακας και τοπικών κλιματικών συνθηκών (Σχήμα 2.6).

Στην στατιστική αποκλιμάκωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεδομένα που προκύπτουν από συνδυασμό Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας και όχι αποκλειστικά από ένα. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιώντας τέτοιου είδους τιμές, δηλαδή τον μέσο όρο για τις διάφορες μεταβλητές από πολλά μοντέλα, γίνεται καλύτερη αντιστοίχιση με τις συνολικές παρατηρήσεις.



Σχήμα 2. 6. Γενικές ιδιότητες της στατιστικής αποκλιμάκωσης. Πηγή: Canadian Institute for Climate Studies, 2006.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι τεχνικές της στατιστικής αποκλιμάκωσης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως έξης:

- Στατιστικές Παλινδρομήσεις.
Αυτό το είδος κυμαίνεται από πολλαπλές παλινδρομήσεις συνδέοντας τοπικές μεταβλητές με συγκεκριμένες μεταβλητές – οδηγούς των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας, έως ιδιαίτερα πολύπλοκες μεθόδους που περιλαμβάνουν νευρωνικά δίκτυα. Ο σκοπός είναι να καταρτιστούν σχέσεις που θα συνδέουν τις τοπικές μεταβλητές με τις χαμηλής ανάλυσης παγκόσμιες τιμές. Αυτού του είδους οι σχέσεις βρίσκουν εφαρμογή στο στάδιο της πρόβλεψης των διαφορετικών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από διαφορετικές συνθήκες των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας.

- **Στοχαστικές Γεννήτριες Καιρού**
Πρόκειται για μοντέλα που βασίζονται στην εμπειρική διάσταση στα οποία οι γεννήτριες αυτές αναπτύσσουν μια σειρά από στατιστικές συνδέσεις μεταξύ των μεταβλητών για να προβλεφθούν οι καιρικές συνθήκες σε συγκεκριμένη περιοχή, χρησιμοποιώντας μακράς διάρκειας καιρικά δεδομένα αυτής της περιοχής.

2.4.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ (Sensitivity Analysis)

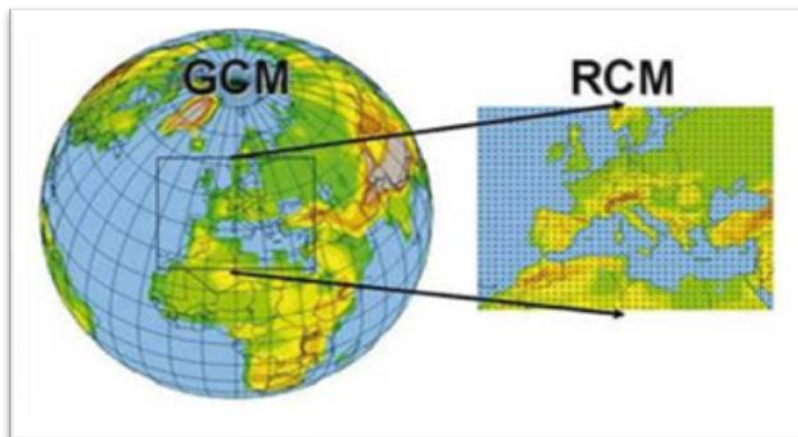
Η τελευταία είναι μια αναπτυσσόμενη τεχνική αποκλιμάκωσης που αναφέρεται λόγω της υψηλής ικανότητας να μεταφέρει κλιματικές προβλέψεις στο επίπεδο ενός τομέα ή μιας επιχείρησης (παροχές νερού).

Η πιο δημοφιλής και ιδιαίτερα χρήσιμη τεχνική αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιεί το γενικό προϊόν από τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, όπως είναι συγκεκριμένες μεταβολές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, στα ήδη υπάρχοντα μοντέλα έτσι ώστε να αξιολογηθεί η αδυναμία ενός τομέα σε διαφορετικά κλιματικά σενάρια.

Ο στόχος της ανάλυσης ευαισθησίας είναι να χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση διαφορετικών προβολών στοχεύοντας σε κάποιον συγκεκριμένο τομέα.

2.5. ΠΕΡΙΟΧΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – REGIONAL CLIMATE MODELS (RCMs)

Τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα για προσομοίωση του κλίματος της γης σε υψηλότερη χωρική ανάλυση, συγκριτικά με τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, και αναφορικά με μια συγκεκριμένη και χωρικά περιορισμένη περιοχή. Ο κυριότερος ρόλος που κατέχουν αυτά τα μοντέλα είναι η προσθήκη λεπτομέρειας στην τοπογραφία και στις φυσικές παραμέτρους, στην συγκεκριμένη κλίμακα για την οποία αρχικά κατασκευάστηκαν (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2. 7. Χωρική ανάλυση των Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων (RCMs). Πηγή: World Meteorological Organization.

Η ανάπτυξη ενός Περιοχικού Μοντέλου περιλαμβάνει την σύνδεση μοντέλων, που ανήκουν στο ίδιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας, αλλά είναι διαφορετικής κλίμακας, με σκοπό να προκύψουν τοπικές συνθήκες με υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας. Συγχρόνως, η ανάλυση του προϊόντος του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας χρησιμοποιείται ως «οδηγός» του Περιοχικού Μοντέλου με την υψηλότερη ανάλυση. Αυτή η διαδικασία πρακτικά αφορά στην χρήση πολύπλοκων αρχικών συνθηκών, χρονικά εξαρτώμενων, πλευρικών, μετεωρολογικών συνθηκών και επιφανειακών οριακών συνθηκών.

Όπως αναφέρθηκε, ο «οδηγός» για τον σχεδιασμό των Περιοχικών Μοντέλων είναι το Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας μέσω του οποίου ελέγχεται χρησιμοποιώντας μαθηματικές σχέσεις. Τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα αναφέρονται σε στοιχεία του κλίματος για μικρότερη χωρική μονάδα από ότι τα Γενικής Κυκλοφορίας (sub – GCM grid scale forcings), που κατ' επιλογή μπορούν να περιέχουν παραμέτρους αερίων του θερμοκηπίου ως φυσικές και δυναμικές κινήσεις. Παράλληλα, τα Περιοχικά Μοντέλα ενισχύουν τις προσομοιώσεις της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των κλιματικών μεταβλητών αποδίδοντας τα σε υψηλότερης ανάλυσης κλίμακες (IPCC, 2001).

Σχετικά με τις παρεχόμενες δυνατότητες, τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα αποδίδουν προϊόντα υψηλής ανάλυσης που κυμαίνεται από 10 έως 20 χιλιόμετρα και προσομοιώσεις παρελθόντος ή μέλλοντος για χρονικό ορίζοντα από έτη έως δεκαετίες χρησιμοποιώντας τις τοπογραφικές λεπτομέρειες της περιοχής (Jones et al., 1997). Ακόμα, μπορούν να περιγράψουν ικανοποιητικά τις ολοκληρωτικές αναδράσεις του κλίματος σε μια περιφερειακή κλίμακα, δεδομένου ότι μπορούν να συνδυάσουν περιορισμένης έκτασης μοντέλα με την περιγραφή της υπάρχουσας θερμοδυναμικής των ανώτερων επιπέδων του εδάφους και πολλές από τις μεταβλητές του κλίματος (Giorgi et al., 2001).

Τα Περιοχικά Μοντέλα βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών ζητημάτων που κυμαίνεται από παλαιοκλιματική έως ανθρωπογενή αλλαγή κλίματος. Το γεγονός ότι ένα Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο έχει την δυνατότητα για σύζευξη ατμοσφαιρικών μοντέλων με υδρολογικά, ωκεάνια μοντέλα και μοντέλα θαλάσσιου πάγου, το καθιστά χρήσιμο για πολλούς επιστημονικούς τομείς όπως η γενική κλιματική έρευνα, η πρόβλεψη του καιρού, μακροχρόνιες προσομοιώσεις αλλά και η κατασκευή παρελθοντικών και μελλοντικών σεναρίων.

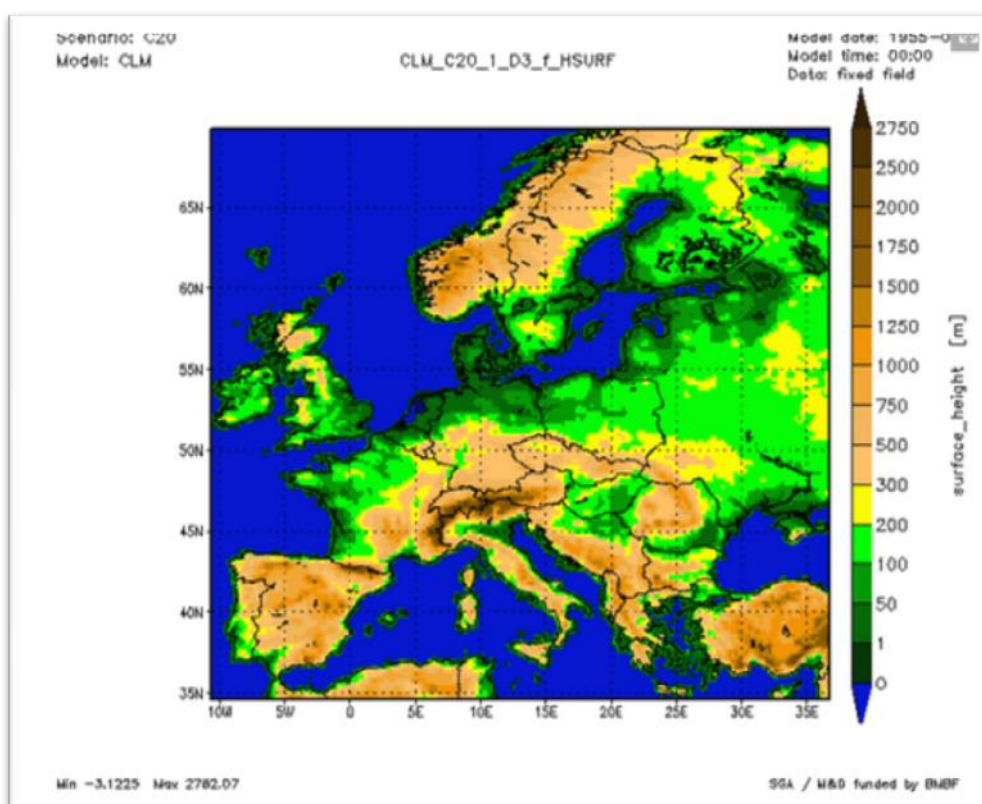
Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα συνηθέστερα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα που είναι εφαρμόσιμα σε Ευρώπη και στη Ζώνη της Μεσογείου (EUM).

2.5.1. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ CLM

Πρόκειται για ένα τοπικό μοντέλο που αρχικά αναπτύχθηκε το 2003 από τη Κοινότητα CLM, ένα ανοιχτό δίκτυο. Βασίζεται στο τοπικό μοντέλο της Γερμανικής Υπηρεσίας Καιρού (German Weather Service) ενώ τα κύρια στοιχεία του μοντέλου σε ότι αφορά την φυσική και την δυναμική του περιγράφονται στην έκδοση Doms and Schättler, 2003 και Doms et al., 2004.

Το Περιοχικό Μοντέλο CLM είναι δυναμικό και μη – υδροστατικό ενώ «οδηγείται» από το Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας ECHAM5/MPI-OM. Μερικά από τα χαρακτηριστικά κατασκευής του μοντέλου είναι ο περιστρεφόμενος και μη περιστρεφόμενος κάρναβος, η διαθεσιμότητα δεδομένων από το 1955 έως το 2100, η χωρική ανάλυση των 18x18 km (0.167°) και η χρονική ανάλυση ωρών, με διαστήματα από 1 έως 6 ώρες. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η καλύτερη προσομοίωση με τα σενάρια του IPCC, A1B και B1.

Το εύρος του μοντέλου (model domain) εκτείνεται από 10.7 Δ έως 36.9 Α και από 34.5 Β έως 69.9 Β, καλύπτοντας έτσι την περιοχή της Δυτικής Ευρώπης (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2. 8. Χωρική έκταση του Περιοχικού Κλιματικού Μοντέλου CLM. Πηγή: Deutsches KlimaRechenZentrum – DKRZ.

2.5.2. ΠΕΡΙΟΧΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ RCA / RCA3

Το Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο RCA βασίζεται στο Αριθμητικό Μοντέλο Πρόβλεψης Καιρού (NWP), HIRLAM. Η απαρχή της ανάπτυξης αυτού του μοντέλου αφιερώθηκε στην επίλυση τεχνικών προβλημάτων που προέκυπταν από πολυετείς προσομοιώσεις σε ένα ατμοσφαιρικό περιοχικό μοντέλο. Η οριζόντια ανάλυση του μοντέλου είναι της τάξης των 50 km (Samuelsson et al., 2011).

Η έκδοση του Περιοχικού Μοντέλου RCA3 όπως και έπειτα ανεπτυγμένες εκδόσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για πάνω από 5 χρόνια και έχουν αποδώσει έναν αρκετά μεγάλο αριθμό

προσομοιώσεων τοπικού κλίματος. Το προϊόν αυτών των προσομοιώσεων έχει χρησιμοποιηθεί από πολλές ερευνητικές ομάδες και έργα που αφορούν υδατικούς πόρους. Τα δεδομένα χαρακτηρίζονται από ευχρηστία αλλά και εύκολη προσαρμογή, ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς από πανεπιστήμια, Lund και Uppsala Universities στην Σουηδία, αλλά και από πληθώρα χωρών όπως ο Καναδάς, η Ιρλανδία, η Ισπανία, η Αργεντινή και η Χιλή (Samuelsson et al., 2006).

Το μοντέλο RCA χρησιμοποιεί την προσέγγιση «tile», κατά την οποία κάθε μικρότερη μονάδα επιφάνειας του φατνίου του κάρναβου εμπεριέχει διαφορετική ενεργειακή ισορροπία και το αποτέλεσμα είναι μια καλύτερη απεικόνιση της επιφάνειας του εδάφους και των επί αυτής διεργασιών. Τα φατνία της έκδοσης RCA3 εκφράζουν την επιφάνεια ως κλάσματα θάλασσας/λίμνης ή ξηράς. Κάθε μονάδα – «tile» λοιπόν έχει μια ξεχωριστή εξίσωση ενέργειας και μοναδική πρόγνωση για την επιφανειακή θερμοκρασία.

Οι δυναμικές διεργασίες αυτού του Περιοχικού Κλιματικού Μοντέλου περιγράφονται μέσω ενός δυναμικού πυρήνα που περιέχει δυο επίπεδα, ημι – έμμεσης δομής με έκτης τάξης οριζόντια διάχυση που εφαρμόζεται στις μεταβλητές πρόγνωσης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι ο περιστρεφόμενος κάρναβος (γεωγραφικό μήκος – γεωγραφικό πλάτος) έκτασης όλης της Ευρώπης, η χωρική ανάλυση των 50 km περίπου (0.44°), το χρονικό διάβημα των 30 λεπτών και το εύρος του μοντέλου (model domain) με κάλυψη 102x111 φατνία κάρναβου.

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα του RCA3 είναι ότι μπορεί να συλλαμβάνει επακριβώς το εύρος και την φάση του ετήσιου κύκλου βροχόπτωσης στις περισσότερες περιοχές της Ευρώπης (Samuelsson et al., 2011).

Βέβαια, διαπιστώνονται συγκεκριμένες εμμονές του μοντέλου που προκύπτουν από πειραματικές προσομοιώσεις (Kjellström et al., 2005) :

- Πολύ υψηλές θερμοκρασίες κατά τον χειμώνα στην Σκανδιναβία και την Ανατολική Ευρώπη.
- Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του χειμώνα στην ζώνη της Μεσογείου.
- Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του καλοκαιριού στην Ανατολική Ευρώπη.
- Πολλές ημέρες με βροχόπτωση (τάση να «ψιλοβρέχει»).
- Λίγες ημέρες με επιφανειακό πάγο κατά την διάρκεια του χειμώνα (αδύναμος ημερήσιος κύκλος).

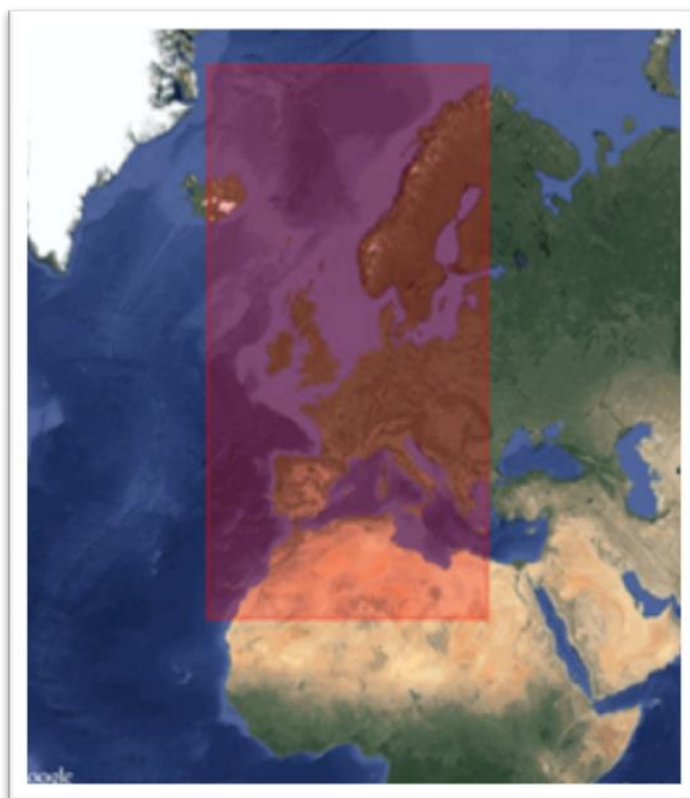
2.5.3. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HadRM3

Το HadRM3 είναι ένα Περιοχικό Μοντέλο που δημιουργήθηκε και αρχικά χρησιμοποιήθηκε από το Hadley Centre για το πρόγραμμα «UK Climate Impacts Program 2002». Η προοπτική του σχεδιασμού αυτού του μοντέλου είναι να λαμβάνει τις οριακές συνθήκες του από χαμηλότερης ανάλυσης προσομοιώσεις των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας και να

αποδίδει υψηλής χωρικής ανάλυσης προϊόν της τοπογραφίας της περιοχής ενδιαφέροντος και καλής κλίμακας κλιματικά στοιχεία.

Η φυσική του μοντέλου στηρίζεται σε οριζόντια ανάλυση $0.44^\circ \times 0.44^\circ$, δηλαδή περίπου 50 km, και σε χρονικό διάστημα των 5 λεπτών έτσι ώστε να διατηρηθεί η αριθμητική σταθερότητα του μοντέλου (Jones et al., 2004).

Το εύρος του μοντέλου (model domain) εκτείνει την γεωγραφική κάλυψη από 72.0 Β έως 24.0 Ν και από 26.0 Α έως -20.0 Δ (Σχήμα 2.9).



Σχήμα 2. 9. Γεωγραφική κάλυψη του επίκεντρου του Περιοχικού Κλιματικού Μοντέλου HadRM3. Πηγή: Met Office Hadley Centre.

Το Περιοχικό Μοντέλο HadRM3, αποτελείται από τρεις διαφορετικές εκδόσεις, με μόνο κοινό μεταξύ τους την ίδια χωρική ανάλυση των 25 km περίπου. Πρόκειται πρακτικά για ονόματα Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων τα οποία αποδόθηκαν από το Met Office Hadley Centre (MOHC) και αναπαριστούν μια διαφορετική τιμή της Κλιματικής Ευαισθησίας (Κ) του απλού μοντέλου HadSM3 :

- HadRM3Q0, που αντιπροσωπεύει την φυσιολογική ευαισθησία
- HadRM3Q3, που αντιπροσωπεύει την χαμηλή ευαισθησία
- HadRM3Q16, που αντιπροσωπεύει την υψηλή ευαισθησία

Καθεμία από τις παραπάνω εκδόσεις, άρα και ξεχωριστό Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο, «οδηγείται» από τα ίδια ιστορικά και μελλοντικά σενάρια εκπομπών και απεικονίζουν διαφορετικές διαταραχές στις ατμοσφαιρικές μεταβλητές.

2.5.4. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RegCM

Το μοντέλο RegCM (Regional Climate Model) αρχικά αναπτύχθηκε στο Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας των Η.Π.Α. (National Center for Atmospheric Research - NCAR). Οι εκδόσεις που δημιουργήθηκαν κατά χρονολογική εμφάνιση είναι RegCM1 (1989), RegCM2 (1993), RegCM2,5 (1999), RegCM3 (2006) και η τελευταία, RegCM4 (2010).

Η τελευταία, διαθέσιμη έκδοση έχει την δυνατότητα να είναι εφαρμόσιμη σε οποιαδήποτε περιοχή – περιφέρεια της γης, με κάρναβο έκτασης έως και 10 km, το οποίο είναι και το υδροστατικό όριο. Υπό ανάπτυξη βρίσκονται και διάφορες βελτιώσεις που προβλέπουν την δημιουργία ενός νέου σχήματος σύννεφων, την σύζευξη με ένα περιοχικό μοντέλο ωκεανού, την περιλήψη ενός πλήρους κύκλου αερίων και την ανάπτυξη ενός δυναμικού μη – υδροστατικού πυρήνα (Διεθνές Κέντρο Θεωρητικής Φυσικής - International Centre for Theoretical Physics, ICTP).

Τα φυσικά στοιχεία του Περιοχικού Μοντέλου RegCM είναι η χωρική ανάλυση των 25 km περίπου, τα μεγάλης κλίμακας δεδομένα βροχόπτωσης και η κάλυψη περιοχών ξηράς αλλά και ωκεανού.

Οι οριακές συνθήκες, οι «οδηγοί», για αυτό το Περιοχικό Μοντέλο λαμβάνονται συνηθέστερα από τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας HadCM και CCM3.

2.5.5. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RACMO2

Η πρώτη έκδοση αυτού του Περιοχικού Μοντέλου, RACMO2.0, βασίστηκε στην ιδέα του δυναμικού πυρήνα του Αριθμητικού Μοντέλου Πρόβλεψης Καιρού (Numerical Weather Prediction - NWP) HIRLAM5.0.6 και πλέον είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα περιοχικά μοντέλα στον ευρωπαϊκό χώρο.

Όπως έχει διαπιστωθεί από ποικίλα πειράματα, το μοντέλο RACMO2, έχει την τάση να υποτιμά την εμφάνιση των φαινομένων βροχόπτωσης, κυρίως στην Νότια Ευρώπη, και συγχρόνως να υπερεκτιμά τα ακραία ημερήσια φαινόμενα βροχόπτωσης. Το μοντέλο βρίσκει κυρίως εφαρμογή και προσαρμογή στις περιοχές – περιφέρειες της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας εφόσον διαθέτει ένα αμφίδρομο συζευγμένο μοντέλο χιονιού (Ettema et al., 2009) και ένα μετακινούμενο τεσσάρων επιπέδων σχήμα χιονιού που συνδυάζει καταστάσεις λιωσίματος και παγώματος και άρα επιτυγχάνει προσομοιώσεις στις πολικές περιφέρειες (van Meijgaard et al., 2008).

Σύμφωνα με το Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), η πλέον πρόσφατη έκδοση του μοντέλου, RACMO2.1, χρησιμοποιεί ως «οδηγό» τα δεδομένα του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας ECHAM5-r3. Στα φυσικά χαρακτηριστικά του μοντέλου εντάσσεται η οριζόντια ανάλυση των 0.25° , ή περίπου 25x25 km και η οργάνωση των παραγόμενων

δεδομένων από την Δύση στην Ανατολή, έπειτα από τον Νότο στον Βορρά, έπειτα από τον Ιανουάριο στον Δεκέμβριο και τελικά από το 1950 έως το 2100.

2.5.6. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO

Το REMO είναι ένα ατμοσφαιρικό περιοχικό μοντέλο που χρησιμοποιείται από περίπου 15 ιδρύματα σε Γερμανία, Γαλλία, Ελβετία, Ελλάδα και Κίνα, για να διερευνηθούν περιοχές σε Ευρώπη, Αρκτική, Ανταρκτική, Σιβηρία, Ινδονησία, Ινδία, Βραζιλία, Περού, Αφρική, Βόρεια Αμερική, Βαλτική, Βόρεια Θάλασσα, Βόρειο Ατλαντικό και Ειρηνικό.

Αρχικά, το μοντέλο αναπτύχθηκε βασιζόμενο στο Αριθμητικό Μοντέλο Πρόβλεψης Καιρού της Γερμανικής Υπηρεσίας Καιρού, EUROPA MODELL (EM). Το φυσικό σχέδιο του μοντέλου EM παρέμεινε χωρίς αλλαγές σε μετέπειτα διαμορφώσεις του REMO, αλλά προτάθηκε ένα ακόμα σχέδιο ως εναλλακτική, αυτό του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας ECHAM4 (Roeckner et al., 1996).

Τα δυο διαφορετικά σχέδια φυσικών χαρακτηριστικών του REMO, το αρχικό με το όνομα DWD και το πρόσθετο του ECHAM4, εκτείνονται σε ένα πανομοιότυπο δυναμικό σχήμα. Αυτό το δυναμικό σχήμα εμπεριέχει τις παρακάτω ιδιότητες, μεταξύ άλλων:

- Οριζόντια ανάλυση κυμαινόμενη από $1/10^\circ$ έως 1° , κατάλληλη για προσομοιώσεις που καλύπτουν χρονικά διάστημα από ημέρες έως αιώνες.
- Περιστρεφόμενος σφαιρικός κάρναβος
- Υβριδικές κατακόρυφες συντεταγμένες
- Ζώνη 8 φατνίων κάρναβου ως πλευρική οριακή ζώνη, διαμορφωμένη κατά Davies, 1976
- Μεταβλητές πρόγνωσης: επιφανειακή πίεση, θερμοκρασία, οριζόντιες συνιστώσες του αέρα, συγκέντρωση σε υδρατμούς και συγκέντρωση νερού στα σύννεφα.

Το προϊόν από το Περιοχικό Μοντέλο μπορεί να στοχεύσει στην μελέτη των υδρολογικών συνιστωσών του κύκλου του νερού αφού μπορεί να συζευχθεί με τρία διαφορετικά υδρολογικά μοντέλα και τρία μοντέλα θαλάσσιου πάγου. Όπως έδειξαν πειραματικές προσομοιώσεις μεγάλου χρονικού ορίζοντα τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν ικανοποιητικά με τις παρατηρήσεις (Jacob, 2001).

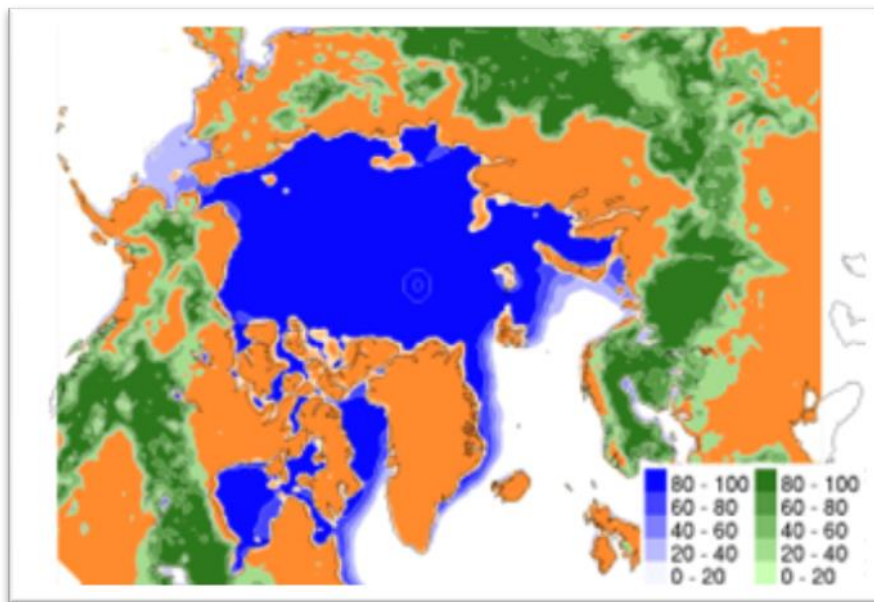
2.5.7. ΠΕΡΙΟΧΙΚΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ HIRHAM

Το Περιοχικό Μοντέλο HIRHAM εισήχθη για πρώτη φορά από το Ινστιτούτο Max Planck στο Αμβούργο το 1997, και μέχρι σήμερα μια παρόμοια έκδοση χρησιμοποιείται από το Κλιματικό Κέντρο της Δανίας.

Πρόκειται για ένα ατμοσφαιρικό και υδροστατικό μοντέλο και η ανάπτυξη του βασίζεται σε ένα συνδυασμό της δυναμικής του μοντέλου HIRLAM (Unden et al., 2002) και των φυσικών παραμέτρων του μοντέλου ECHAM (Roeckner et al., 2003).

- Το HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) είναι ένα αριθμητικό μοντέλο πρόβλεψης καιρού μικρής εμβέλειας που αναπτύχθηκε από το Διεθνές Πρόγραμμα HIRLAM (International HIRLAM Programme) που σήμερα χρησιμοποιείται από μια πληθώρα μετεωρολογικών κέντρων για την καθημερινή καιρική πρόβλεψη.
- Το ECHAM είναι ένα Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας που αναπτύχθηκε από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο Max Planck (Max Planck Institute of Meteorology - MPI).

Στην δυναμική του μοντέλου HIRHAM περιλαμβάνεται ένας περιστρεφόμενος σφαιρικός κάρναβος, ένα δυο – χρονικών επιπέδων τρισδιάστατο, ημι – έμμεσης δομής σχήμα, χρονικό διάβημα 225 s, οριζόντια ανάλυση 0.5°, 19 κατακόρυφα επίπεδα και προγνωστικές εξισώσεις για επιφανειακή πίεση, οριζόντιες συνιστώσες του αέρα, υγρασία, περιεκτικότητα των σύννεφων σε νερό και θερμοκρασία. Παρόλα αυτά, σε σημεία όπου δεν μπορούν να αναλυθούν με οριζόντια ή κατακόρυφη ανάλυση μπορεί να εφαρμοστεί μια διαδικασία γνωστή ως παραμετροποίηση. Τέτοια σημεία είναι η ακτινοβολία, το πλανητικό επίπεδο, το επίπεδο των πυκνών σύννεφων, η μεγάλης κλίμακας συμπύκνωση και διάφορες άλλες διεργασίες της επιφάνειας του εδάφους (Christensen et al., 1996). Η απεικόνιση κάποιων απο αυτά τα σημεία φαίνεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2. 10. Απεικόνιση στο εύρος (domain) του HIRHAM για τον Μάιο, 1990. Με πράσινο απεικονίζονται τα κλάσματα δασικών εκτάσεων και με μπλε τα κλάσματα θαλάσσιου πάγου. Πηγή: Koltzow, 2006.

2.6. ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

2.6.1. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το 1990 με την Πρώτη Έκθεση (First Assessment Report - FAR) του IPCC γίνεται μια πρώτη προσπάθεια να διαμορφωθούν 4 σενάρια που θα χρησιμοποιηθούν για προβολή του κλίματος. Επιγραμματικά, αυτά ήταν Bau = business-as-usual, B, C, και D. Αργότερα, με την Συμπληρωματική Έκθεση (IPCC Supplementary Report – IS92) το 1992 καθορίστηκαν 6 νέα σενάρια επεκτείνοντας τα ήδη υπάρχοντα, IS92 a έως f σε μια προσπάθεια να αναπτυχθούν σενάρια κλιματικής αλλαγής χρησιμοποιώντας σενάρια εκπομπών ως «οδηγούς» στα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας. Τα τελευταία χρησιμοποιήθηκαν στην Δεύτερη Έκθεση (Second Assessment Report – SAR) το 1996.

Στην Τρίτη Έκθεση (Third Assessment Report – TAR) του 2001, δημοσιεύεται η Ειδική Έκθεση για τα Σενάρια Εκπομπών (Special Report on Emissions Scenarios – SRES) όπου παρουσιάζονται πολλά σενάρια από τέσσερα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης (Integrated Assessment Models – IAMs) με τα πλέον αντιπροσωπευτικά να είναι τα A1B, A1T, A1F1, A2, B1, B2 (IPCC, 2001). Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των σεναρίων είναι ότι εμπεριέχουν κοινωνικό – οικονομικές προβλέψεις αλλά όχι προσφερόμενες επιλογές για έλεγχο της κλιματικής αλλαγής. Τα σενάρια αυτά επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση όχι μόνο κλιματικών αλλά και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των αερίων του θερμοκηπίου με χρονικό ορίζοντα που επεκτείνεται έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα. Τα ίδια σενάρια υιοθετούνται και στην Τέταρτη Έκθεση (Assessment Report 4 – AR4) του 2007.

Στην τελευταία και πλέον σύγχρονη έκθεση, Πέμπτη Έκθεση (Assessment Report 5 – AR5) το 2014, έγιναν επιστημονικές προτάσεις που οδήγησαν στην κατασκευή νέων σεναρίων που ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές Πορείες Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs) που χρησιμοποιούν αναβαθμισμένα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης και στόχο έχουν να αποδώσουν μια ευέλικτη, διαδραστική και επαναληπτική προσέγγιση των σεναρίων κλιματικής αλλαγής (Moss et al., 2010 και van Vuuren et al., 2011). Τα σενάρια αυτά πήραν το όνομα τους από την τιμή της επίδρασης της ακτινοβολίας (radiative forcing) που αναμένεται κατά την διάρκεια η και κοντά στο τέλος του 21^{ου} αιώνα. Έτσι προέκυψαν τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5.

2.6.2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΕΝΑΡΙΟ

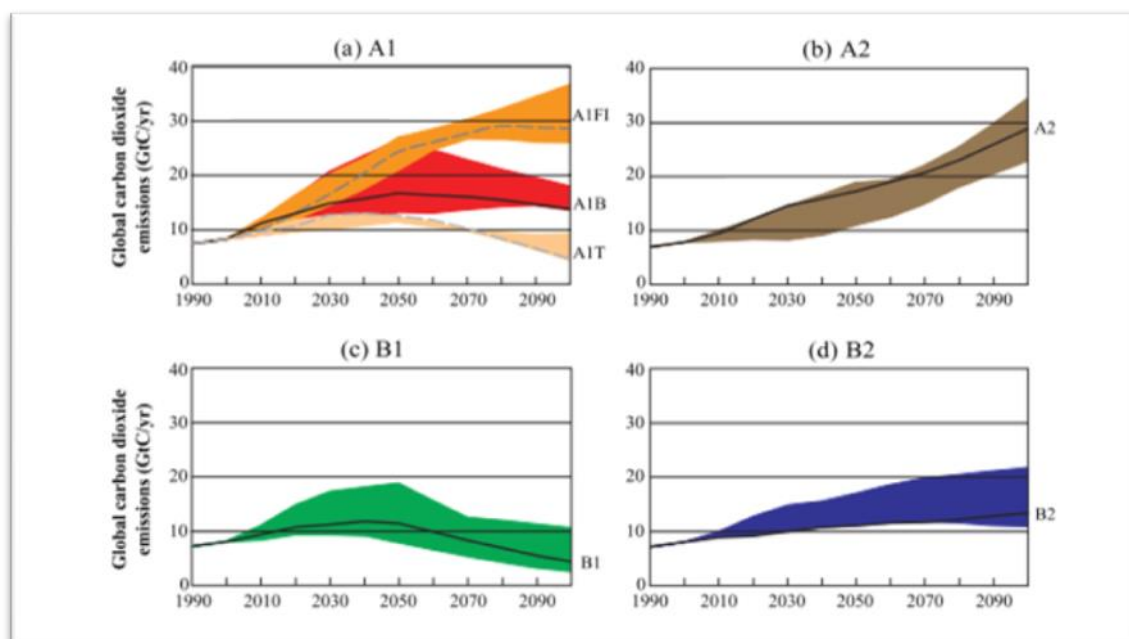
Σύμφωνα με τον γενικό ορισμό του IPCC, τα σενάρια SRES είναι εναλλακτικές εικόνες του πως θα εξελιχθεί το μέλλον και είναι ένα κατάλληλο εργαλείο με το οποίο παρέχεται η δυνατότητα να αναλυθεί πως οι δυνάμεις αλλαγής μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα των μελλοντικών εκπομπών όπως και να διερευνηθούν οι σχετικές αβεβαιότητες.

Τα σενάρια περιέχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν την βάση για την διερεύνηση των κλιματικών αλλαγών και των διαδικασιών προσαρμογής και μετριασμού. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η περίληψη υποκειμενικών συστατικών και η κάλυψη μεγάλου εύρους των κύριων δημογραφικών, οικονομικών και τεχνολογικών δυνάμεων που συνιστούν παράγοντες εξάρτησης για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και θείου.

Δεδομένων αυτών των χαρακτηριστικών τα σενάρια μπορούν να λάβουν διαφορετικές ερμηνείες ανάλογα με την προοπτική που εξετάζονται.

2.6.3. ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ (STORYLINES) ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ

Η Ειδική Έκθεση για τα Σενάρια Εκπομπών (SRES) του 1996, χρησιμοποιεί τον όρο storyline, η οποία περιγράφει συνεπώς τις σχέσεις μεταξύ των τάσεων των εκπομπών και τις εξελίξεις τους και εκθέτουν διαφορετικές κατευθύνσεις των μελλοντικών διαμορφώσεων (Διάγραμμα 2.2). Τα συστατικά διαμόρφωσης του μέλλοντος που αξιολογούνται είναι η δημογραφική αλλαγή, η κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη και ο ρυθμός και η κατεύθυνση της επιστήμης της τεχνολογίας. Σύμφωνα με αυτούς τους παράγοντες προκύπτουν τέσσερις διαφορετικές γραμμές A1, A2, B1 and B2. Όλα εκείνα τα σενάρια που βασίζονται στην ίδια εξελικτική γραμμή συνθέτουν μια «οικογένεια» σεναρίων (Nakicenovic et al., 2000).



Διάγραμμα 2. 2 . Ετήσιες εκπομπές CO₂ από όλες τις πηγές (ενέργεια, βιομηχανία, μεταβολή χρήσεων γης) από το 1990 έως το 2100 για καθένα από τα σενάρια. Πηγή: Nakicenovic et al., Special Report on Emission Scenarios, 2000.

2.6.3.1. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ A1

Σε αυτή την εξελικτική γραμμή περιγράφεται μια ταχεία οικονομική ανάπτυξη με την κορύφωση του παγκόσμιου πληθυσμού στα μέσα του αιώνα και μείωση του μετέπειτα και μια παράλληλη ραγδαία εισαγωγή νέων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Μπορεί να γίνει αντιληπτό το φαινόμενο σύγκλισης μεταξύ των διάφορων περιοχών, που σημαίνει μείωση των περιοχικών διαφορών γενικότερα αλλά και στο κατά κεφαλή εισόδημα και ταυτόχρονη αύξηση των πολιτιστικών και κοινωνικών αλληλεπιδράσεων.

Πρόκειται για μια οικογένεια σεναρίων συμπεριλαμβανόμενων τριών διαφορετικών σεναρίων, A1F1, A1T και A1B. Αυτά τα τρία περιγράφουν εναλλακτικές κατευθύνσεις των τεχνολογικών αλλαγών στο σύστημα της ενέργειας, με το πρώτο να παρουσιάζει έντονη χρήση ορυκτών καυσίμων, το δεύτερο χρήση κατά κύριο λόγο μη ορυκτών καυσίμων και το τρίτο εξισορρόπηση μεταξύ όλων των πηγών ενέργειας. Η οικογένεια A1 αντιπροσωπεύει τους υψηλότερους ρυθμούς τεχνολογικών μεταβολών και οικονομικής ολοκλήρωσης.

2.6.3.2. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ A2

Η βάση αυτής της εξέλιξης είναι η υπόθεση ενός μη ομογενούς κόσμου με αυτοδυναμία και διατήρηση της τοπικής ταυτότητας. Τα πρότυπα αναπαραγωγής μεταξύ των περιοχών συγκλίνουν με αργούς ρυθμούς και αυτό οδηγεί σε αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού. Ο οικονομικός προσανατολισμός είναι τοπικός ως προς τις περιοχές ενώ η αύξηση του κατά κεφαλήν εισοδήματος και της τεχνολογικής προόδου είναι εμποδιζόμενα και αργών ρυθμών.

2.6.3.3. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ B1

Αυτή η εξελικτική γραμμή απεικονίζει έναν κόσμο που συγκλίνει με παγκόσμιο πληθυσμό, όπως στην ιστορία A1 που κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και έπειτα μειώνεται. Διαπιστώνεται μια αλλαγή στην οικονομία προς την κατεύθυνση των υπηρεσιών και των πληροφοριών με την εισαγωγή «καθαρών» και ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών. Παράλληλα με αυτή, υπάρχει μια μείωση της υλικής εξάρτησης ενώ δίνεται έμφαση σε γενικές και παγκόσμιες λύσεις με στόχο την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα κατανέμοντας ομοιόμορφα τους οικονομικούς πόρους και μη περιλαμβάνοντας κλιματικές πρωτοβουλίες. Αυτή η οικογένεια μπορεί να θεωρηθεί ως ραγδαία εξέλιξη των μελλοντικών μεταβλητών. Ταυτόχρονα με την οικογένεια A1, τα σενάρια μπορούν να διερευνούν διαφορετικές πορείες που σταδιακά θα μειώσουν και θα γεφυρώσουν τα κενά εισοδήματος.

2.6.3.4. ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ B2

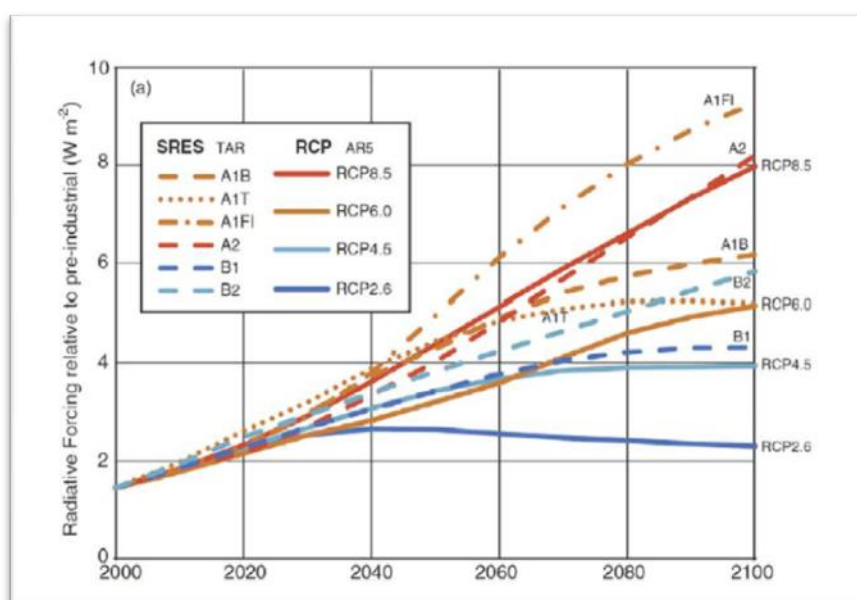
Σε αυτή την θεώρηση η έμφαση δίνεται στις τοπικές λύσεις, σε αντίθεση με τις προτεινόμενες παγκόσμιες λύσεις της B1 οικογένειας. Διαπιστώνεται μια συνεχόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αλλά με βραδύτερους ρυθμούς από αυτούς της οικογένειας A2, ενώ ως προς την κατεύθυνση της οικονομικής ανάπτυξης διαπιστώνονται ενδιάμεσα στάδια αλλά όχι τόσο ταχείς όσο στις οικογένειες A1 και B1.

2.6.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ SRES ΚΑΙ RCP

Η εμφάνιση των RCPs κάλυψε όλο το εύρος των SRES σεναρίων για αέρια του θερμοκηπίου με μακρύ χρονικό ορίζοντα ζωής. Παρόλα αυτά παρουσιάζουν ένα περιορισμένο εύρος για τους πρόδρομους των εκπομπών των αερίων του όζοντος και άλλων ρύπων. Τα τέσσερα σενάρια RCP περιγράφουν διαφορετικά επίπεδα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής που αφορούν σε διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας στο τέλος του 21^{ου} αιώνα (2.6, 4.5, 6.0 και 8.5 W m⁻²) ενώ αντίθετα στα σενάρια SRES πρόκειται για μια ανεξάρτητη πολιτική.

Σε ότι αφορά την επίδραση της ακτινοβολίας η σύγκριση των δυο τύπων σεναρίων για χρονικό ορίζοντα έως το τέλος του 21^{ου} αιώνα δίνει τα έξης αποτελέσματα, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.3, (IPCC, 2013):

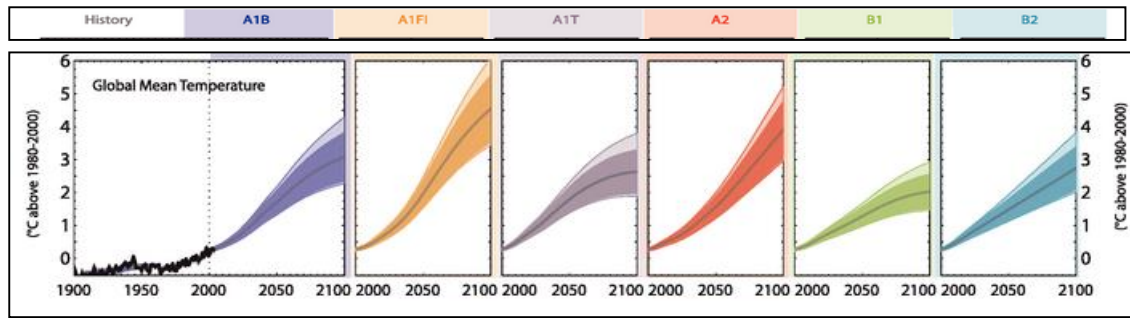
- Το σενάριο SRES A1F1 είναι υψηλότερο από τα RCP άλλα και τα υπόλοιπα SRES.
- Το σενάριο SRES A2 βρίσκεται στην ίδια τροχιά και κατεύθυνση με το RCP8.5 με την τιμή της ακτινοβολίας να φτάνει περίπου 8.0 W m^{-2} στον χρονικό ορίζοντα του 2100.
- Το σενάριο SRES B1 βρίσκεται περίπου σε αντιστοιχία με το RCP4.5 με την τιμή της ακτινοβολίας να φτάνει περίπου 4.0 W m^{-2} στον χρονικό ορίζοντα του 2100.
- Το RCP6.0 ενώ ξεκινάει όμοια με το RCP4.5 και το SRES B1, από την μέση της χρονικής περιόδου, το 2060, φτάνει στην τιμή 4.0 W m^{-2} .
- Το RCP2.6, ένα σενάριο για ισχυρό μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, υπολείπεται αρκετά από τα σενάρια SRES B1 και A2, αφού κορυφώνεται το 2040 με 2.6 W m^{-2} και έπειτα ακολουθεί πτωτική πορεία.



Διάγραμμα 2.3 . Γραφική σύγκριση των σεναρίων SRES και RCP για την παράμετρο της επίδρασης της ακτινοβολίας. Τα δεδομένα για τα SRES από την Τρίτη Έκθεση του IPCC (TAR, 2001) και μετατοπίζονται προς τα πάνω κατά $0,12 \text{ W m}^{-2}$ ώστε να αντιστοιχίζονται στο έτος 2000 με τα RCPs. Τα δεδομένα για την ακτινοβολία στα RCP προκύπτουν κατά Meinshausen, 2011. Πηγή: Burkett et al., 2014.

Σε ότι αφορά την θερμοκρασία, η σύγκριση γίνεται για την μεταβλητή της Παγκόσμιας Θέρμανσης (Διάγραμμα 2.4), δηλαδή για την αύξηση της παγκόσμιας μέσης τιμής της θερμοκρασίας (Global Warming – GW).

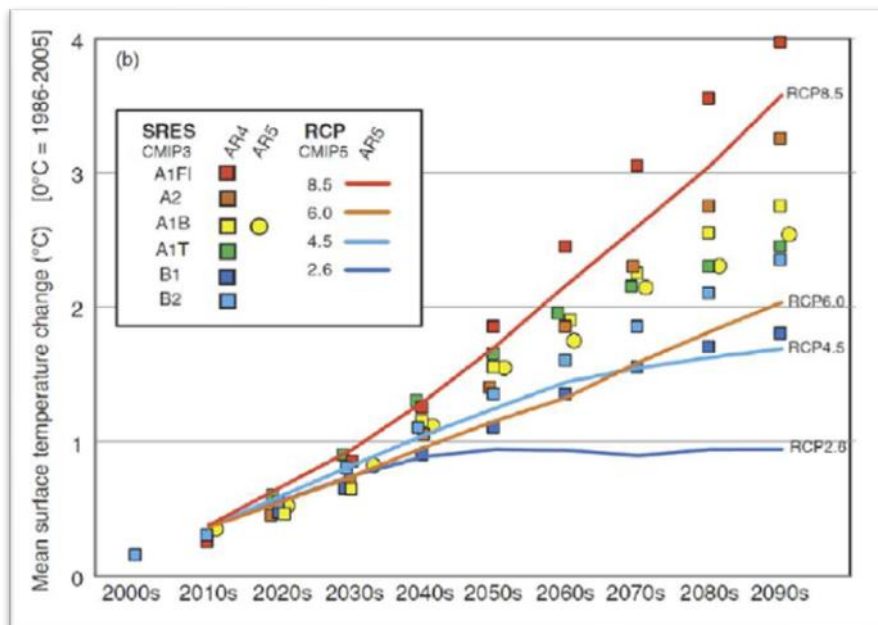
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε ότι αφορά τα σενάρια SRES, καταχωρούν, από άποψη εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υψηλότερα τα σενάρια A1F1 και A2, χαμηλότερα τα σενάρια A1 και B2 και στο κατώτερο επίπεδο το σενάριο B1.



Διάγραμμα 2. 4 . Μεταβολή της θερμοκρασίας για τα σενάρια SRES για το διάστημα 2000 έως 2100. Πηγή: Christensen et al., 2007.

Σε ότι αφορά τα σενάρια RCP (Διάγραμμα 2.5):

- Η αύξηση της θερμοκρασίας για το σενάριο RCP8.5 είναι περίπου 2° C κατά την δεκαετία του 2040 και 4° C κατά την δεκαετία του 2080.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας για το σενάριο RCP6.0 είναι περίπου 2° C κατά την δεκαετία του 2060 και 2.5° C κατά την δεκαετία του 2080.
- Η αύξηση της θερμοκρασίας για το σενάριο RCP2.6, που ορίζεται ως χαμηλών εκπομπών, παραμένει κάτω από 1.8° C καθολη την διάρκεια του 21^{ου} αιώνα.



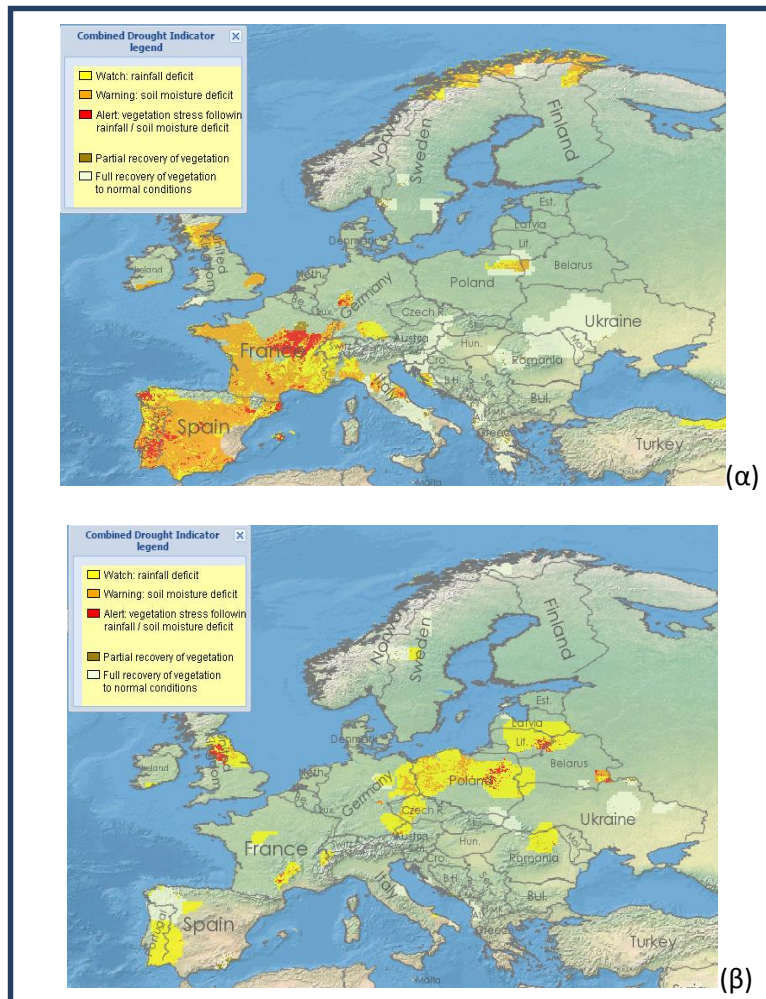
Διάγραμμα 2. 5 . Γραφική σύγκριση της αύξησης της θερμοκρασίας για τα σενάρια SRES και RCP. Η αύξηση της θερμοκρασίας εκφράζεται ως δεκαετής μέσος όρος (π.χ. 2020 – 2016 έως 2025). Πηγή: Burkett et al., 2014.

3. ΞΗΡΑΣΙΑ

3.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΞΗΡΑΣΙΑ

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Ξηρασίας (European Drought Center – EDC) ορίζει την ξηρασία ως ένα χρονικά παρατεταμένο και περιφερειακά εκτεταμένο φαινόμενο κατά το οποίο η διαθεσιμότητα του φυσικού νερού βρίσκεται υπό την τιμή του μέσου όρου και οφείλεται σε φυσικά αίτια και προκύπτει ως συνέπεια της μεταβλητότητας του κλίματος (Tallaksen and Van Lanen, 2004). Οι συνέπειες του φαινομένου της ξηρασίας επηρεάζουν όλα τα χαρακτηριστικά του υδατικού κύκλου ξεκινώντας από την μείωση της εδαφικής υγρασίας, συνεχίζοντας στην μείωση της τροφοδοσίας των υπόγειων υδάτων και καταλήγοντας σε χαμηλές υδατικές παροχές και αποξηραμένες κοίτες ποταμών.

Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζεται μια απεικόνιση της κατάστασης ξηρασίας στην Ευρώπη.



Σχήμα 3. 11. Απεικόνιση της ξηρασίας στην Ευρώπη βάσει του δείκτη CDI (Combined Drought Indicator) που περιλαμβάνει τα συστατικά : δείκτης SPI, εδαφική υγρασία, κατάσταση βλάστησης. (α) 1ο δεκαήμερο Μάρτη 2012 και (β) 1ο δεκαήμερο Μάρτη 2015. Πηγή: European Commission, European Drought Observatory, 2015.

Η ξηρασία είναι ένα παγκόσμιο και επαναλαμβανόμενο φαινόμενο με χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά που ποικίλουν από την μια περιοχή στην άλλη, ενώ οι επιπτώσεις του στον κοινωνικό, περιβαλλοντικό αλλά και οικονομικό τομέα είναι ιδιαίτερα σημαντικές με μεγαλύτερο βαθμό πλήξης στις άγονες ή ημι-άνυδρες περιοχές όπου η διαθεσιμότητα σε νερό είναι ήδη χαμηλή.

Η έννοια της ξηρασίας συχνά άλλα λανθασμένα συγχέεται με έννοιες όπως η ξηρότητα του κλίματος ή η λειψυδρία (Σχήμα 3.13). Η ξηρότητα του κλίματος (aridity) αποτελεί μια μονιμοτερη κατάσταση κλίματος μιας περιοχής. Σύμφωνα με την ταξινόμηση που αποδίδει η UNESCO (1979) για την μέθοδο Penman, η ξηρότητα μιας περιοχής μπορεί να κατηγοριοποιηθεί βάσει του Δείκτη Ξηρότητας (Aridity Index), δηλαδή του πηλίκου του μέσου ετήσιου ύψους βροχής προς το μέσο ετήσιο ύψος της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (P/PET), σε 5 ομάδες (Σχήμα 3.12):

Χαρακτηρισμός Κλίματος	Δείκτης Ξηρότητας (P/PET)
Υπερβολικά ξηρό	< 0.03
Ξηρό	0.03 – 0.20
Ημι-ξηρό	0.20 – 0.50
Υφυγρο	0.50 – 0.75
Υγρό	> 0.75

Σχήμα 3. 12. Χαρακτηρισμός κλίματος μιας περιοχής με βάση το δείκτη ξηρότητας. Πηγή: UNESCO, 1979.

Η λειψυδρία σε μια περιοχή (water scarcity) υποδηλώνει μια μεγάλης διάρκειας έλλειψη ισορροπίας μεταξύ των διαθέσιμων υδάτινων πόρων και των επικρατούντων αναγκών. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον ορισμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2007), η λειψυδρία είναι αυτή η κατάσταση κατά την οποία οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι είναι ανεπαρκείς να καλύψουν μακράς διάρκειας μέσες απαιτήσεις. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η ζήτηση για νερό υπερβαίνει τους εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους κάτω από βιώσιμες συνθήκες.

Η ερημοποίηση (desertification) είναι ένας ακόμα όρος που συχνά αναφέρεται σε ένα μεγαλύτερης διάρκειας φαινόμενο, αντίστοιχο της λειψυδρίας καθώς αποτελεί απόρροια ανθρωπογενών αιτιών.

Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται ως εξής:

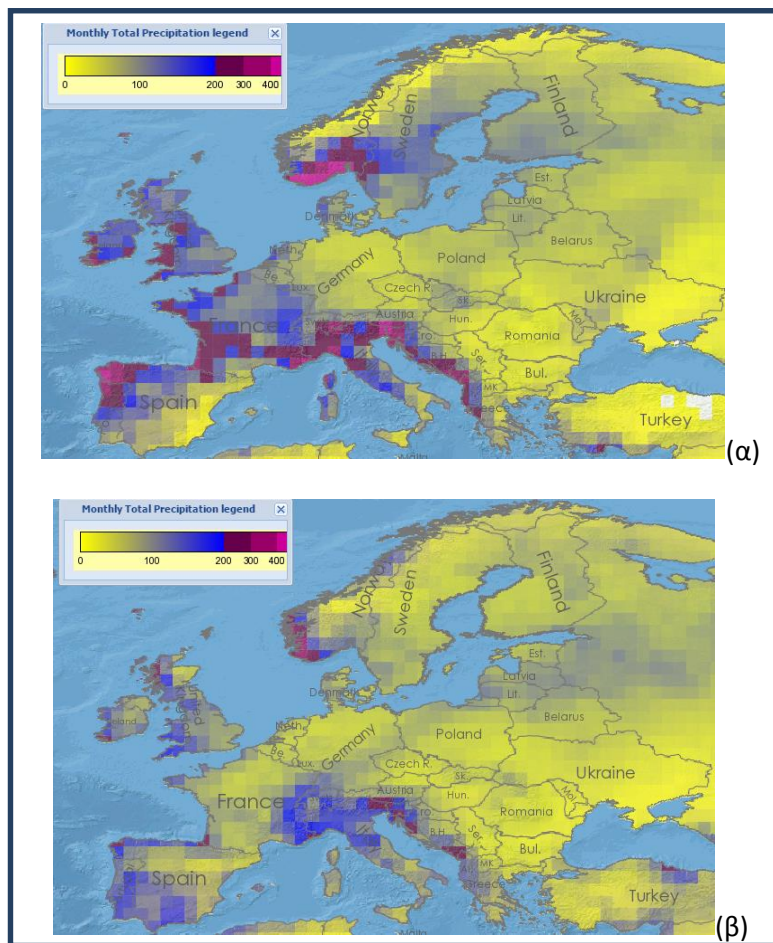
	Μακράς Διάρκειας Φαινόμενα	Μικρής Διάρκειας Φαινόμενα
Φυσικά Αίτια	Ξηρότητα του κλίματος	Ξηρασία
Ανθρωπογενή Αίτια	Ερημοποίηση	Λειψυδρία

Σχήμα 3. 13. Σχηματική απεικόνιση των όρων σχετιζόμενων με την χαμηλή διαθεσιμότητα νερού. Πηγή : Pereira et al., 2009.

3.2. ΑΙΤΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο άμεσα συνδεδεμένο με τις μεταβολές στην κλιματική κατάσταση μιας περιοχής. Ένα από τα κύρια συστατικά του κλίματος είναι η βροχόπτωση και επομένως η ύπαρξη τιμών βροχόπτωσης κάτω του κανονικού μιας περιοχής οδηγεί σε κατάσταση ξηρασίας. Μια απεικόνιση της μεταβολής της βροχόπτωσης στην Ευρώπη παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.14.

Η βροχόπτωση επηρεάζεται από ποικίλα φυσικά φαινόμενα της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας του εδάφους. Πιθανή μείωση της βροχόπτωσης μπορεί να επέλθει λόγω κορεσμού των σύννεφων από σωματίδια σκόνης προερχόμενα από την επιφάνεια της Γης, αύξηση της λευκαύγειας (albedo), μείωσης των διαθέσιμων πυρήνων, που οδηγούν στην διαμόρφωση των σταγόνων της βροχής, και οφείλεται στην μείωση της φυτοκάλυψης (Beran and Rodier, 1985). Η αύξηση της λευκαύγειας συνεπάγεται μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας και άρα μείωση των ανερχόμενων αερίων μαζών με τελικό αποτέλεσμα την μείωση της βροχόπτωσης. Ένας ακόμη τομέας επίδρασης της αύξησης της λευκαύγειας και άρα της τοπικής μείωσης της θερμοκρασίας είναι η δημιουργία ενός πρότυπου μοντέλου κυκλοφορίας ικανού να αποκαταστήσει την ισορροπία με το θερμότερο περιβάλλον, προκαλώντας έτσι καθίζηση των αερίων και άρα μείωση της βροχόπτωσης (Ranu and Sharma, 2002).



Σχήμα 3. 14. Μεταβολή της μηνιαίας βροχόπτωσης (mm/μήνα) στην Ευρώπη. (α) Νοέμβριος 2000 και (β) Νοέμβριος 2012. Πηγή : European Commission, European Drought Observatory, 2015.

Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας συνδεδεμένος με την ξηρασία είναι η ωκεάνια κυκλοφορία η οποία περιγράφεται με μη-μόνιμα πρότυπα αποθήκευσης θερμότητας τα οποία και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το κλίμα. Από τα γνωστότερα παραδείγματα αυτού του φαινομένου αποτελεί η ασυνήθιστη βροχόπτωση που έπληξε τα παράλια του Περού το 1952 και η εκτεταμένη ξηρασία που παρατηρήθηκε στην Βραζιλία. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως El Niño και πρόκειται για ανωμαλίες στην θερμοκρασία της θαλάσσιας επιφάνειας, που στην συγκεκριμένη περίπτωση ένα θερμό θαλάσσιο κύμα κανονικά παρατηρούμενο στις δυτικές ακτές του Ειρηνικού μετακινείται ανατολικά προς τις ακτές του Περού.

3.3. ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Ο Palmer (1965) διατύπωσε την άποψη ότι η έννοια της ξηρασίας μπορεί να λάβει διαφορετικές ερμηνείες ανάλογα με την σκοπιά που την εξετάζει κάθε ομάδα. «Για τον αγρότη ξηρασία σημαίνει έλλειψη υγρασίας στο ριζικό στρώμα των καρπών. Για τον υδρολόγο, κάτω του μέσου ορού υδάτινα επίπεδα σε ποταμούς, λίμνες και ταμιευτήρες. Για τον οικονομολόγο, μια έλλειψη που επηρεάζει την επικρατούσα οικονομία.».

Σύμφωνα με την παραπάνω διατύπωση οι ερμηνείες της ξηρασίας διαμορφώνουν τους παρακάτω τύπους ανάλογα με την οπτική που ακολουθείται (Wilhite and Glantz, 1985):

- *Μετεωρολογική ξηρασία.* Συνήθως βασίζεται σε μακράς διάρκειας απόκλιση της βροχόπτωσης από το όριο του κανονικού, με τόσο το ελάχιστο όριο του ελλείμματος όσο και η ελάχιστη χρονική διάρκεια έλλειψης βροχόπτωσης, ώστε να θεωρηθεί περιοχή ξηρασίας, να παραμένουν ακαθόριστα.
- *Υδρολογική ξηρασία.* Αναφέρεται στην περίοδο έλλειψης σε αποθέματα νερού τόσο στην επιφάνεια όσο και στο υπόγειο επίπεδο και διαπιστώνεται στις μετρήσεις απορροής λιμνών, ποταμών, ταμιευτήρων και υπόγειου υδροφορέα. Αν η απορροή για μια επιλεγμένη χρονική περίοδο ξεπεράσει ένα ορισμένο κατώτατο επίπεδο – κατώφλι, τότε η υδρολογική ξηρασία θεωρείται υπό εξέλιξη. Το επίπεδο – κατώφλι μπορεί να καθοριστεί βάσει των χαρακτηριστικών ροής ή το σενάριο ζήτησης νερού για την περιοχή ή την λεκάνη που εξετάζεται (Linsley et al., 1975).
- *Γεωργική ξηρασία.* Γίνεται αντιληπτή όταν δεν υπάρχει επαρκής εδαφική υγρασία ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η απουσία βροχόπτωσης πάνω από τις καλλιέργειες κατά την διάρκεια κρίσιμων για την ανάπτυξη των φυτών περιόδων μπορεί να οδηγήσει σε κατεστραμμένες ή υποανάπτυκτες καλλιέργειες. Χρονικά, η γεωργική ξηρασία τυπικά ακολουθεί την μετεωρολογική ενώ προηγείται της υδρολογικής ξηρασίας.

Συχνά, αναφέρεται ο ορος της *κοινωνικό – οικονομικής* ξηρασίας, η οποία σχετίζεται με την έλλειψη υδατικών πόρων λόγω υπερκατανάλωσης, ανεπαρκούς υποδομής και προετοιμασίας και όχι τόσο στα φυσικά αίτια της ξηρασίας. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι ο ορισμός αποδίδεται στο φαινόμενο της λειψυδρίας και όχι της ξηρασίας καθότι οφείλεται περισσότερο σε ανθρωπογενή στοιχεία. Επομένως οι εκφράσεις της ξηρασίας είναι ουσιαστικά οι 3 πρώτες.

3.4. ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Οι δείκτες ξηρασίας είναι εργαλεία για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της ξηρασίας καθώς αφομοιώνουν ιδιαίτερα μεγάλο όγκο δεδομένων βροχόπτωσης ενίοτε και χιονόπτωσης, θερμοκρασίας, απορροής και άλλους υδατικούς δείκτες και αποδίδουν μια πιο κατανοητή εικόνα της ξηρασίας. Οι δείκτες ξηρασίας κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο της ξηρασίας που εξετάζεται αλλά και τις κλιματολογικές – οργανωτικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που εντοπίζεται το φαινόμενο.

Συνήθως, το αποτέλεσμα ενός δείκτη ξηρασίας είναι ένας αριθμός γεγονός που τον καθιστά πιο εύχρηστο στην διαδικασία λήψης αποφάσεων από την διαχείριση μιας σειράς δεδομένων. Κάποιοι από τους δείκτες ξηρασίας και μέθοδοι παρουσιάζονται παρακάτω.

3.4.1. ΔΕΙΚΤΗΣ RDI

Ο Reconnaissance Drought Index (RDI) αναπτύχθηκε με σκοπό να γίνει μια προσέγγιση της ελλιπούς διαθεσιμότητας νερού με πιο ακριβή τρόπο από τους Tsakiris and Vangelis (2005). Η βάση στην οποία στηρίχτηκε η διαμόρφωση του δείκτη RDI είναι μιας μορφής ισοζύγιο μεταξύ εισροών και εκροών σε ένα υδατικό σύστημα (Tsakiris et al., 2007). Η θεώρηση ότι ένα υδατικό έλλειμμα μπορεί να προσεγγιστεί μονό από τις εισροές, δηλαδή την βροχόπτωση (precipitation – P), στο σύστημα που εξετάζεται (θεώρηση του δείκτη SPI) δεν είναι πάντα εφαρμόσιμη σε όλες τις περιπτώσεις, για αυτό και ο δείκτης RDI λαμβάνει υπόψιν του την κυριότερη πηγή απωλειών σε ένα υδατικό σύστημα που είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (potential evapotranspiration – PET).

Η τιμή του RDI προκύπτει ως το πηλίκο της αθροιστικής βροχόπτωσης προς την αθροιστική δυνητική εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή η αρχική τιμή του δείκτη προκύπτει από την σχέση:

$$\alpha_k = \frac{\sum_{j=1}^k P_j}{\sum_{j=1}^k PET_j}$$

Όπου k είναι ο συγκεκριμένος μήνας για τον οποίο υπολογίζεται ο RDI, P_j και PET_j είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα, του μήνα j του συγκεκριμένου υδρολογικού έτους.

Σημειώνεται ότι η τιμή α_k του RDI δεν μπορεί να δώσει άμεση απάντηση για το αν μια περιοχή βρίσκεται ή όχι σε κατάσταση ξηρασίας και ποια είναι η ένταση του φαινομένου. Για τον λόγο αυτό διαμορφώθηκαν δυο αναλυτικές μορφές του δείκτη που ονομάζονται Normalised RDI και Standardised RDI και εκφράζονται μέσα από τις αντίστοιχες μαθηματικές ρουτίνες :

- $RDI_n(k) = \frac{\alpha_k}{\bar{\alpha}_k} - 1$
- $RDI_{st}(k) = \frac{y_k - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_k}$, όπου y_k είναι ο ln(α_k), \bar{y}_k είναι ο αριθμητικός μέσος όρος και $\hat{\sigma}_k$ η τυπική απόκλιση.

Ο δείκτης RDI έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές ξηρές και ημι – ξηρές περιοχές, αξιοποιώντας το πλεονέκτημα των χαμηλών απαιτήσεων σε δεδομένα άλλα και της μεγάλης ελαστικότητας. Συγκεκριμένο πλεονέκτημα του RDI_{st} αποτελεί η δυνατότητα που παρέχει να γίνουν συγκρίσεις φαινόμενων ξηρασίας για διαφορετικές χρονικές στιγμές άλλα και μεταξύ περιοχών με διαφορετικά κλιματικά δεδομένα.

Επί των αποτελεσμάτων του δείκτη RDI_{st} , θετικές τιμές υποδεικνύουν υγρές περιόδους ενώ αρνητικές υποδεικνύουν ξηρές περιόδους συγκρίνοντας με τις κανονικές συνθήκες της υπό εξέταση περιοχής. Η κατάσταση της ξηρασίας μπορεί να κατηγοριοποιηθεί όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.15:

Κατηγορία Ξηρασίας	RDI_{st}
Ακραία ξηρή	$RDI_{st} < -2.0$
Σημαντικά ξηρή	$-2.0 < RDI_{st} < -1.5$
Μέτρια ξηρή	$-1.5 < RDI_{st} < -1.0$
Ήπια ξηρή	$-1.0 < RDI_{st} < -0.5$

Σχήμα 3. 15. Κατάταξη της ξηρασίας με βάση τις τιμές του δείκτη RDI. Πηγή: The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation, Vangelis et al., 2013.

Μια ακόμη λεπτομέρεια που καθιστά τον δείκτη RDI ιδιαίτερα εύχρηστο, συγκρινόμενο με άλλους δείκτες, είναι η δυνατότητα να υπολογιστεί για περιόδους αναφοράς 3,6,9,12 μήνες κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού έτους και όχι να λειτουργεί ως «κυλιόμενος» δείκτης σταθερής χρονικής περιόδου (Tsakiris and Vangelis, 2005).

3.4.2. ΔΕΙΚΤΗΣ SPI

Ο Standardised Precipitation Index (SPI) αναπτύχθηκε το 1993, στο Πανεπιστήμιο του Κολοράντο, από τον McKee με στόχο την απλότητα και την ευχρηστία. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε μακράς διάρκειας δεδομένα βροχόπτωσης για καθορισμένη περιοχή.

Συγκεκριμένα, ο δείκτης SPI υπολογίζεται για οποιαδήποτε περιοχή και χρονική περίοδο αρκεί να υπάρχει διαθεσιμότητα μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης για βάθος χρόνου τριάντα ή και περισσότερων ετών. Στις αθροιστικές χρονοσειρές βροχόπτωσης, για συγκεκριμένη χρονική κλίμακα (1,3,6,9,12 μήνες), προσαρμόζεται μια κατανομή πιθανότητας και στην συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή ώστε η μέση τιμή του δείκτη SPI για την συγκεκριμένη περίοδο και περιοχή να είναι μηδέν (Edwards and McKee, 1997). Από μελέτη προέκυψε ότι η κατανομή Γαμμα (Thom, 1958) εφαρμόζεται καλύτερα στα κλιματολογικά δεδομένα των χρονοσειρών βροχόπτωσης.

Η κανονικοποίηση του δείκτη SPI αποδίδει καλύτερα την εικόνα της ξηρασίας για την περιοχή που εξετάζεται καθώς το μέγεθος της αποχής από το μηδέν είναι αντιπροσωπευτικό της πιθανότητας για την εμφάνιση του φαινομένου, δηλαδή είναι αναμενόμενο οι τιμές του SPI να κυμαίνονται μέσα στο διάστημα της τυπικής απόκλισης για

το 68% των περιπτώσεων, στο διπλάσιο της τυπικής απόκλισης για το 95% των περιπτώσεων και στο τριπλάσιο για το 99% των περιπτώσεων.

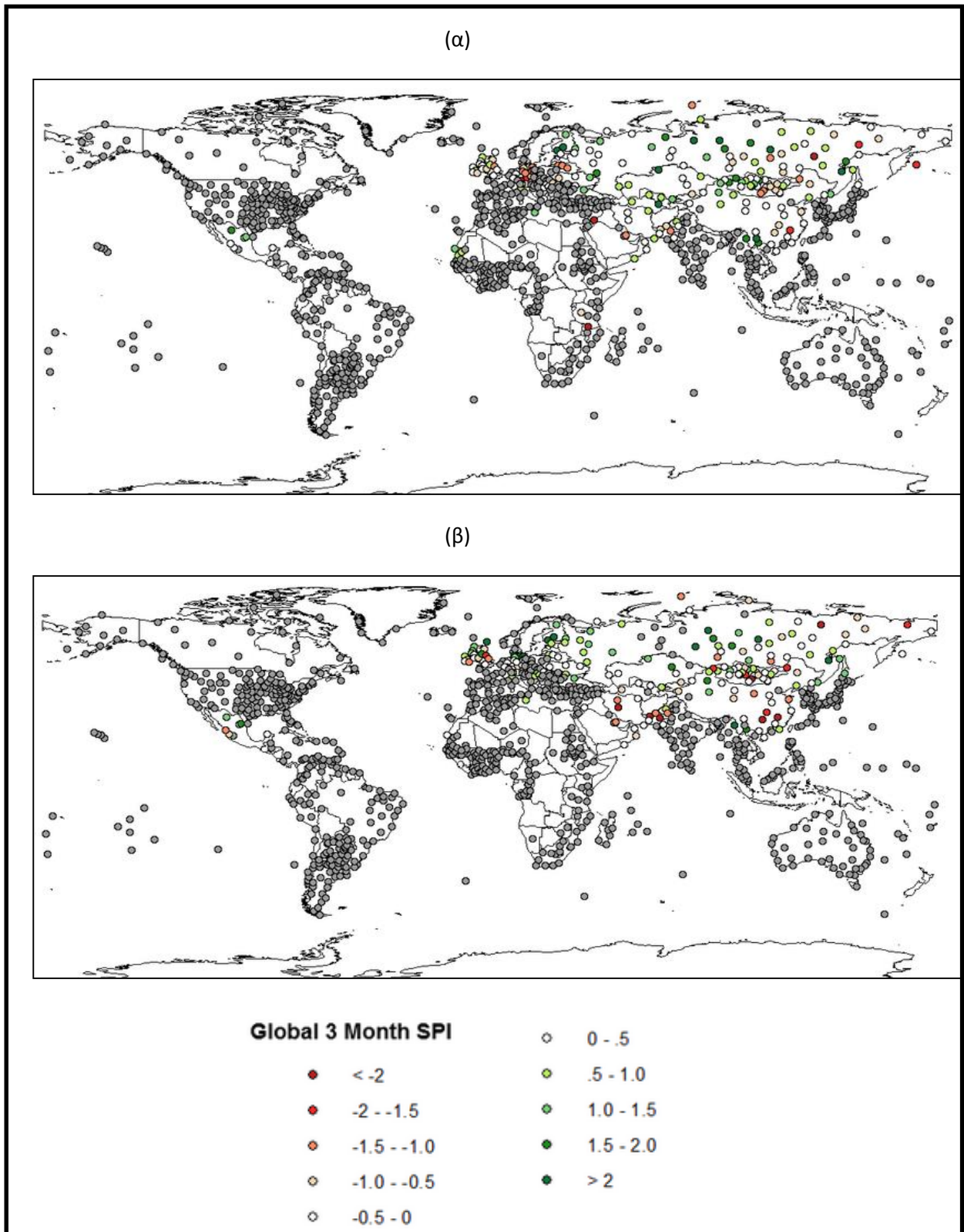
Σε ότι αφορά τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη SPI, θετικές τιμές υποδεικνύουν βροχόπτωση μεγαλύτερη από τον μέσο όρο και αντίστοιχα οι αρνητικές τιμές μικρότερη. Κατά παρόμοιο τρόπο, λόγω κανονικοποίησης του δείκτη, μπορεί να γίνει κατάταξη των ξηρών ή υγρών κλιμάτων (σημειώνεται ότι ο SPI μπορεί να παρακολουθεί και καταστάσεις υγρασίας) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.16:

Κατηγορία Υγρασίας / Ξηρασίας	SPI
Ακραία υγρή	SPI > 2.0
Σημαντικά υγρή	1.5 < SPI < 1.99
Μέτρια υγρή	1.0 < SPI < 1.49
Κανονικές συνθήκες	-0.99 < SPI < 0.99
Μέτρια ξηρή	-1.0 < SPI < -1.49
Σημαντικά ξηρή	-1.5 < SPI < -1.99
Ακραία ξηρή	SPI < -2.0

Σχήμα 3. 16. Κατάταξη της ξηρασίας με βάση τις τιμές του δείκτη SPI. Πηγή: Towards a drought watch system based on spatial SPI, Tsakiris and Vangelis, 2004.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του δείκτη είναι ότι μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες παρέχοντας έτσι μια ευελιξία στην παρακολούθηση τόσο βραχυπρόθεσμων υδατικών διεργασιών, όπως η εδαφική υγρασία για την αγροτική παραγωγή, όσο και μακροπρόθεσμων, όπως τα αποθέματα υπόγειου νερού ή η αποθήκευση σε ταμιευτήρες. Λαμβάνοντας υπόψιν μονό τα κατακρημνίσματα της ατμόσφαιρας (βροχόπτωση) και διατηρώντας την χρονική ευελιξία, δίνεται η δυνατότητα, μέσω του δείκτη αυτού, για παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας εν εξελίξει (Wilhite et al., 2000).

Στο Σχήμα 3.17 παρουσιάζεται ο δείκτης SPI και η αριθμητική κατηγοριοποίηση του για παγκόσμια χωρική κλίμακα.



Σχήμα 3. 17. Παγκόσμια απεικόνιση των αποτελεσμάτων του δείκτη SPI για τον μήνα Φεβρουάριο του 2015. (α) χρονική κλίμακα 1 μήνα και (β) χρονική κλίμακα 3 μηνών. Πηγή: Global Drought Information System, Feb 2015.

3.4.3. ΔΕΙΚΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ PDSI (ΔΕΙΚΤΗΣ PALMER)

Ο δείκτης PDSI, ακρωνύμιο του Palmer Drought Severity Index, αναπτύχθηκε το 1965, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, από τον W.C. Palmer. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο εδαφικής υγρασίας, βαθμονομημένο για σχετικά ομογενείς περιοχές αλλά κυρίως για περιοχές που χαρακτηρίζονται από ημι-άνυδρες και ξηρές, ελλειπούς υγρασίας κλιματικές συνθήκες (Guttman et al., 1992).

Η βάση του δείκτη PDSI βρίσκεται στην εννοιολογική θεώρηση του υδατικού ισοζυγίου μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, η οποία λαμβάνει υπόψιν τις καιρικές και εδαφικές συνθήκες αλλά και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής που ερευνάται. Πρακτικά, το παραπάνω σημαίνει ότι η ποσότητα της βροχόπτωσης που απαιτείται για μία, υπό συνθήκες, κανονική λειτουργία της υπάρχουσας οικονομίας μιας περιοχής κατά την διάρκεια μίας συγκεκριμένης περιόδου, εξαρτάται από το μέσο κλίμα της περιοχής και από τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες κατά την διάρκεια της περιόδου διερεύνησης αλλά και το διάστημα πριν από αυτή (Tate and Gustard, 2000).

Ο υπολογισμός του δείκτη PDSI βασίζεται σε δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας όπως και σε τοπικά δεδομένα διαθέσιμης περιεκτικότητας σε εδαφικό νερό, ενώ η ένταση της ξηρασίας υπολογίζεται ως η αθροιστική διαφορά της πραγματικής βροχόπτωσης και αυτής που απαιτείται για την εξατμισοδιαπνοή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω παράγοντες ξηρασίας, δηλαδή η βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή και οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας, αποτελούν κύρια συστατικά του υπολογισμού της υδρολογικής ξηρασίας (Tsakiris et al., 2007).

3.4.4. ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ SDI

Ο Streamflow Drought Index (SDI) χρησιμοποιεί όγκους αθροιστικής απορροής για κάθε υδρολογικό έτος i και μήνα αναφοράς k (π.χ. $k=1$ αναφέρεται στην περίοδο Οκτώβριος – Νοέμβριος) ενώ η τιμή του δείκτη δίνεται από τον μαθηματικό τύπο:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}$$

Όπου \bar{V}_k η μέση τιμή των αθροιστικών όγκων απορροής της περιόδου αναφοράς k και S_k η τυπική απόκλιση αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη SDI μπορούν να αναγνωριστούν 5 καταστάσεις ξηρασίας οι οποίες λαμβάνουν τιμές ακέραιους αριθμούς και παρουσιάζονται παρακάτω (Nalbantis and Tsakiris, 2009):

<i>SDI</i>	Κατάσταση	Περιγραφή
$SDI \geq 0.0$	0	Χωρίς ξηρασία
$-1.0 \leq SDI < 0.0$	1	Ήπια ξηρασία
$-1.5 \leq SDI < -1.0$	2	Μέτρια ξηρασία
$-2.0 \leq SDI < -1.5$	3	Σημαντική ξηρασία
$SDI < -2.0$	4	Ακραία ξηρασία

Σχημα 3. 18. Καταστάσεις υδρολογικής ξηρασίας βάσει του *SDI*. Πηγη: Nalbantis and Tsakiris, 2009.

3.4.5. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Είναι πολλές οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί προκειμένου να καθοριστεί και να αξιολογηθεί η κατάσταση ξηρασίας μιας περιοχής. Κάποιες από αυτές είναι:

- Μέθοδος Percentile. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, προκειμένου να προκύψουν συμπεράσματα για την ένταση μιας δεδομένης τιμής ενός μετεωρολογικού στοιχείου αξιοποιούνται τα εκατοστημόρια (percentile), που καθορίζονται από την αθροιστική συχνότητα της συγκεκριμένης τιμής.
- Μέθοδος Deciles (Δέκατα της βροχόπτωσης). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για να καλύψει τις αδυναμίες της προηγούμενης. Σύμφωνα με αυτή, γίνεται διαχωρισμός της κατανομής μιας μεγάλης διάρκειας χρονοσειράς βροχοπτώσεων σε δέκατα της κατανομής. Στο πρώτο δεκατημόριο το ύψος βροχοπτώσεων δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 10% της βροχόπτωσης, στο δεύτερο το 20% κ.ο.κ. (Gibbs and Maher, 1967).

3.5. «ΕΡΓΑΛΕΙΑ-ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ» ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό και εξαγωγή των δεικτών ξηρασίας καθώς και ο στατιστικός έλεγχος που μπορεί να πραγματοποιηθεί επί αυτών ώστε να διερευνηθεί η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων τους.

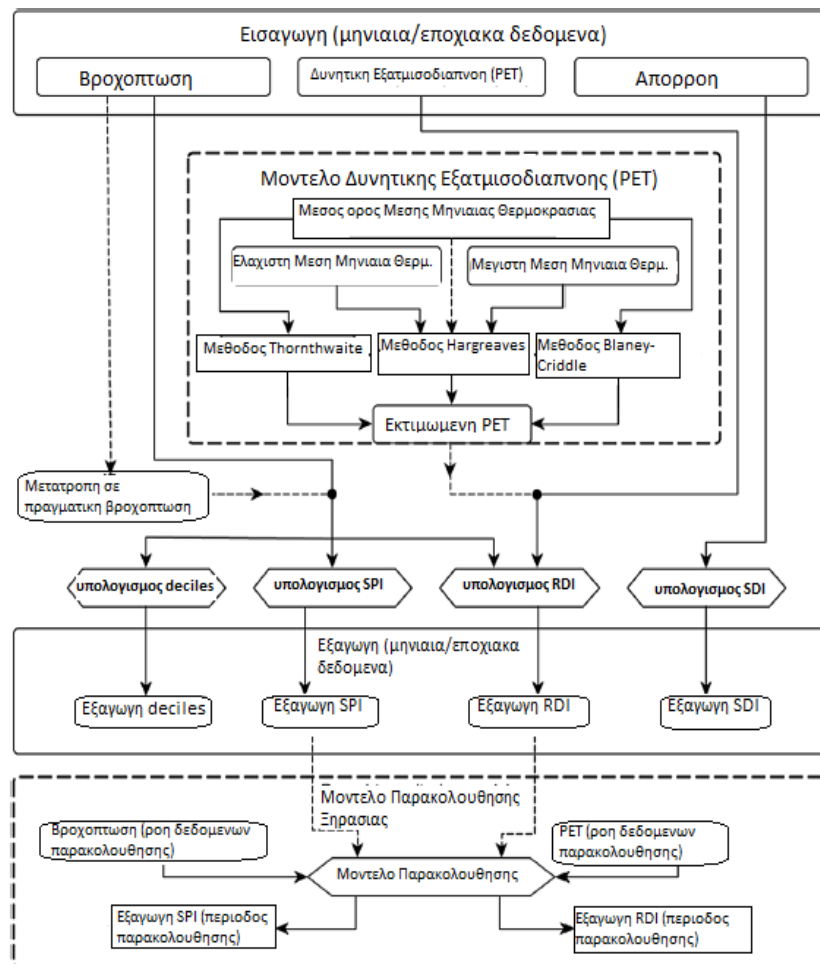
3.5.1. DrinC

Το λογισμικό DrinC είναι βασισμένο σε MS Windows λειτουργικό και ελέγχεται μέσα από γραφική διεπαφή με τον χρήστη (GUI). Το όνομα του προκύπτει από τα αρχικά των Drought Indices Calculator και στοχεύει στην παροχή στον χρήστη ενός εύχρηστου και φιλικού εργαλείου για τον υπολογισμό διάφορων δεικτών ξηρασίας. Σχεδιάστηκε με βασικό στόχο την κάλυψη μεγάλου εύρους δεικτών, τύπων ξηρασίας και χωρικών θέσεων όπου θα είναι δυνατή η εφαρμογή του, ενώ λαμβάνει υπόψιν το φαινόμενο ελλείπων ή περιορισμένων δεδομένων για περιοχές με ξηρασία ή σε κατάσταση ημι-ξηρασίας (Tigkas et al., 2014).

Το DrinC ως βασικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνει ενσωματωμένα διάφορα εργαλεία που διευκολύνουν την διαχείριση δεδομένων, δυνατότητα για ερμηνεία των αποτελεσμάτων,

ανάλυση και υπολογισμό των δεικτών σε χωρική βάση, παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας κ.α. Ακόμα, ένα βασικό στοιχείο του λογισμικού DrinC είναι η ύπαρξη και δυνατότητα επιλογής διάφορων μεθόδων (Thornthwaite, Hargreaves, Blaney-Criddle) για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής που χρησιμεύει στην εξαγωγή του δείκτη RDI (Tigkas et al., 2012).

Οι δυνατότητες και λειτουργίες του DrinC περιγράφονται αναλυτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής:



Εικόνα 4. 1. Διάγραμμα ροής του λογισμικού DrinC. Πηγή: Tigkas et al., 2014.

3.5.2. Medbasin

Το μοντέλο Medbasin (Tigkas and Tsakiris, 2004; Tigkas et al., 2012) ενσωματώνει δυο συγκεντρωτικά μοντέλα βροχοπτώσης- απορροής, το Med basin-D το οποίο λειτουργεί σε ημερήσια βάση (daily) και το Medbasin-M σε μηνιαία βάση (monthly), καθώς και διάφορα εργαλεία για κατασκευή και αναπαραγωγή κλιματικών σεναρίων και σεναρίων ξηρασίας.

Το Medbasin αναπτύχθηκε αρχικά για να καλύψει την πολυπλοκότητα σε μαθηματικές σχέσεις που εμπριέχει ένα υδρολογικό μοντέλο ώστε να γίνει κατανοητό πως γίνονται οι προσομοιώσεις συσχετιζόμενων φαινομένων κατά την διάρκεια της βροχοπτώσης-απορροής.

Το μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής μηνιαίας βάσης Medbasin-M χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απορροής σε μια υδρολογική λεκάνη αξιοποιώντας ένα σύνολο μετεωρολογικών μεταβλητών. Πρόκειται για ένα εννοιολογικό μοντέλο υδατικής ισορροπίας που λειτουργεί σε μηνιαία βάση και στηρίζεται στην υπόθεση ότι η αποθήκευση νερού σε μια λεκάνη απορροής γίνεται μόνο στην ανώτερη ζώνη του εδάφους. Το μοντέλο κάνει χρήση δυο παραμέτρων, την συνολική αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (S_{max}) και τον συντελεστή βαθιάς διήθησης (K). Ακόμα, μπορεί να ληφθεί υπόψη ένας μηνιαίος παράγοντας καθυστέρησης (a) ο οποίος προσαρμόζει την κατανομή της μηνιαίας απορροής (Giakoumakis et al., 2005).

Μια διαθέσιμη και αρκετά ικανοποιητική πρόταση για την τιμή της παραμέτρου S_{max} , σε μονάδα μέτρησης mm, δίνεται από την Υπηρεσία Εδαφικής Συντήρησης (Soil Conservation Service) (SCS, 1972).

Στα πλεονεκτήματα του μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής Medbasin και στο γενικό πλαίσιο της εύκολης χρήσης που προσφέρει, δίνεται η δυνατότητα για μορφοποίηση διάφορων κλιματικών σεναρίων με την διαφοροποίηση κάθε φορά των «εισροών» στο μοντέλο, της παρατηρούμενης βροχόπτωσης (P) και/ή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PET), που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση της διαδικασίας βροχόπτωσης-απορροής.

3.5.3. Mann – Kendall TEST

Ο έλεγχος Mann-Kendall (MK) είναι μη παραμετρικός έλεγχος με βάση την κατάταξη του δείγματος για την εύρεση μονότονης τάσης (Kendall, 1975) ο οποίος προτείνεται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (Sneyers, 1990).

Σύμφωνα με τον έλεγχο αυτό υπολογίζεται η ποσότητα :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i)$$

Όπου x_k και x_i είναι διαδοχικές παρατηρήσεις ($k > i$), n είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων και $\text{sgn}(\theta)$ είναι ίσο με 1 αν $\theta > 0$, 0 αν $\theta = 0$, -1 αν $\theta < 0$.

Η αναλυτική διαδικασία για το υπολογισμό του S βασίζεται στην σύγκριση κάθε τιμής του δείγματος με όλες τις επόμενες παρατηρήσεις, για κάθε επόμενη τιμή μεγαλύτερη της συγκεκριμένης το μέγεθος S αυξάνει κατά μια μονάδα, ενώ για μικρότερη μειώνεται κατά μια μονάδα. Το τελικό S προκύπτει ως αποτέλεσμα όλων των προσθέσεων και αφαιρέσεων.

Για μέγεθος παρατηρήσεων $n \geq 10$ το μέγεθος S κατανέμεται με την κανονική κατανομή. Αν η τελικά υπολογισμένη τιμή του S είναι μεγάλος θετικός αριθμός τότε υποδεικνύεται θετική τάση στο δείγμα, ενώ αντίθετα μεγάλος αρνητικός αριθμός S υποδεικνύει αρνητική τάση. Για μικρές τιμές του S δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση της τάσης.

Αναφορικά με τα παραπάνω για μέγεθος δείγματος $n < 30$ υπολογίζεται η ποσότητα τ (Kendall's tau) που κυμαίνεται μεταξύ -1 και 1:

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$$

Η μηδενική υπόθεση, δηλαδή ότι δεν υπάρχει τάση στο δείγμα, απορρίπτεται αν η τιμή τ είναι σημαντικά διάφορη του μηδενός.

Για μέγεθος δείγματος $n > 30$ υπολογίζεται η ποσότητα Z , δηλαδή η κανονική τυποποιημένη μεταβλητή:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases}$$

Όπου Var η διασπορά που υπολογίζεται από τον μαθηματικό τύπο:

$$\text{Var} = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^g t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

Όπου g είναι ο αριθμός των συνόλων που έχουν την ίδια τιμή και t_i είναι ο αριθμός ισοπαλιών στο σύνολο i .

Τόσο στον μονοκατάληκτο όσο και στον δικατάληκτο έλεγχο γίνεται σύγκριση με βάση τις κρίσιμες τιμές της τυποποιημένης κανονικής κατανομής. Συγκεκριμένα στον δικατάληκτο έλεγχο (two-tailed test), δεδομένου του επιπέδου σημαντικότητας α , αν $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ τότε στο δείγμα παρατηρείται σημαντική τάση (όπου $Z_{1-\alpha/2}$ η κρίσιμη τιμή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής με πιθανότητα $\alpha/2$).

Τα πλεονεκτήματα του έλεγχου Mann-Kendall αφορούν στην δυνατότητα διαχείρισης δεδομένων μη-κανονικής κατανομής ή δείγματα με ελλιπή στοιχεία (missing values) ή μετασχηματισμένα δεδομένα (π.χ. log) ή εποχιακά δεδομένα (seasonal data), στην υψηλή ασυμπτωτική αποτελεσματικότητα (Gan, 1998; Fu et al., 2004) καθώς και στην δυνατότητα εντοπισμού του χρονικού σημείου εμφάνισης της τάσης (Sneyers, 1975).

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ

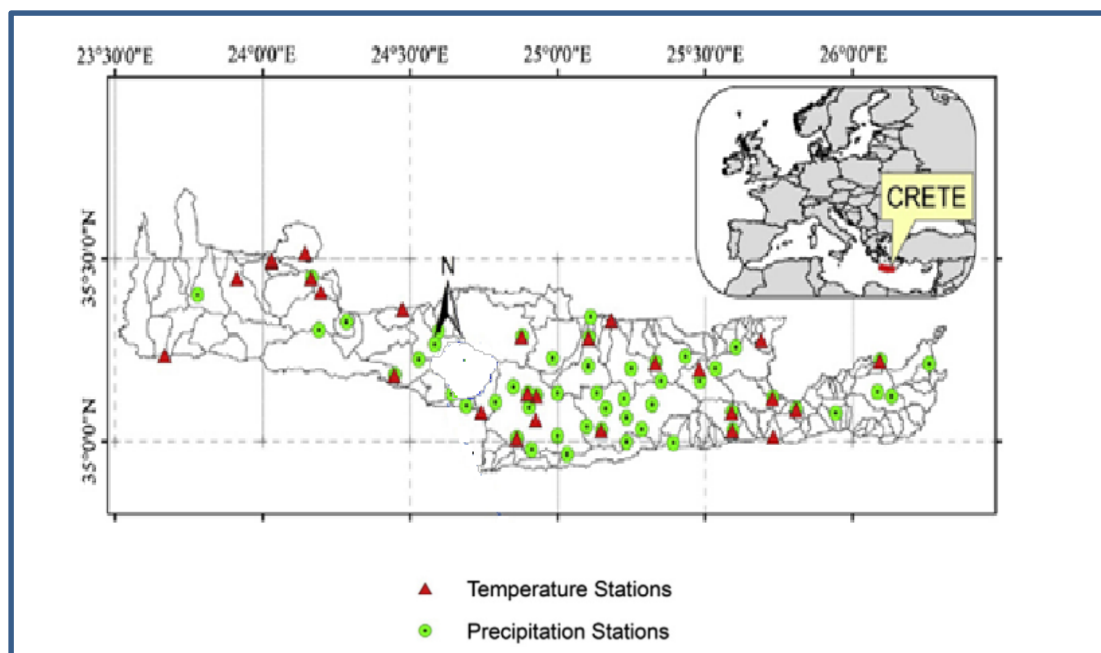
Παρακάτω αναλύεται και παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης για την οποία συγκεντρώθηκαν υδρομετεωρολογικά δεδομένα, τα διάφορα εργαλεία – προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία και διαχείριση των δεδομένων καθώς και τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας.

4.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το νησί της Κρήτης βρίσκεται στο Νοτιοανατολικό μέρος της Μεσογείου και ανήκει στον ελλαδικό χώρο. Με έκταση επιφάνειας 8336 km² καλύπτει το 6,3% της συνολικής επιφάνειας της Ελλάδας ενώ αποτελείται από πληθυσμό 600.000 κατοίκων δηλαδή το 5,5% του συνολικού πληθυσμού της χώρας. Από άποψη μορφολογίας η Κρήτη χαρακτηρίζεται από ορεινούς όγκους, οι οποίοι και προκύπτουν ως συνεχεία των οροσειρών της ελληνικής ηπειρωτικής χωράς, με το μέσο υψόμετρο να είναι 460 m με εύρος από το μέσο ύψος της θάλασσας έως τα 2450 m και μέση κλίση εδάφους 228 m/ km. Η τοπογραφία του νησιού διασπάται σε μικρές λεκάνες απορροής διαμορφωμένες από μη μόνιμα ρέματα και καρστικό έδαφος.

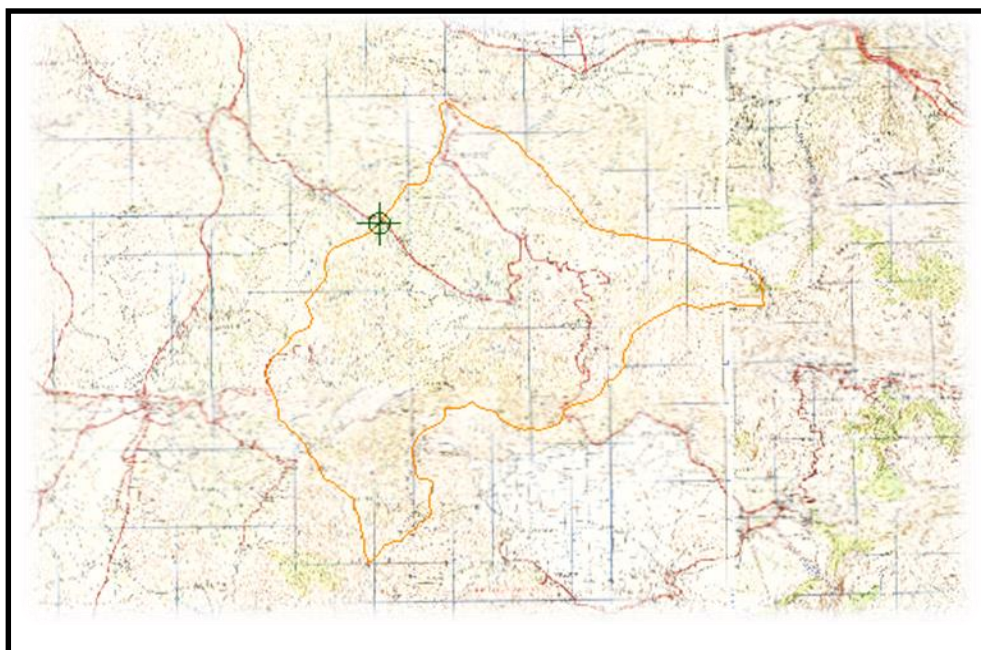
Οι χαρακτηριστικές τιμές βροχόπτωσης σε μέση ετήσια βάση κυμαίνονται από 2118 mm στα δυτικά του νησιού (περιοχή του νομού Χανίων) έως 400 mm στα ανατολικά (περιοχή νομού Λασιθίου) ακολουθώντας μια πτωτική τάση κατά την πορεία από τα δυτικά προς τα ανατολικά, και διαμορφώνοντας μια μέση τιμή στα 750 mm (Vrochidou et al., 2012). Σε εποχιακή βάση, η μέση ετήσια βροχόπτωση κατανέμεται σε 53% στον χειμώνα, 23% στο φθινόπωρο, 20% στην άνοιξη ενώ η ποσότητα βροχόπτωσης την θερινή περίοδο ορίζεται ως αμελητέα (Koutroulis and Tsanis, 2010). Πάρα το γεγονός των υψηλών τιμών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης από αυτή το 63% εντάσσεται στο κομμάτι της εξατμισοδιαπνοής, το 10% ρέει πίσω στον θαλάσσιο όγκο νερού και το 27% εισέρχεται στον υπόγειο υδροφόρο.

Η Κρήτη εκτείνεται σε γεωγραφικό πλάτος (φ) από 34,625 ° N έως 35,875 ° N και σε γεωγραφικό μήκος (λ) από 23,125 ° E έως 26,625 ° E (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3. 1. Απεικόνιση της νήσου Κρήτης με γεωγραφικό κάρτανο συντεταγμένων. Πηγή: Vrochidou et al., 2012.

Για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των τελικών δεικτών ξηρασίας, που θα αναφερθούν παρακάτω, χρησιμοποιήθηκε ως βάση αναφοράς για τα δεδομένα απορροής η λεκάνη του ποταμού Αποσελέμη (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3. 2. Με πορτοκαλί γραμμή απεικονίζεται τμήμα της λεκάνης απορροής Αποσελέμη με αφετήρια το φράγμα του ποταμού.

Ο κύριος κλάδος του ποταμού Αποσελέμη ξεκίνα από τα Βόρεια του οικισμού Κασταμονίτσα και με Βόρειο-δυτική κατεύθυνση καταλήγει στο Κρητικό Πέλαγος.

Ο δευτερεύον κλάδος ξεκίνα Βόρεια του οικισμού Καστελιού και συμβάλλει με τον κύριο κλάδο Ανατολικά του οικισμού Καλό Χωριό.

Η λεκάνη βρίσκεται στο Βόρειο-κεντρικό τμήμα της Κρήτης με συνολική έκταση 122,7 km². Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 1575 m και η λεκάνη εντάσσεται στο γενικότερο μεσογειακό κλίμα της περιοχής που χαρακτηρίζεται από θερμά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες.

4.2. ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο πλαίσιο της κατανόησης της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις υδρομετεωρολογικές παραμέτρους της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικά δεδομένα οι χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας από 3 διαφορετικά κλιματικά μοντέλα τα οποία ενσωματώνουν το ίδιο σενάριο εκπομπών A1B. Τα μοντέλα αυτά είναι αναφορικά: RACMO2, REMO και HadRM3Q0.

Οι χρονοσειρές βρίσκονται διαθέσιμες από τα ινστιτούτα έρευνας και δεδομένων Climatic Research Unit (CRU), για το μοντέλο RACMO2, και ENSEMBLES RT3, για τα μοντέλα REMO και HadRM3Q0. Τα δεδομένα διατίθενται σε αρχική μορφή τιμών φατνίων κάνναβου με οριζόντια ανάλυση κατά γεωγραφικό μήκος και πλάτος 0.25°, αντιστοιχιζόμενη σε περίπου 22 km στην επιφάνεια της γης. Για το μοντέλο RACMO2 οι αρχικές διαστάσεις των διαθέσιμων δεδομένων ήταν για την επιφάνεια από 11°,875 Δ έως 41°,875 Α σε γεωγραφικό μήκος και από 30°,125 Β έως 71°,875 Β σε γεωγραφικό πλάτος (κάνναβος διαστάσεων 216x168), ενώ για τα δυο επόμενα μοντέλα, REMO και HadRM3Q0, η αρχική επιφάνεια ήταν από -23°,875 Δ έως 45°,375 Α και από 29°,125 Β έως 71°,375 Β σε γεωγραφικό μήκος και πλάτος αντίστοιχα (κάνναβος διαστάσεων 278x170). Ως προς τον χρονικό ορίζοντα των χρονοσειρών δίνονται μηνιαία δεδομένα για το διάστημα 1951-2100.

Λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων και της δυσκολίας διαχείρισης του, αναπτύχθηκαν κώδικες προγραμματισμού σε Visual Basic και Matlab, για τα μοντέλα RACMO2 και REMO/HadRM3Q0 αντίστοιχα, ώστε να διαχωριστούν τα φατνία του κάνναβου που αντιπροσωπεύουν την Κρήτη, όπως αυτά προέκυψαν από απεικόνιση σε σχεδιαστικό περιβάλλον GIS, και να διαμορφωθούν τα δεδομένα σε κοινή μορφή μονάδων μέτρησης αλλά και βάσει του υδρολογικού έτους.

Συνεπώς, η προκύπτουσα μορφή των τελικών χρονοσειρών, τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των δεικτών ξηρασίας, είναι δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας για τα μοντέλα RACMO2 και REMO, μέσης θερμοκρασίας για το μοντέλο HadRM3Q0 σε μονάδα μέτρησης °C και δεδομένα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης για τα τρία μοντέλα, που ακολουθούν το υδρολογικό έτος Οκτ – Σεπ, σε μονάδα μέτρησης mm.

4.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

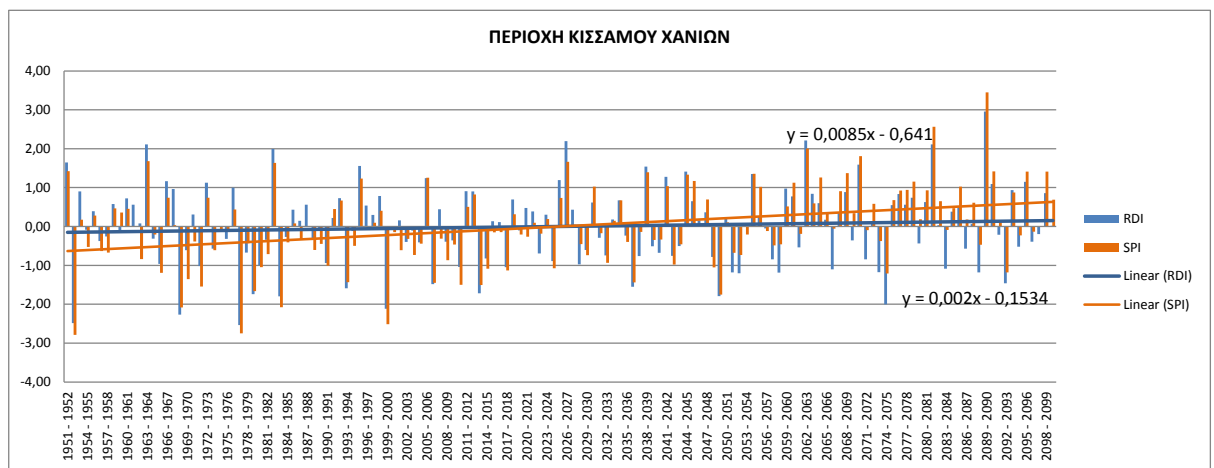
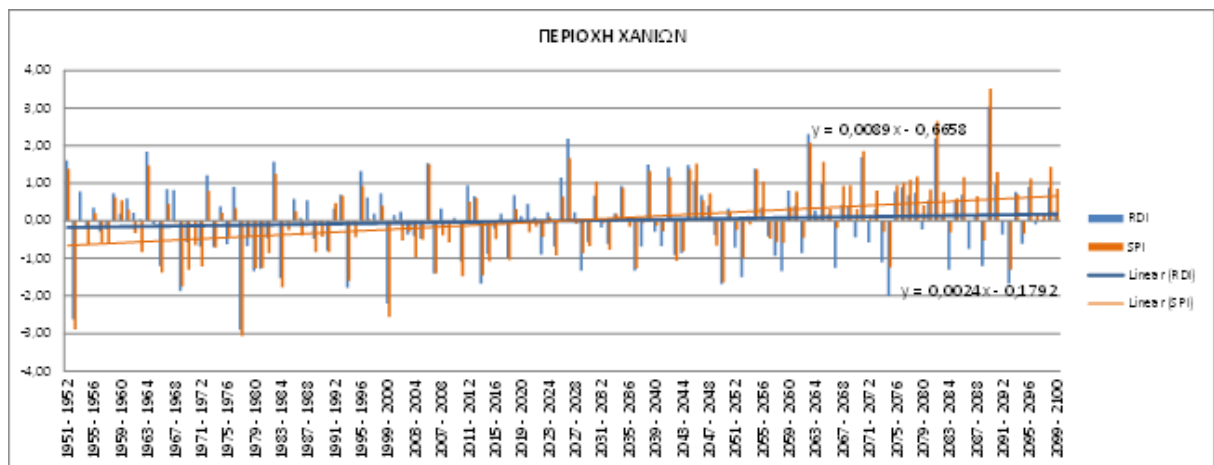
Για την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν χαρακτηριστικά σημεία-περιοχές της Κρήτης ομοιόμορφα κατανομημένα στην επιφάνεια της. Αυτά είναι: η πόλη των Χανίων στην Βορειοδυτική Κρήτη, ο Κίσσαμος Χανίων στην Δυτική Κρήτη, η πόλη του Ρεθύμνου στην Κεντρική Κρήτη, η πόλη του Ηρακλείου στην Βόρεια Κρήτη, η Ιεράπετρα Λασιθίου στην Νότια Κρήτη και η Σητεία Λασιθίου στην Ανατολική Κρήτη.

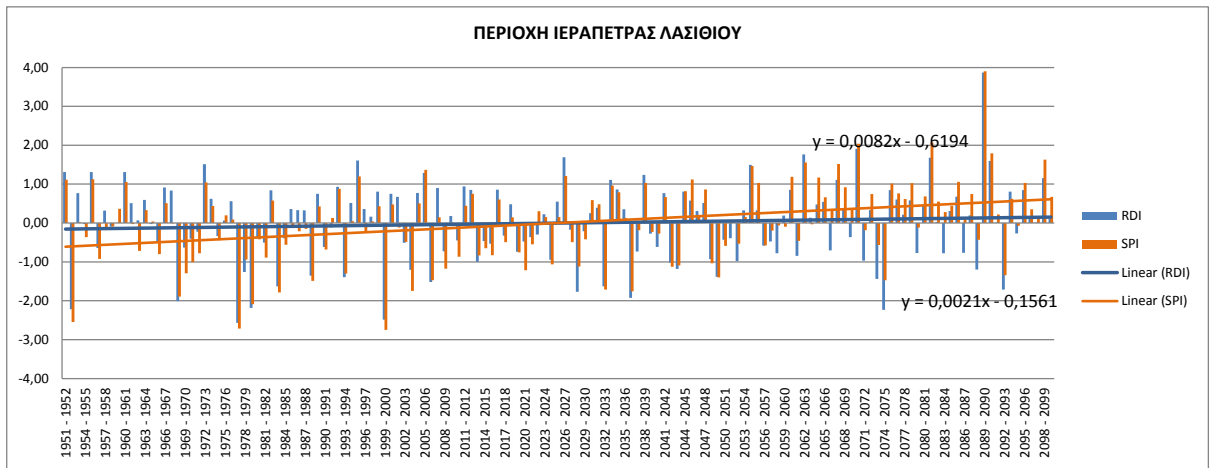
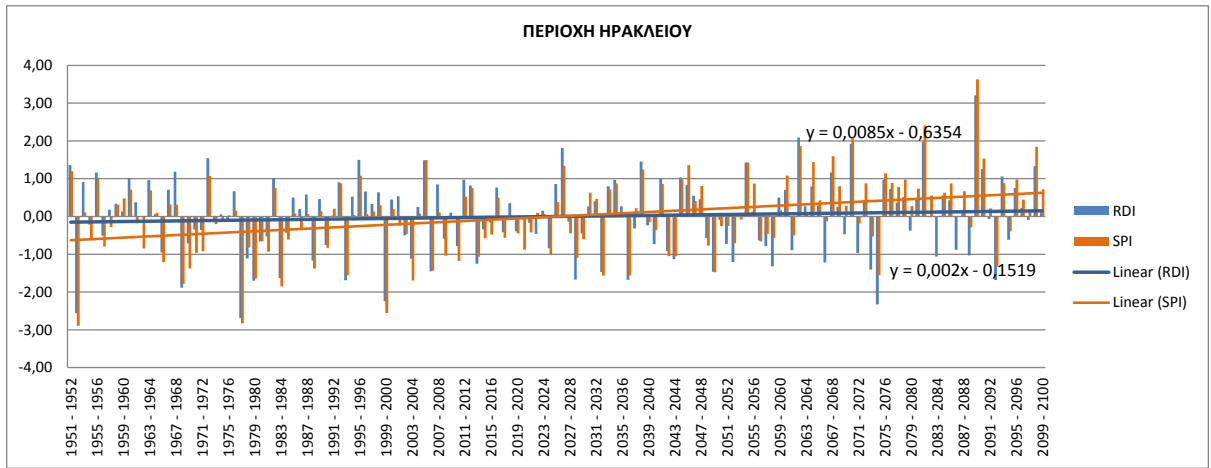
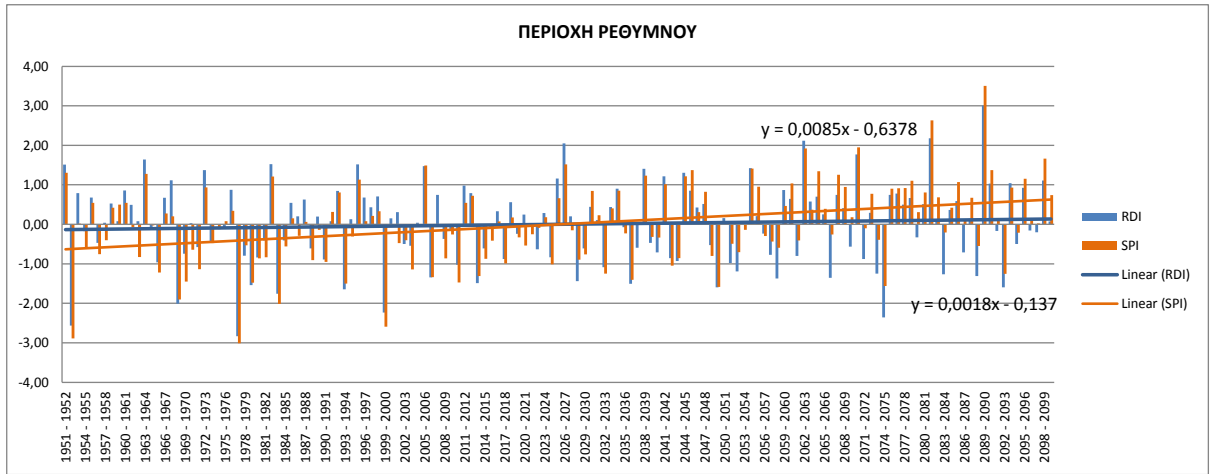
4.3.1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ RDI/SPI

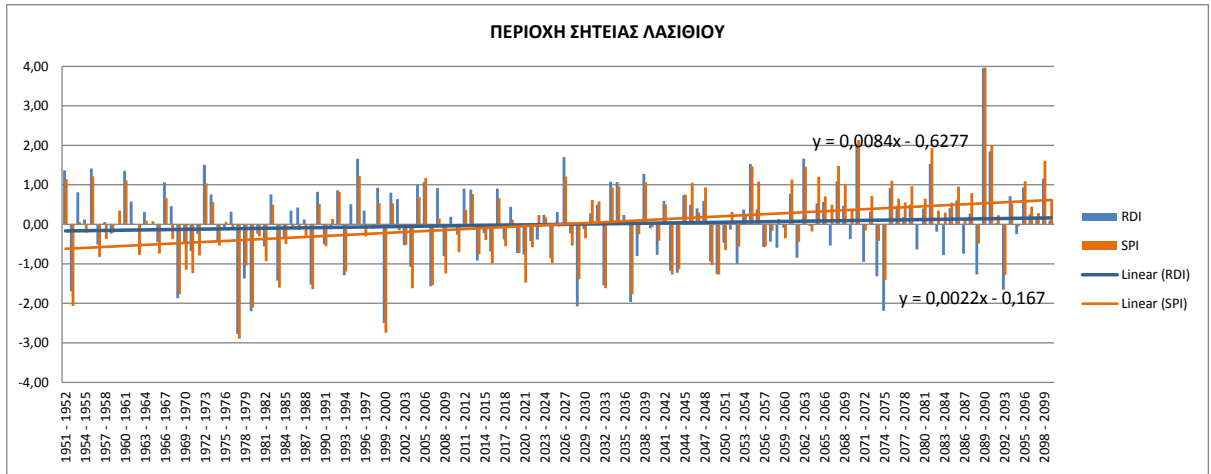
Για κάθε ένα από τα τρία μοντέλα (RACMO2, REMO και HadRM3Q0) έγινε σύγκριση για τα έτη 1951-2100 των εξαγόμενων από το DrinC δεικτών ξηρασίας RDI και SPI.

Σημειώνεται ότι οι δείκτες ξηρασίας RDI και SPI χρησιμοποιούνται και αξιολογούνται σε αυτή την διπλωματική εργασία ως κλιματικοί δείκτες, για τον γενικότερο εντοπισμό του φαινομένου της ξηρασίας αλλά και τον χαρακτηρισμό των γεγονότων αυτής.

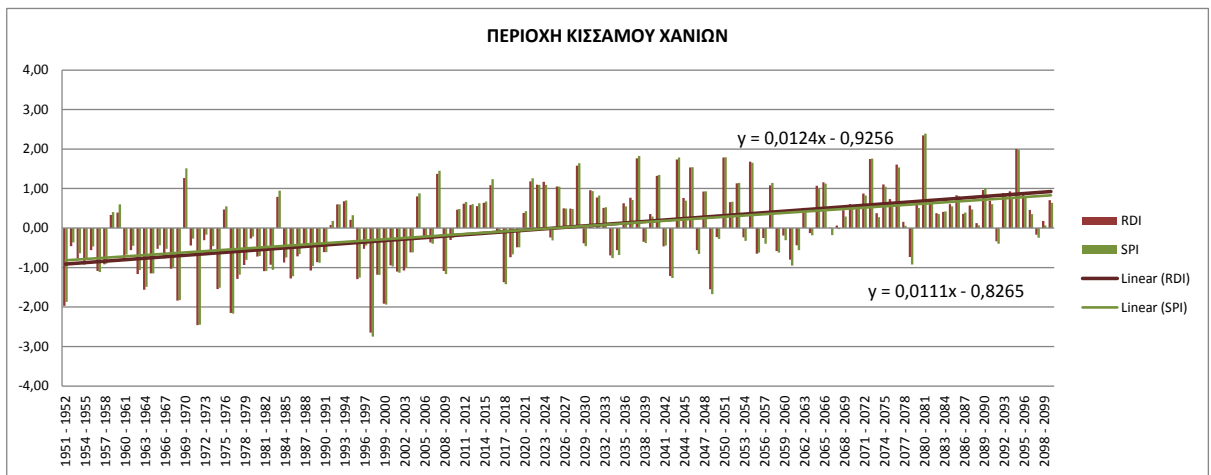
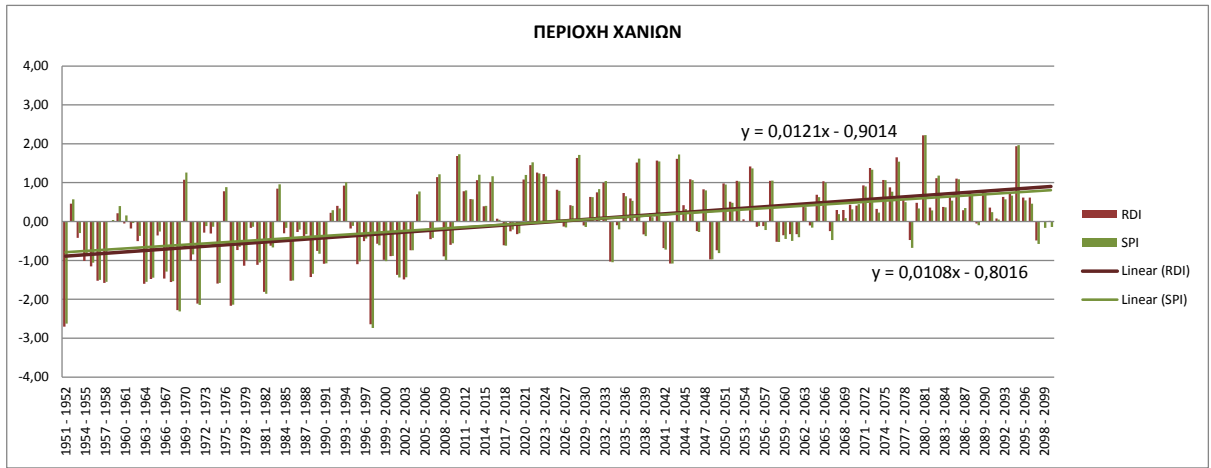
- Μοντέλο RACMO2

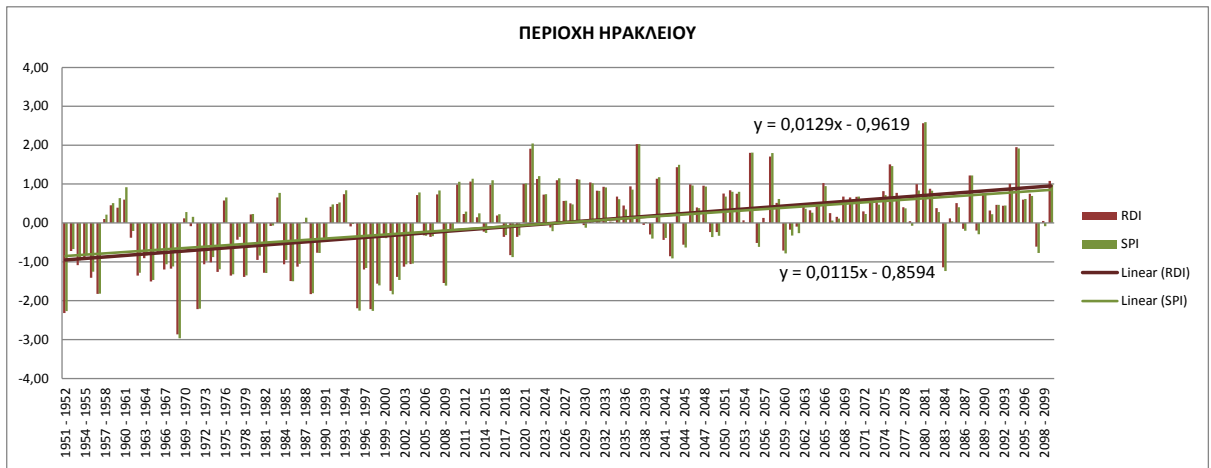
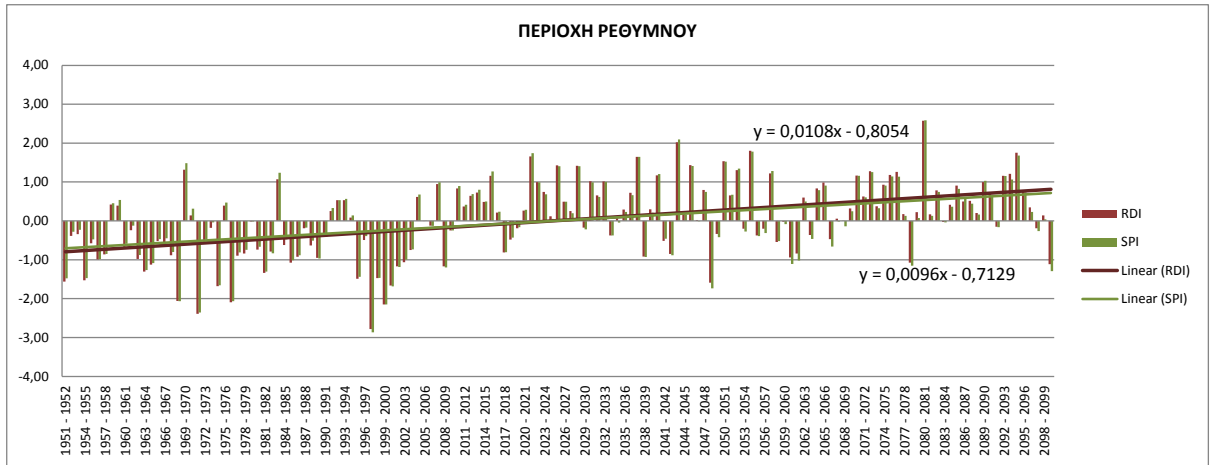


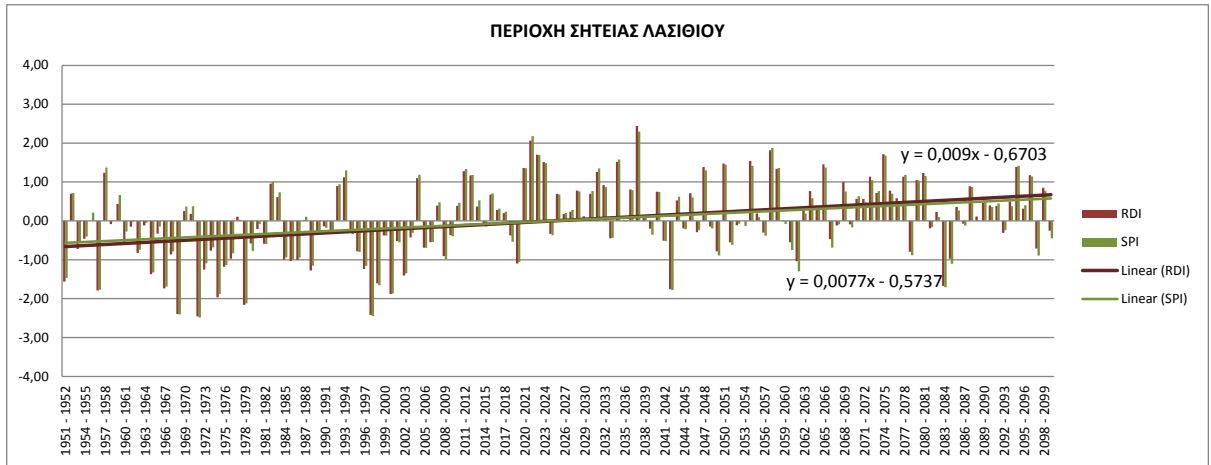




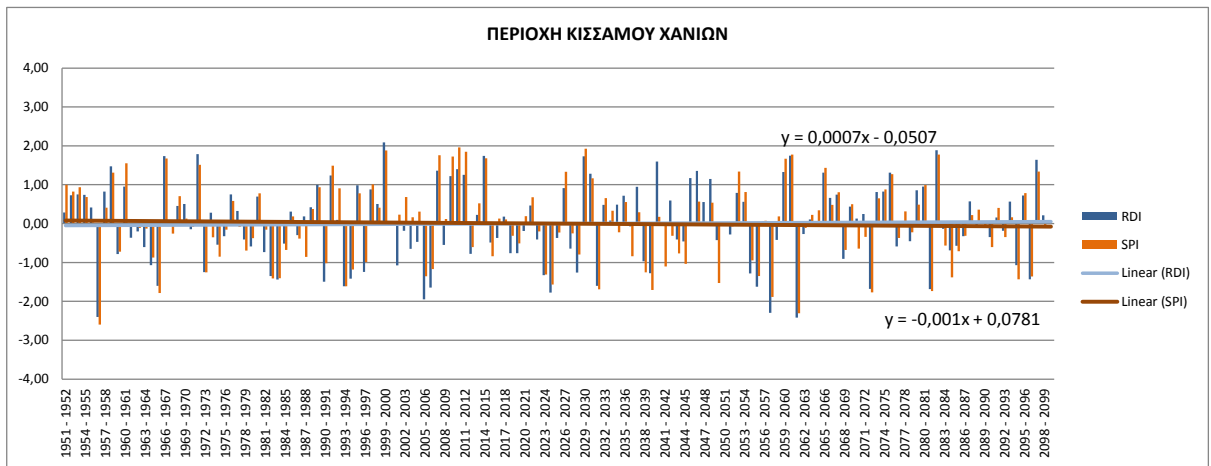
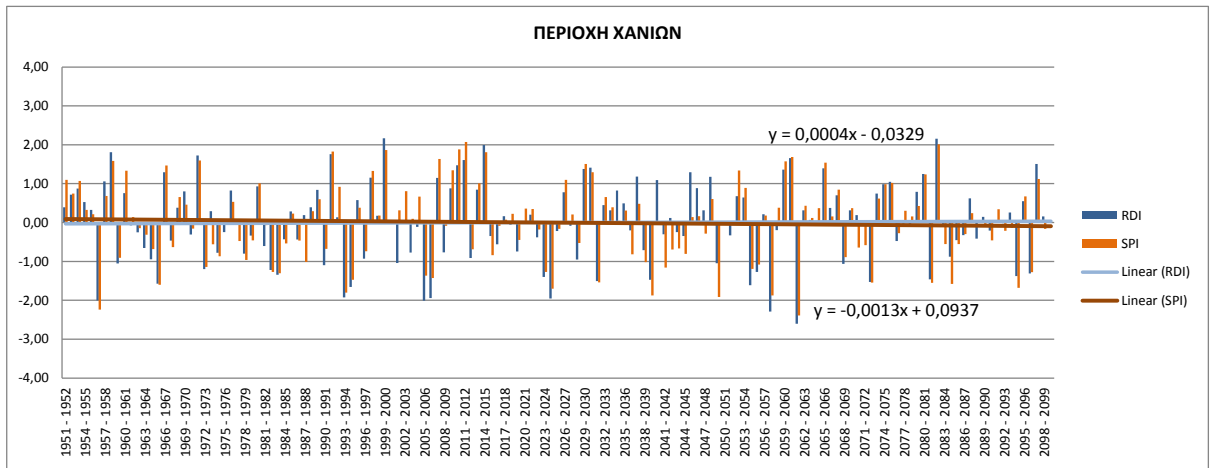
- Μοντέλο REMO

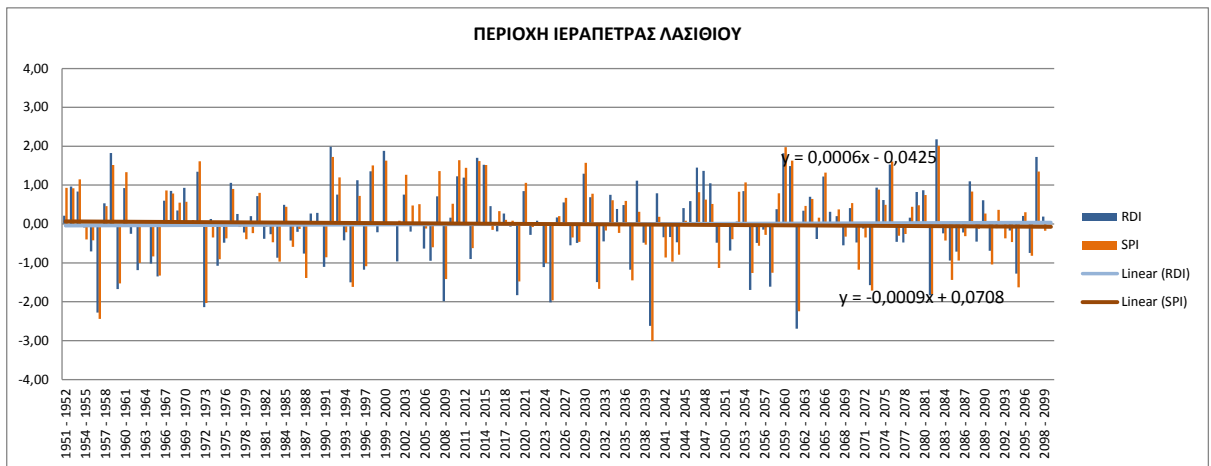
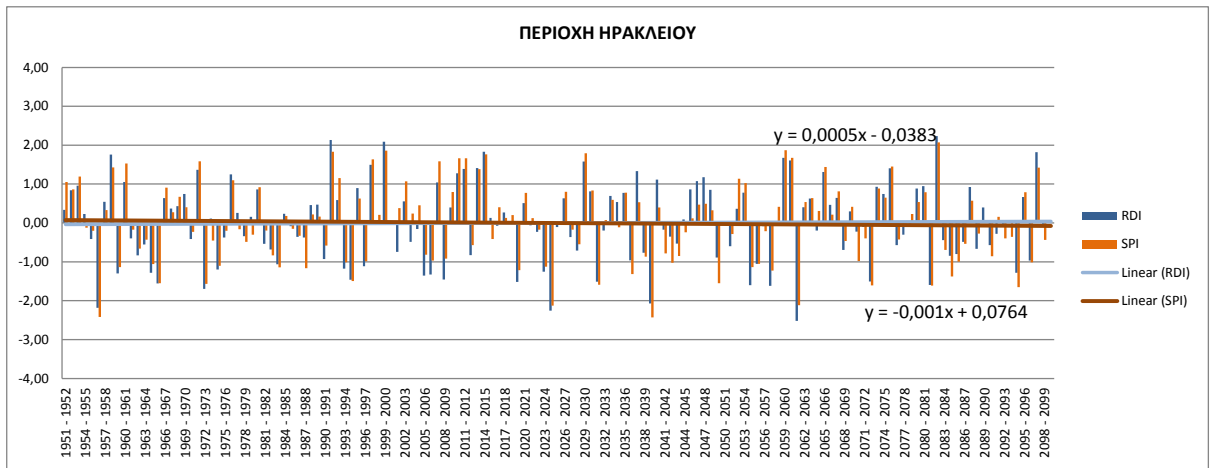
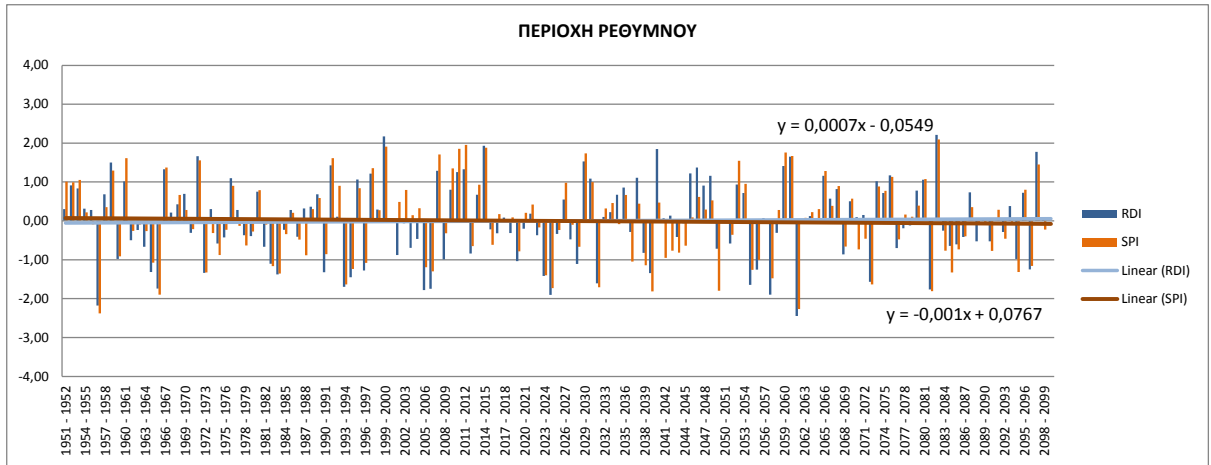


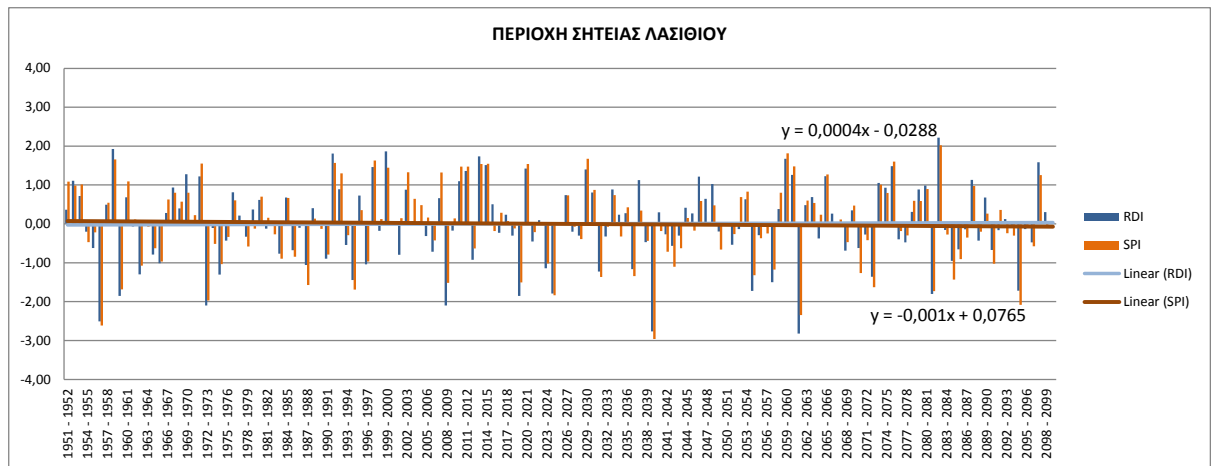




- Μοντέλο HadRM3Q0







Για καθένα από τα μοντέλα και δείκτη ξηρασίας έγινε έλεγχος Mann-Kendall, δικατάληκτος, με ορισμένο επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$. Κατά τον έλεγχο υπολογίζεται η τιμή p -value και συγκρίνεται με την τιμή α , αν p -value < α τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, δηλαδή η υπόθεση για μη ύπαρξη τάσης στο δείγμα, ενώ δίνεται και η μη παραμετρική εκτίμηση κλίσης για μονοδιάστατες χρονοσειρες, sen 's slope.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

- RACMO2

ΗΡΑΚΛΕΙΟ	RDI	SPI	ΡΕΘΥΜΝΟ	RDI	SPI
p-value	0.598	< 0.0001	p-value	0.578	< 0.0001
sen's slope	9.637E-4	0.008	sen's slope	0.001	0.008
Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Απορρίπτεται
ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	RDI	SPI	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	RDI	SPI
p-value	0.508	< 0.0001	p-value	0.666	< 0.0001
sen's slope	0.001	0.008	sen's slope	7.209E-4	0.007
Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Απορρίπτεται
ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	RDI	SPI	ΧΑΝΙΑ	RDI	SPI
p-value	0.508	< 0.0001	p-value	0.373	< 0.0001
sen's slope	0.001	0.008	sen's slope	0.002	0.008
Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Απορρίπτεται

- REMO

ΗΡΑΚΛΕΙΟ	RDI	SPI	ΡΕΘΥΜΝΟ	RDI	SPI
p-value	< 0.0001	< 0.0001	p-value	< 0.0001	< 0.0001
sen's slope	0.012	0.011	sen's slope	0.011	0.009
Ho (μηδενική υπόθεση)	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται
ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	RDI	SPI	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	RDI	SPI
p-value	< 0.0001	< 0.0001	p-value	< 0.0001	0.002
sen's slope	0.012	0.011	sen's slope	0.008	0.006
Ho (μηδενική υπόθεση)	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται
ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	RDI	SPI	ΧΑΝΙΑ	RDI	SPI
p-value	< 0.0001	< 0.0001	p-value	< 0.0001	0.002
sen's slope	0.009	0.008	sen's slope	0.012	0.01
Ho (μηδενική υπόθεση)	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Απορρίπτεται	Απορρίπτεται

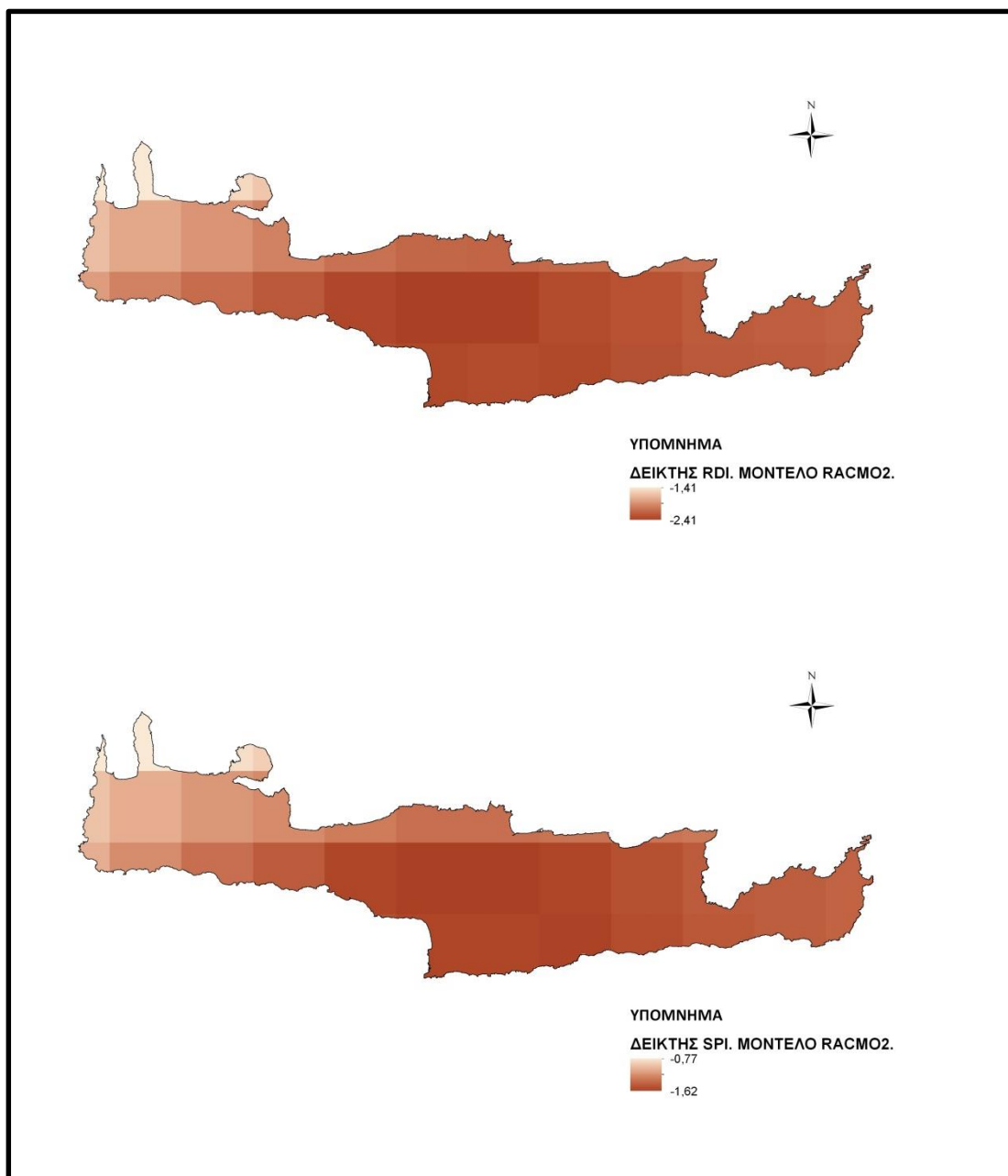
- HadRM3Q0

ΗΡΑΚΛΕΙΟ	RDI	SPI	ΡΕΘΥΜΝΟ	RDI	SPI
p-value	0.949	0.443	p-value	0.970	0.457
sen's slope	1.370E-4	-0.002	sen's slope	1.185E-4	-0.002
Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται
ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	RDI	SPI	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	RDI	SPI
p-value	0.766	0.434	p-value	0.983	0.409
sen's slope	6.305E-4	-0.002	sen's slope	-6.695E-5	-0.002
Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται
ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	RDI	SPI	ΧΑΝΙΑ	RDI	SPI
p-value	0.925	0.391	p-value	0.894	0.391
sen's slope	-2.136E-4	-0.002	sen's slope	2.380E-4	-0.002
Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Ho (μηδενική υπόθεση)	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

4.3.2. ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΣΕ ΕΤΟΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

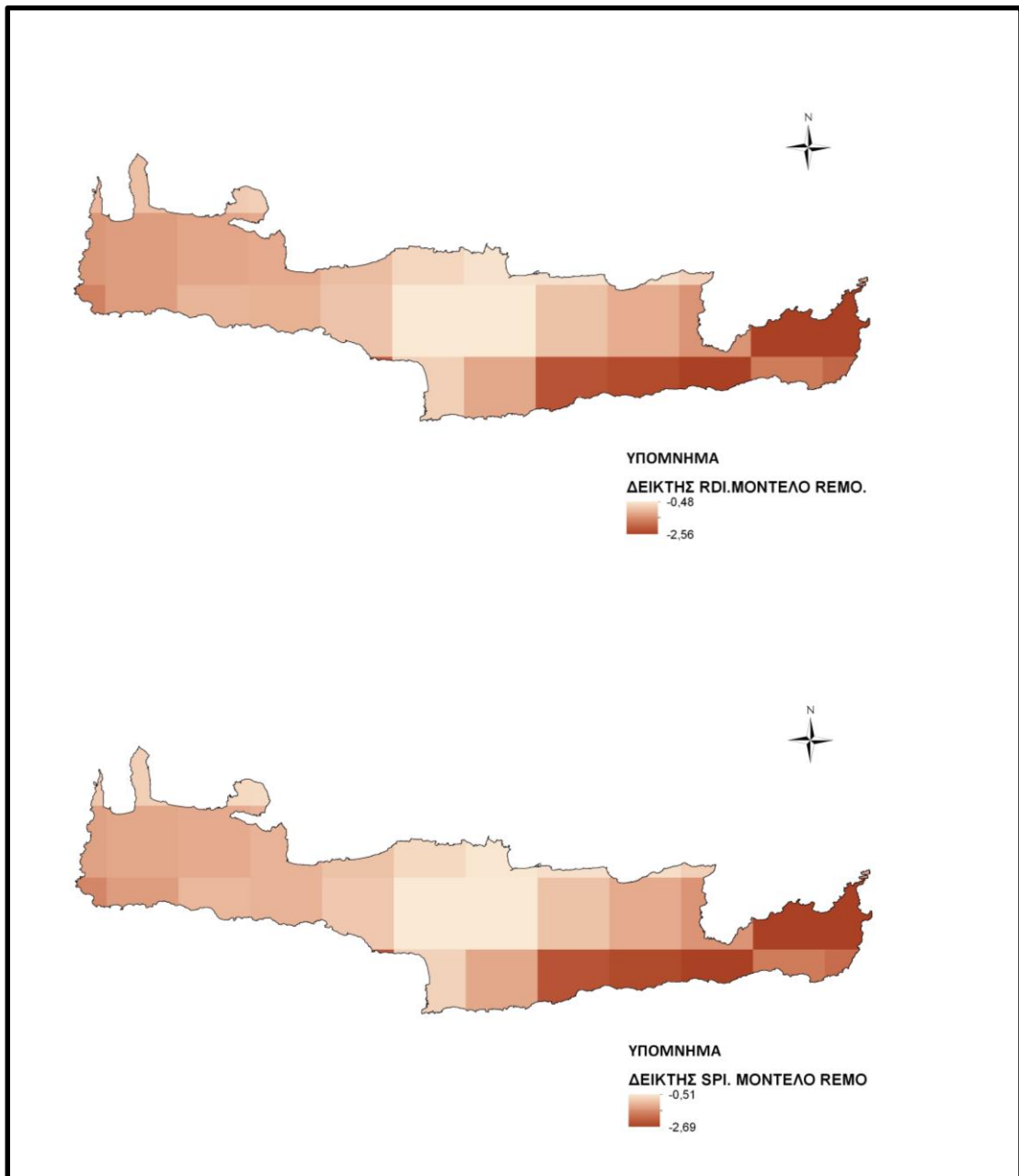
Για κάθε ένα από τα τρία μοντέλα επιλέγεται ένα έτος κατά το οποίο παρατηρείται σοβαρή ξηρασία (RDI ή SPI < -1,5) σε ολόκληρο το εύρος της Κρήτης και απεικονίζεται γραφικά η διαβάθμιση βάσει των δεικτών ξηρασίας RDI και SPI.

- Μοντέλο RACMO2 (έτος 2074-2075)



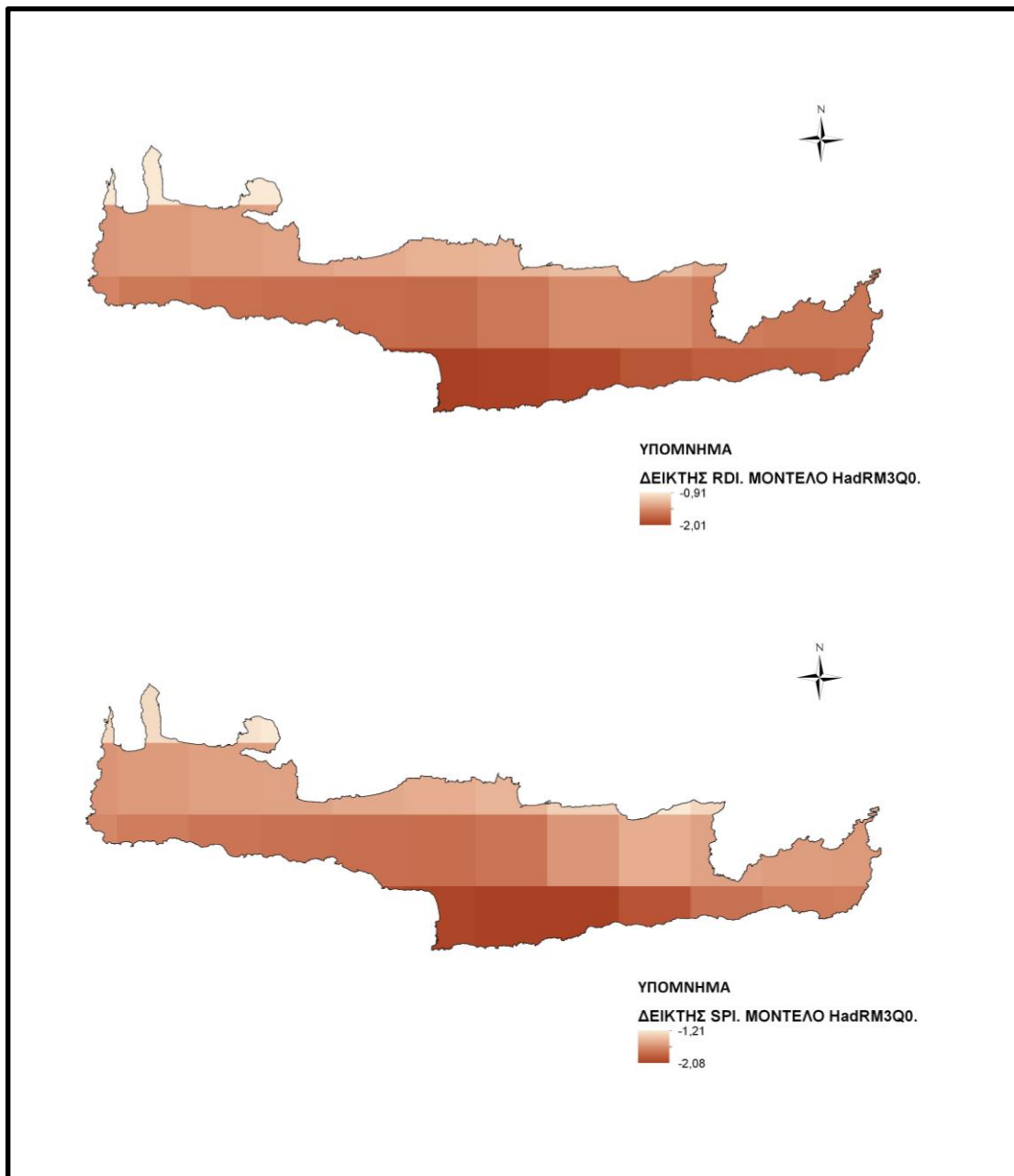
Εικόνα 3. 3. Γραφική διαβαθμηση των δεικτών RDI και SPI σε ολο το ευρος της Κρητης, για το μοντελο RACMO2, στο ξηρο ετος (2074-2075). Επεξεργασία σε περιβαλλον ArcGIS.

- Μοντέλο REMO (έτος 2042-2043)



Εικόνα 3. 4. Γραφική διαβαθμηση των δεικτών RDI και SPI σε ολο το ευρος της Κρητης, για το μοντελο REMO, στο ξηρό ετος (2042-2043). Επεξεργασία σε περιβαλλον ArcGIS.

- Μοντέλο HadRM3Q0 (έτος 2081-2082)



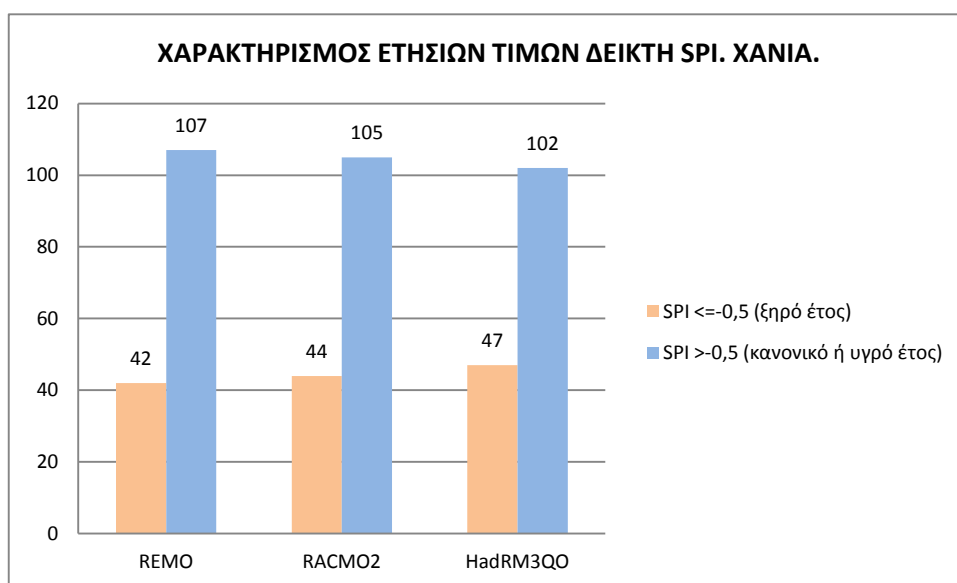
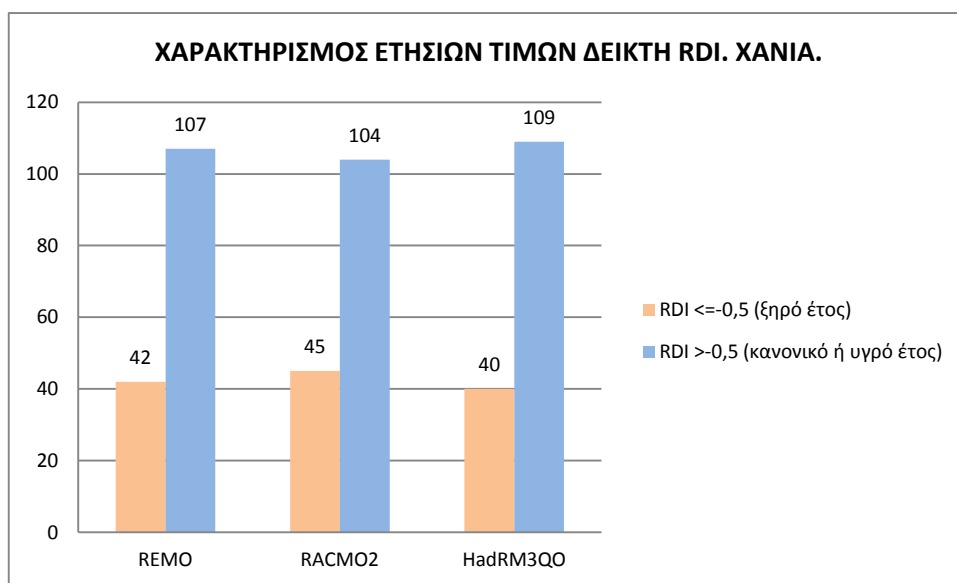
Εικόνα 3. 5. Γραφική διαβαθμηση των δεικτών RDI και SPI σε ολο το ευρος της Κρητης, για το μοντελο HadRM3Q0, στο ξηρο ετος (2081-2082). Επεξεργασία σε περιβαλλον ArcGIS.

4.3.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

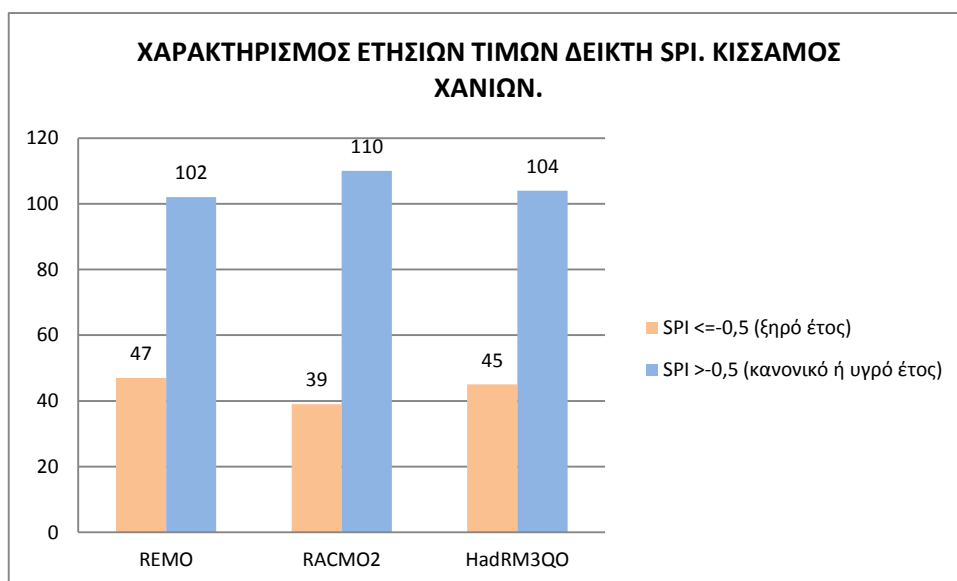
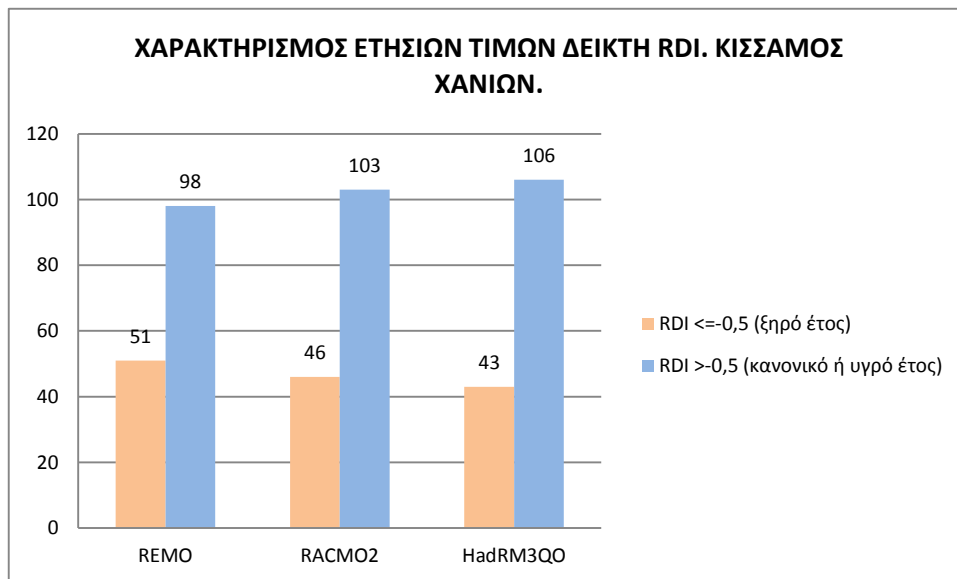
Για κάθε μία από τις ενδεικτικά επιλεγμένες περιοχές, ορίζοντας ως όριο την τιμή δείκτη -0,5 γίνεται αξιολόγηση των ετήσιων τιμών των δεικτών και καταμετρώνται τα ξηρά έτη αλλά και τα κανονικά ή υγρά έτη (τιμή δείκτη $\leq -0,5$ συνεπάγεται ξηρό έτος / τιμή δείκτη $> -0,5$ συνεπάγεται κανονικό ή υγρό έτος) για κάθε ένα από τα τρία μοντέλα, για τα 150 έτη του δείγματος και συγκρίνονται μεταξύ τους.

Η διαδικασία πραγματοποιείται και για τους δυο υπολογισμένους δείκτες ξηρασίας, RDI και SPI.

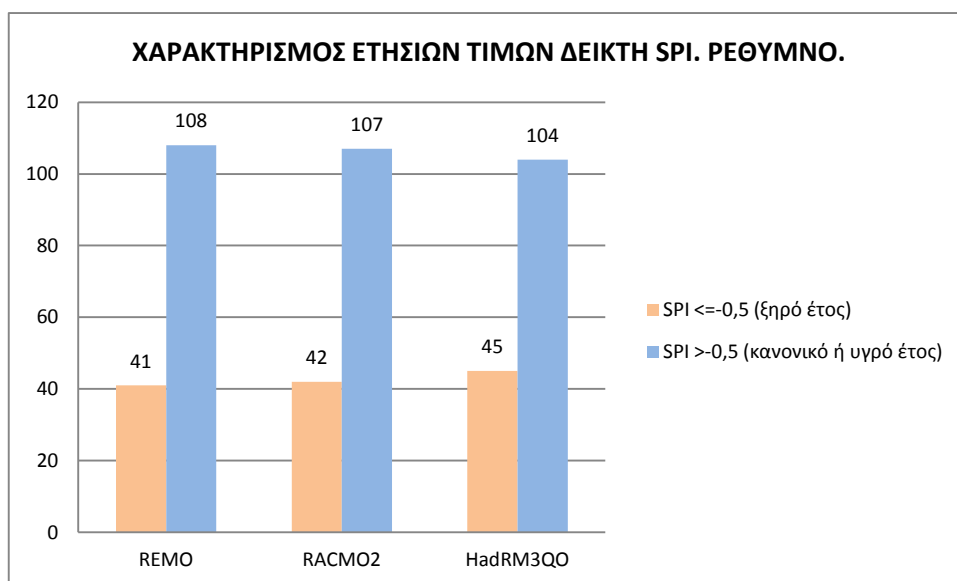
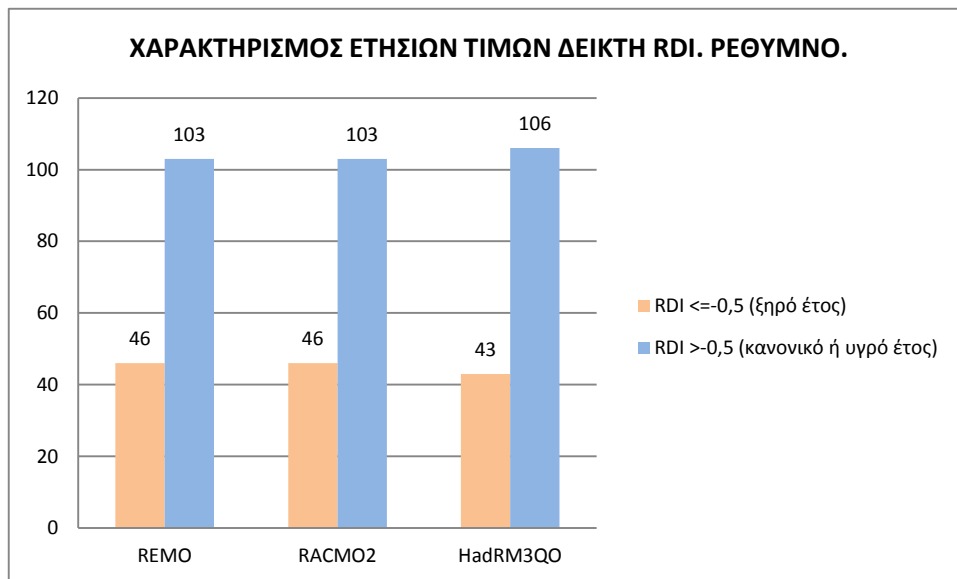
➤ ΧΑΝΙΑ



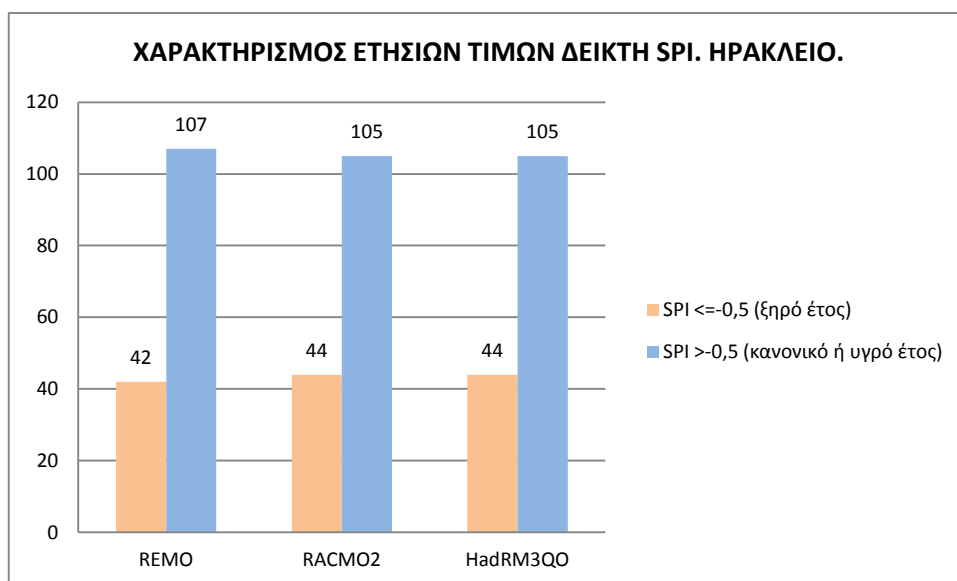
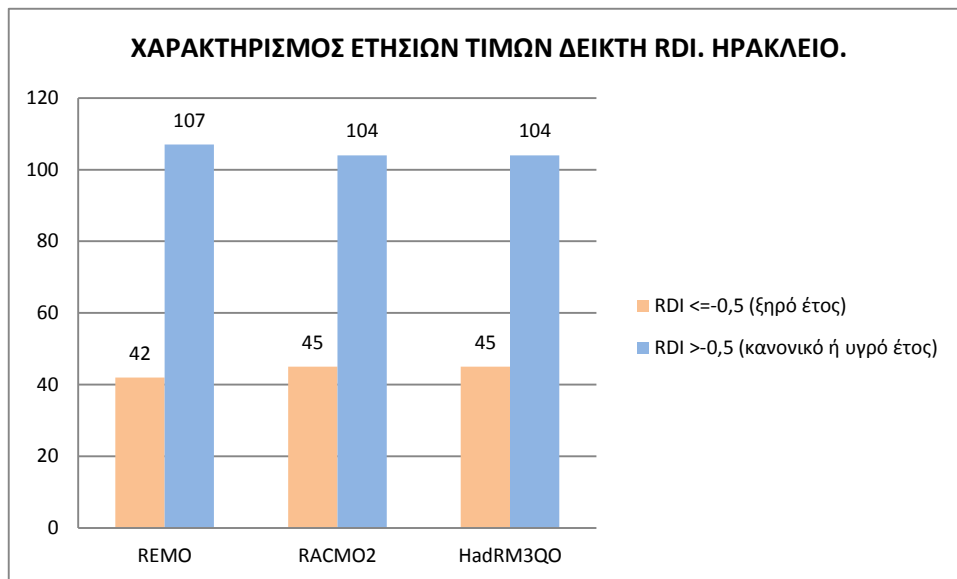
➤ ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ



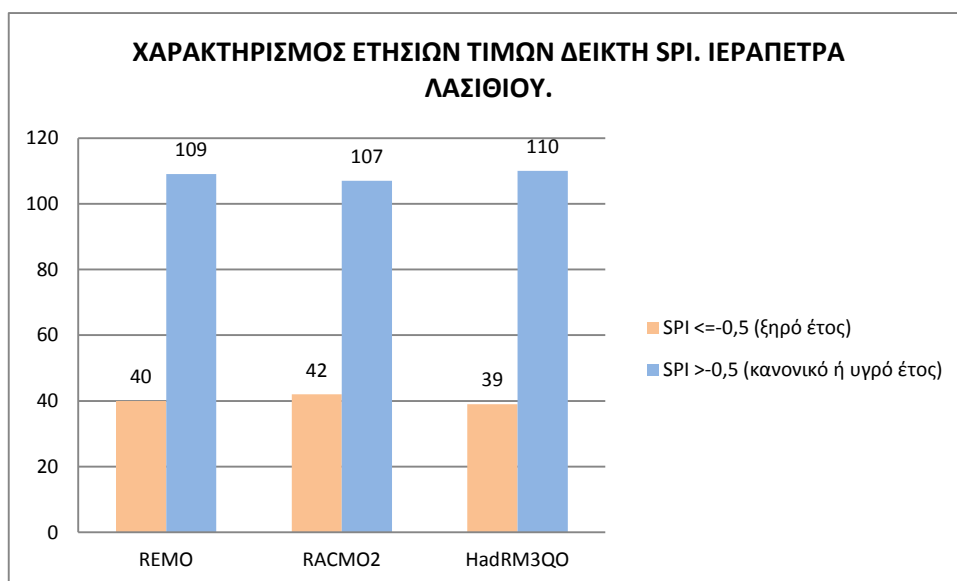
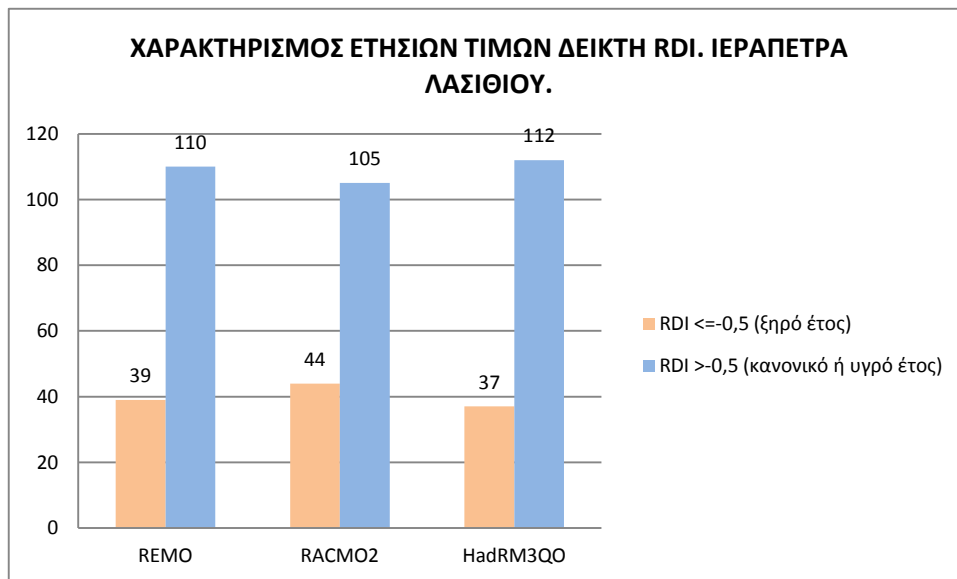
➤ ΡΕΘΥΜΝΟ



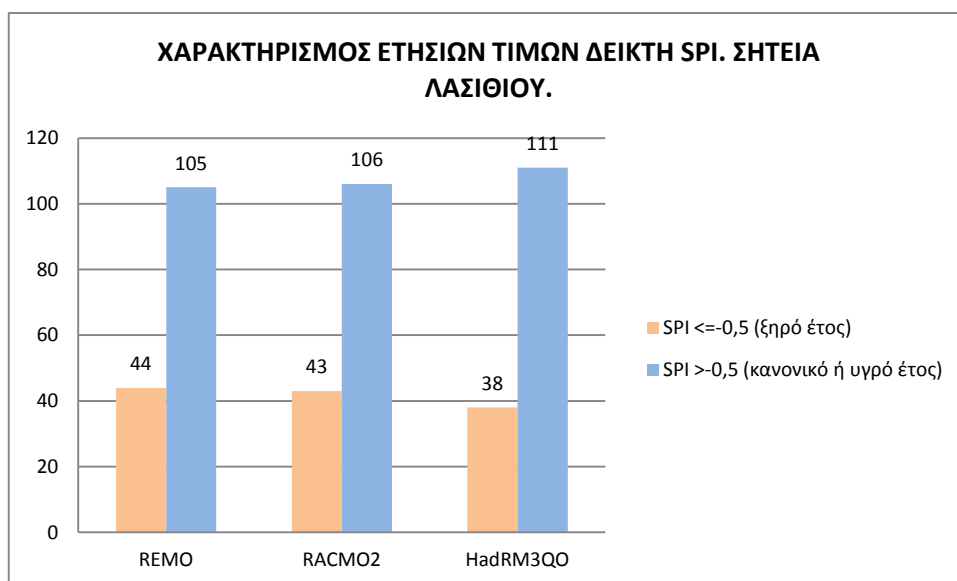
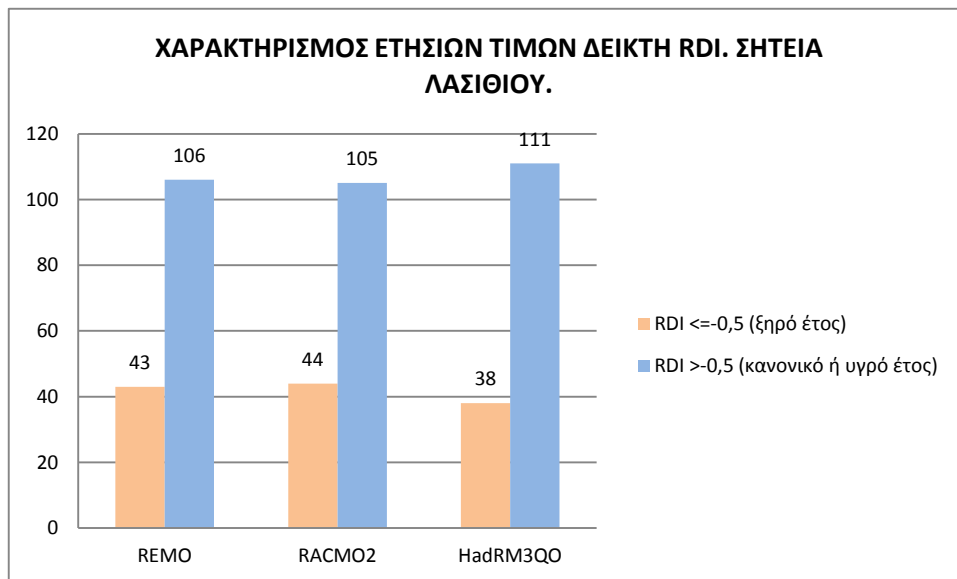
➤ ΗΡΑΚΛΕΙΟ



➤ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



➤ ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



Για τα ξηρά έτη γίνεται καταμέτρηση των γεγονότων βάσει του χαρακτηρισμού της ξηρασίας, και για τους δυο δείκτες RDI και SPI, χρησιμοποιώντας τα όρια:

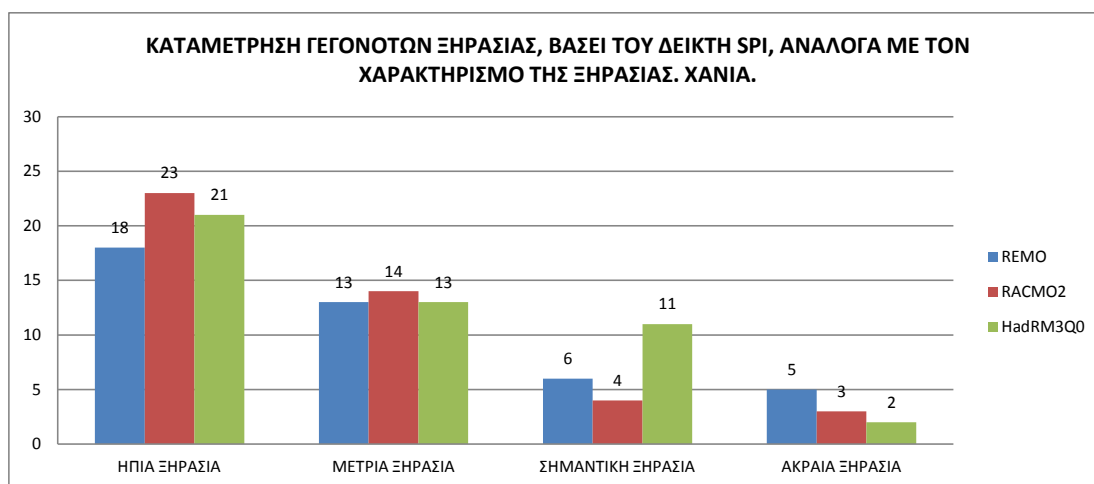
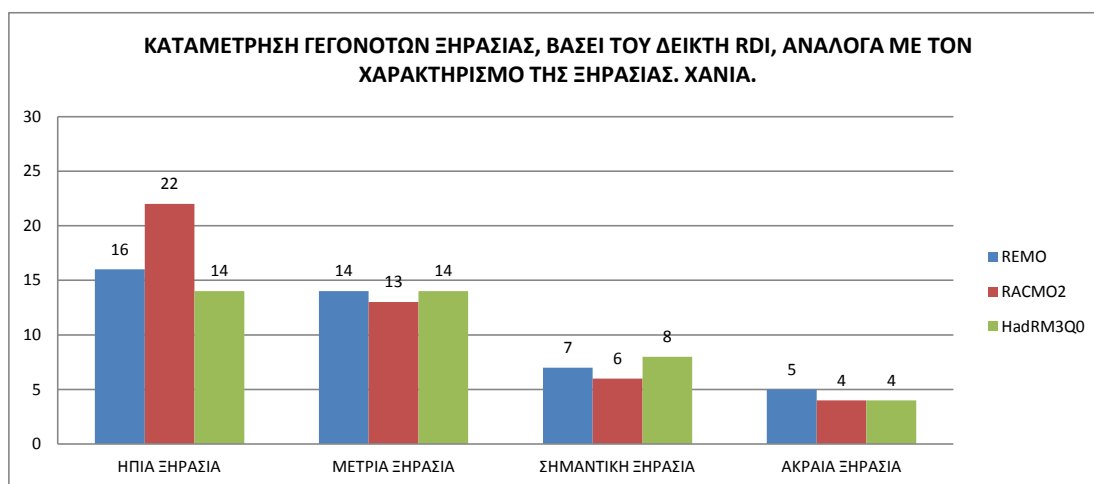
Από -0,5 έως -1 χαρακτηρίζεται ήπια ξηρασία (mild drought).

Από -1 έως -1,5 χαρακτηρίζεται μέτρια ξηρασία (moderate drought).

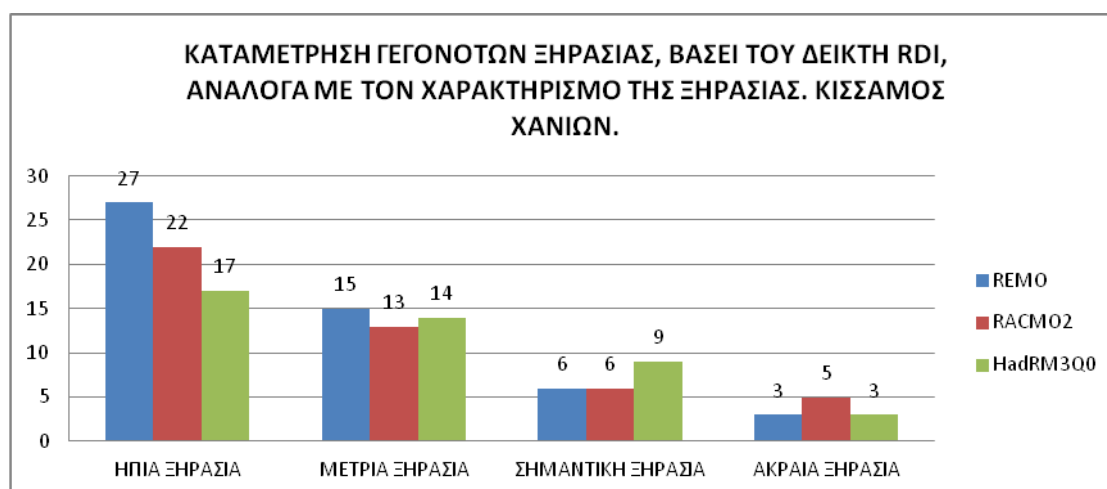
Από -1,5 έως -2 χαρακτηρίζεται σημαντική ξηρασία (severe drought).

Μικρότερο από -2 χαρακτηρίζεται ακραία ξηρασία (extreme drought).

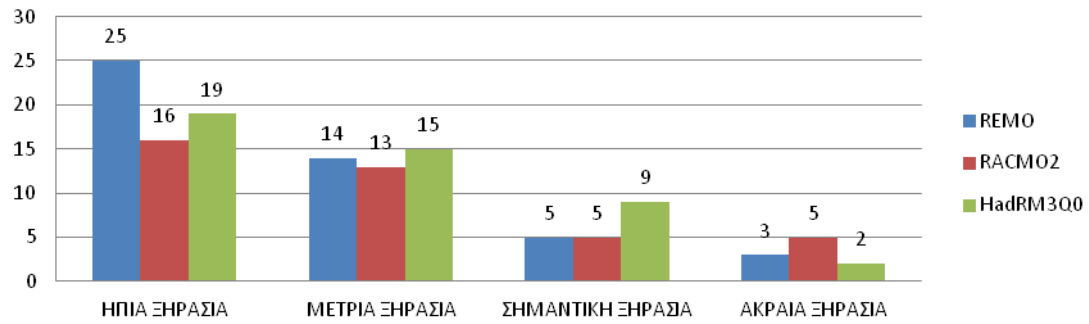
➤ ΧΑΝΙΑ



➤ ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ

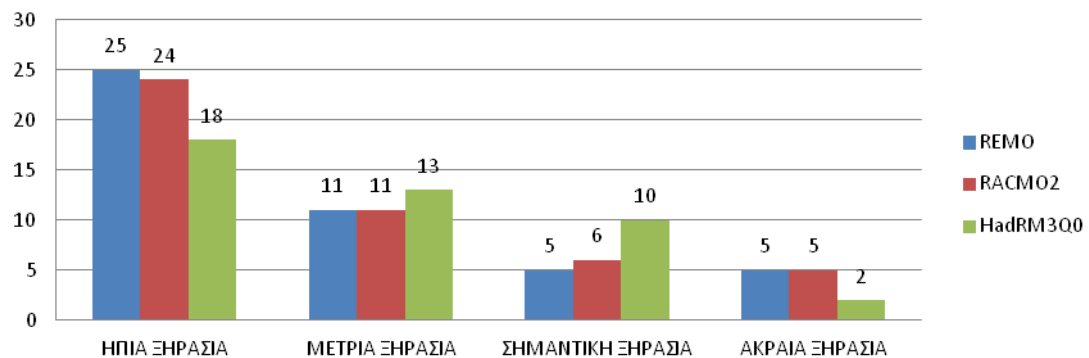


**ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ, ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI,
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ. ΚΙΣΣΑΜΟΣ
ΧΑΝΙΩΝ.**

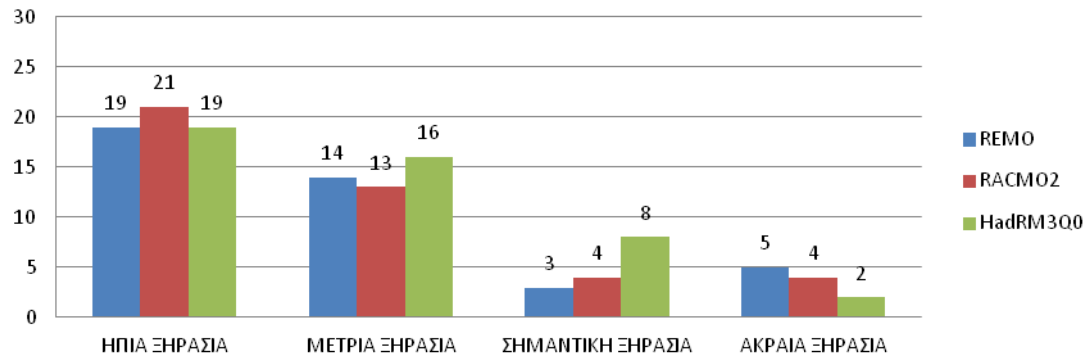


➤ ΡΕΘΥΜΝΟ

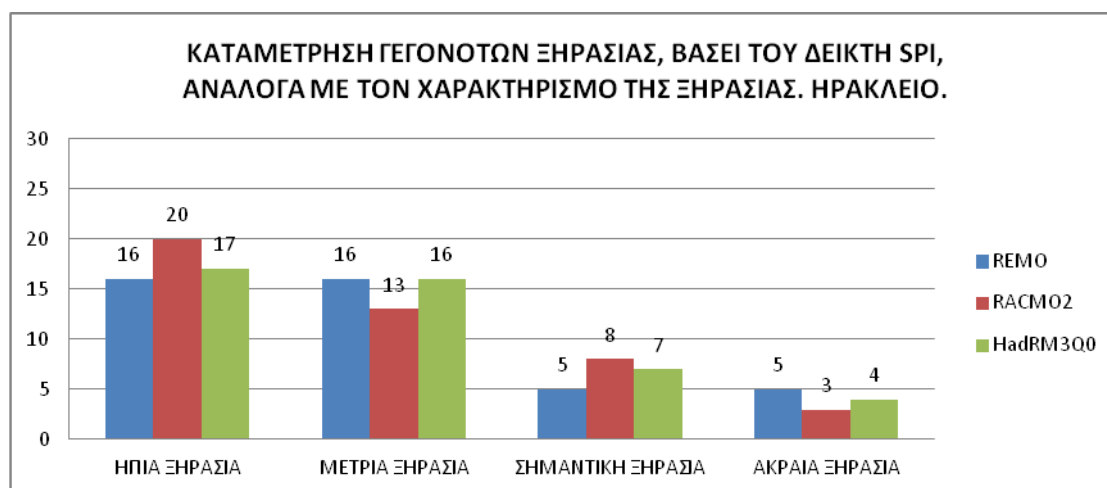
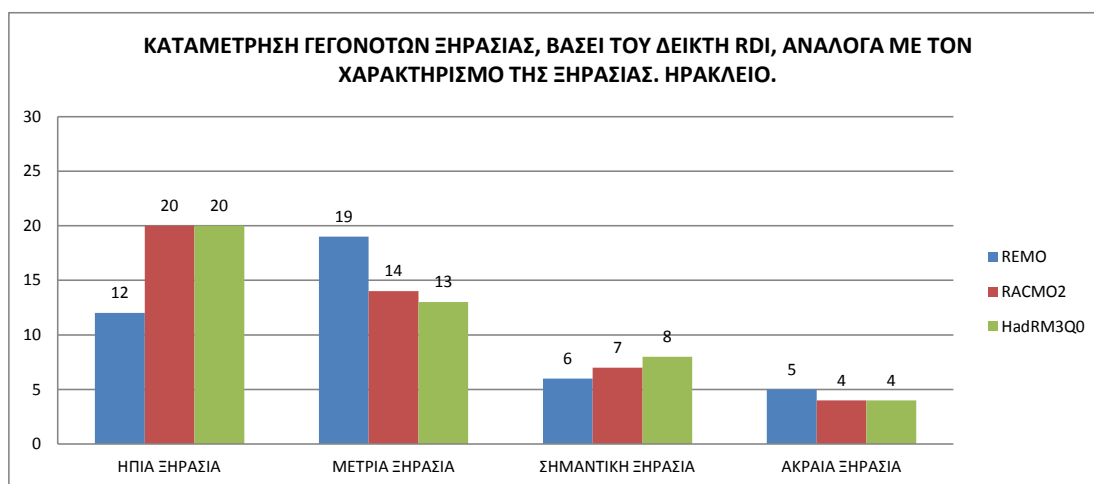
**ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ, ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ RDI,
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ. ΡΕΘΥΜΝΟ.**



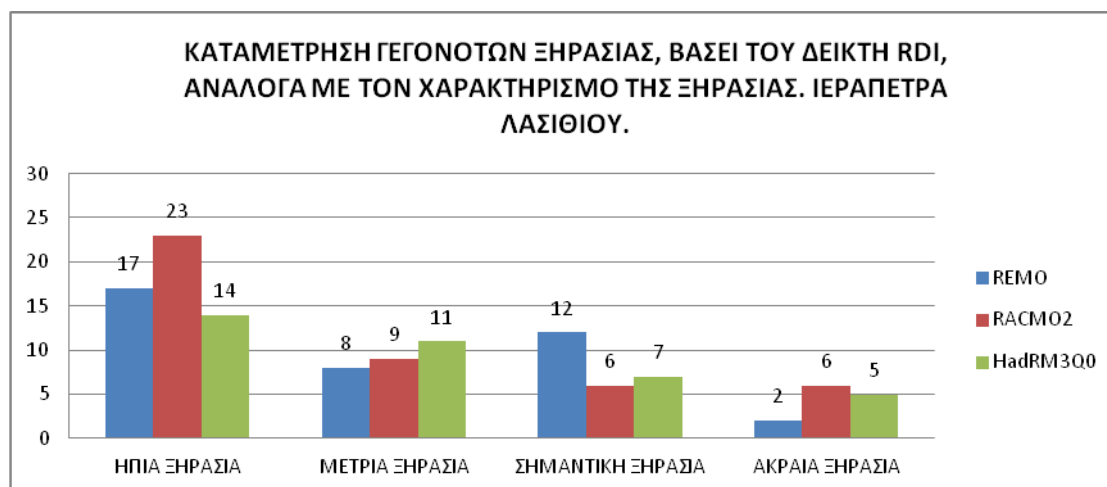
**ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ, ΒΑΣΕΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI,
ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ. ΡΕΘΥΜΝΟ.**

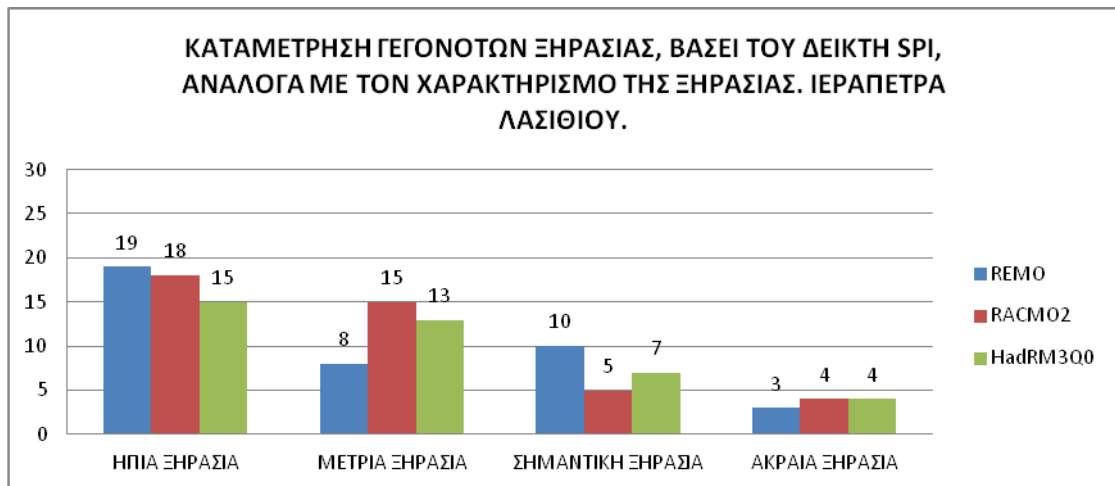


➤ ΗΡΑΚΛΕΙΟ

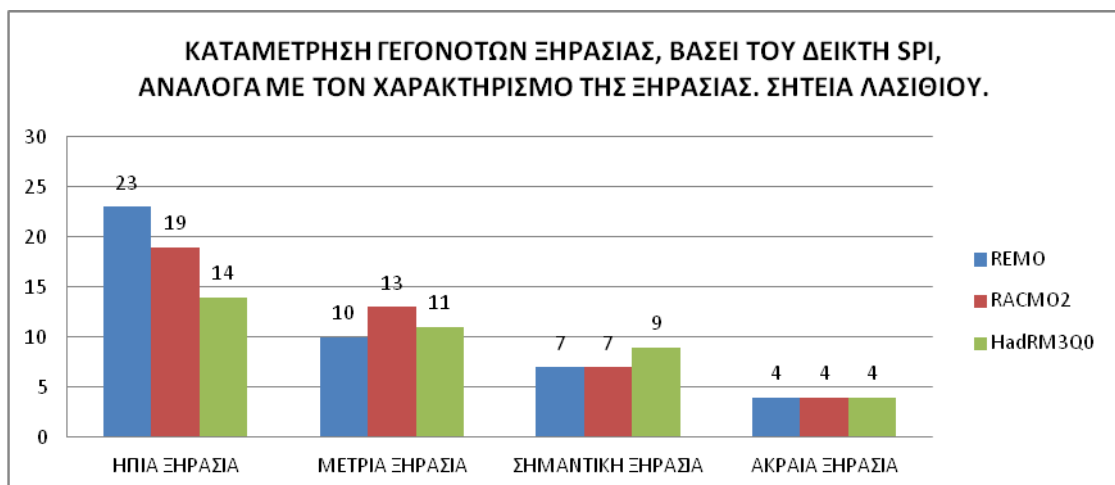
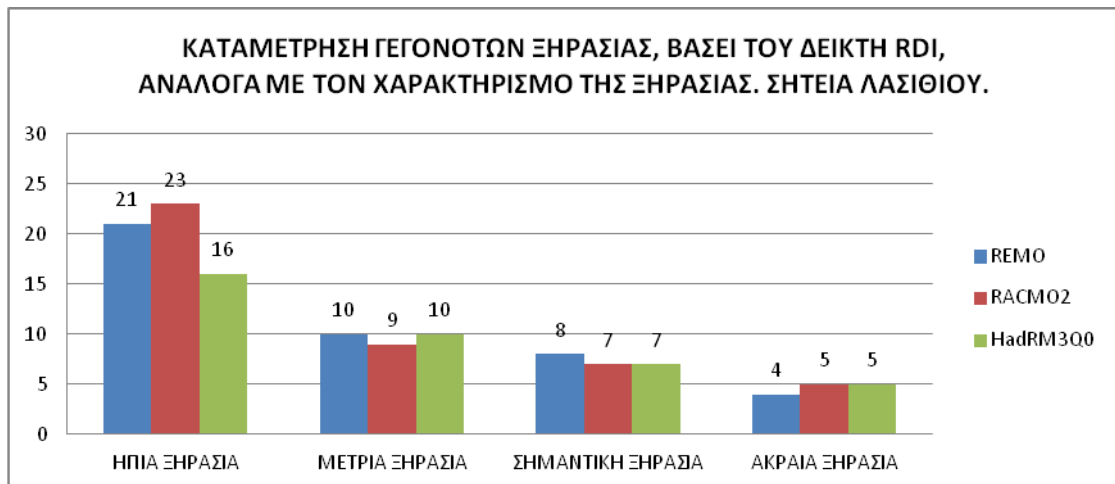


➤ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ





➤ ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ

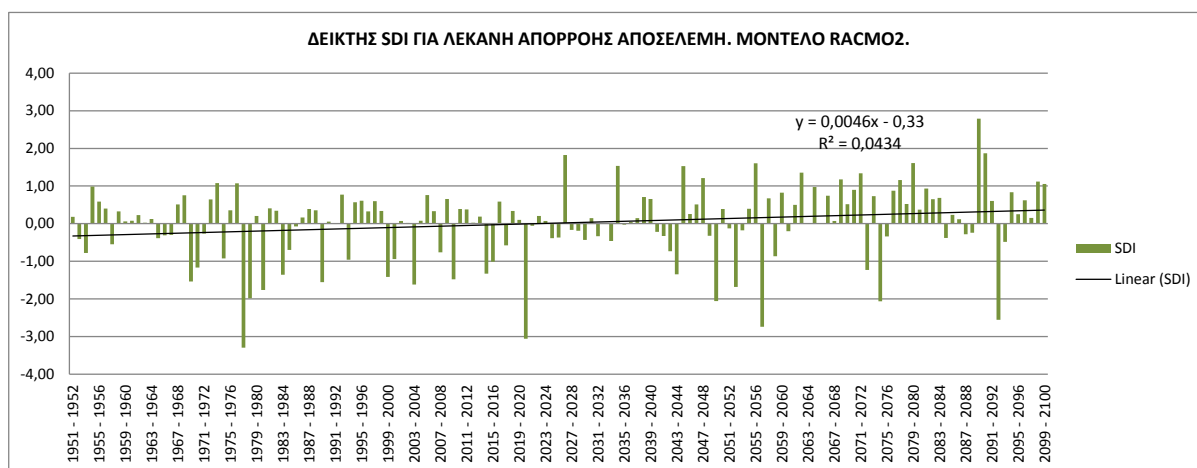
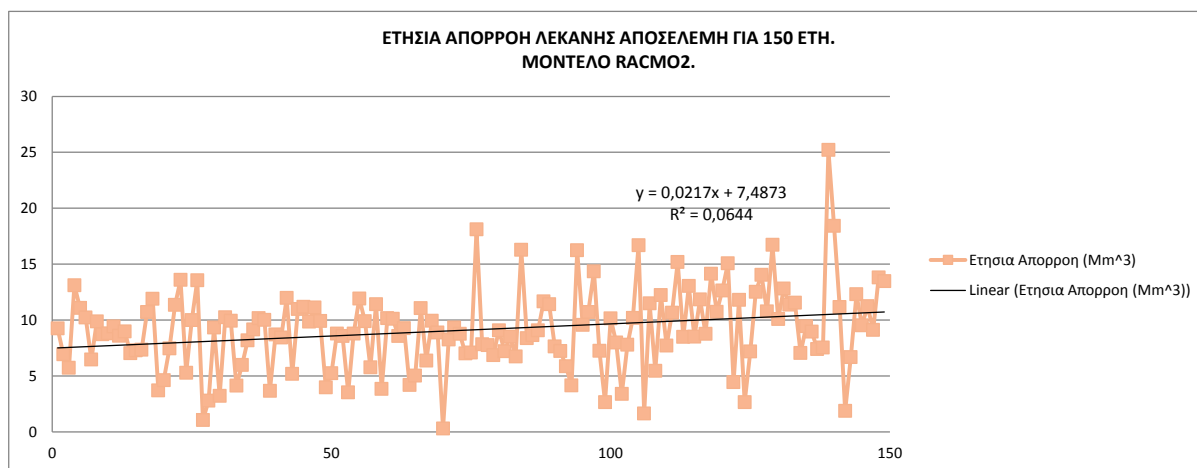


4.3.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ SDI

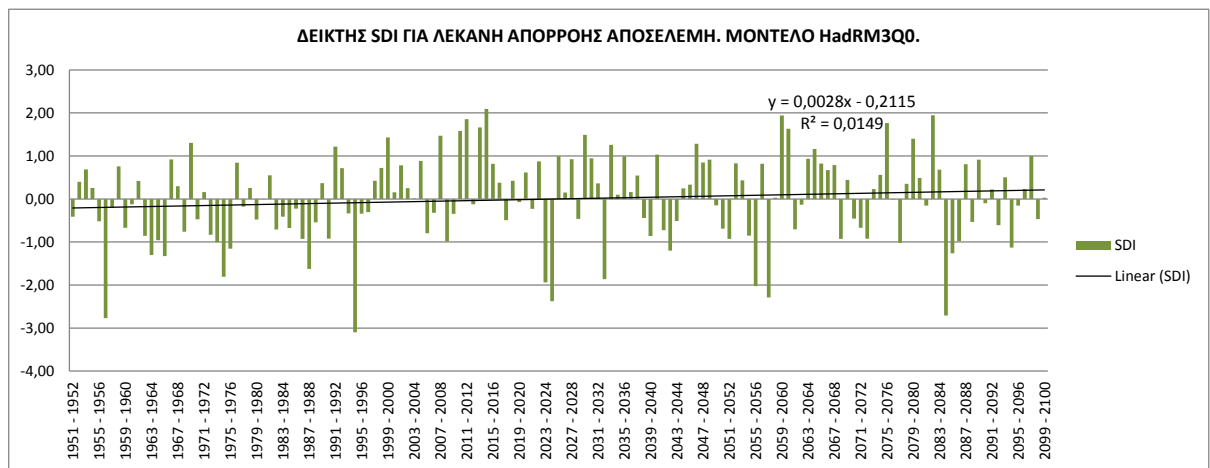
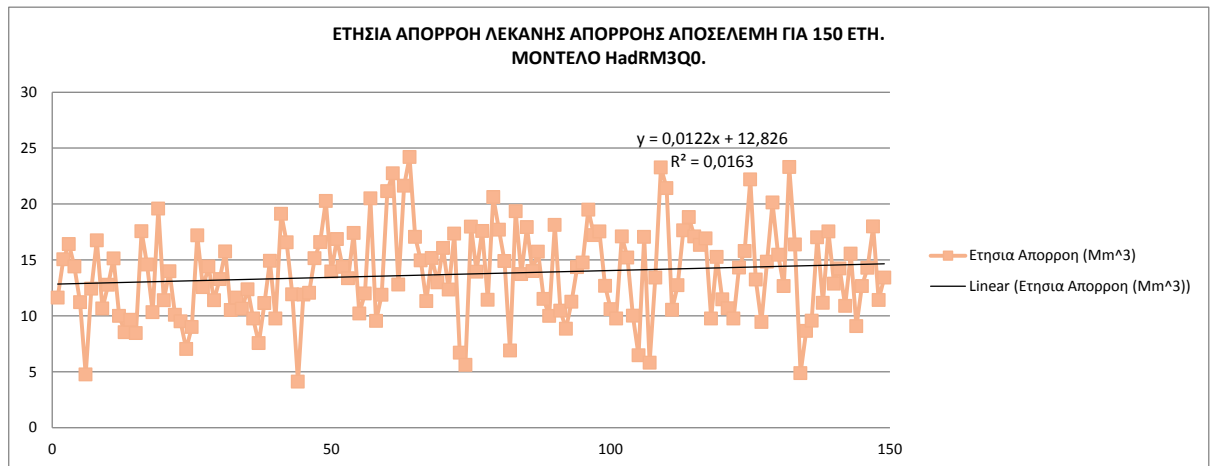
Για την εξαγωγή του δείκτη ξηρασίας SDI είναι απαραίτητη η ύπαρξη δεδομένων απορροής. Για τα δεδομένα απορροής, ως περιοχή αναφοράς ορίζεται η λεκάνη του Αποσελέμη που ανήκει στον νομό Ηρακλείου και χρησιμοποιείται το μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής Medbasin M για μηνιαία δεδομένα. Ως εισροές στο Mdebasin δόθηκαν τα μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής που προέκυψαν από κάθε κλιματικό μοντέλο και ως παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές από βαθμονόμηση του μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής σε προηγούμενο χρόνο για πραγματικές παρατηρήσεις βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής της περιοχής του Ηρακλείου. Αυτές είναι: $S_{max}=109$, $(CN=70)$ και $K=0,3$.

Σημειώνεται ότι χρησιμοποιώντας το κοινό σετ παραμέτρων και για τα τρία κλιματικά μοντέλα, στο μοντέλο REMO δεν προέκυψαν δεδομένα απορροής (και άρα και δείκτη SDI) λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης και υψηλής εξατμισοδιαπνοής.

- ΜΟΝΤΕΛΟ RACMO2

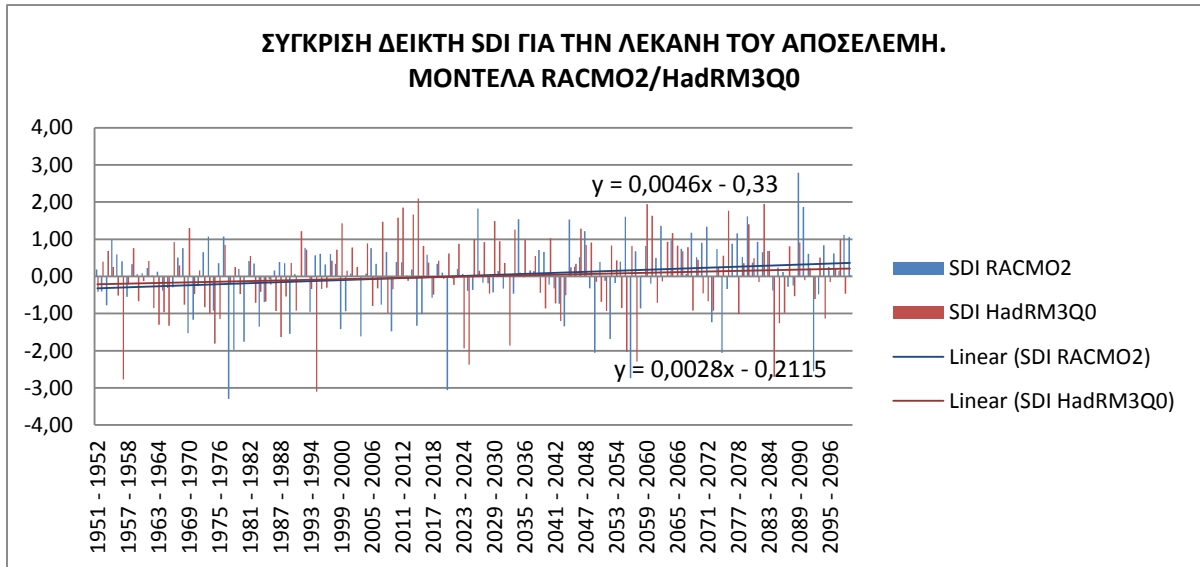


- ΜΟΝΤΕΛΟ HadRM3Q0



Ο έλεγχος Mann-Kendall, με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$, για τον δείκτη ξηρασίας SDI που υπολογίστηκε για τα δυο μοντέλα, όπως προέκυψε:

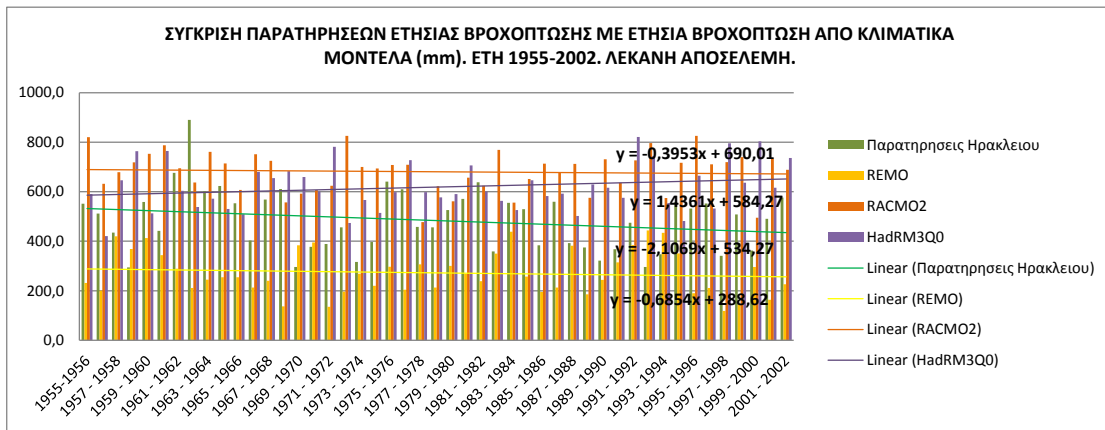
ΜΟΝΤΕΛΟ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)
RACMO2	0.007	0.004	Απορρίπτεται
HadRM3Q0	0.125	0.003	Δεν απορρίπτεται



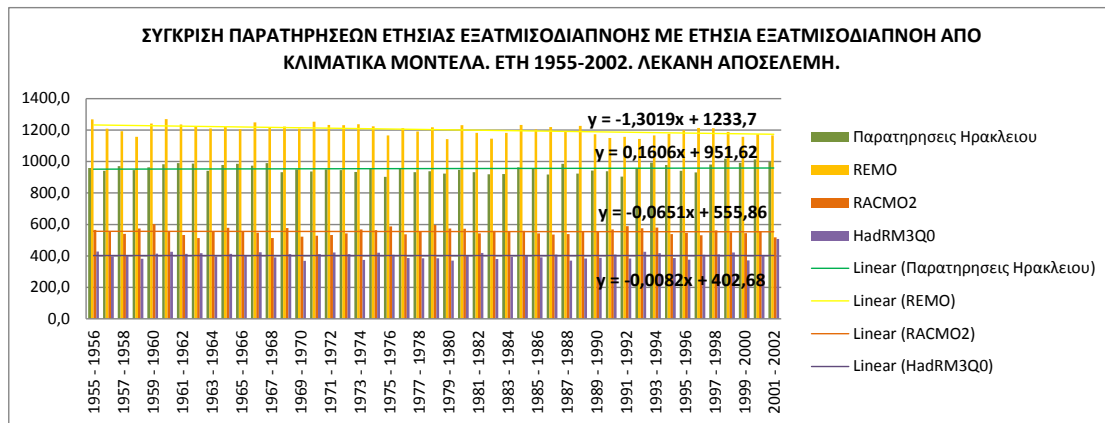
4.3.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΜΕ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΣΕΛΕΜΗ

Τα διαθέσιμα δεδομένα παρατηρήσεων βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής για την λεκάνη του Αποσελέμη στο Ηράκλειο, για τα έτη 1955-2002, συγκρίνονται με τις παραγόμενες χρονοσειρές από τα κλιματικά μοντέλα, REMO, RACMO2 και HadRM3Q0, βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής αντίστοιχα.

- Βροχόπτωση



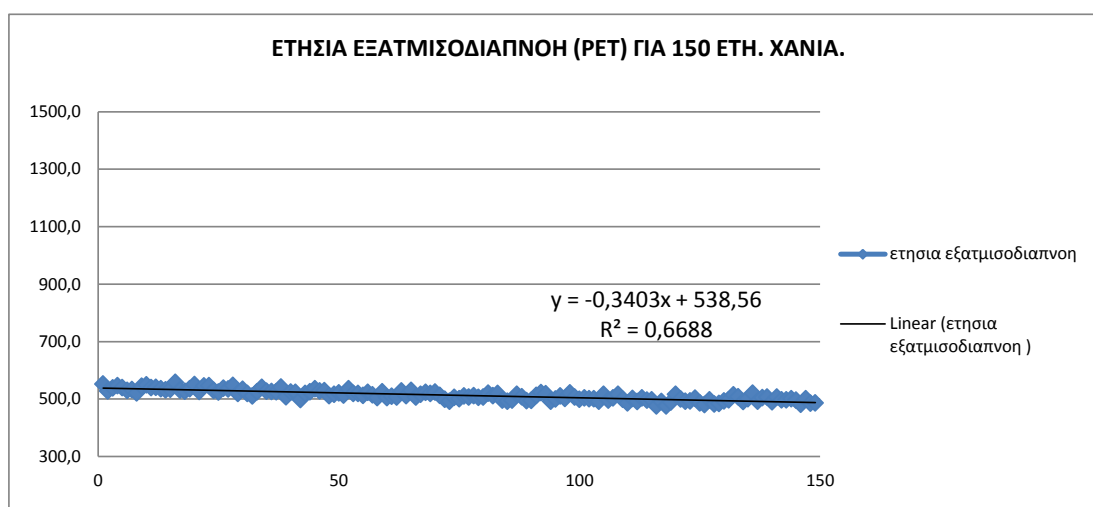
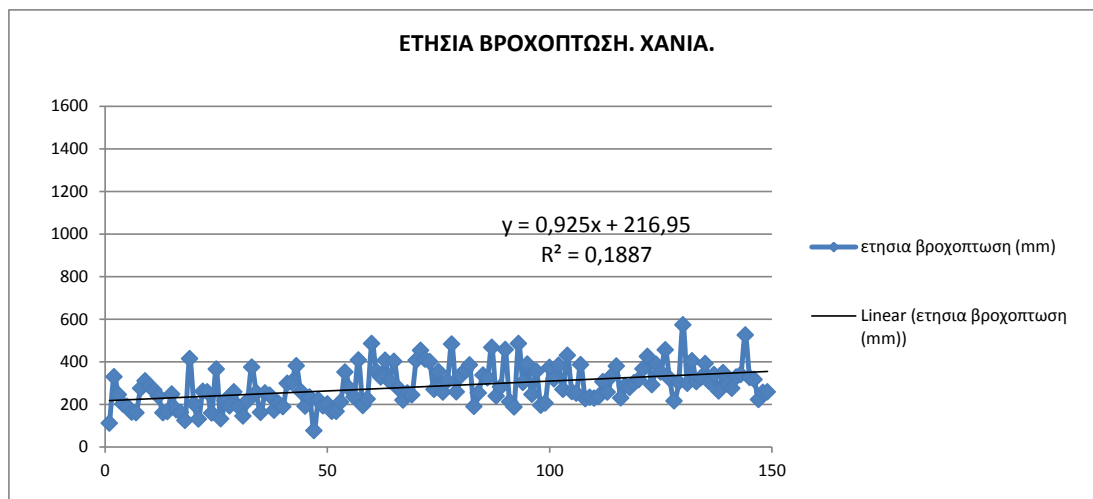
▪ Εξατμισοδιαπνοή

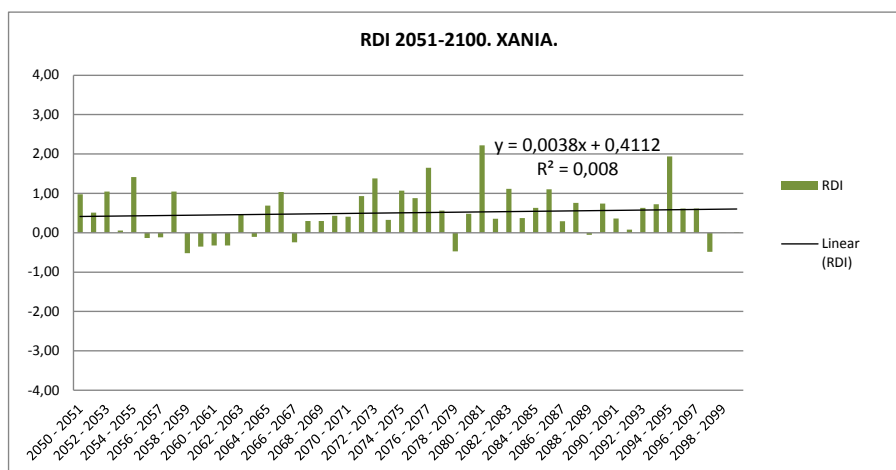
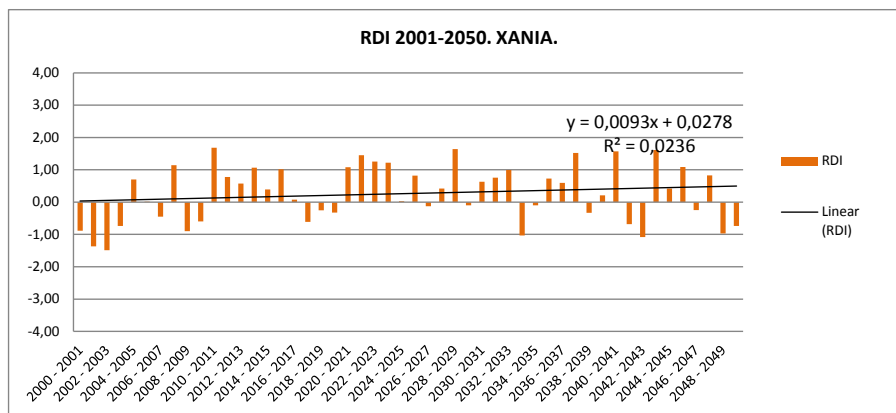
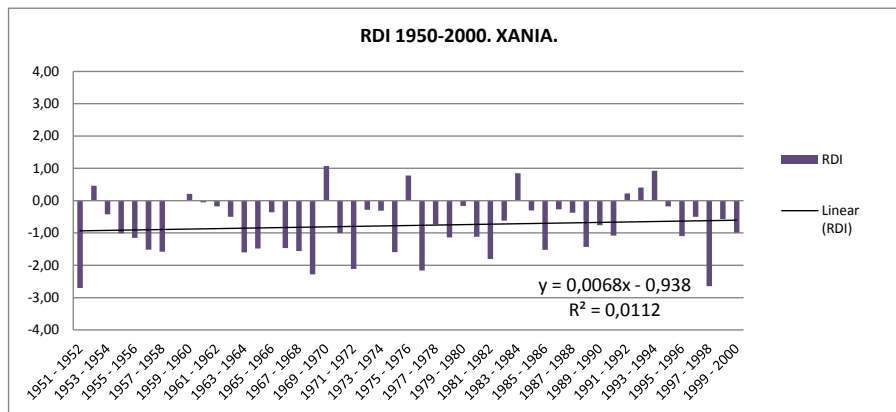
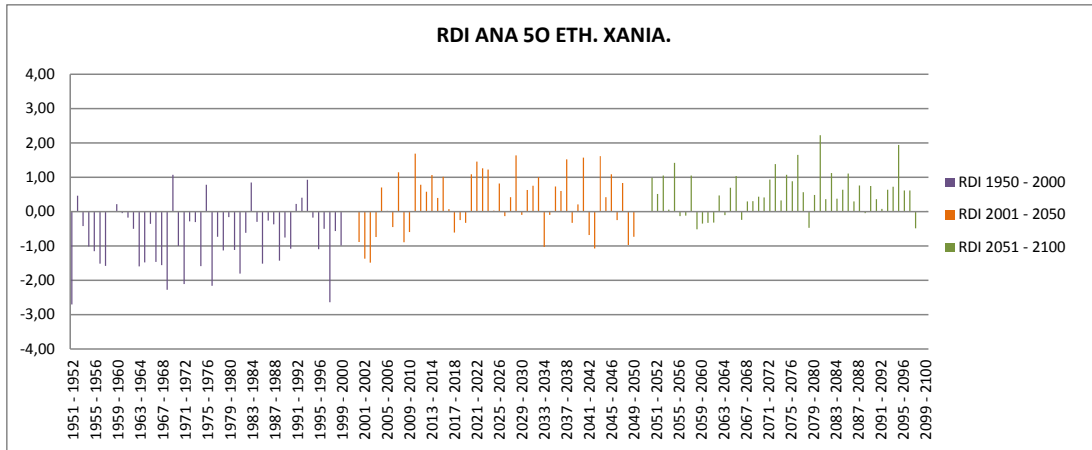


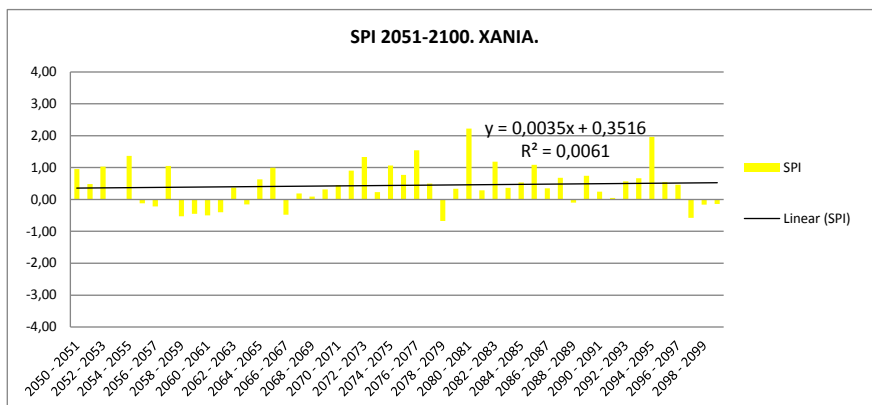
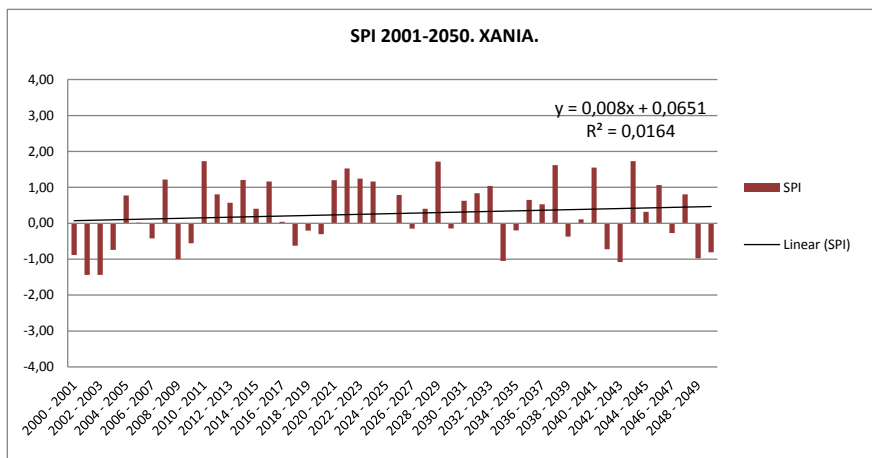
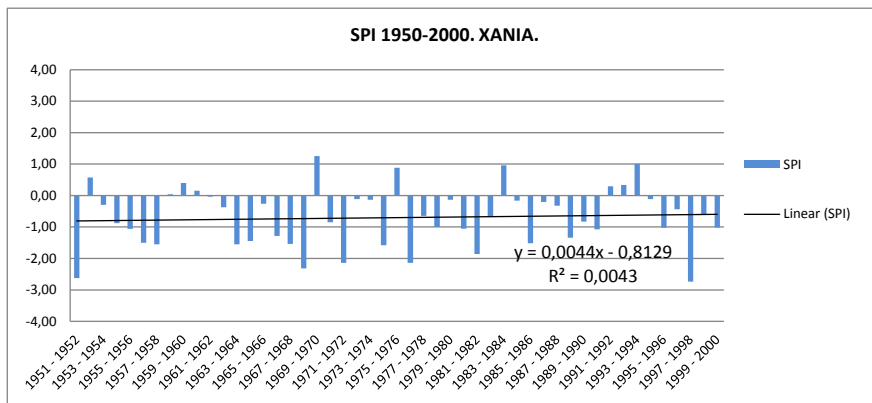
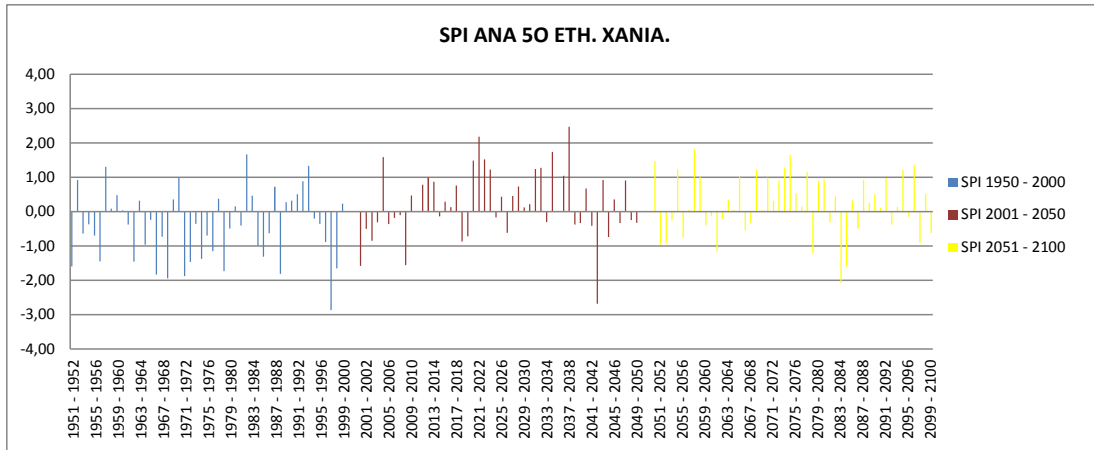
4.3.6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ SPI ΚΑΙ RDI ΑΝΑ 50 ΕΤΗ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO

Για το μοντέλο REMO γίνεται υπολογισμός των δεικτών RDI και SPI ανα 50 έτη (1951-2000, 2001-2050, 2051-2100) και αποτυπώνονται και οι τάσεις των χρονοσειρών. Παρατίθενται, ακόμα, για τις ενδεικτικές περιοχές οι χρονοσειρές και οι τάσεις τους για την ετήσια βροχόπτωση και την ετήσια εξατμισοδιαπνοή για 150 έτη(1951-2100).

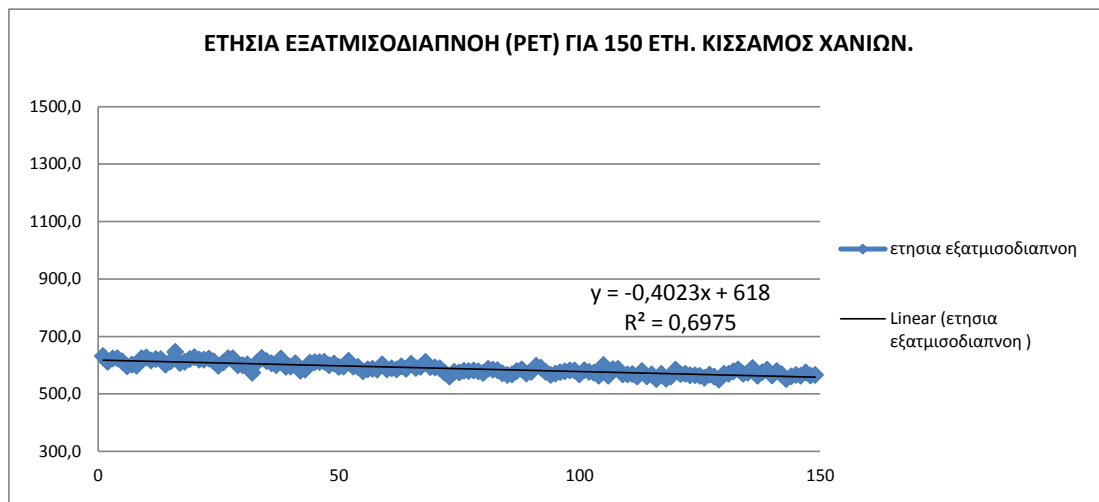
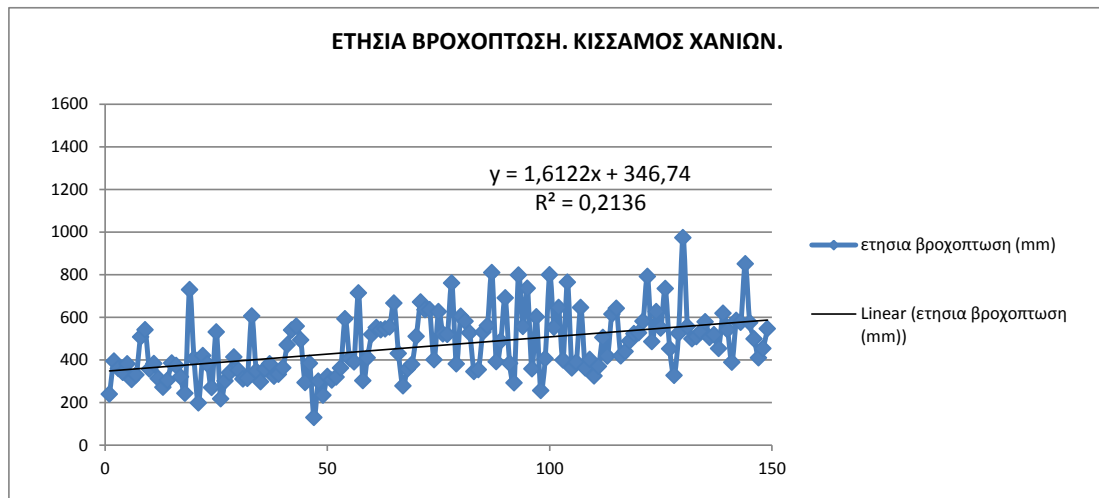
➤ ΧΑΝΙΑ

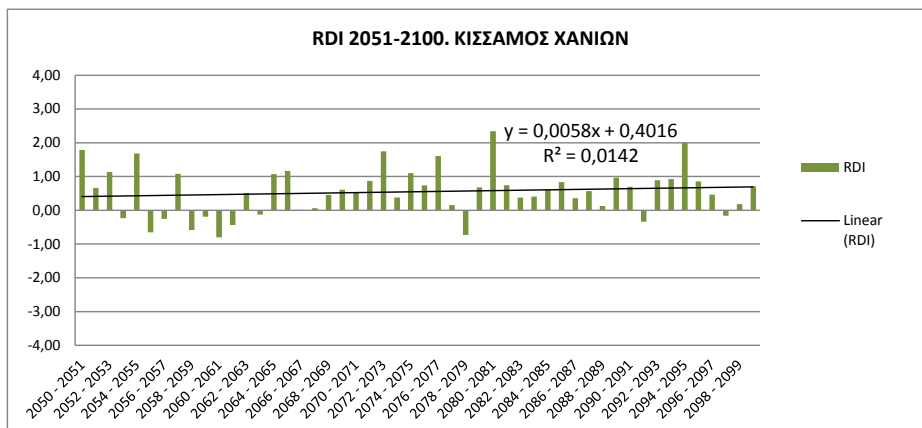
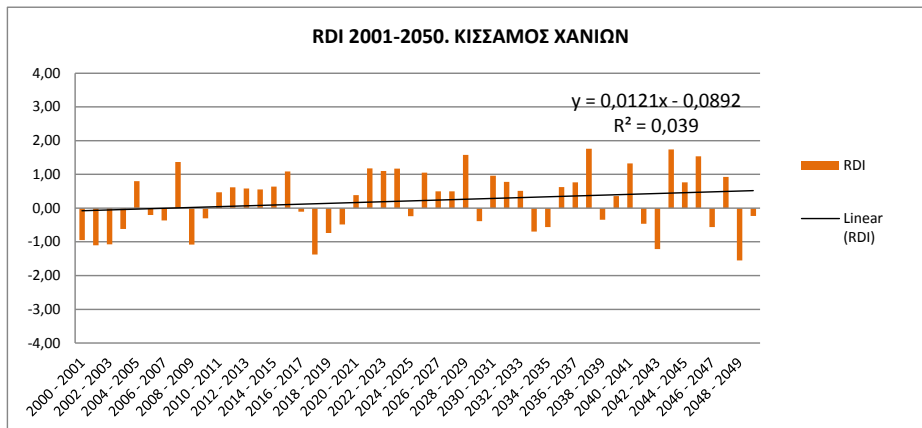
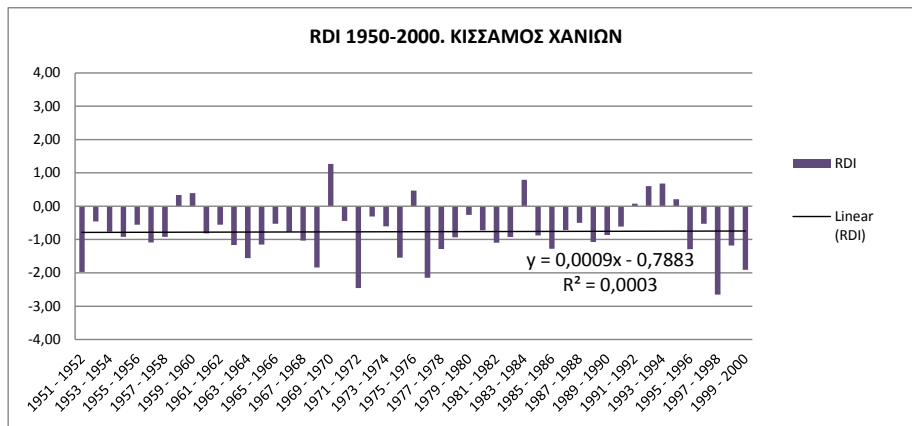
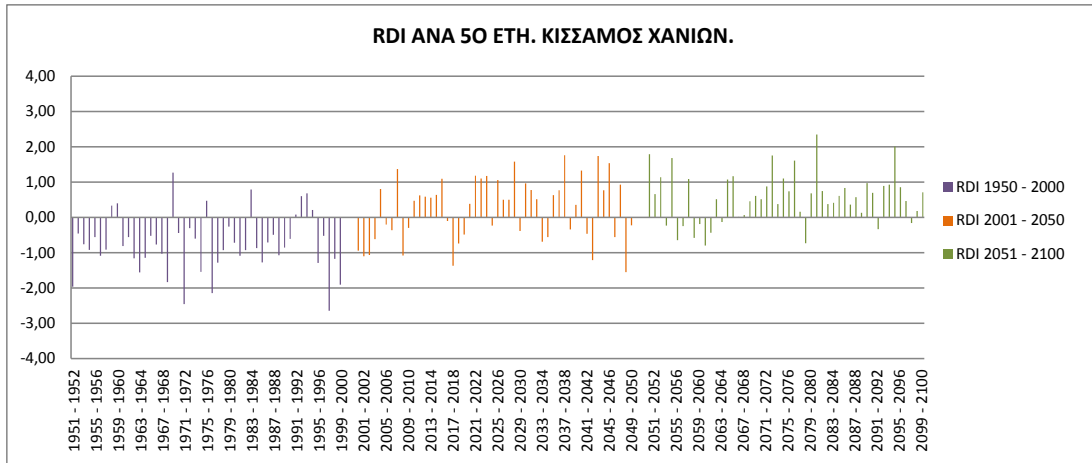


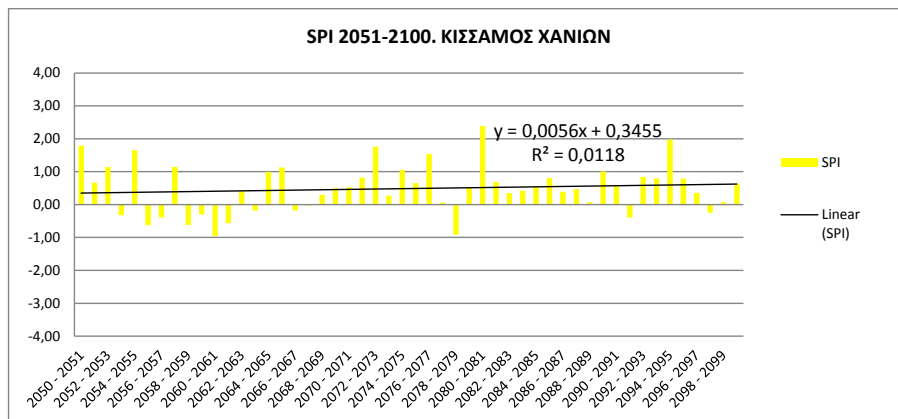
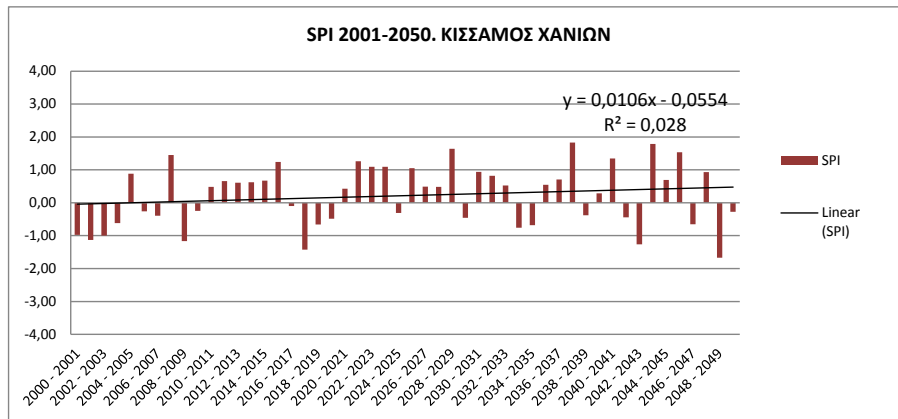
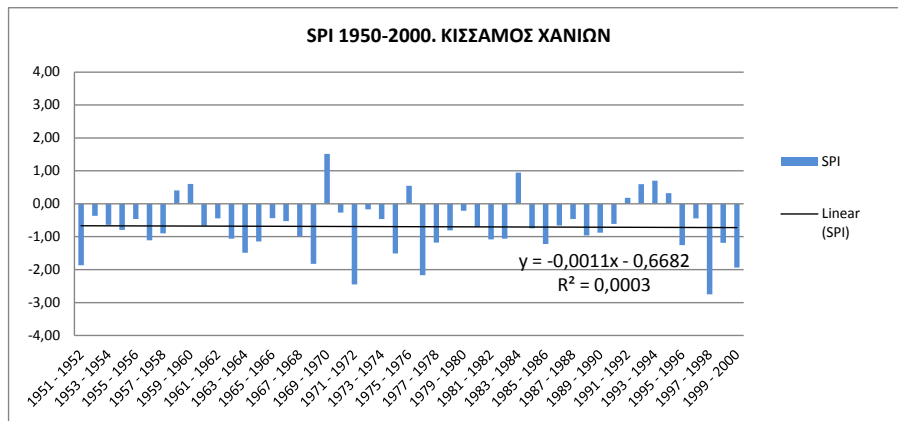
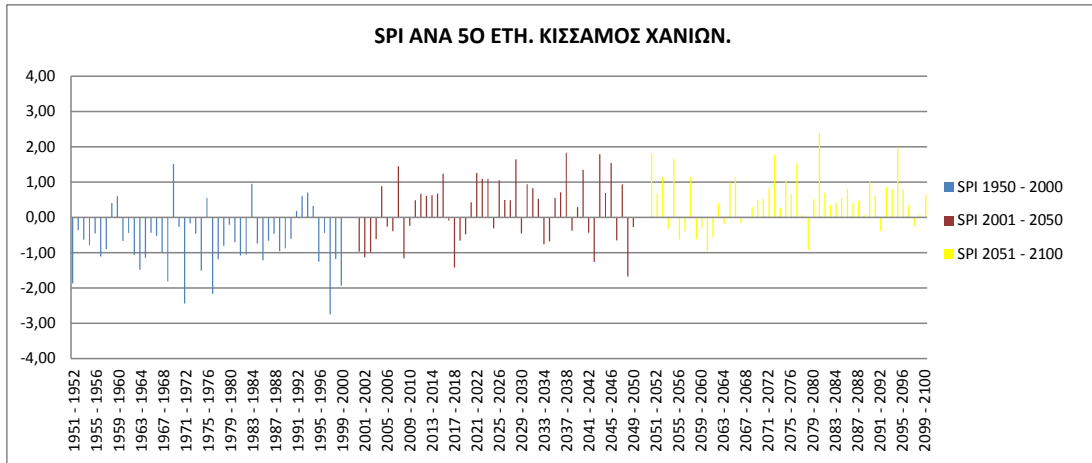




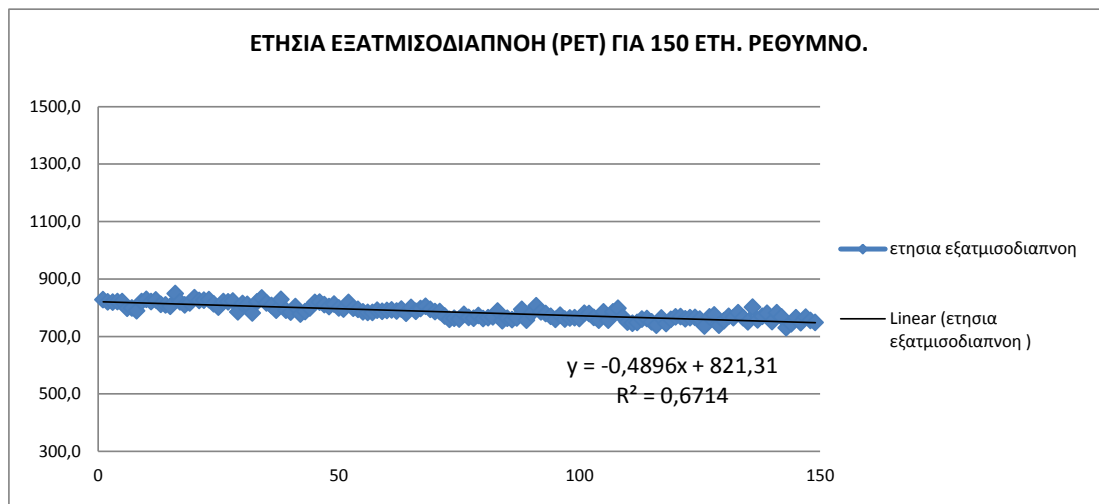
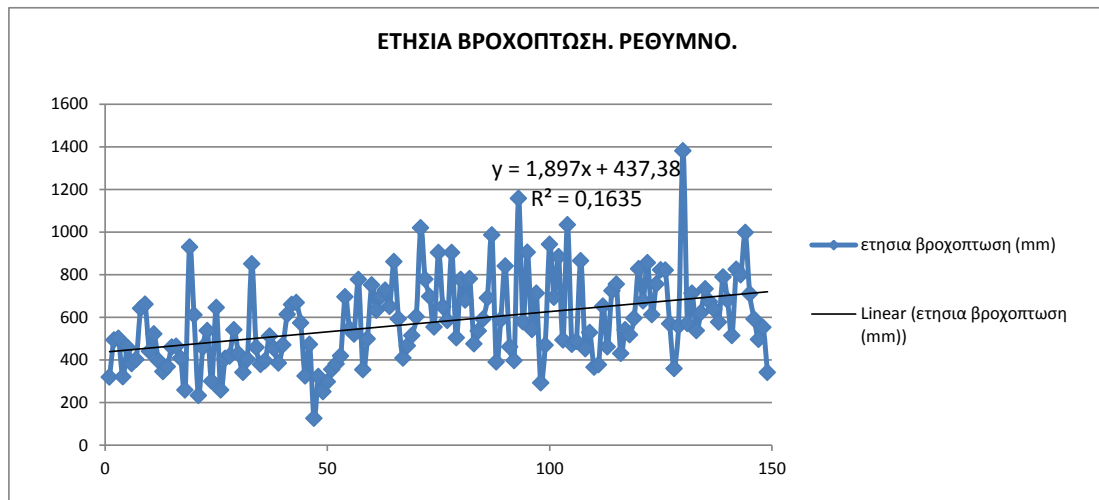
➤ ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ

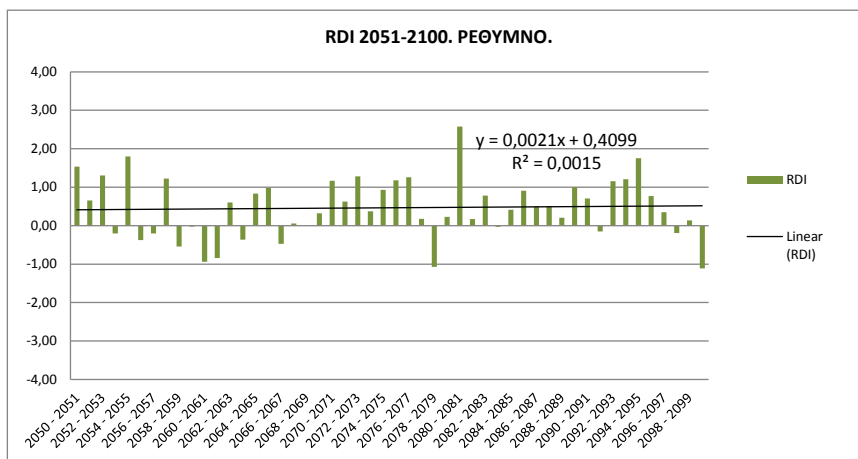
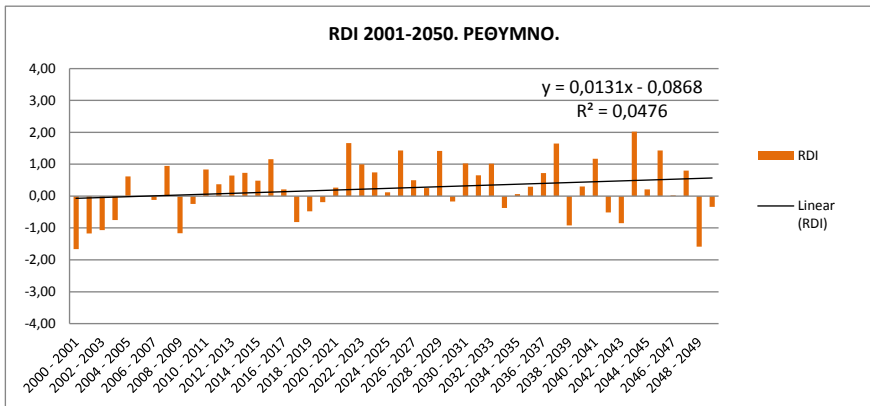
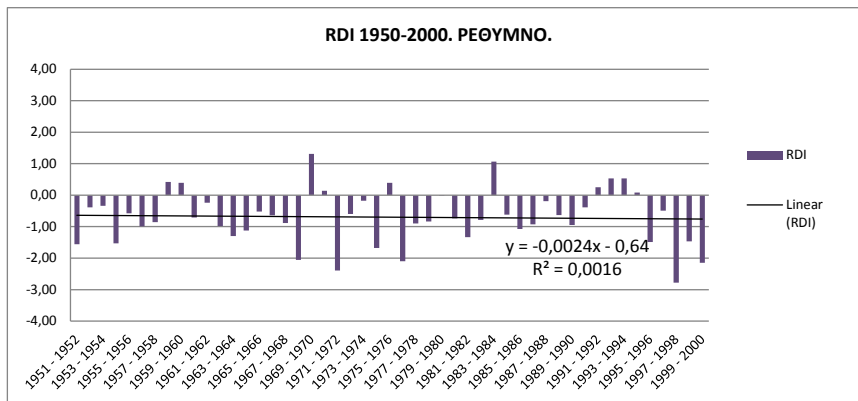
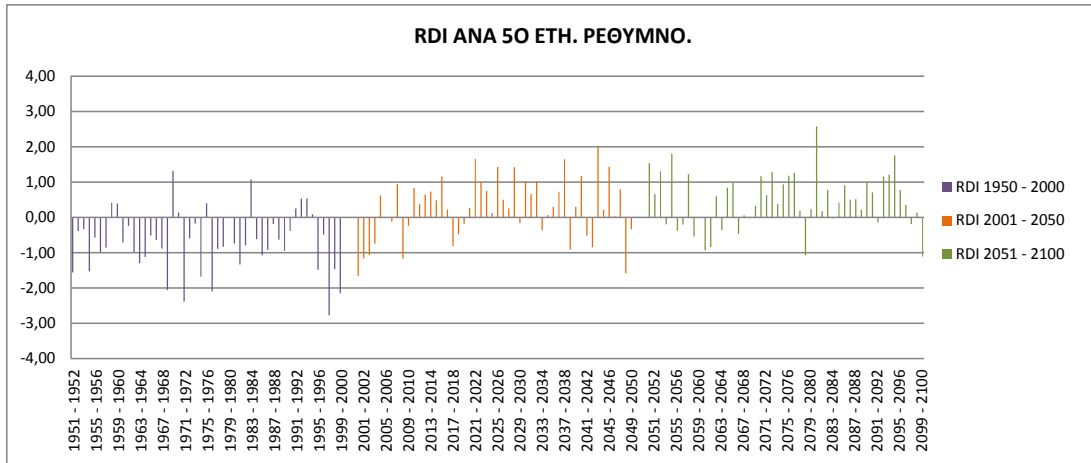


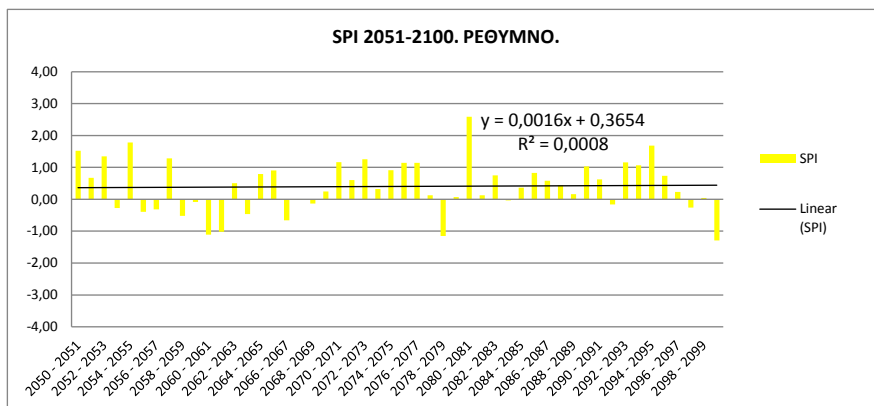
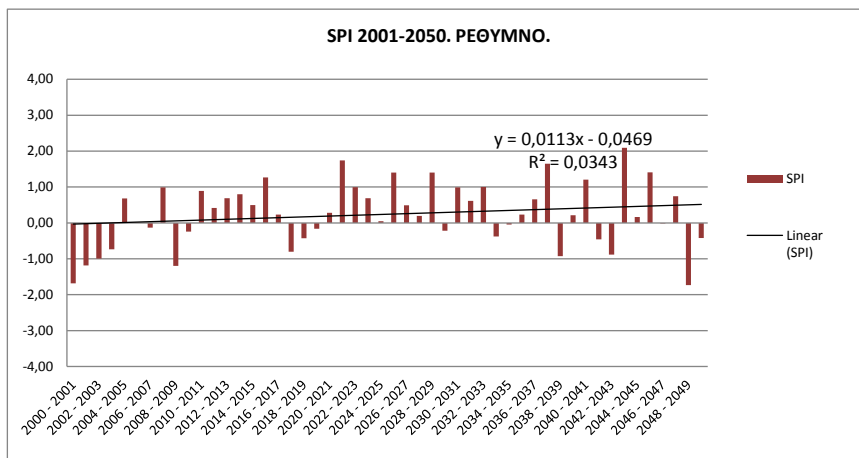
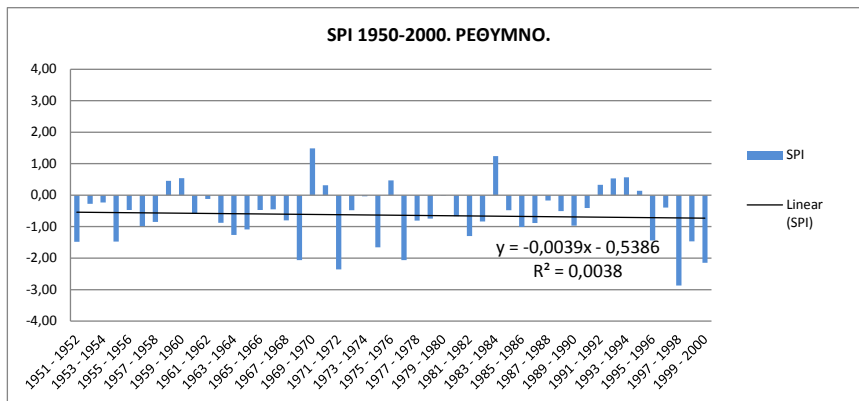
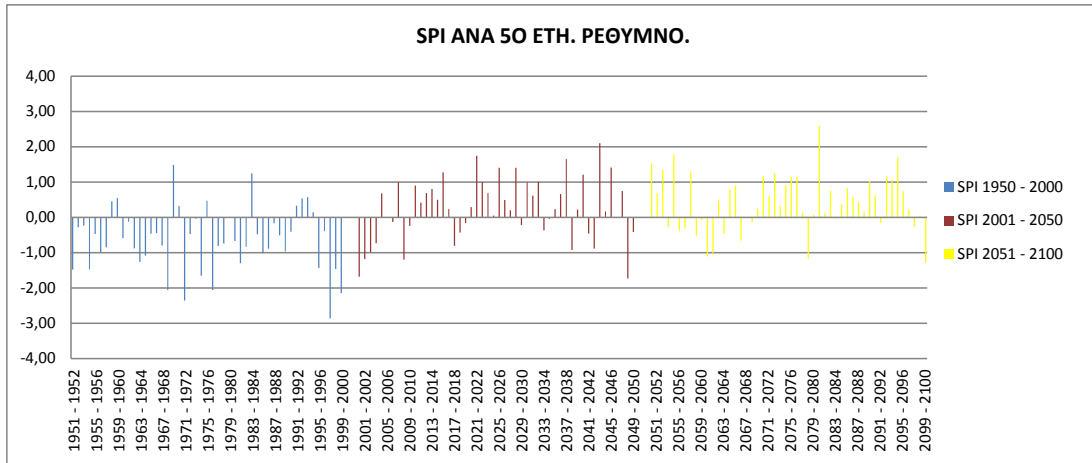




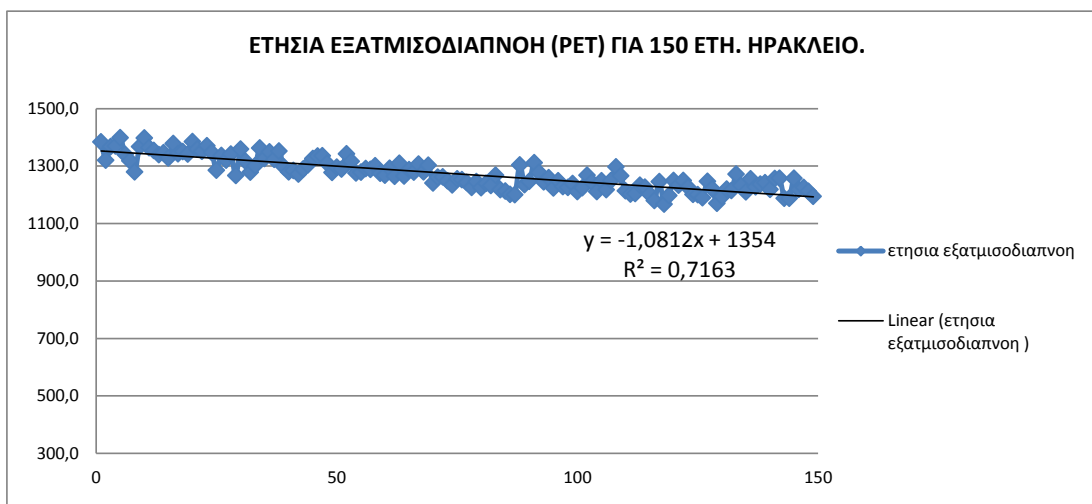
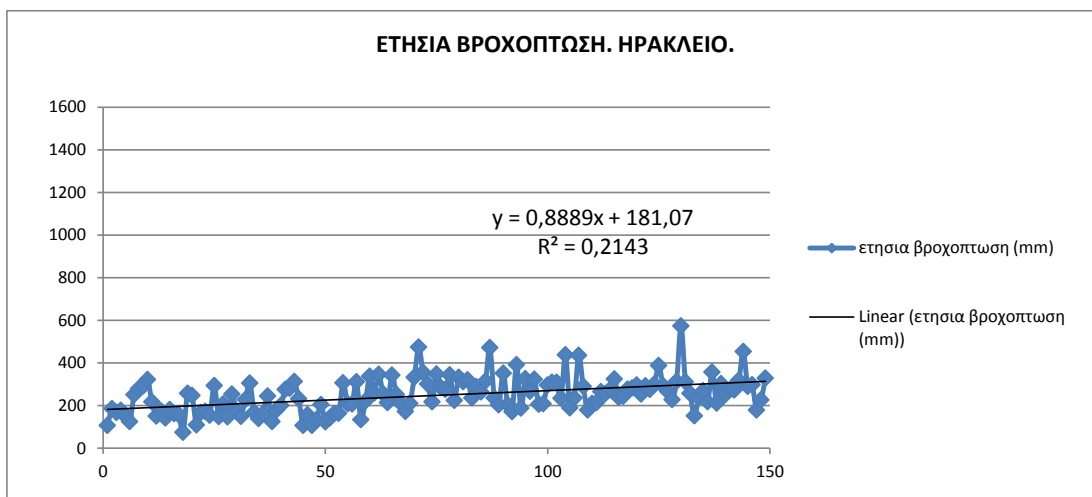
➤ ΡΕΘΥΜΝΟ

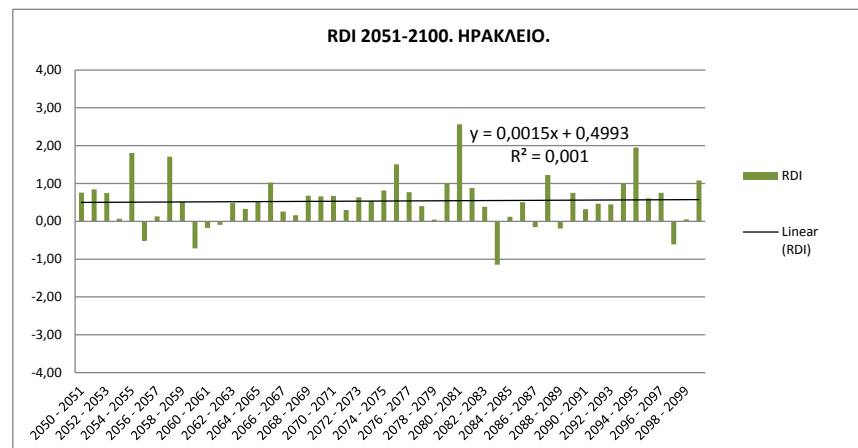
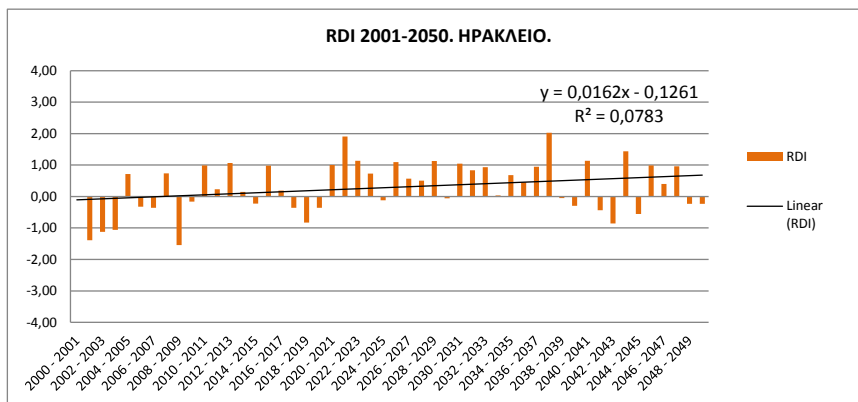
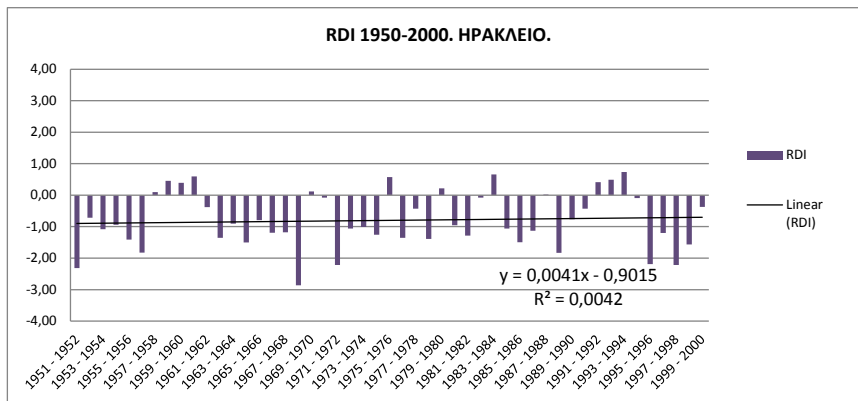
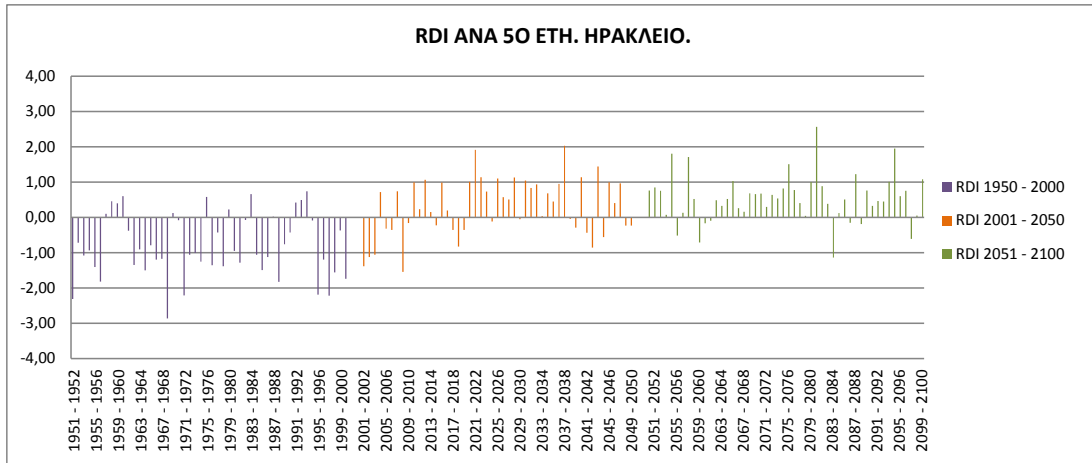


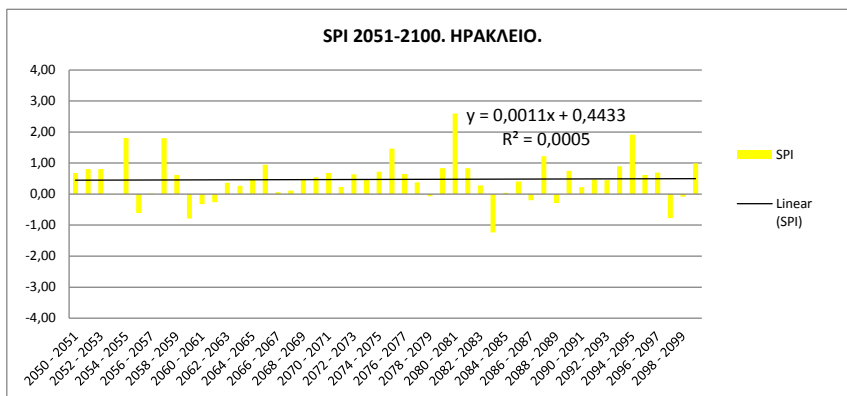
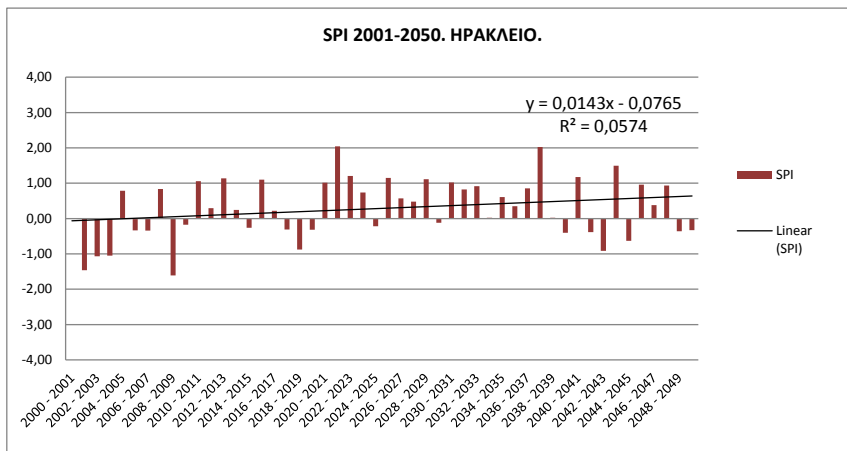
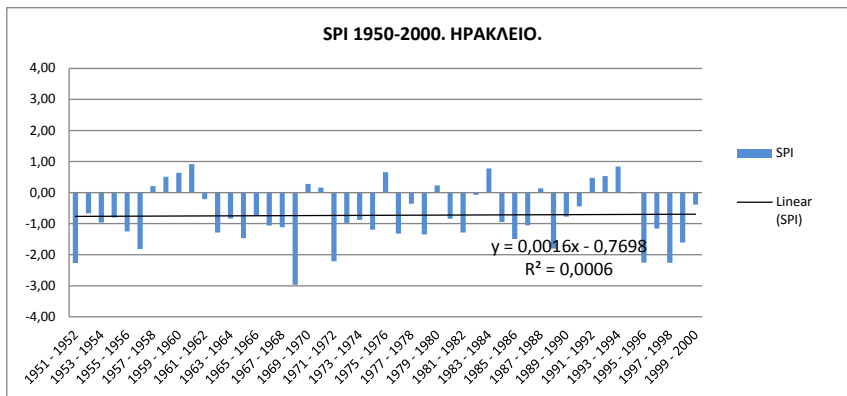
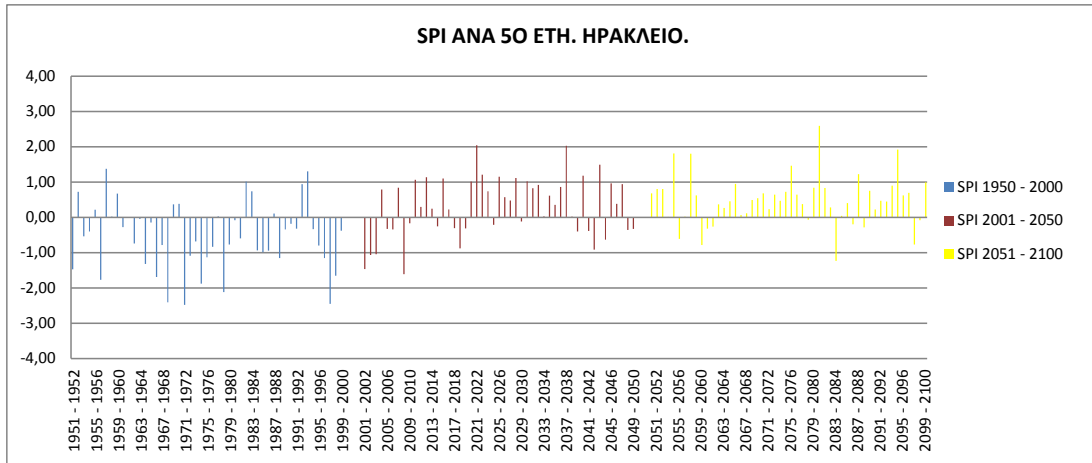




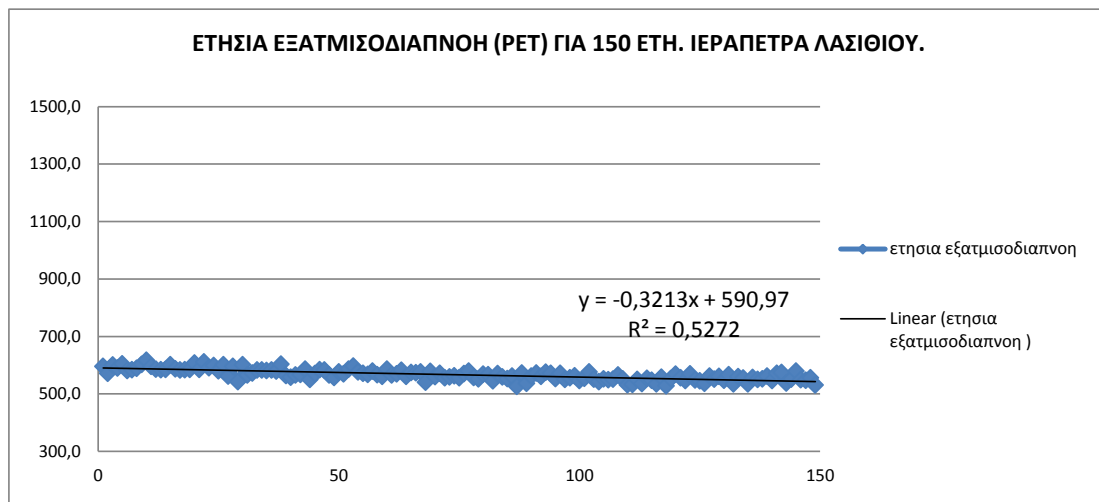
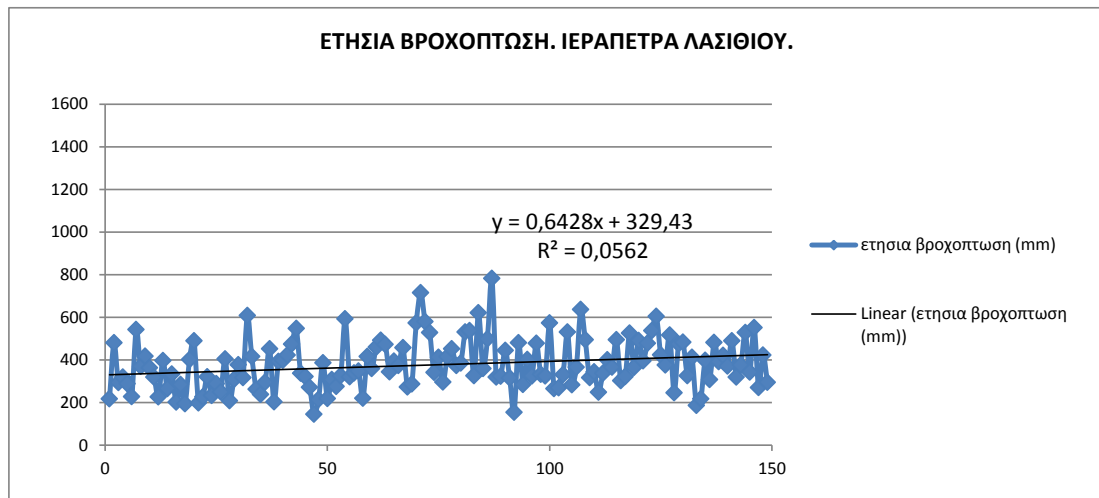
➤ ΗΡΑΚΛΕΙΟ

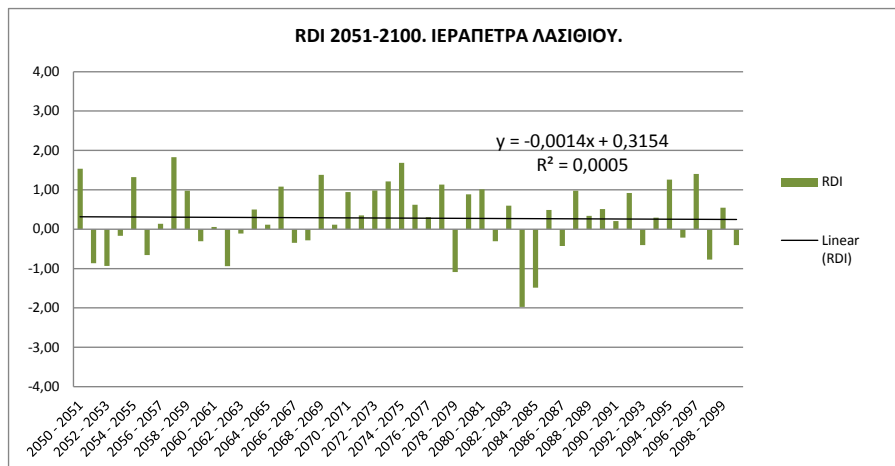
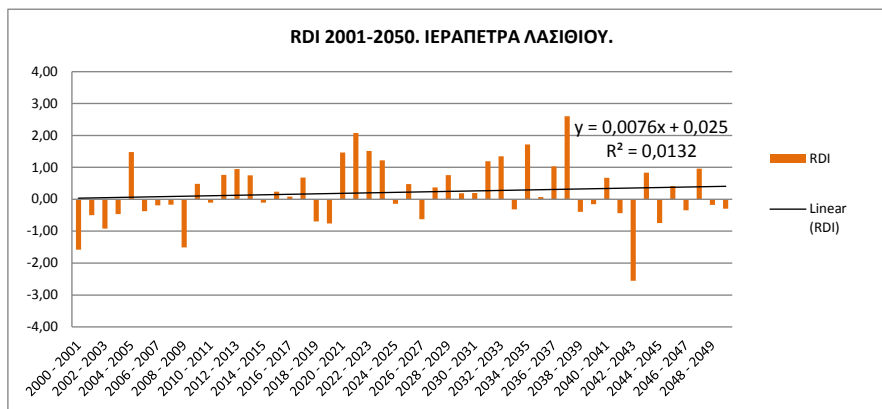
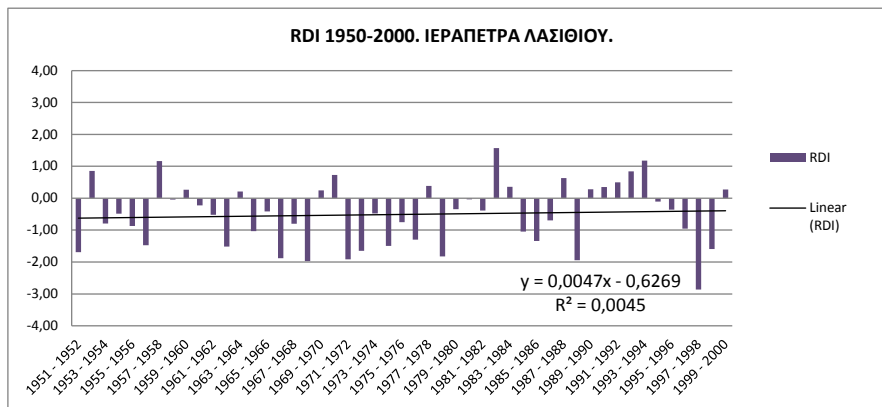
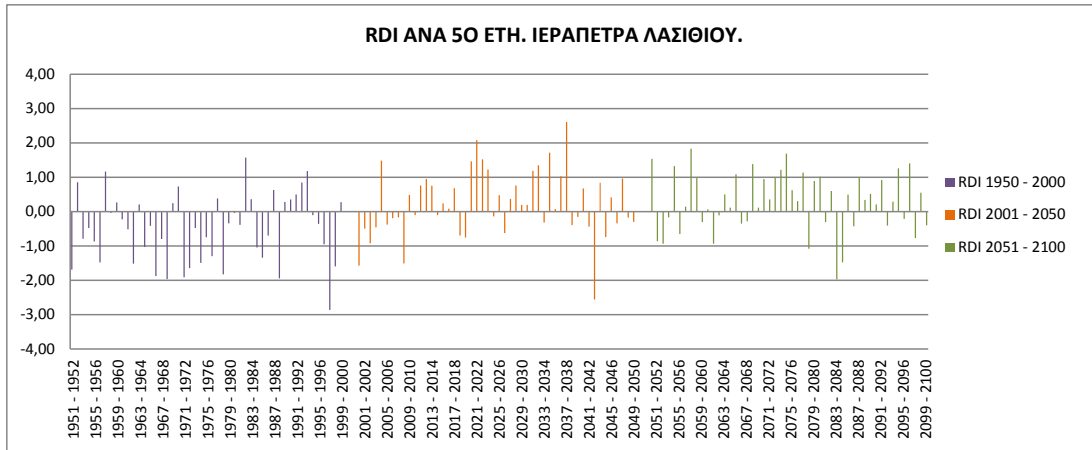


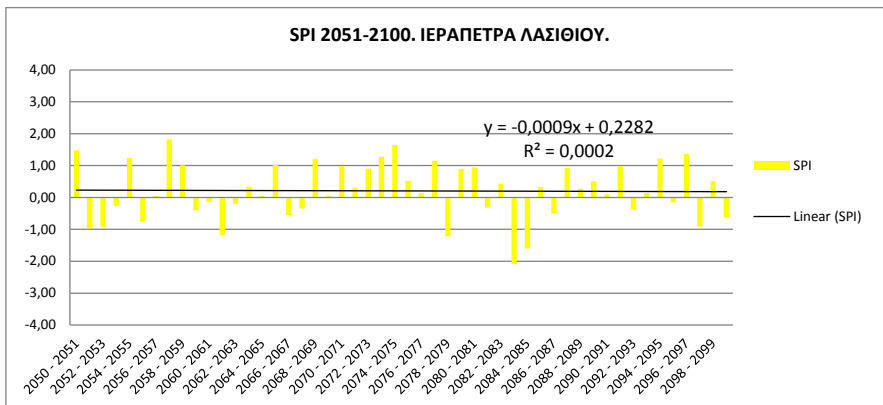
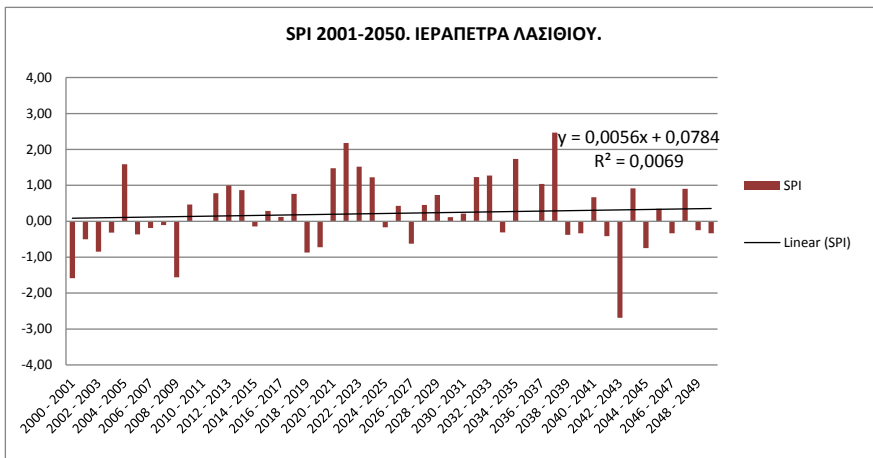
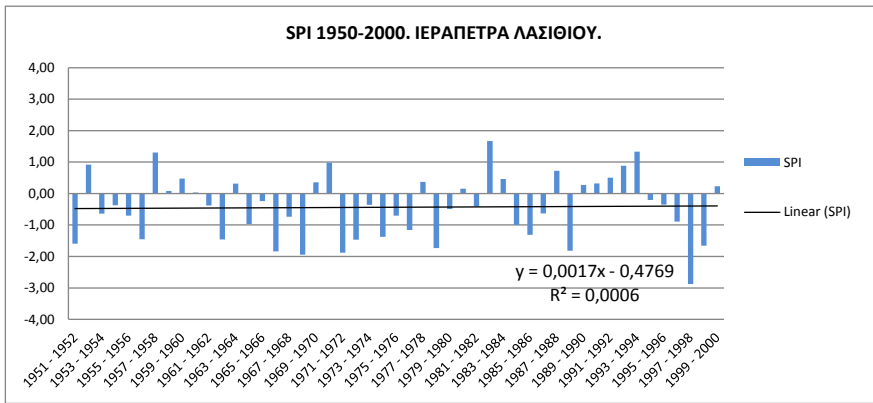
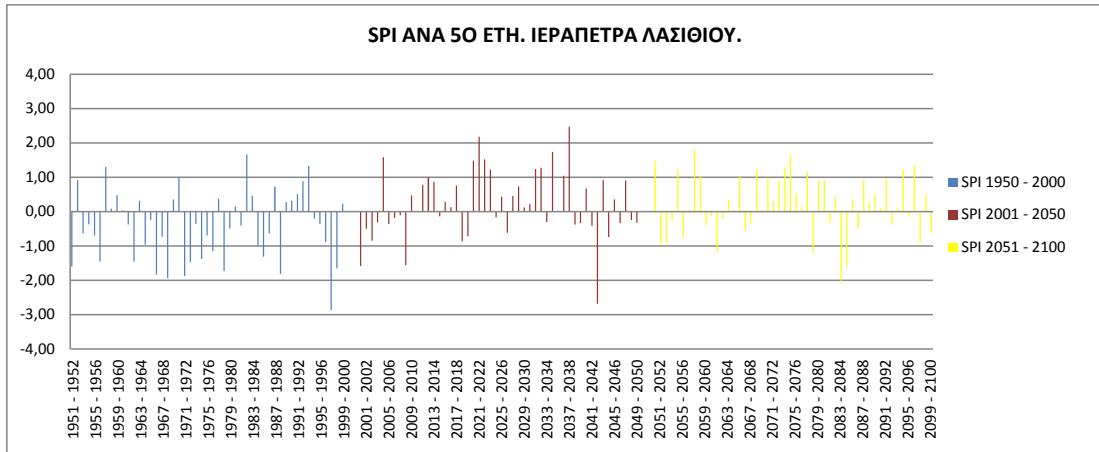




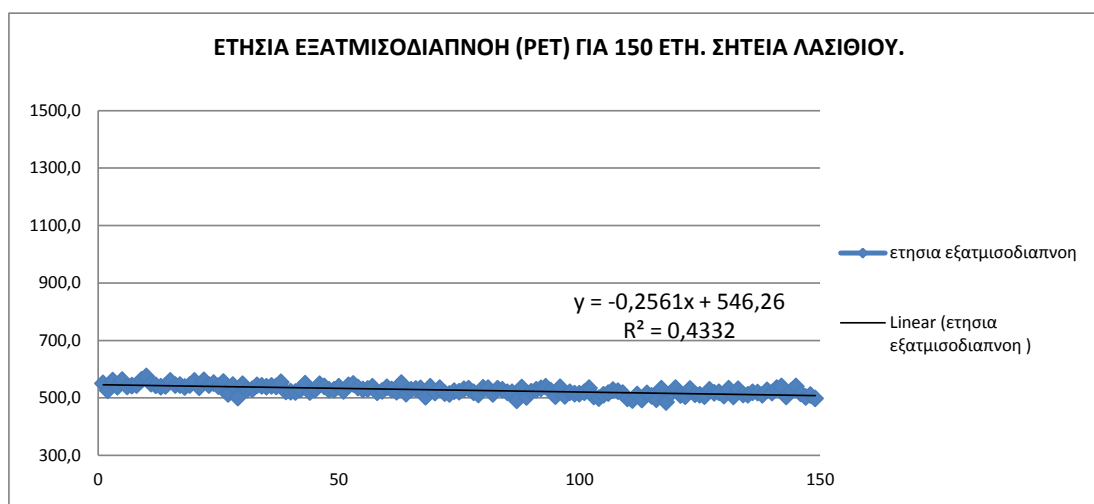
➤ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ

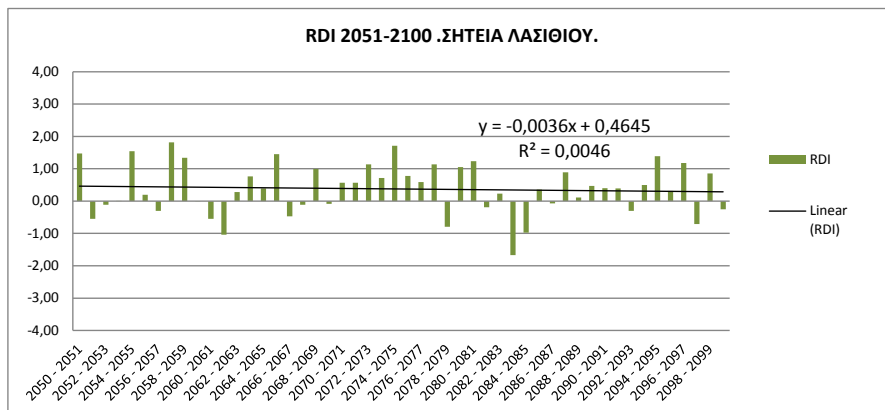
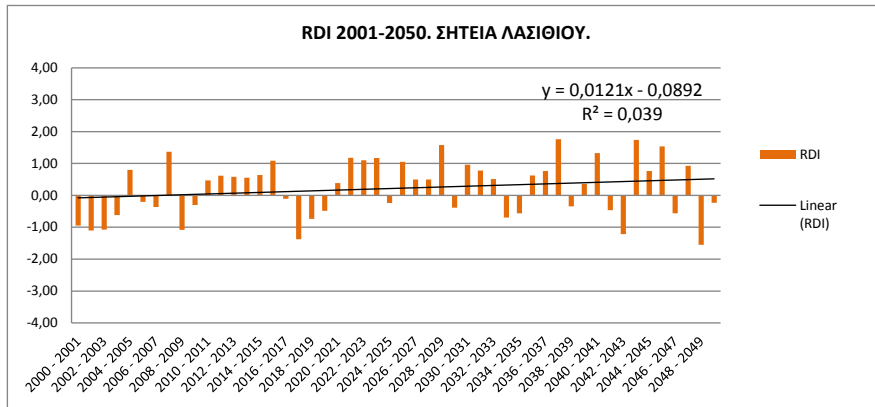
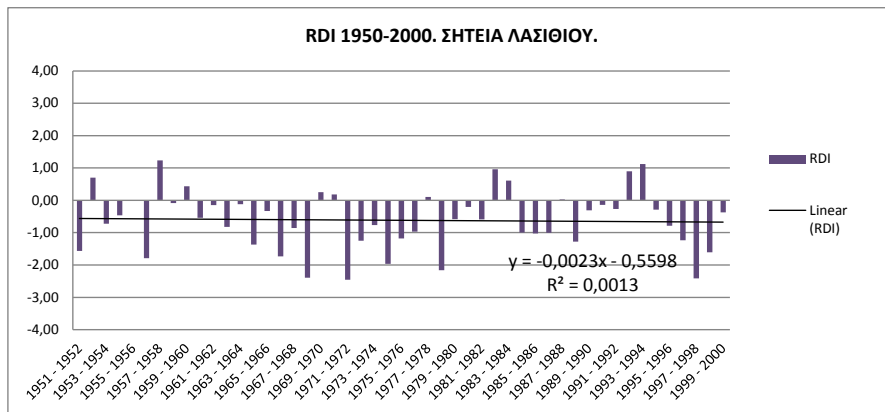
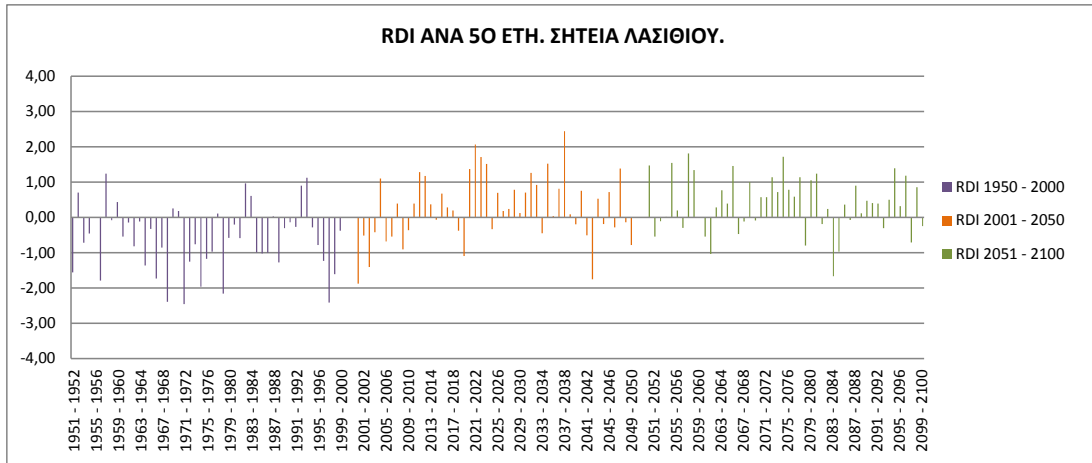


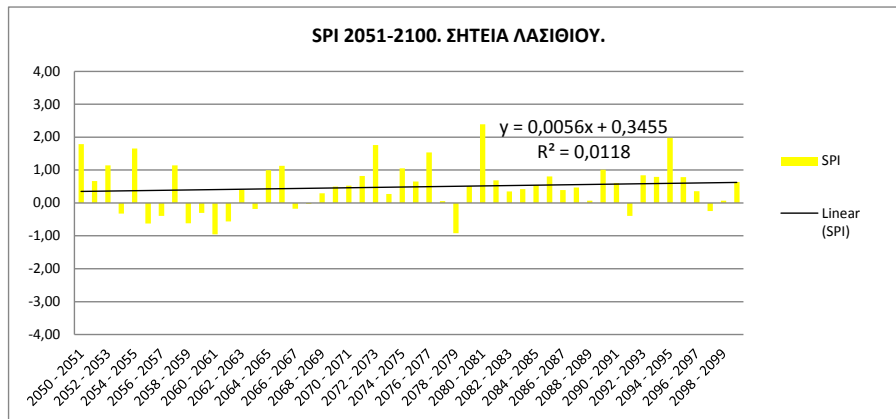
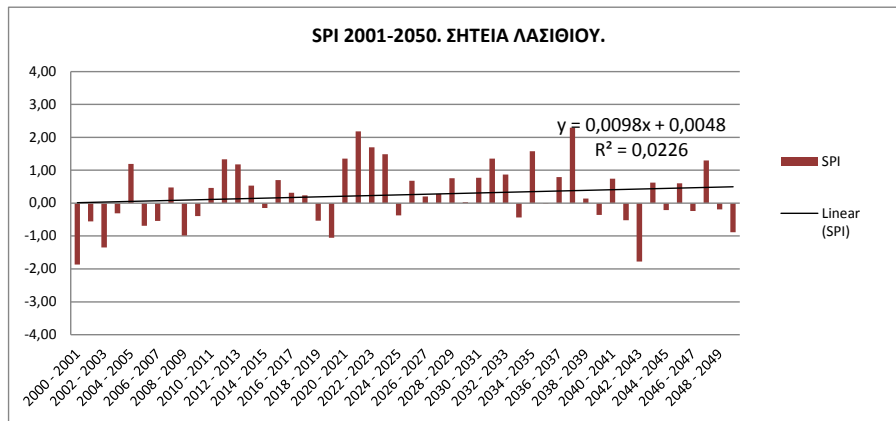
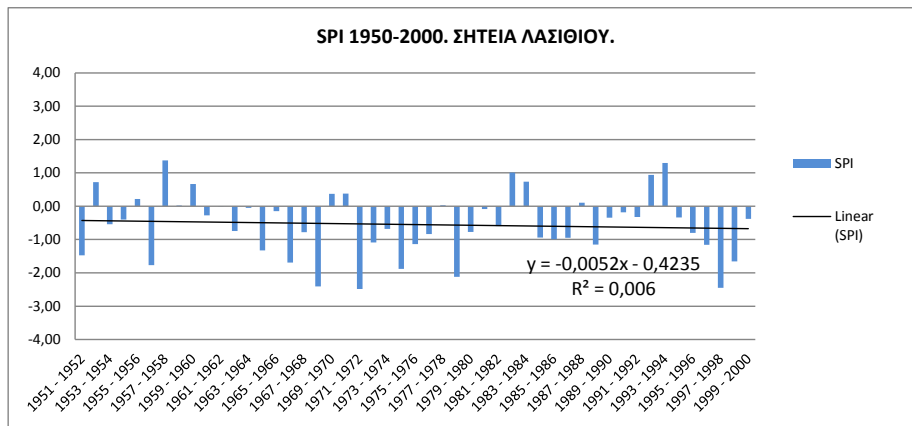
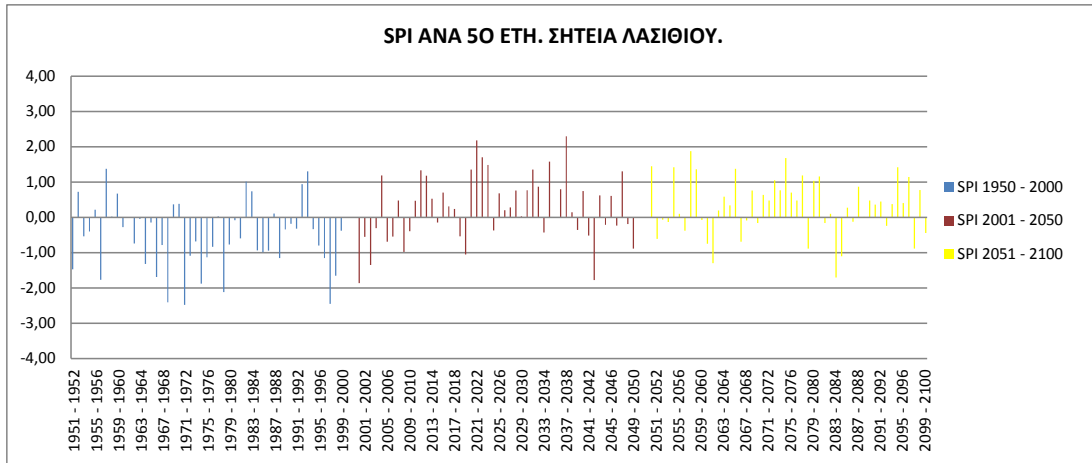




➤ ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ







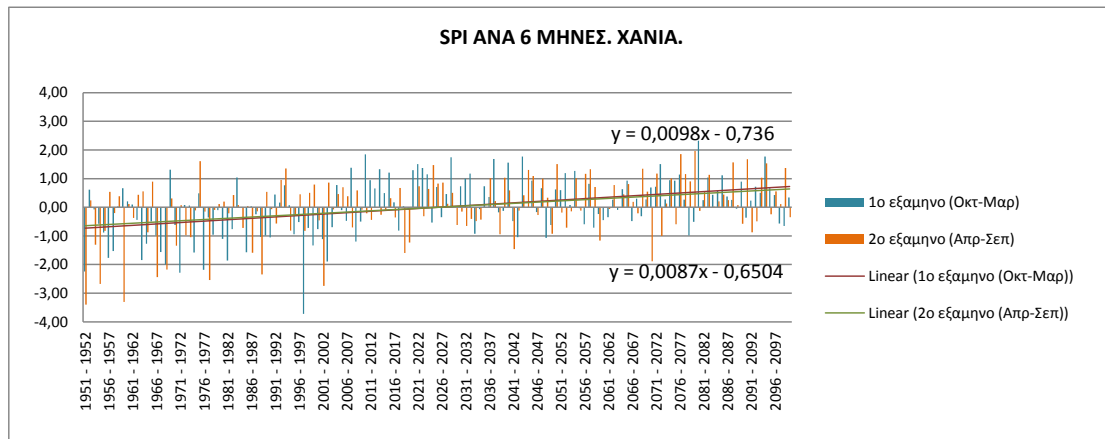
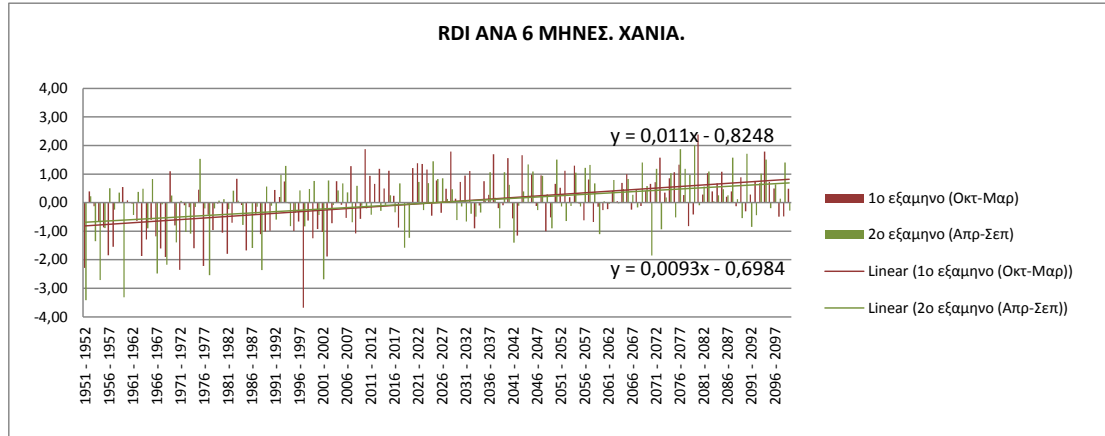
Πραγματοποιήθηκε έλεγχος Mann-Kendall, δικατάληκτος με επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$, για καθεμία από τις επιλεγμένες περιοχές ανα 50 έτη, και τα αποτελέσματα του ελέγχου για τους δυο δείκτες, RDI και SPI, φαίνονται στον πίνακα:

ΧΑΝΙΑ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)
RDI 1950-2000	0.531	0.005	Δεν απορρίπτεται	RDI 1950-2000	0.764	0.003	Δεν απορρίπτεται
RDI 2000-2050	0.340	0.01	Δεν απορρίπτεται	RDI 2000-2050	0.052	0.017	Δεν απορρίπτεται
RDI 2050-2100	0.558	0.003	Δεν απορρίπτεται	RDI 2050-2100	0.713	0.003	Δεν απορρίπτεται
SPI 1950-2000	0.738	0.002	Δεν απορρίπτεται	SPI 1950-2000	0.993	1.581E-4	Δεν απορρίπτεται
SPI 2000-2050	0.493	0.008	Δεν απορρίπτεται	SPI 2000-2050	0.105	0.015	Δεν απορρίπτεται
SPI 2050-2100	0.639	0.003	Δεν απορρίπτεται	SPI 2050-2100	0.592	0.003	Δεν απορρίπτεται
ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)
RDI 1950-2000	0.857	0.001	Δεν απορρίπτεται	RDI 1950-2000	0.445	0.007	Δεν απορρίπτεται
RDI 2000-2050	0.150	0.014	Δεν απορρίπτεται	RDI 2000-2050	0.332	0.01	Δεν απορρίπτεται
RDI 2050-2100	0.366	0.007	Δεν απορρίπτεται	RDI 2050-2100	1.000	1.800E-6	Δεν απορρίπτεται
SPI 1950-2000	0.911	-7.393E-4	Δεν απορρίπτεται	SPI 1950-2000	0.650	0.005	Δεν απορρίπτεται
SPI 2000-2050	0.210	0.011	Δεν απορρίπτεται	SPI 2000-2050	0.462	0.007	Δεν απορρίπτεται
SPI 2050-2100	0.394	0.007	Δεν απορρίπτεται	SPI 2050-2100	0.920	0.001	Δεν απορρίπτεται
ΠΕΘΥΜΝΟ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)	ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	p-value	sen's slope	H0(μηδενική υπόθεση)
RDI 1950-2000	0.993	1.633E-4	Δεν απορρίπτεται	RDI 1950-2000	0.613	-0.006	Δεν απορρίπτεται
RDI 2000-2050	0.141	0.014	Δεν απορρίπτεται	RDI 2000-2050	0.248	0.01	Δεν απορρίπτεται
RDI 2050-2100	0.725	0.004	Δεν απορρίπτεται	RDI 2050-2100	0.867	-0.002	Δεν απορρίπτεται
SPI 1950-2000	0.966	-1.921E-4	Δεν απορρίπτεται	SPI 1950-2000	0.425	-0.009	Δεν απορρίπτεται
SPI 2000-2050	0.248	0.012	Δεν απορρίπτεται	SPI 2000-2050	0.284	0.009	Δεν απορρίπτεται
SPI 2050-2100	0.802	0.003	Δεν απορρίπτεται	SPI 2050-2100	0.867	-0.001	Δεν απορρίπτεται

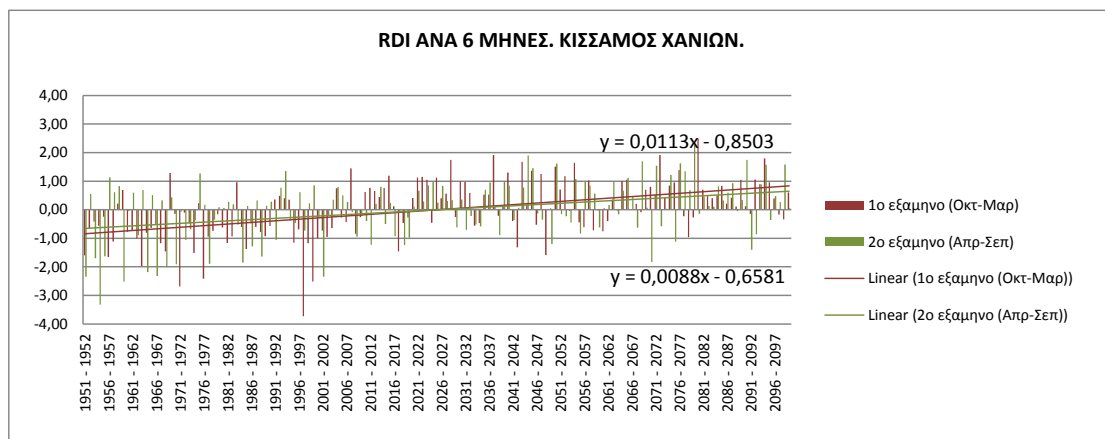
4.3.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI/SPI ΑΝΑ 6 ΜΗΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO

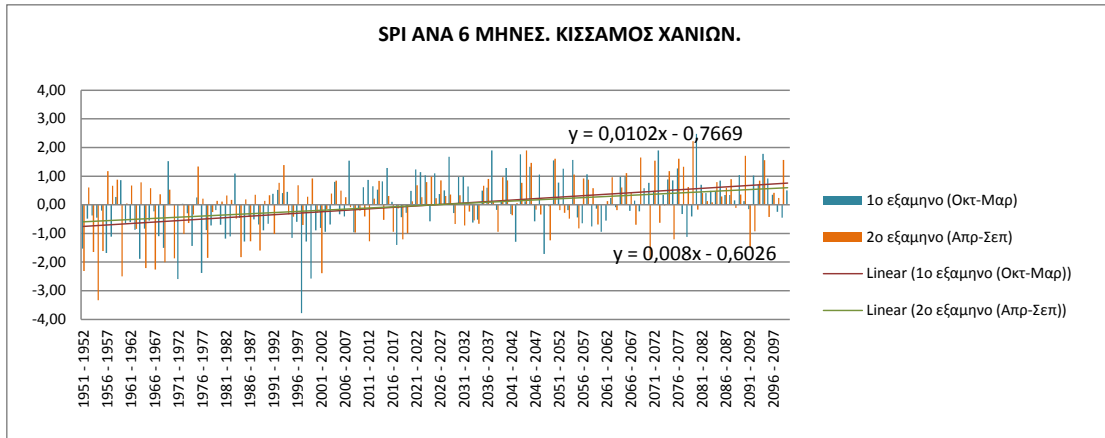
Για το μοντέλο REMO έγινε εκ νέου υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας RDI και SPI σε βμηνη βάση (Οκτώβριος – Μάρτιος και Απρίλιος – Σεπτέμβριος) για τα 150 έτη (1951-2100) και για κάθε μια από τις επιλεγμένες περιοχές.

➤ ΧΑΝΙΑ

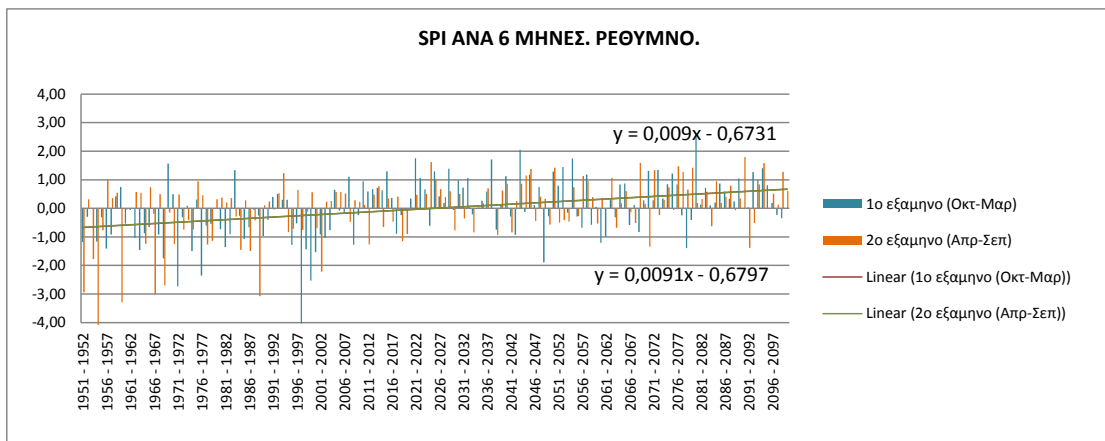
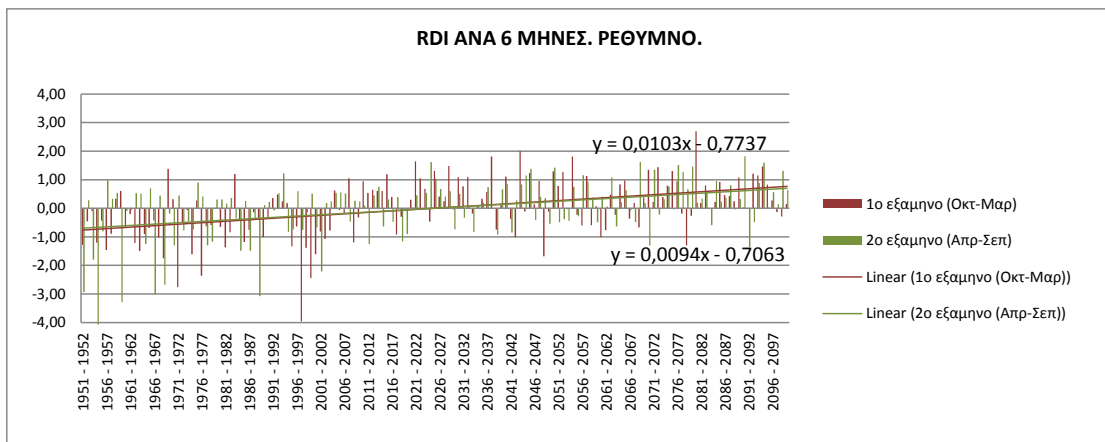


➤ ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ

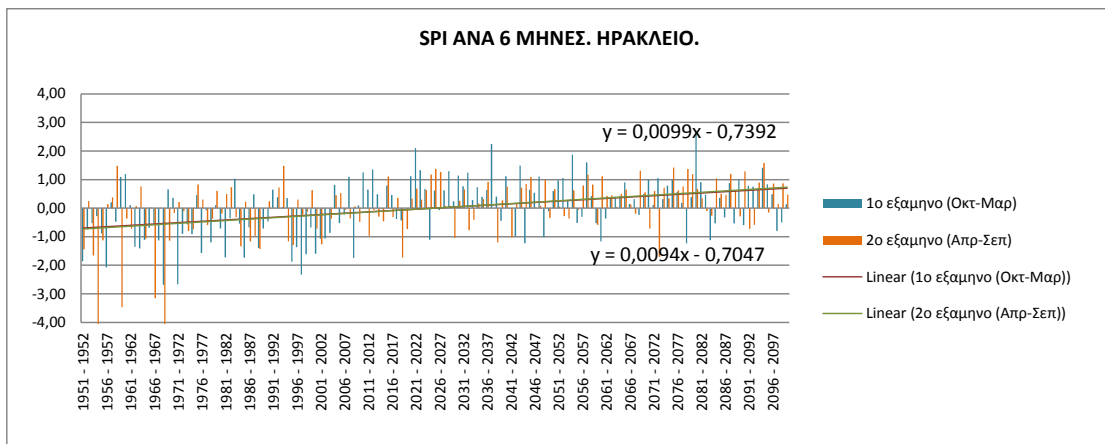
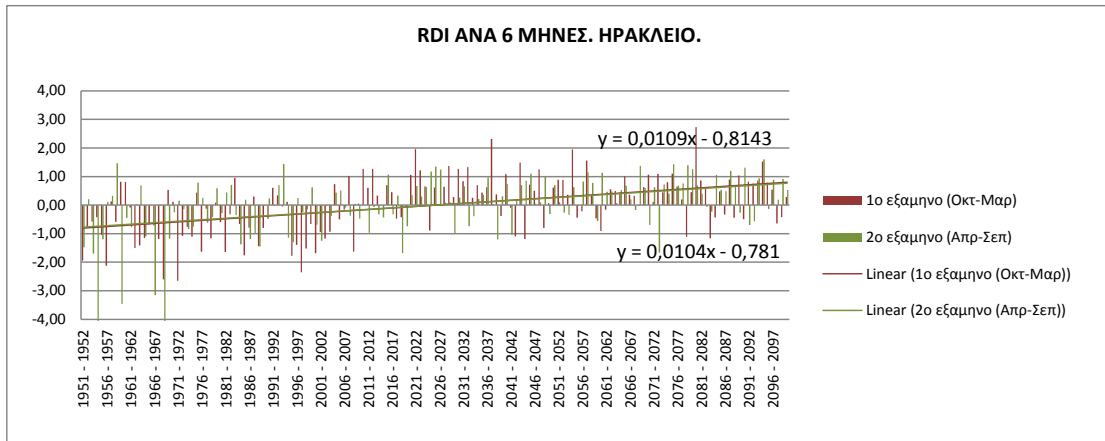




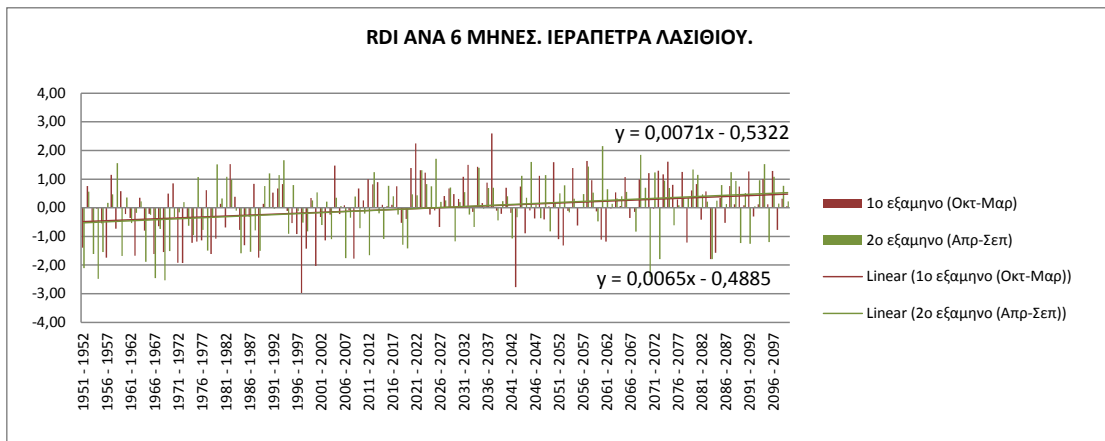
➤ ΠΕΘΥΜΝΟ

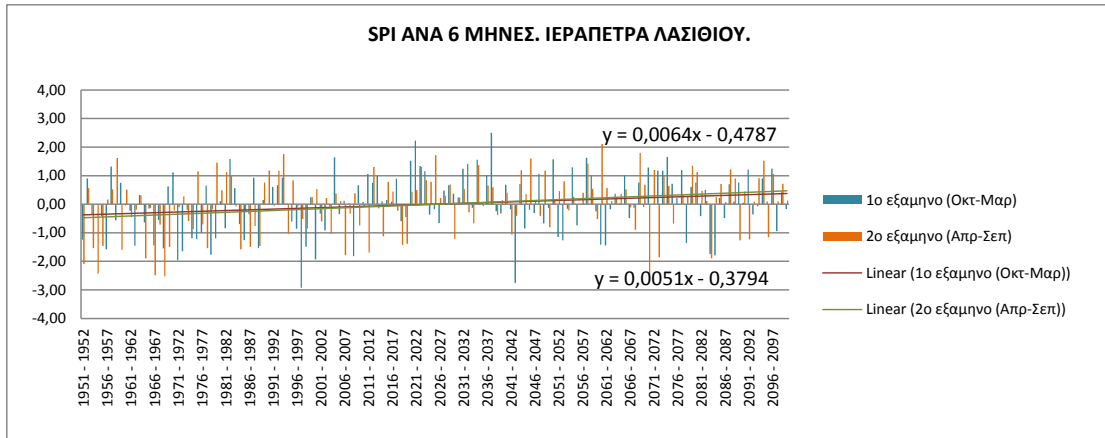


➤ ΗΡΑΚΛΕΙΟ

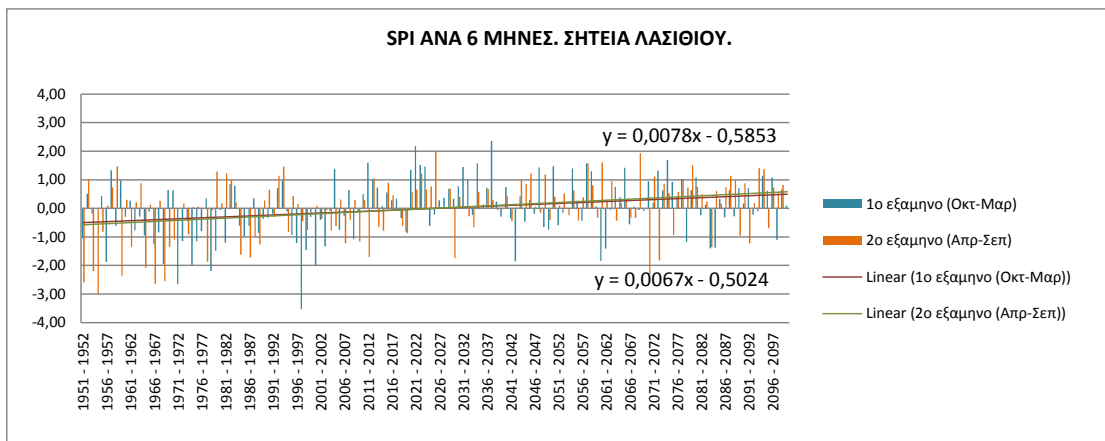
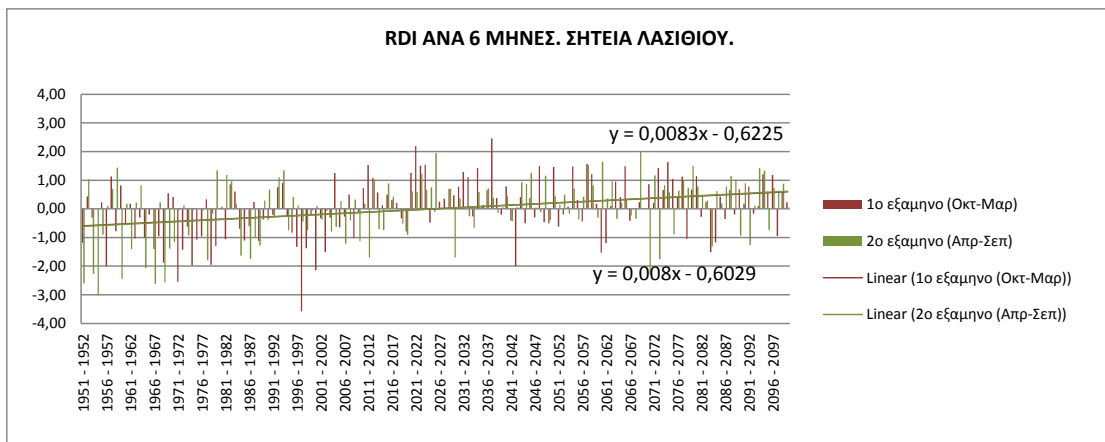


➤ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ





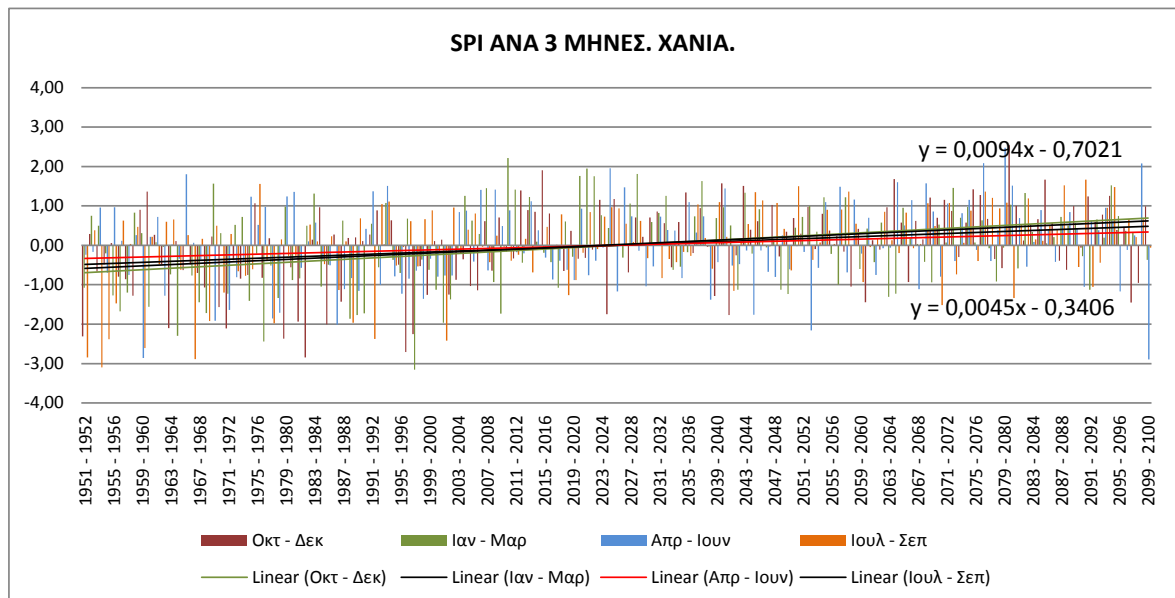
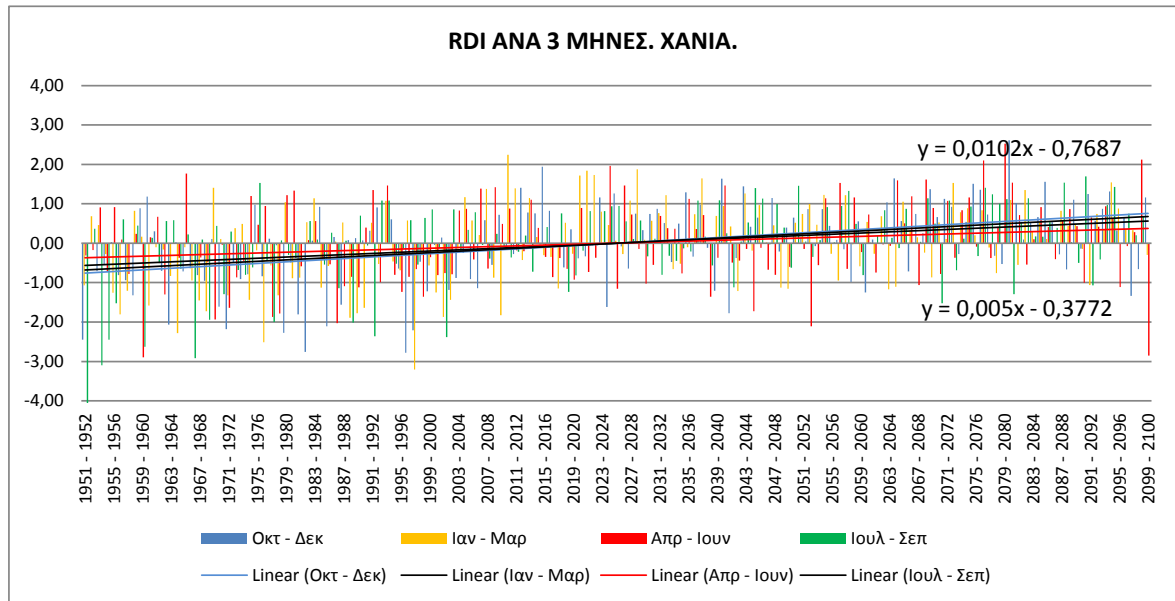
➤ **ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ**



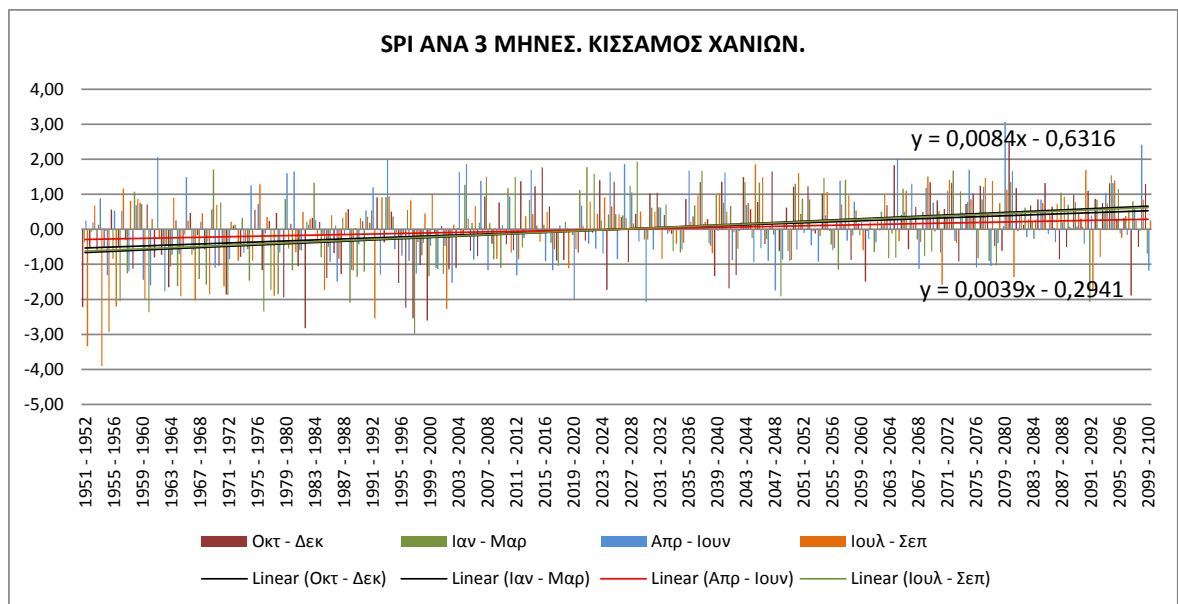
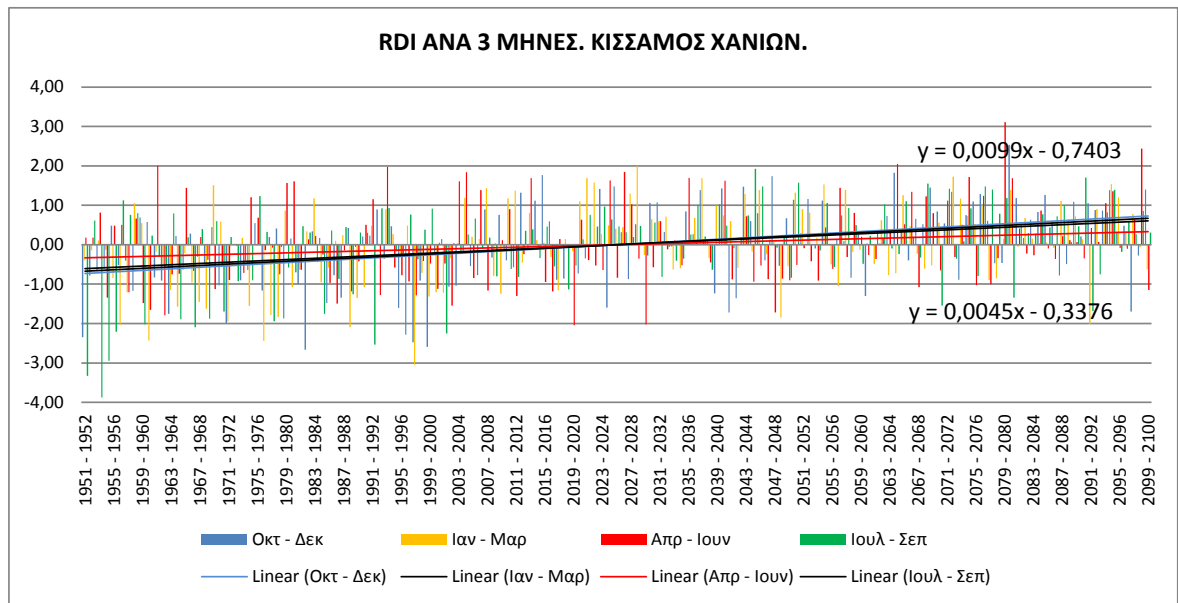
4.3.8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ RDI/SPI ΑΝΑ 3 ΜΗΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ REMO

Για το μοντέλο REMO έγινε σε δεύτερη φάση εποχιακής επεξεργασίας εκ νέου υπολογισμός των δεικτών ξηρασίας RDI και SPI σε 3μηνη βάση (Οκτώβριος – Δεκέμβριος, Ιανουάριος – Μάρτιος, Απρίλιος - Ιούνιος και Ιούλιος – Σεπτέμβριος) για τα 150 έτη (1951-2100) και για κάθε μια από τις επιλεγμένες περιοχές.

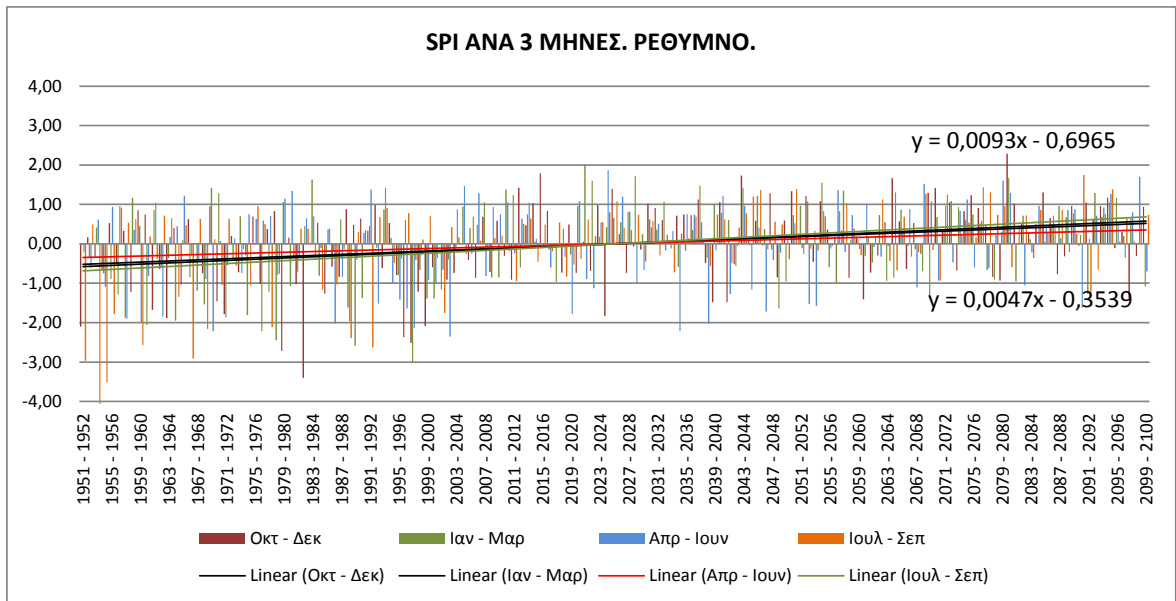
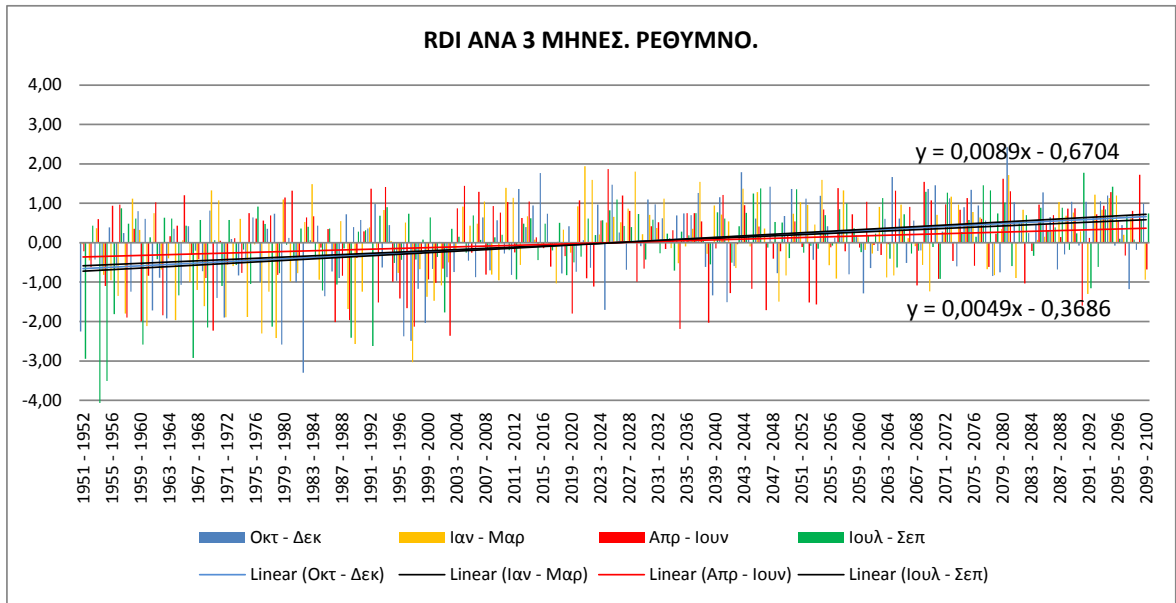
➤ ΧΑΝΙΑ



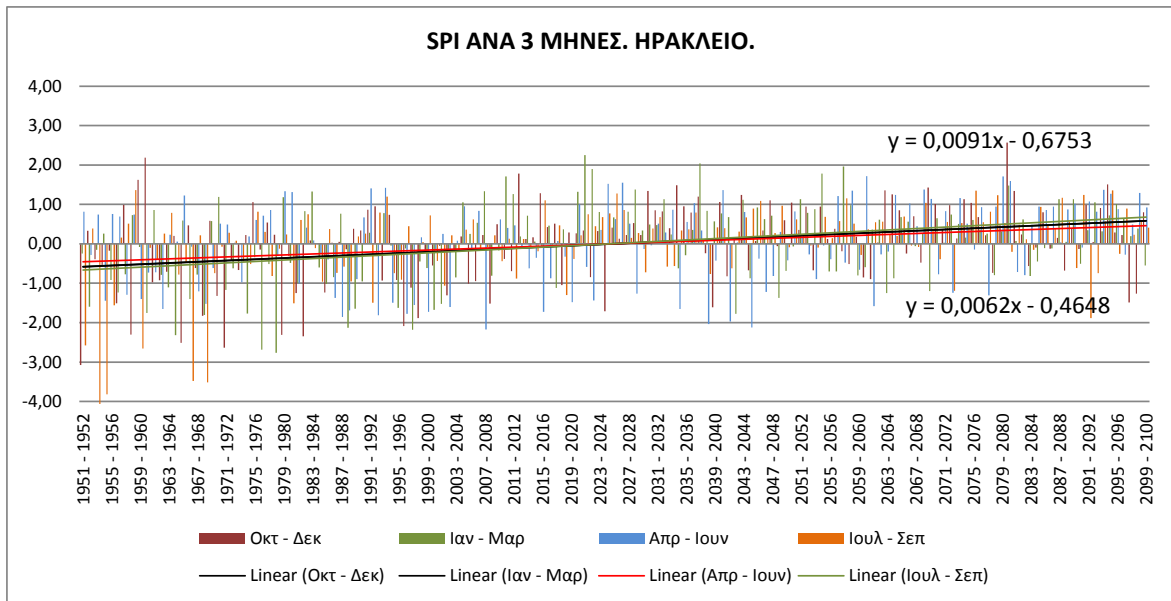
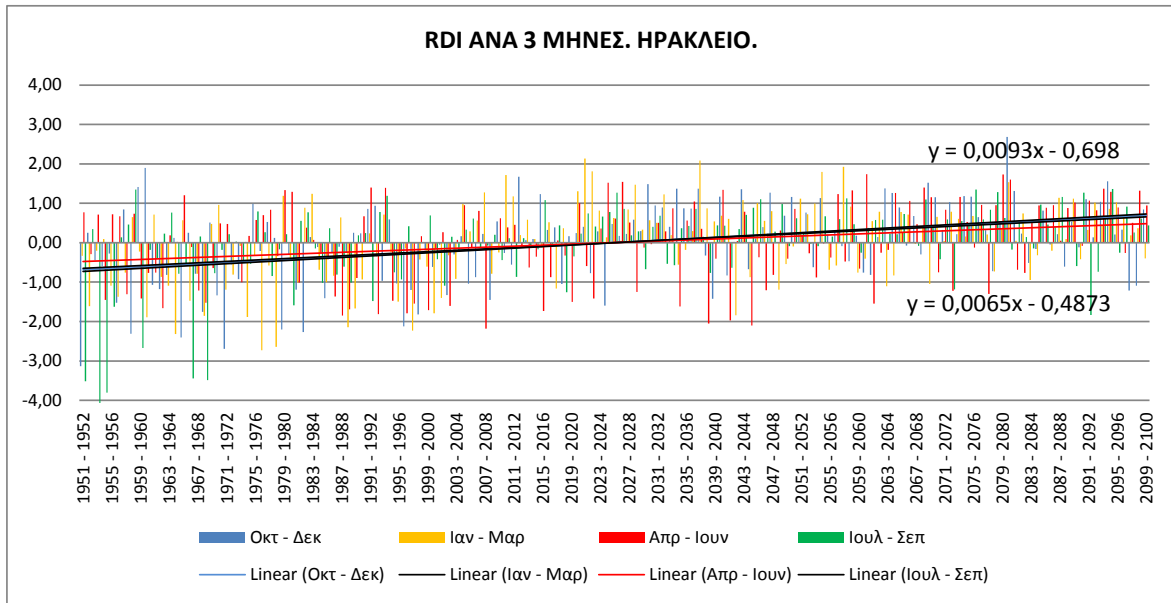
➤ ΚΙΣΣΑΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ



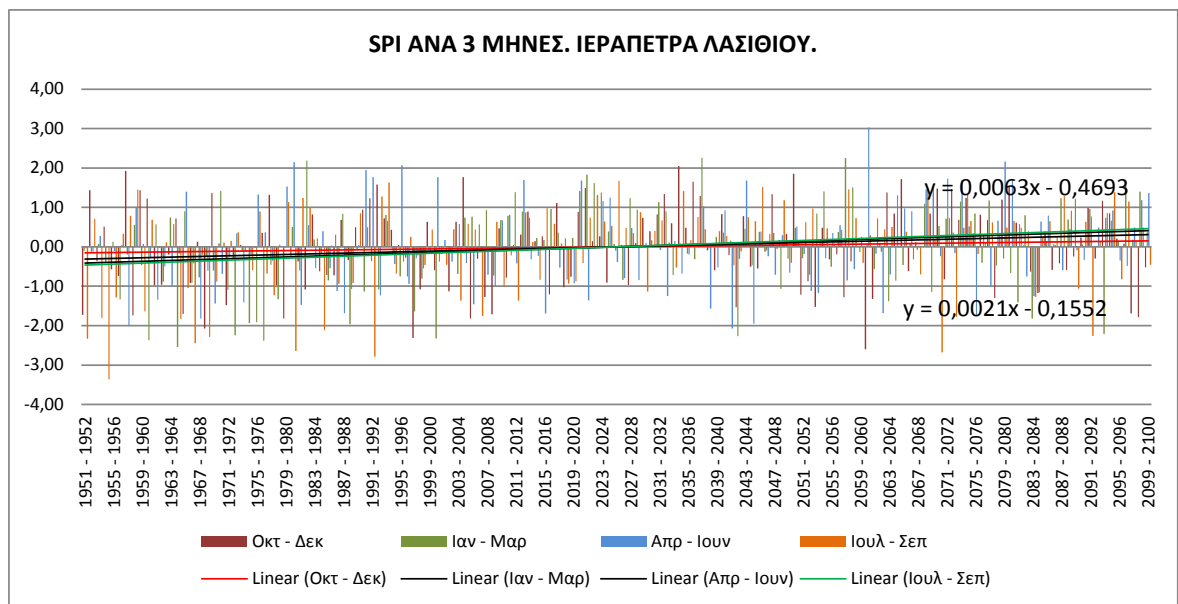
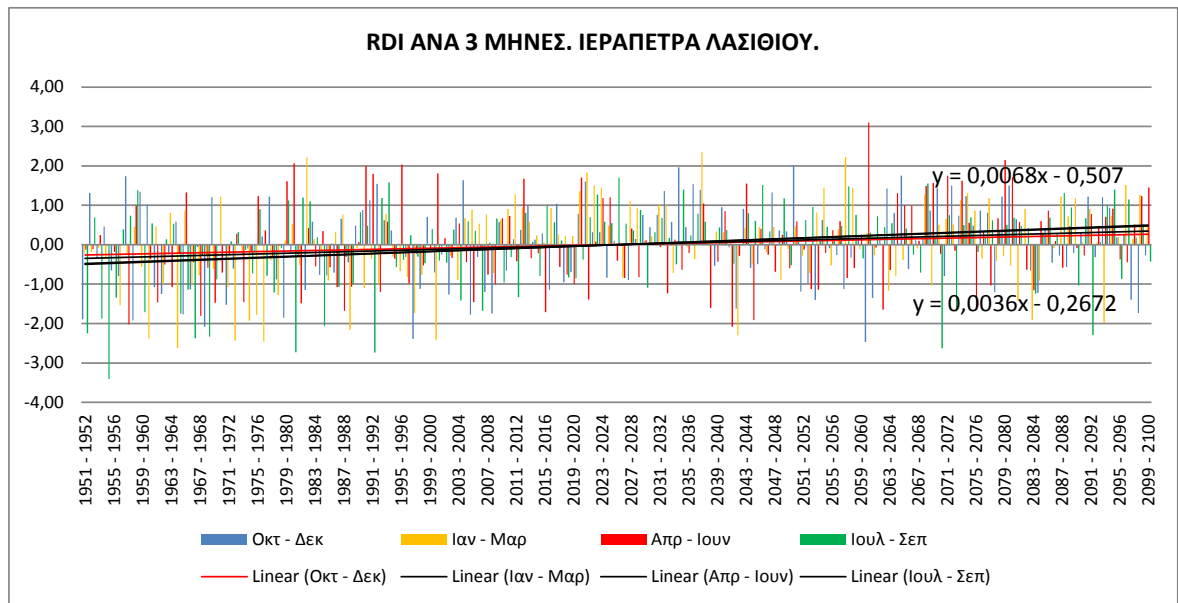
➤ ΡΕΘΥΜΝΟ



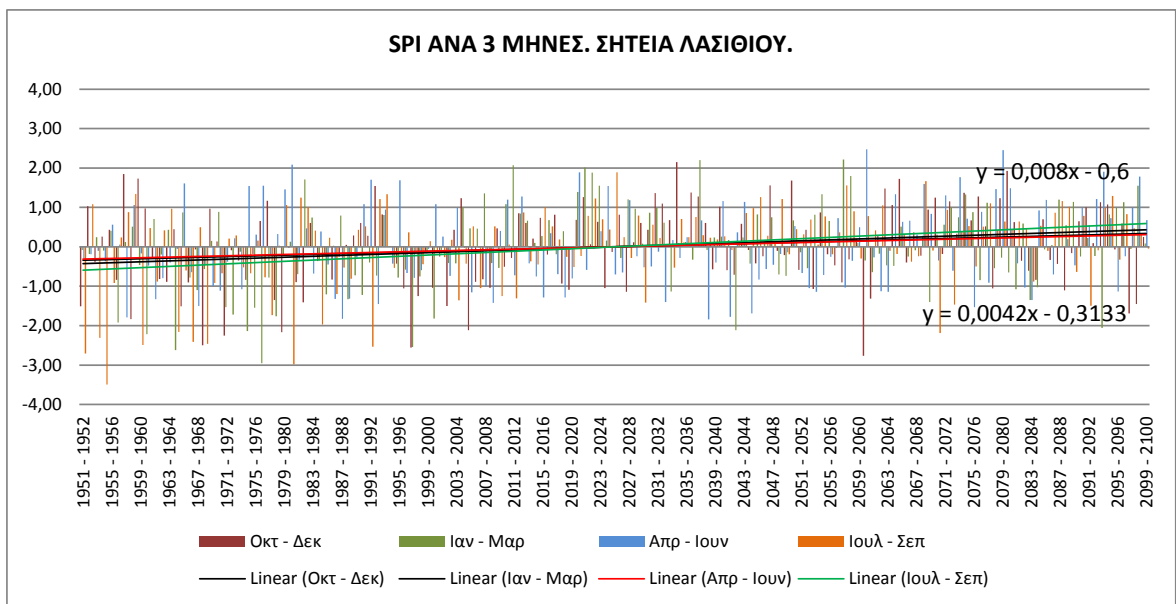
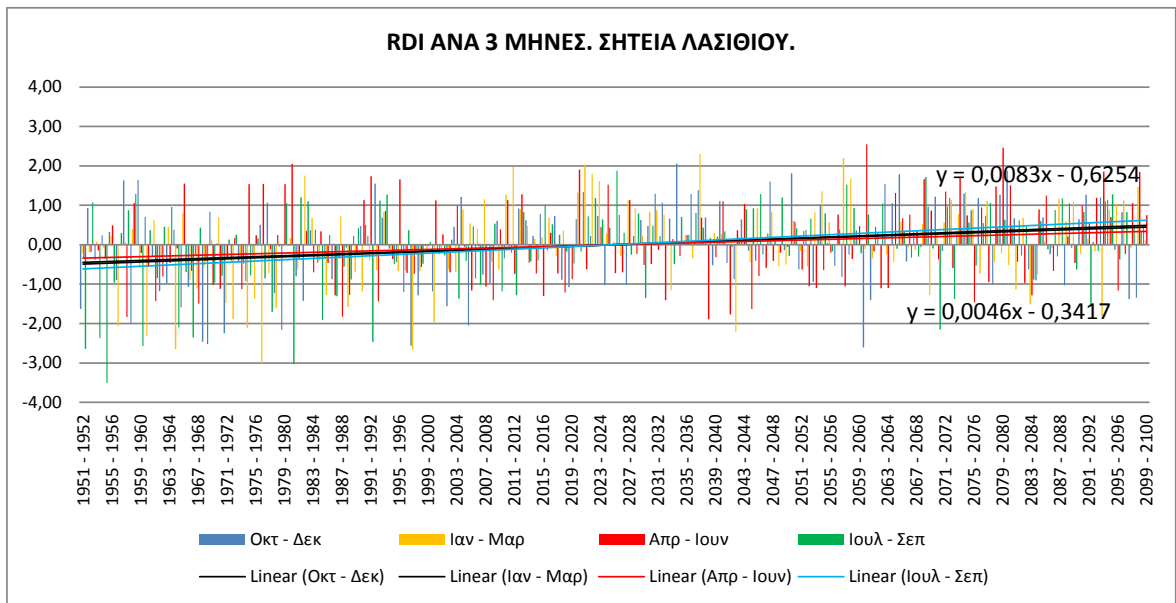
➤ ΗΡΑΚΛΕΙΟ



➤ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



➤ ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

5.1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην σύγκριση των δεικτών για το μοντέλο RACMO2 προέκυψε για τον δείκτη ξηρασίας RDI μια γενικά θετική τάση, δηλαδή μια τάση των τιμών του δείκτη για υψηλότερες τιμές στο μέλλον και άρα λιγότερα περιστατικά ξηρασίας, με τον δείκτη SPI να ακολουθεί το ίδιο μοτίβο σε όλες τις ενδεικτικές περιοχές που εξετάστηκαν, με σημαντική κλίση της γραμμής τάσης 4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του δείκτη RDI, υποδεικνύοντας έτσι ένα υγρότερο μέλλον από ότι ο RDI. Ενώ ο SPI παράγει όμοια αποτελέσματα τιμών και για τις 6 περιοχές, ο RDI έχει κοντινές άλλα κυμαινόμενες τιμές με ελάχιστη αυτή της περιοχής του Ρεθύμνου.

Για το μοντέλο REMO ισχύουν οι θετικές τάσεις και των δυο δεικτών με την κλίση της γραμμής τάσης του δείκτη RDI να είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από αυτή του SPI. Συγκρινόμενοι οι δυο δείκτες του μοντέλου REMO με αυτούς του RACMO2, ο δείκτης RDI έχει κλίση 1,5 φορά μεγαλύτερη από αυτόν του RACMO2 και ο δείκτης SPI περίπου 5,5 φορές αντίστοιχα, προβλέποντας ένα ακόμη πιο υγρό μέλλον από το προηγούμενο μοντέλο. Σημειώνεται ότι στο Νοτιοανατολικό τμήμα της Κρήτης (Ιεράπετρα και Σητεία Λασιθίου) παρατηρείται μειωμένη τάση και στους δυο δείκτες έναντι των υψηλότερων τιμών στα Κεντρικά και Βόρεια.

Για το μοντέλο HadRM3Q0 παρατηρείται μη ταύτιση του δείκτη RDI και SPI, με τον πρώτο να παρουσιάζει θετική κλίση αλλά με μικρή ανοδική τάση της τάξης του 0,0005 (για το σύνολο των επιλεγμένων περιοχών) και τον δεύτερο να εμφανίζει αρνητική κλίση της τάξης του -0,0013 υποδηλώνοντας έτσι ένα ξηρότερο μέλλον. Ο SPI, όπως έχει ήδη αναφερθεί, λαμβάνει υπόψιν μόνο τις τιμές της βροχόπτωσης, συνεπώς αποτελέσματα για χαμηλότερες τιμές του δείκτη σε μελλοντικό χρόνο συνεπάγονται και λιγότερα γεγονότα ξηρασίας στο μέλλον.

Από τον έλεγχο Mann-Kendall που έγινε για τα τρία μοντέλα με κοινό επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$ προέκυψε ότι για το μοντέλο RACMO2 για τον δείκτη RDI η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί (p -value $\approx 0,5$ και sen 's slope $\approx 0,001$), άρα δεν υπάρχει τάση στο δείγμα, και για τον δείκτη SPI η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται (p -value $< 0,001$ και sen 's slope = 0,008). Για το μοντέλο REMO η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται τόσο για τον RDI όσο και για τον SPI (p -value $< 0,001$ και sen 's slope $\approx 0,010$). Τέλος, για το μοντέλο HadRM3Q0, η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί για κανέναν από τους δυο δείκτες, RDI (p -value $\approx 0,9$) και SPI (p -value $\approx 0,4$).

Από την γραφική αναπαράσταση του νησιού της Κρήτης για το ξηρότερο έτος (τιμές δεικτών $< -0,5$) για κάθε ένα από τα μοντέλα προκύπτουν τα εξής: Για το μοντέλο RACMO2, το έτος 2074-2075, ενώ οι τιμές του δείκτη RDI κυμαίνονται από -1,41 έως -2,41 για όλο το εύρος της Κρήτης, οι αντίστοιχες του δείκτη SPI κυμαίνονται από -0,77 έως -1,62. Παρατηρούνται γραφικά, λοιπόν, παρόμοιες τάσεις μεταξύ των δεικτών ενώ παρουσιάζεται μια μικρή διαφορά της διαβάθμισης της ξηρασίας στο Νότιο τμήμα του νησιού, με τον SPI να εμφανίζει μικρότερους τόνους. Μικρότερες τιμές των δεικτών, δηλαδή μεγαλύτερη ξηρασία, παρατηρείται στα Κεντρικά και στα Νότια, ενώ μεγαλύτερες είναι οι τιμές στο

Βορειοδυτικό τμήμα. Για το μοντέλο REMO, το έτος 2042-2043, ο δείκτης RDI κυμαίνεται από -0,48 έως -2,56 και αντίστοιχα ο SPI από -0,51 έως -2,69, ενώ παρουσιάζουν παράλληλες διαβαθμίσεις της ξηρασίας με εντονότερο το φαινόμενο στα Νοτιοανατολικά και χαμηλότερης έντασης στο Κέντρο. Για το μοντέλο HadRM3Q0, τέλος, το έτος 2081-2082, οι τιμές του RDI κυμαίνονται από -0,91 έως -2,01 και οι αντίστοιχες τιμές του SPI από -1,21 έως -2,08. Οι διαφορές στις διαβαθμίσεις της ξηρασίας είναι έντονες στα Βόρεια και Ανατολικά του νησιού, ενώ ο RDI παρουσιάζει χαμηλές τιμές στα Νότια και υψηλότερες στα Βορειοδυτικά.

Στο επόμενο στάδιο της σύγκρισης των ξηρών ετών τα γενικά αποτελέσματα είναι ότι στα μοντέλα RACMO2 και REMO, οι δείκτες RDI και SPI σχεδόν ταυτίζονται, ενώ στο μοντέλο HadRM3Q0 διαπιστώνεται μεγάλη απόκλιση όπου τα ξηρά έτη, κατά τον δείκτη SPI, αυξάνονται αρκετά και μειώνονται τα κανονικά η υγρά, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή των Χανίων. Παράλληλα, διαπιστώνεται μείωση των ξηρών ετών κατά την πορεία από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά του νησιού και για τα τρία μοντέλα. Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα για κάθε μοντέλο παρουσιάζονται παρακάτω.

Για το μοντέλο REMO, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη RDI τα περισσότερα ξηρά έτη, 51, καταγράφονται στον Κίσαμο Χανίων και τα λιγότερα, 39, στην περιοχή της Ιεράπετρας Λασιθίου, ενώ το ίδιο χωρικό μοτίβο ισχύει και για τον δείκτη SPI. Τα αποτελέσματα μεταξύ των δυο δεικτών είναι πανομοιότυπα για όλες τις ενδεικτικές περιοχές με μέγιστη απόκλιση τα 5 ξηρά έτη με τον δείκτη RDI να αποδίδει περισσότερα γεγονότα (περιοχή Ρεθύμνου).

Για το μοντέλο RACMO2, κατά τον δείκτη RDI τα περισσότερα έτη ξηρασίας, 46, εντοπίζονται στο Ρέθυμνο και στον Κίσαμο Χανίων, δηλαδή στα Βορειοδυτικά της Κρήτης και τα λιγότερα, 44, στην Ιεράπετρα και στην Σητεία Λασιθίου, δηλαδή στα Νότια. Κατά τον SPI, τα περισσότερα ξηρά έτη, 44, καταγράφονται στην περιοχή του Ηρακλείου και τα λιγότερα, 39, στον Κίσαμο Χανίων. Φαίνεται λοιπόν, ότι ως προς την καταμέτρηση των γεγονότων ξηρασίας, ο δείκτης SPI δεν ακολουθεί το χωρικό μοτίβο του RDI. Οι διαφορές μεταξύ των δυο δεικτών για όλο το εύρος της Κρήτης κυμαίνονται από 1 έως 7 έτη ξηρασίας, περιοχή Κισσάμου Χανίων, με τον δείκτη RDI να δείχνει υπερεκτίμηση.

Για το μοντέλο HadRM3Q0, βάσει του δείκτη RDI προκύπτουν τα περισσότερα ξηρά έτη, 45, στο Ηράκλειο και τα λιγότερα, 37, στην Ιεράπετρα Λασιθίου, ενώ βάσει του δείκτη SPI τα περισσότερα ξηρά έτη, 47, συναντώνται στα Χανία και τα λιγότερα, 38, στην Σητεία Λασιθίου. Όπως και στο μοντέλο RACMO2, οι δείκτες δεν ταυτίζονται ως προς τα μέγιστα και τα ελάχιστα, ενώ διαπιστώνεται σταθερή διάφορα μεταξύ τους κατά δυο ξηρά έτη στην πλειοψηφία των επιλεγμένων περιοχών με εξαίρεση αυτή των Χανίων όπου η διαφορά ανέρχεται στα 7 έτη, με υπερεκτίμηση του δείκτη SPI.

Για καθένα από τα μοντέλα, η κατηγοριοποίηση των γεγονότων ξηρασίας σε ήπια, μέτρια, σημαντικά και ακραία, οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

Για το μοντέλο REMO τα φαινόμενα ξηρασίας βάσει του RDI για τις ενδεικτικές περιοχές κυμαίνονται για την ήπια ξηρασία από 27 στον Κίσαμο Χανίων έως 12 στο Ηράκλειο, για την μέτρια από 19 στο Ηράκλειο έως 8 στην Ιεράπετρα Λασιθίου, για την σημαντική από 12

στην Ιεράπετρα έως 5 στο Ρέθυμνο και για την ακραία από 5 στην πλειοψηφία των περιοχών έως 2 στην Ιεράπετρα. Βάσει του SPI, τα αντίστοιχα αποτελέσματα είναι, για την ήπια ξηρασία από 25 στον Κίσσαμο Χανίων έως 16 στο Ηράκλειο, για την μέτρια από 16 στο Ηράκλειο έως 8 στην Ιεράπετρα Λασιθίου, για την σημαντική από 10 στην Ιεράπετρα έως 3 στο Ρέθυμνο και για την ακραία από 5 στην πλειοψηφία έως 3 στην Ιεράπετρα.

Διαπιστώνεται, επομένως, ότι χωρικά διατηρείται το ίδιο πρότυπο μέγιστων και ελάχιστων για τους δυο δείκτες, RDI και SPI, με τον RDI να εντοπίζει περισσότερα γεγονότα ξηρασίας σε όλες τις κατηγορίες ξηρασίας.

Για το μοντέλο RACMO2, σύμφωνα με τον RDI, προκύπτουν για την ήπια ξηρασία από 24 γεγονότα στο Ρέθυμνο έως 20 στο Ηράκλειο, για την μέτρια από 14 στο Ηράκλειο έως 9 στην Ιεράπετρα και την Σητεία Λασιθίου, για την σημαντική από 7 στο Ηράκλειο έως 6 στην πλειοψηφία των περιοχών και για την ακραία από 6 στην Ιεράπετρα έως 4 σε Χανιά και Ηράκλειο. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τον SPI, για την ήπια εντοπίζονται από 23 γεγονότα στα Χανιά έως 16 στον Κίσσαμο Χανίων, για την μέτρια από 15 στην Ιεράπετρα έως 13 στις υπόλοιπες περιοχές, για την σημαντική από 8 στο Ηράκλειο έως 4 στα Χανιά κ στο Ρέθυμνο και τέλος, για την ακραία από 5 στον Κίσσαμο έως 3 σε Χανιά και Ηράκλειο.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι, η κατανομή των γεγονότων στο χώρο δεν διατηρείται, ο RDI δίνει περισσότερα γεγονότα ξηρασίας ενώ τα γεγονότα στην κατηγορία σημαντικής και ακραίας κατηγορίας συμπίπτουν για τους δυο δείκτες με αριθμητική διαφορά ένα γεγονός.

Για το μοντέλο HadRM3Q0, από τον δείκτη RDI προκύπτουν για την ήπια ξηρασία από 20 γεγονότα στο Ηράκλειο έως 14 σε Χανιά και Ιεράπετρα Λασιθίου, για την μέτρια από 14 σε Χανιά και Κίσσαμο Χανίων έως 11 στην Ιεράπετρα, για την σημαντική από 10 στο Ρέθυμνο έως 7 στην Ιεράπετρα και στην Σητεία Λασιθίου και για την ακραία από 5 στην Ιεράπετρα και στην Σητεία έως 2 στο Ρέθυμνο. Βάσει του SPI, για την ήπια κατηγορία ξηρασίας καταγράφονται από 21 γεγονότα στα Χανιά έως 14 στην Σητεία, για την μέτρια από 16 στο Ρέθυμνο και στο Ηράκλειο έως 11 στην Σητεία, για την σημαντική από 11 στα Χανιά έως 7 σε Ηράκλειο και Ιεράπετρα και τέλος, για την ακραία από 4 σε Ηράκλειο, Ιεράπετρα και Σητεία έως 2 στις υπόλοιπες περιοχές.

Όπως διαπιστώνεται, ο δείκτης SPI δείχνει μια τάση προς κανονικά ή υγρά μελλοντικά έτη για όλες τις περιοχές έναντι του RDI, με τα μέγιστα και ελάχιστα γεγονότα ανα περιοχή να μην διατηρούνται για τους δύο δείκτες.

Σε επόμενο στάδιο έγινε η σύνθεση των απορροών για τα μοντέλα RACMO2 και HadRM3Q0 ώστε να προκύψουν οι τιμές του δείκτη SDI και να συγκριθούν μεταξύ τους. Η απορροή του μοντέλου RACMO2 έχει ανοδική κλίση, που συνεπάγεται αυξημένες τιμές απορροής σε μελλοντικό χρόνο, με τάση 1,5 φορά μεγαλύτερη από την γραμμή τάσης της χρονοσειράς του μοντέλου HadRM3Q0. Αναμενόμενα, τα ίδια αποτελέσματα προκύπτουν για τους δείκτες SDI κάθε μοντέλου, και οι δυο με θετική κλίση, δηλαδή υψηλότερες τιμές των δεικτών στο μέλλον και άρα υγρότερη κατάσταση, με τον δείκτη του RACMO2 να έχει κλίση περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη από του μοντέλου HadRM3Q0. Βάσει του έλεγχου Mann-Kendall, για τον SDI του RACMO2 η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται άρα υπάρχει τάση στο

δείγμα (p -value = 0,007 και sen 's slope = 0,004), ενώ αντίθετα για τον SDI του HadRM3Q0 δεν μπορεί να απορριφθεί (p -value = 0,125 και sen 's slope = 0,003).

Από την σύγκριση που έγινε με τις ιστορικές παρατηρήσεις βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής για την περιοχή του Ηρακλείου και χρονικό διάστημα 1955-2002, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Η χρονοσειρά των παρατηρήσεων της βροχόπτωσης έχει αρνητική κλίση, δηλαδή με το πέρασμα του χρόνου διαπιστώνονται χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης υποδηλώνοντας ξηρότερη κατάσταση. Για τις αντίστοιχες χρονολογίες οι τιμές βροχόπτωσης του μοντέλου REMO παρουσιάζουν αρνητική κλίση με τάση 3 φορές μεγαλύτερη από ότι οι παρατηρήσεις, οι τιμές του μοντέλου RACMO2 αρνητική κλίση με τάση 5 φορές μεγαλύτερη από τις παρατηρήσεις. Αντίθετα οι τιμές βροχόπτωσης του μοντέλου HadRM3Q0 παρουσιάζουν μικρή αλλά θετική κλίση που συνεπάγεται υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης σε μεταγενέστερο χρόνο.

Η αντίστοιχη χρονοσειρά της εξατμισοδιαπνοής για τις ιστορικές παρατηρήσεις του Ηρακλείου έχει θετική τάση με πολύ μικρή κλίση. Οι τιμές του μοντέλου REMO παρουσιάζουν αρνητική τάση, οι τιμές του RACMO2 αρνητική τάση με κλίση 20 φορές μεγαλύτερη από ότι το REMO και οι τιμές του HadRM3Q0 αρνητική τάση 8 φορές μεγαλύτερης κλίσης από ότι το RACMO2.

Στην ανα 50 ετη επεξεργασία των δεδομένων του μοντέλου REMO, για κάθε μια από τις επιλεγμένες περιοχές της Κρήτης προέκυψαν τα εξής:

Για τα Χανιά, όπου η ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει θετική κλίση και η ετήσια εξατμισοδιαπνοή αρνητική κλίση, ο RDI τα 50 πρώτα ετη (1950-2000) έχει πολύ μικρή αλλά θετική κλίση με τις περισσότερες τιμές να κυμαίνονται κάτω από -0,5, τα επόμενα 50 ετη (2001-2050) έχει θετική τάση με κλίση περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη από πριν και τις περισσότερες τιμές θετικές και ελάχιστες μικρότερες από -0,5, τα τελευταία 50 ετη (2051-2100) η θετική τάση παραμένει αλλά κατά 2,5 φορές μικρότερη κλίση από ότι πριν με ελάχιστες τιμές αρνητικές. Ο SPI, για τα 50 πρώτα ετη παρουσιάζει θετική τάση, τα επόμενα 50 θετική περίπου 2 φορές μεγαλύτερη από προηγουμένως και τα τελευταία 50 η θετική τάση είναι 2,5 φορές μικρότερης κλίσης.

Για τον Κίσαμο Χανίων, με θετική τάση στην βροχόπτωση και αρνητική στην εξατμισοδιαπνοή, ο RDI τα 50 πρώτα ετη παρουσιάζει ελάχιστη θετική κλίση με μόλις 7 τιμές άνω του 0, τα 50 επόμενα ετη θετική τάση με κλίση 13 φορές μεγαλύτερη και λίγες τιμές μικρότερες από -0,5 και τα τελευταία 50 ετη θετική τάση 2 φορές μικρότερη από ότι πριν με μόλις 3 τιμές ξηρασίας. Για τον SPI, διαπιστώνεται αρχικά, αρνητική τάση με πολύ μικρή κλίση, έπειτα θετική κλίση με ισομοιρασμένες τις θετικές και αρνητικές τιμές και τέλος θετική κλίση 2 φορές μικρότερη από πριν με τις περισσότερες τιμές θετικές.

Για το Ρέθυμνο, ο RDI τα 50 πρώτα ετη παρουσιάζει αρνητική τάση με 10 θετικές τιμές και οι περισσότερες μικρότερες από -1,00, τα 50 επόμενα ετη η τάση γίνεται θετική και στην συνέχεια τα τελευταία 50 ετη η τάση είναι θετική αλλά με 2 φορές μικρότερη κλίση από ότι πριν με την πλειοψηφία των τιμών να είναι θετικές και 4 τιμές να υποδηλώνουν ξηρασία. Ο

SPI, τα πρώτα 50 ετη έχει αρνητική τάση με μικρότερη κλίση κατά 1,5 φορά από αυτή του RDI, έπειτα γίνεται θετική και τέλος παραμένει θετική 7 φορές μικρότερη από πριν.

Για το Ηράκλειο και τον δείκτη RDI, τα πρώτα 50 ετη η τάση είναι θετική με τις περισσότερες τιμές να είναι μικρότερες από -0,5, τα επόμενα η κλίση αυξάνεται κατά 4 φορές ενώ καταλήγει στα τελευταία 50 ετη να είναι θετική αλλά 10 φορές μικρότερης κλίσης. Ο δείκτης SPI τα 50 πρώτα ετη έχει θετική κλίση 2,5 φορές μικρότερη από τον RDI, στα επόμενα 50 ετη η κλίση αυξάνεται κατά 9 φορές και στα τελευταία μειώνεται κατά 13 φορές με μόλις 4 γεγονότα ξηρασίας σε αυτό το διάστημα.

Στην Ιεράπετρα ο δείκτης RDI, με μικρή τάση στην χρονοσειρα της βροχόπτωσης, τα 50 πρώτα ετη παρουσιάζει θετική τάση, στην συνέχεια θετική κατά 1,5 φορά μεγαλύτερη και τα τελευταία 50 ετη εμφανίζεται αρνητική τάση γεγονός που σημαίνει ξηρότερες τιμές στο μέλλον. Ο SPI, αρχικά εμφανίζει θετική κλίση κατά 2,5 φορές μικρότερη από τον RDI, έπειτα κατά 3 φορές μεγαλύτερη κλίση και τέλος αρνητική κλίση, όπως και ο RDI.

Στην Σητεία, με ακόμη μικρότερες κλίσεις και στην βροχόπτωση και την εξατμισοδιαπνοη, ο RDI, αρχικά εμφανίζει αρνητική κλίση, στην συνεχεία θετική και τέλος αρνητική τάση με κλίση κατά 1,5 φορά μικρότερη από ότι η αρχική. Ο SPI, τα 50 πρώτα ετη έχει αρνητική τάση περίπου 2 φορές μικρότερη από ότι ο αντίστοιχος RDI, τα επόμενα 50 έχει θετική αλλά μικρή τάση και τα τελευταία 50 ετη έχει θετική τάση με κλίση 1,5 φορά μικρότερη από πριν.

Συμπερασματικά, ο SPI σε γενικές γραμμές ακολουθεί τις τάσεις του RDI, ενώ για τις περισσότερες περιοχές που ελέχθησαν η τάση της 50ετιας, 2051-2100, είναι θετική και άρα ανοδική με εξαίρεση αυτή της Ιεράπετρας Λασιθίου όπου είναι αρνητική. Ακόμα, η κλίση της περιόδου 2051-2100 είναι πάντα μικρότερη από αυτή της περιόδου 2001-2050, υποδεικνύοντας χαμηλότερους ρυθμούς αύξησης των τιμών των δεικτών και άρα όχι τόσο αλματώδη αύξηση της υγρασίας, στις περισσότερες περιοχές, όπως η προηγούμενη 50ετια.

Στην ανα εξάμηνο επεξεργασία παρατηρούνται δυο τάσεις. Στην περιοχή των Χανίων, του Κισσάμου Χανίων, του Ρεθύμνου και του Ηρακλείου, τόσο κατά SPI όσο και κατά RDI, στο πρώτο εξάμηνο (Οκτώβριος – Μάρτιος) η κλίση της θετικής τάσης των δεικτών είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από το δεύτερο εξάμηνο (Απρίλιος – Σεπτέμβριος), υποδηλώνοντας χαμηλότερες τιμές για τους δείκτες στο δεύτερο εξάμηνο άρα όχι τόσο υγρή περίοδος όσο το πρώτο εξάμηνο. Η δεύτερη τάση είναι αυτή των περιοχών της Νοτιοανατολικής Κρήτης, Ιεράπετρα και Σητεία Λασιθίου, όπου τα δεδομένα αντιστρέφονται και το δεύτερο εξάμηνο εμφανίζεται πιο υγρό από το πρώτο.

Στην ανα τρίμηνο ανάλυση, στην περιοχή των Χανίων, ο RDI παρουσιάζει μεγαλύτερη τάση το πρώτο τρίμηνο (Οκτώβριος – Δεκέμβριος) έναντι της κατά δυο φορές μικρότερης κλίσης στο τρίτο τρίμηνο (Απρίλιος – Ιούνιος), που συνεπάγεται χαμηλότερες τιμές του δείκτη στο διάστημα Απρίλιος – Ιούνιος και άρα ξηρότερη περίοδος από ότι στο πρώτο τρίμηνο. Το ίδιο μοτίβο ακολουθείται και για τον δείκτη SPI, ενώ η ίδια κατάσταση ισχύει και για τις περιοχές του Κισσάμου, του Ρεθύμνου και του Ηρακλείου.

Σε διαφορετική κατάσταση βρίσκεται η Ιεράπετρα και η Σητεία. Στην περιοχή της Ιεραπέτρας, η μικρότερη κλίση και άρα χαμηλότερες τιμές των δεικτών εμφανίζονται στο

τρίμηνο Οκτώβριος – Δεκέμβριος, και αντίθετα μεγαλύτερη κλίση κατά 3 φορές εμφανίζεται το τρίμηνο Ιούλιος – Σεπτέμβριος. Στην Σητεία Λασιθίου, η μικρότερη κλίση εμφανίζεται την περίοδο Απρίλιος – Ιούνιος και η μεγαλύτερη, κατά δυο φορές, κλίση το τρίμηνο Ιούλιος – Σεπτέμβριος.

Τόσο κατά RDI όσο και κατά SPI, η μικρότερη τάση που εμφανίζεται για την περίοδο του Απριλίου – Ιουνίου είναι στον Κίσσαμο Χανίων ενώ η μεγαλύτερη, κατά 1,5 φορά από την μικρότερη κλίση, είναι στο Ηράκλειο, γεγονός που ταυτίζεται με το συμπέρασμα της μεγαλύτερης έντασης της ξηρασίας στα Κεντρικά του νησιού και των υψηλότερων τιμών στα Βόρεια.

5.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- ✓ Ως προς την σύγκριση των Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων διαπιστώνεται διαφοροποίηση σε ό,τι αφορά τα πρωτογενή δεδομένα βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής, ενώ στην χωρική κατανομή και στα τρία μοντέλα διαπιστώνεται η έντονη τάση προς την ξηρασία προς το Νότιο-Ανατολικό τμήμα του νησιού της Κρήτης.
- ✓ Ως προς την σύγκριση των Δεικτών Μετεωρολογικής Ξηρασίας, διαπιστώνεται η τάση του δείκτη SPI προς υγρότερο μέλλον συγκρίνοντας την με την τάση του RDI, τόσο ως προς την ένταση των γεγονότων που αποδίδουν όσο και ως προς τον αριθμό των γεγονότων αυτών.
- ✓ Ως προς τον έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας οι δείκτες που θεωρούνται σημαντικής τάσης είναι ο δείκτης SPI του μοντέλου RACMO2 και οι δύο δείκτες του μοντέλου REMO. Ακόμα, στην ανά 50 έτη ανάλυση των τιμών των δεικτών του μοντέλου REMO δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές τάσεις αποκλείοντας την περιοδικότητα.

Ολοκληρώνοντας, λοιπόν, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης που εξετάστηκε και δεν μπορεί να γίνει γενίκευση των συμπερασμάτων λόγω των μικρών διαφοροποιήσεων που παρατηρούνται.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

• ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alverson K.D., Bradley R.S., Pedersen T.F., 2003. Paleoclimate, Global Change and the Future. International Geosphere Biosphere Programme Book Series, Springer-Verlag, Berlin, 221 pp.

Anderson D., Woodhouse C., Morrill C., Overpeck J.T., Webb R.S., 2000. A Paleo Perspective on Global Warming. Updated 2008, August 20. Retrieved from <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/home.html>

Bard E., Frank M., 2006. Climate change and solar variability: What's new under the sun? *Frontiers. Earth and Planetary Science Letters* Vol 248: 1–14.

Barnett T.P., Hasselmann K., Chelliah M., Delworth T., Hegerl G., Jones P., Rasmusson E., Roeckner E., Ropelewski C., Santer B., Tett S., 1999. Detection and attribution of recent climate change: a status report. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol 80: 2631–2659.

Barsugli J., Anderson C., Smith J.B., Vogel J.M., 2009. Options for Improving Climate Modeling to Assist Water Utility Planning for Climate Change [White Paper]. Water Utility Climate Alliance, San Francisco, CA, 146 pp. Retrieved from http://www.wucaonline.org/assets/pdf/actions_whitepaper_120909.pdf

Beran M.A., Rodier J.A., 1985. Hydrological aspects of drought. UNBSCO-WMO, Studies and Reports in Hvdrology no. 39, UNESCO, Paris, France.

Bowden J.H., Otte T.L., Nolte C.G., Otte M.J., 2012. Examining interior grid nudging techniques using two-way nesting in the WRF model for regional climate modeling, *Journal of Climate*, Vol 25: 2805-2823.

Bradley R.S., 1999. Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary. Academic Press, San Diego, 610 pp.

Burkett V.R., Suarez A.G., Bindi M., Conde C., Mukerji R., Prather M.J., St. Clair A.L., Yohe G.W., 2014: Point of departure. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 169- 194.

Canadian Institute for Climate Studies. 2006. Downscaling Background. Figure 2: The weather typing approach to statistical downscaling. University of Victoria. Victoria, BC. Updated February 3, 2006. Retrieved from http://www.cics.uvic.ca/scenarios/index.cgi?More_InfoDownscaling_Background

Carter T., Hulme M., Viner D. (Eds.), 1999. In: Representing Uncertainty in Climate Change Scenarios and Impact Studies. Proceedings of the ECLAT-2 Helsinki Workshop, 14-16 April, 1999. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom. 128 pp.

Christensen J.H., Christensen O.B., Lopez P., van Meijgaard E., Botzet M., 1996. The HIRHAM4, Regional Atmospheric Climate Model, Danish Meteorological Institute – Scientific Report – Copenhagen.

Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.-T., Laprise R., Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A., Whetton P., 2007: Regional Climate Projections. 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.

Dahlman L., 2009. Climate Change: Global Temperature. ClimateWatch Magazine. NOAA Climate Services. Updated 2015, January 16.

DG Environment, European Commission, (2007, June). Water Scarcity and Droughts Second Interim report. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/comm_droughts/2nd_int_report.pdf

Doms G., Förstner J., Heise E., Herzog H.-J., Raschendorfer M., Schrodin R., Reinhardt T., Vogel G., 2004. A Description of the non-hydrostatic regional model LM, Part II: Physical Parameterization. COSMO, Consortium for Small Scale Modelling.

Doms G., Schättler U., 2003. A Description of the nonhydrostatic regional model LM, Part I: Dynamics and Numerics. COSMO, Consortium for Small Scale Modelling.

Edwards D.C., McKee T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report Number 97-2, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Ettema J., van den Broeke M.R., van Meijgaard E., van den Berg W.J., Bamber J., Box J., Bales R., 2009. Higher surface mass balance of the Greenland ice sheet revealed by high-resolution climate modeling, Geophysical Research Letters., Vol. 36.

Fu Q., Johanson C.M., Warren S.G., Seidel D.J., 2004. Contribution of stratospheric cooling to satellite-inferred tropospheric temperature trends. Nature, Vol 429: 55–58.

Gan T.Y., 1998. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies. Water Resources Research Vol 34: 3009–3015.

Geerts B., Linacre E., (1998, December). What are general circulation models?. Retrieved from http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap12/nwp_gcm.html

Giakoumakis S, Dercas N, Karantounias G., 2005. Validation of a simple water balance model in Pinios river basin (Peloponnese, Greece). Proceedings of the 6th International Conference of EWRA “Sharing a Common Vision for our Water Resources”, 7-10 September 2005, Menton, France. Digital publication.

Gibbs W.J., Maher J.V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia.

Giorgi F., Hewitson B., Christensen J., Hulme M., Von Storch H., Whetton P., Jones R., Mearns L., Fu C., 2001. Regional Climate Information – Evaluation and Projections. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

Guttman N.B., Wallis J.R., Hosking J.R.M., 1992. SPATIAL COMPARABILITY OF THE PALMER DROUGHT SEVERITY INDEX. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, Vol 28: 1111–1119.

Hoar T., Nychka D., 2008. Statistical Downscaling of the Community Climate System Model (CCSM) monthly temperature and precipitation projections. IMAGE/NCAR. White paper.

IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

IPCC, 2012. Glossary of terms. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564. [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX-Annex_Glossary.pdf]

IPCC, 2013: 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, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. 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.

Jacob D., 2001. A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. Meteorology and Atmospheric Physics, Vol 77, Issue 1-4: 61-73.

Jones R.G., Murphy J. M., Noguer M., Keen A.B., 1997. Simulation of climate change over Europe using a nested regional climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 123: 265–292.

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.

Kendall S., 1975. "Multivariate Analysis". Charles Griffin & Co Ltd.

Kim S.J., Flato G., Boer G., McFarlane N., 2002. A coupled climate model simulation of the Last Glacial Maximum, Part 1: Transient multi-decadal response, *Climate Dynamics*, Vol 19: 515-537.

Kim S.J., Flato G., Boer G., 2003. A coupled climate model simulation of the Last Glacial Maximum, Part 2: Approach to equilibrium, *Climate Dynamics*, Vol 20: 635-661.

Kjellström E., Bärring L., Gollvik S., Hansson U., Jones C., Samuelsson P., Rummukainen M., Ullerstig A., Willén U., Wyser K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3), *SMHI Reports Meteorology and Climatology*, 108, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 54 pp.

Køltzow M., 2006. The effect of a new snow and sea ice albedo scheme on regional climate model simulations, *Regclim general technical Report*, No. 9.

Koutroulis A.G., Tsanis I.K., 2010. A method for estimating flash flood peak discharge in a poorly gauged basin: case study for the 13–14 January 1994 flood, Giofyros basin, Crete. *Journal of Hydrology*, Vol 385: 150–164.

Ledley T.S., Sundquist E.T., Schwartz S.E., Hall D.K., Fellows J.D., Killeen T.L., 1999. Climate change and greenhouse gases. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, Vol 80, Issue 39: 453-458.

Lenart M., (2008, September 14). Downscaling Techniques. Retrieved from <http://www.southwestclimatechange.org/climate/modeling/downscaling>

Linsley R.K.Jr., Kohler M.A., Paulhus J., 1975. *Hydrology for Engineers* (second edn). McGraw-Hill, New York, USA.

Maurer E.P., Hidalgo H.G., 2008. Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol 12: 551-563.

Moss R.H., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter, S. Emori T.R., Kainuma T., Kram T., Meehl G.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R.J., Thomson A.M., Weyant J.P., Wilbanks T.J., 2010. A new paradigm for the next generation of climate change scenarios. *Nature*, Vol 463: 747-756.

Murphy J., 1999. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of Climate*, Vol 12: 2256–2284.

Nakicenovic N., Alcamo J., Davis G., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory K., Grubler A., Jung T.Y., Kram T., La Rovere E.L., Michaelis L., Mori S., Morita T., Pepper W., Pitcher H.M., Price L., Riahi K., Roehrl A., Rogner H., Sankovski A., Schlesinger M., Shukla P., Smith S.J., Swart R., van Rooijen S., Victor N., Dadi Z., 2000: *Emissions Scenarios: A Special Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change.[Nakicenovic, N. and Swart, R. (eds.)]. Cambridge University Press, United States, pp. 599.

Nalbantis I, Tsakiris G., 2009. Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, Vol 23, Issue5: 881-897.

Palmer W.C., 1965. *Meteorological Drought*. US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper no. 45, Washington D.C., 58p.

Panu U.S., Sharma T.C., 2002. Challenges in drought research: some perspectives and future directions. *Hydrological Sciences Journal*, Vol 47, Supplement 1, pp. S19–S30.

Pereira L.S., Cordery I., Iacovides I., 2009. *Coping with water scarcity addressing the challenges*. Dordrecht: Springer. Available at: <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=428808>.

Przybylak R., 2000. Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic. *International Journal of Climatology*, Vol 20: 587-614.

Reichler T., Kim J., 2008. How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol 89: 303-311.

Roeckner E., Arpe K., Bentsson L., Christoph M., Claussen M., Dümenil L., Esch M., Giorgetta M., Schlese U., Schulzweida U., 1996. The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present day climate. Max-Planck Institut für Meteorologie Report No. 218, 90 pp.

Roeckner E., Bäuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornblüeh L., Manzini E., Rhodin A., Schlese U., Schulzweida U., Tompkins A., 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part 1. Model description. Report no. 349, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M).

Samuelsson P., Gollvik S., Ullerstig A., 2006. The land-surface scheme of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). Report in Meteorology 122, SMHI. SE-601 76 Norrköping, Sweden, 43 pp.

Samuelsson P., Jones C.G., Willen U., Ullerstig A., Gollvik S., Hansson U., Jansson C., Kjellstrom E., Nikulin G., Wyser K., 2011. The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. *Tellus A*, Vol 63: 4–23.

SCS (Soil Conservation Service), 1972. *National engineering handbook*. Section 4, hydrology. Washington DC: Department of Agriculture (USA).

Sneyers R., 1975. "Sur l'Analyse Statique des Series d' observations". OMM No 415.

Sneyers S., 1990. On the statistical analysis of series of observations; Technical note no. 143, WMO No. 725 415, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, 192 p.

Stott P.A., Tett S.F.B., Jones G.S., Allen M.R., Mitchell J.F.B., Jenkins G.J., 2000. External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science*, Vol 290: 2133–2137.

Tallaksen L.M., van Lanen H.A.J., 2004. Introduction. In: *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater* (ed. by L.M. Tallaksen & H.A.J. van Lanen), *Developments in Water Sciences* 48, Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands, 3-17.

Tate E.L., Gustard A., 2000. Drought Definition: A Hydrological Perspective. In: J. V. Voght and F. Somma (eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe (Advances in Natural and Technological Hazard Research)*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2000, The Netherlands, ISBN: 0-7923-6589-5, pp. 23-48.

Thom H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, Vol 86: 117-122.

Tigkas D, Tsakiris G., 2004. Medbasin: a Mediterranean rainfall–runoff software package. *European Water*, Vol 5/6: 3-11.

Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2012. Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*, Vol 440: 33-41.

Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2014. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, doi: 10.1007/s12145-014-0178-y.

Tsakiris G., Pangalou D., Vangelis H., 2007. Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, Vol 21, Issue 5: 821-833.

Tsakiris G., Vangelis H., 2004. Towards a drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management*, Vol 18, Issue 1: 1-12.

Tsakiris G., Vangelis H., 2005. Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration. *European Water*, Vol 9/10: 3-11.

Undén P., Rontu L., Järvinen H., Lynch P., Calvo J., Cats G., Cuxart J., Eerola K., Fortelius C., Garcia-Moya J.A., Jones C., Lenderlink G., McDonald A., McGrath R., Navascues B., Woetman Nielsen N., Ødegaard V., Rodrigues E., Rummukainen M., Rööm R., Sattler K., Hansen Sass B., Savijärvi H., Wichers Schreur B., Sigg R., The H., Tijm A., 2002. HIRLAM-5 Scientific Documentation. Scientific Report.

UNESCO, 1979. “Map of the World Distribution of Arid Regions: Explanatory Note”. *Man and the Biosphere*, Technical Notes 7, Paris.

UNFCCC, 1992. United Nations Framework Convention On Climate Change. United Nations, FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (E) 200705, Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn, Germany, 24 pp. [unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf]

van Meijgaard E., van Ulft L.H., van de Berg W.J., Bosveld F.C., van den Hurk B.J.J.M., Lenderink G., Siebesma A.P., 2008. The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1, KNMI Technical Report 302, 43 pp. Available from KNMI, Postbus 201, 3730 AE, De Bilt, The Netherlands [<http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubTR/TR302.pdf>].

van Vuuren D.P., Edmonds J.A., Kainuma M., Riahi K., Weyant J., 2011. A special issue on the RCPs. *Climatic Change*, Vol 109, Issue 1: 1-4.

Vangelis H., Tigkas D., Tsakiris G., 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*, Vol 88: 130-140.

Vrochidou A.-E.K., Tsanis I.K., Grillakis M.G., Koutroulis A.G., 2012. The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale *Journal of Hydrology*, Vol 476: 290–301.

Wilby R.L., Wigley T.M.L., 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, Vol 21: 530-548.

Wilhite D.A., Glantz M.H., 1985. Understanding: the Drought Phenomenon: The role of Definitions. *Water International*, Vol 10, Issue 3: 111-120.

Wilhite D.A., Hayes M.J., Svoboda M.D., 2000. Drought Monitoring and Assessment: Status and Trends in the United States. In: J.V. Voght and F. Somma (eds.), *Drought and Drought Mitigation in Europe (Advances in Natural and Technological Hazard Research)*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2000, The Netherlands, ISBN: 0-7923-6589-5, pp. 149-160.

- **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

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

http://www.dkrz.de/daten-en/wdcc/projects_cooperations/past-projects/clm-1/clm-info

<http://www.drought.gov/gdm/current-conditions>

http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_models.php

http://ensemblesrt3.dmi.dk/extended_table.html