



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΑ Κ. ΛΑΖΟΓΛΟΥ
Μαθηματικός
MSc Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας
και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος

ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020





*Στους γονείς μου,
Κώστα και Γιώτα*





ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI
FACULTY OF SCIENCES
SCHOOL OF GEOLOGY

GEORGIA K. LAZOGLOU
Mathematician
MSc of Meteorology, Climatology and Atmospheric Environment

STUDY, MODELING AND PREDICTION OF EXTREME CLIMATIC
PARAMETERS IN THE MEDITERRANEAN REGION

DISSERTATION THESIS

THESSALONIKI
2020





ΓΕΩΡΓΙΑ Κ. ΛΑΖΟΓΛΟΥ
Μαθηματικός
MSc Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας
και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος

ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Εκπονήθηκε στον Τομέα Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του Τμήματος
Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. τον Ιανουάριο του 2020

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 10/01/2020

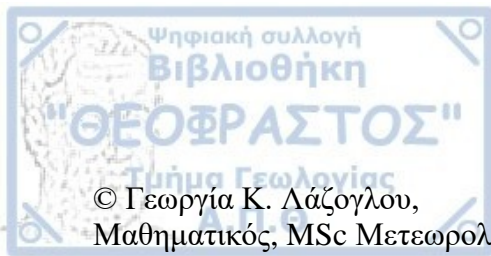
Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν^ο: 195

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αν. Καθ., Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ (επιβλέπουσα)
Κωνσταντία Τολίκα, Επίκ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ. (μέλος 3-μελούς
συμβουλευτικής επιτροπής)
Φωτεινή Κολυβά-Μαχαίρα, Αν. Καθηγήτρια, Τμήμα Μαθηματικών, ΑΠΘ. (μέλος 3-
μελούς συμβουλευτικής επιτροπής)

Εξεταστική Επιτροπή

Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αν. Καθ., Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ (επιβλέπουσα)
Κωνσταντία Τολίκα, Επίκ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ. (μέλος 3-μελούς
συμβουλευτικής επιτροπής)
Φωτεινή Κολυβά-Μαχαίρα, Αν. Καθηγήτρια, Τμήμα Μαθηματικών, ΑΠΘ. (μέλος 3-
μελούς συμβουλευτικής επιτροπής)
Ευθυμία Κωστοπούλου, Επ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
Παναγιώτης Πρίνος, Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ.
Ιωάννης Πυθαρούλης, Αν. Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ.
Μαρία Χατζάκη, Επίκ. Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ.



© Γεωργία Κ. Λάζογλου,
Μαθηματικός, MSc Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος,
2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ – *Διδακτορική Διατριβή*

© Georgia K. Lazoglou,

Mathematician, MSc of Meteorology, Climatology and Atmospheric Environment, 2020

All rights reserved.

STUDY, MODELING AND PREDICTION OF EXTREME CLIMATIC PARAMETERS
IN THE MEDITERRANEAN REGION – *Ph.D. Thesis*

«Η διδακτορική διατριβή υλοποιήθηκε με υποτροφία του ΙΚΥ η οποία χρηματοδοτήθηκε από την Πράξη «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ» από πόρους του ΕΠ «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση», 2014-2020

Citation:

Λάζογλου Γ. Κ., 2020. – Μελέτη, Μοντελοποίηση και Πρόβλεψη ακραίων κλιματικών παραμέτρων στη λεκάνη της Μεσογείου. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμ. Γεωλογίας No 195, 263 σελ.

Lazoglou G. K., 2020. – Study, Modeling and Prediction of extreme climatic parameters in the Mediterranean region. Ph.D. Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No 195, 263 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο «Μελέτη Μοντελοποίηση και Πρόβλεψη Ακραίων κλιματικών παραμέτρων στη Λεκάνη της Μεσογείου» εκπονήθηκε στον τομέα Μετεωρολογίας Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, του τμήματος Γεωλογίας, με επιβλέπουσα την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου.

Η διδακτορική διατριβή υλοποιήθηκε με υποτροφία του ΙΚΥ, η οποία χρηματοδοτήθηκε από την Πράξη «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ» από πόρους του ΕΠ «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση», 2014-2020. Επιπρόσθετα η διεξαγωγή ενός τμήματος της διατριβής πραγματοποιήθηκε στο ινστιτούτο πληροφορικής «52° North» στην πόλη Muenster της Γερμανίας υπό τη χρηματοδότηση της Γερμανικής Υπηρεσίας Ακαδημαϊκών Ανταλλαγών (DAAD).

Η συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή αποτελεί το επιστέγασμα μιας σκληρής και ταυτόχρονα εποικοδομητικής προσπάθειας, η οποία δεν θα ολοκληρωνόταν χωρίς τη συμπαράσταση ορισμένων πολύ σημαντικών για εμένα ανθρώπων.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω ολόψυχα την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου για τη συνεχή στήριξη και καθοδήγησή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Την ευχαριστώ ολόψυχα για τον τρόπο που μου δίδαξε να δουλεύω καθώς και για την τεράστια συμβολή της στην επιστημονική μου κατάρτιση. Κυρίως όμως θα ήθελα να την ευχαριστήσω γιατί αποτελεί πρότυπο για εμένα, όχι μόνο ως επιστήμονας και ως καθηγήτρια αλλά και ως άνθρωπος.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής μου. Αρχικά την Επίκουρη Καθηγήτρια του τμήματος Γεωλογίας κ. Κωνσταντία Τολίκα, για την άψογη συνεργασία των τελευταίων ετών, για την υποστήριξη και για τις χρήσιμες συμβουλές της τόσο σε επιστημονικό όσο και σε προσωπικό επίπεδο. Έπειτα ένα θερμό ευχαριστώ οφείλω στην κ. Φωτεινή Κολυβά Μαχαίρα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του τμήματος Μαθηματικών, αλλά και στον ομότιμο καθηγητή κ. Παναγιώτη Μαχαίρα για τα σχόλια, τις επισημάνσεις και τις παρατηρήσεις τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.



Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τα υπόλοιπα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής : κ. Ε. Κωστοπούλου, κ. Π. Πρίνο, κ. Ι. Πυθαρούλη, κ Μ. Χατζάκη, για τα σχόλια, τις συμβουλές και τις επισημάνσεις τους που βοήθησαν σημαντικά στη βελτίωση της παρούσας διατριβής.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω μέσα από την καρδιά μου σε όλα τα μέλη της οικογένειάς μου που αποτελούν τη δύναμή μου. Στην μητέρα μου Παναγιώτα, τον πατέρα μου Κωνσταντίνο και τις αδερφές μου Φωτεινή και Ιωάννα για την αγάπη, τη φροντίδα και την υπομονή που μου προσφέρουν απλόχερα όλα αυτά τα χρόνια. Τους ευχαριστώ για όλες εκείνες τις φορές που χρειάστηκα στήριξη, ψυχολογική, ηθική, οικονομική και ήταν πάντα δίπλα μου.

Δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω ξεχωριστά το σύντροφο της ζωής μου Γιάννη, ο οποίος όλα αυτά τα χρόνια παραμένει δίπλα μου, στηρίζοντας τα όνειρά μου, δείχνοντας τεράστια υπομονή και κατανόηση σε όλες τις επιλογές μου.

Ως πράξη φιλίας και ευγνωμοσύνης θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδελφική μου φίλη Γεωργία για την τεράστια ψυχολογική βοήθεια όλων αυτών των ετών, αλλά και για όλες τις υπέροχες στιγμές συγκατοίκησης που μου προσφέρει τα τελευταία τρία χρόνια στο σπίτι της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς όλους τους φίλους και συνεργάτες μου που έζησαν μαζί μου όλες τις όμορφες αλλά και αγχωτικές στιγμές της διδακτορικής διατριβής. Μαρία, Ιφιγένεια, Κώστα, Κονδυλία, Γιούλη σας ευχαριστώ.



Τις τελευταίες δεκαετίες, τόσο η ένταση όσο και η συχνότητα των ακραίων κλιματικών επεισοδίων έχει αυξηθεί δραματικά, προκαλώντας σοβαρότατα προβλήματα σε κοινωνικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο. Συνεπώς, σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη, η μοντελοποίηση και η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των ακραίων επεισοδίων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται αρχικά με τη μελέτη διαφόρων στατιστικών κατανομών, με στόχο την εύρεση αυτής που μπορεί να περιγράψει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη συμπεριφορά των ακραίων κλιματικών επεισοδίων. Για την τελική επιλογή τόσο της καταλληλότερης κατανομής όσο και της καταλληλότερης μεθόδου υπολογισμού των παραμέτρων της, ακολουθήθηκε μία σειρά στατιστικών ελέγχων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η GPD κατανομή είναι η καταλληλότερη για την περιγραφή τόσο των ακραίων θερμοκρασιών όσο και βροχοπτώσεων στην περιοχή μελέτης. Επιπρόσθετα, και η GEV κατανομή είναι κατάλληλη για την προσέγγιση των υψηλότερων τιμών των ακραίων, όταν οι κρίσιμες παράμετροι της υπολογίζονται με την Bayesian μέθοδο. Για τη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη των ακραίων αναπτύχθηκε μια καινοτόμος στατιστική μέθοδος, η TIN-Copula. Η νέα μέθοδος, συνδυάζει τη θεωρία των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων και των συζεύξεων. Η νέα μέθοδος παρουσιάζεται, αξιολογείται και προτείνεται για τη διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας των κλιματικών μοντέλων σχετικά με την εκτίμηση των ακραίων τιμών, αλλά και για την εκτίμηση των χρονοσειρών των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Σύμφωνα με την νέα μέθοδο, η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε ακανόνιστα μη αλληλεπικαλυπτόμενα τρίγωνα, ο σχηματισμός των οποίων γίνεται με τη χρήση των διαθέσιμων σταθμών. Με τη χρήση της θεωρίας των συζεύξεων πραγματοποιείται η διόρθωση ή η εκτίμηση των ακραίων τιμών θερμοκρασίας ή βροχόπτωσης για οποιοδήποτε σημείο εμπεριέχεται στα σχηματιζόμενα τρίγωνα. Στον τελικό υπολογισμό λαμβάνεται υπόψη και η απόσταση του σημείου από τις κορυφές του εκάστοτε τριγώνου. Τα αποτελέσματα της διατριβής, αποδεικνύουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη, τη μοντελοποίηση και την πρόβλεψη των ακραίων κλιματικών επεισοδίων.



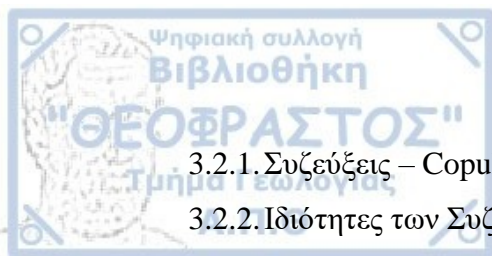
SUMMARY

The increasing trend of the frequency and intensity of temperature and precipitation extremes during the recent decades has substantial environmental and socioeconomic impacts. Thus, the objective of the present dissertation is to study, model and predict extreme temperature and precipitation episodes in the Mediterranean area. This is firstly achieved with the comparison of several mathematical distributions, in order to identify the most appropriate for the description of extreme precipitation, and high and low temperature episodes in Mediterranean. The selection of the distribution that can satisfactorily fit extreme events was made after a sequence of statistical tests. Additionally, as the method that is used for the calculation of the critical parameters of a distribution is an important factor for the results, three methods have been tested in order to select the most appropriate (MLE, L-moments, Bayesian). The results showed that, the GPD can characterize accurately both precipitation and temperature extremes while the GEV distribution with the Bayesian method is also appropriate especially for the greatest values. Additionally, the present dissertation, introduces, evaluates and uses a new statistical method, namely TIN-Copula method which is a combination of triangular irregular networks and copulas. The new method is proposed for the bias correction of regional climate models' projections for extreme climate events, as well as for the simulation of extreme maximum and minimum temperatures and precipitations at areas with no available data. The concept of the TIN-Copula method starts with the division of the studied area in non-overlapping irregular triangles which are shaped using the location of the available stations. After that, using copulas, the extreme values of an unknown point included in a triangle are bias corrected or estimated. In the calculations, also the distances between the unknown point and the triangle vertices are taken into account. Finally, the evaluation of the new method proved that the TIN-Copula is a really useful tool, both for bias correction and estimation of extreme climate episodes in Mediterranean area.

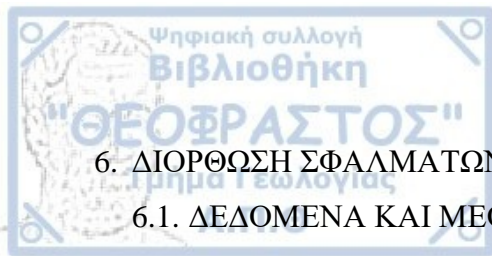


ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
SUMMARY	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	v
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. ΚΛΙΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ	1
1.2. ΑΚΡΑΙΑ επεισόδια.....	3
1.3. ΘΕΩΡΙΑ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ.....	10
1.3.1. Επιλογή Ακραίων Τιμών	11
1.3.2. Κατανομές Ακραίων.....	13
1.3.3. Παράμετροι κατανομών	15
1.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	16
1.4.1. Κλιματικά Μοντέλα – Εκτιμήσεις για Ακραία.....	16
1.4.2. Συστηματικά Σφάλματα Κλιματικών Μοντέλων	18
1.5. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ.....	19
2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	23
2.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ.....	23
2.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ TIN-COPULA ΜΕΘΟΔΟΥ	25
2.2.1. Δεδομένα σταθμών	25
2.2.2. Δεδομένα Κλιματικού μοντέλου	29
2.2.3. Δεδομένα Ανδρομικής Ανάλυσης (NCEP reanalysis)	32
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	35
3.1. Κατανομές Ακραίων Τιμών	36
3.1.1. Μέθοδοι επιλογής ακραίων τιμών	36
3.1.2. Θεωρία Ακραίων Τιμών – Extreme Value Theory (EVT)	38
3.1.3. Μέθοδοι εκτίμησης παραμέτρων.....	41
3.1.4. Επίπεδα και Περίοδοι Επανάληψης.....	45
3.2. TIN-Copula Μέθοδος.....	46



3.2.1. Συζεύξεις – Copulas	47
3.2.2. Ιδιότητες των Συζεύξεων	48
3.2.3. Όρια Fréchet-Hoeffding	49
3.2.4. Εμπειρικές Συζεύξεις (Empirical Copulas)	50
3.2.5. Συντελεστές συσχέτισης- Μέτρο εξάρτησης.....	50
3.2.6. Εξάρτηση Άνω και Κάτω ουράς.....	52
3.2.7. Οικογένειες Συζεύξεων	53
3.3. Τριγωνικά Ακανόνιστα Δίκτυα – Triangular Irregular Networks (TIN)	57
3.4. Εργαλεία Αξιολόγησης	59
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	63
4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	63
4.1.1. Δεδομένα	63
4.1.2. Μεθοδολογία	68
4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ 100 ΚΑΙ 60 ΕΤΩΝ	70
4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΓΙΑ την ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ	76
4.3.1. 1η Αξιολόγηση – Διαγράμματα Cullen and Frey	76
4.3.2 2η Αξιολόγηση – Έλεγχοι Anderson Darling, Kolmogorov Smirnov, X^2 .	82
4.3.3 3η Αξιολόγηση – Διαγράμματα Ποσοστημορίων (QQ plots).....	89
4.3.4. 4η Αξιολόγηση – Διάγραμμα Παραμέτρου Σχήματος (Shape diagram).....	96
4.4 ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	100
4.4.1 Ομαδοποίηση των σταθμών σύμφωνα με τα επίπεδα επανάληψης	100
4.4.2 Εκτιμώμενα επίπεδα επανάληψης των κατανομών GEV και GPD.....	105
5. TIN-COPULA – ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ	115
5.1. TIN-Copula Μέθοδος – Παρουσίαση της Νέας Μεθόδου	116
5.2. Αξιολόγηση της Νέας Μεθόδου TIN-COPULA	122
5.2.1. Δεδομένα Αξιολόγησης.....	122
5.2.2. Μεθοδολογία Αξιολόγησης.....	126
5.2.3. Αποτελέσματα Αξιολόγησης.....	129
5.2.4. Επιμέρους συμπεράσματα αξιολόγησης.....	144



6. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TIN-COPULA	147
6.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	149
6.1.1. Δεδομένα	149
6.1.2. Μεθοδολογία	149
6.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΩΝ - HIT RATE OF PERCENTILES (HRP).....	155
6.3. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΛΑΘΩΝ ΜΕΡΟΛΗΨΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ TIN-COPULA	160
6.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TIN-COPULA	172
6.4.1. Διαχωρισμός της Μεσογειού σε πέντε υποπεριοχές	172
6.4.2. Σύγκριση των μέσων τιμών των πέντε υποκατηγοριών	172
6.4.3. Στατιστική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	178
7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TIN-COPULA.	189
7.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	189
7.1.1. Δεδομένα	189
7.1.2. Μεθοδολογία	190
7.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΙΜΑ Η ΜΕΘΟΔΟΣ TIN-COPULA	193
7.2.1 Στατιστική Αξιολόγηση (Ραβδόγραμμα, Θηκόγραμμα)	193
7.2.2. Περιοχική Αξιολόγηση.....	197
7.3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΙΜΑ Η ΜΕΘΟΔΟΣ TIN-COPULA	205
7.3.1 Εκτίμηση Ακραίων Βροχοπτώσεων με την TIN-Copula Μέθοδο	205
7.3.2 Χωρική Αξιολόγηση των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων	210
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	217
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	233
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	255



ATHE	Athens
BARC	Barcelona
BAST	Bastia
BOLO	Bologna
CAGL	Cagliari
EVT	Extreme Value Theory
GEV	Generalized Extreme Value Distribution
GEV-B	Generalized Extreme Value Distribution with Bayesian method
GEV-L	Generalized Extreme Value Distribution with L-moments method
GEV-M	Generalized Extreme Value Distribution with Maximum Likelihood Estimation method
GOSP	Gospic
GPD	Generalized Pareto Distribution
GPD -B	Generalized Pareto Distribution with Bayesian method
GPD -L	Generalized Pareto Distribution with L-moments method
GPD-M	Generalized Pareto Distribution with Maximum Likelihood Estimation method
MALA	Malaga
MARS	Marseille
MLE	Maximum Likelihood Estimation method
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NICE	Nice
POT	Peaks Over Threshold
QQ	Quantile-Quantile plot
RegCM4-MPI	Regional Climate Model (Version 4) – Driving forcing from General Circulation Model MPI – Max Plank Institute
RMSE	Root Mean Square Error
ROC	Receiver Operating Characteristic curve
SPLI	Split Marjan
THES	Thessaloniki
TIN	Triangular Irregular Networks
TIN-Copula	Triangular Irregular Networks with Copula method
VERO	Verona Villa Franca





1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

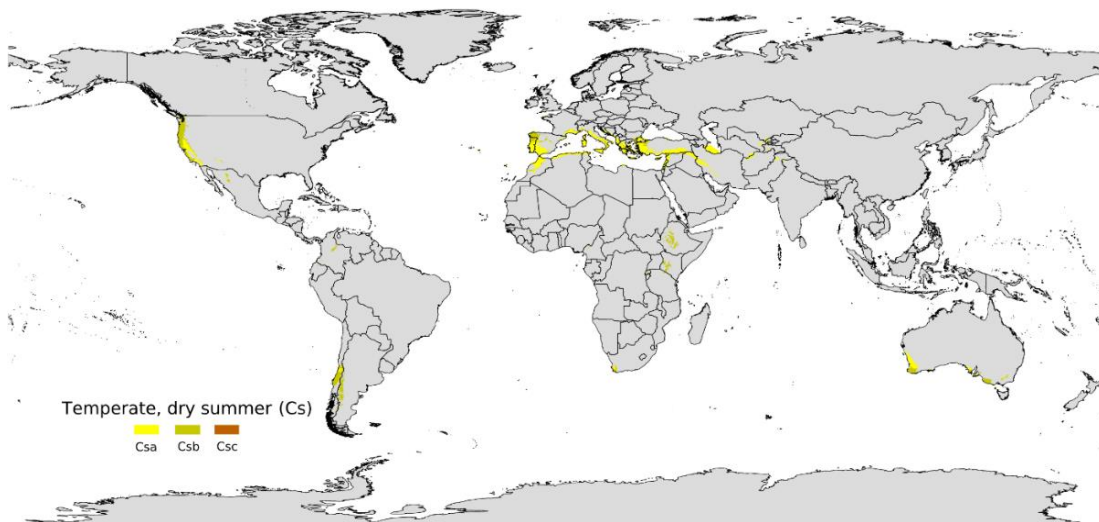
1.1. ΚΛΙΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

Η Μεσόγειος αποτελεί μία περιοχή που διακρίνεται από ιδιαίτερα μορφολογικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά, τα οποία συνθέτουν ένα ιδιαίτερο κλίμα που ονομάζεται «Μεσογειακό κλίμα» και αποτελεί μία ξεχωριστή κατηγορία στην κατάταξη κατά Köppen (Köppen, 1936). Στην κατηγορία αυτή, πέρα από την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, ανήκουν και άλλες πολύ μικρότερες σε έκταση περιοχές, που βρίσκονται στις δυτικές ακτές των ηπείρων και μεταξύ του γεωγραφικού πλάτους 30° - 40° (Σχήμα 1.1) (Καλιφόρνια, περιοχές του Μεξικού, Αργεντινής, Χιλής Αυστραλίας, Νότιας Αφρικής)

Το Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες και από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από Μεσογειακό κλίμα παρατηρούνται συνεχείς ηλιόλουστες ημέρες, ενώ είναι συχνά και τα φαινόμενα παγετού που προκαλούνται κυρίως εξαιτίας της νυχτερινής ακτινοβολίας. Κατά την ξηρή περίοδο, η διάρκεια της οποίας αυξάνει σε διάρκεια από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από τα βόρεια προς τα νότια (Μαχαίρας, 1985), παρατηρούνται εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας. Τα κύρια ατμοσφαιρικά αίτια που καθορίζουν τις κλιματικές συνθήκες στο Μεσογειακό κλίμα είναι αφενός η επέκταση υψηλών πιέσεων στην κεντρική Ευρώπη και στη Βαλκανική και αφετέρου η επικράτηση του χαμηλού του Πακιστάν στην Ανατολική Μεσόγειο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η παρουσία των οποίων οδηγεί στην

εμφάνιση των Ετησίων στην Ανατολική Μεσόγειο και στην έντονη μεσημβρινή κυκλοφορία κατά την περίοδο αυτή (Kendrew, 1953). Κατά τη χειμερινή περίοδο, οι κλιματικές συνθήκες καθορίζονται από την επικράτηση του Πολικού Μετώπου, ενός κλάδου του πολικού αεροχειμάρρου, όπου αποτελεί τη ζώνη μετάβασης μεταξύ των πολικών και τροπικών αερίων μαζών, από την έντονη υφειακή δραστηριότητα και την κυριαρχία των πολικών αερίων μαζών (Bartzokas, 1989). Επίσης κατά τη διάρκεια του χειμώνα, χαρακτηριστική είναι και η επικράτηση ισχυρών ανέμων (Μιστράλ, Βαρδάρης – Bora). Η εποχή της άνοιξης αποτελεί μία μεταβατική περίοδο κατά την οποία γίνεται η μετάβαση από μία υποπερίοδο με χειμερινά χαρακτηριστικά σε μία αντίστοιχη με θερινά. Αντίστοιχα, μεταβατική περίοδο αποτελεί και το φθινόπωρο, το οποίο συνήθως είναι μικρότερο χρονικά και αποτελεί μία μετάβαση ουσιαστικά προς το χειμώνα, παρουσιάζοντας αρκετά από τα χαρακτηριστικά του.

Οι απόλυτες μέγιστες θερμοκρασίες που καταγράφονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι υψηλές (42-45°C) και εντοπίζονται σε περιοχές της ενδοχώρας. Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι απόλυτες ελάχιστες θερμοκρασίες, σε ορισμένες ορεινές κυρίως περιοχές, αγγίζουν τους -20 – (-25)°C, τιμές που συναντώνται στα ηπειρωτικά κλίματα (Φλόκας, 1997).



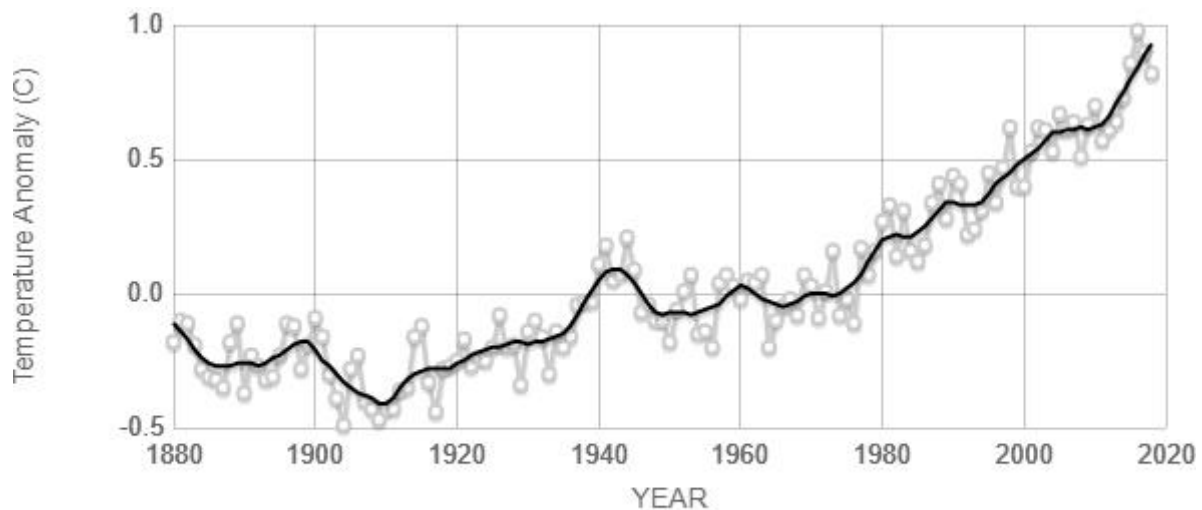
Σχήμα 1.1. Περιοχές με Μεσογειακό κλίμα
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C_s_climate.png)

Τα ποσά βροχής που καταγράφονται στη λεκάνη της Μεσογείου, παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις τόσο χωρικά όσο και εποχιακά. Το ετήσιο βροχομετρικό ύψος ποικίλει από 300-1000 mm, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στις προσήνεμες περιοχές και να ακολουθούν κατά κανόνα μια αυξητική πορεία από το νότο προς το βορρά και από τα παράλια προς το εσωτερικό της Μεσογείου. Όσον αφορά στις έντονες διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των ποσών βροχής που καταγράφονται κατά τη διάρκεια των χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών, η αιτία βρίσκεται στην κυριαρχία κυκλωνικών συστημάτων κατά το χειμώνα, σε αντίθεση με την επικράτηση υποτροπικών αντικυκλώνων στην περιοχή των Αζορών και της Κεντρικής Ευρώπης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τα στοιχεία αυτά, σε συνδυασμό με τις θαλάσσιες τροπικές αέριες μάζες που διεισδύουν στη Μεσόγειο, έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συνθηκών ξηρασίας κατά το θέρος (Bolle 2003) και υψηλών ποσών βροχής κατά την εποχή του χειμώνα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν περιοχές με Μεσογειακό κλίμα οι οποίες δέχονται πολύ υψηλότερα ή χαμηλότερα ποσά βροχής συγκριτικά με τη γενική εικόνα που επικρατεί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι περιοχές στην Κροατία με ετήσιες βροχοπτώσεις που ξεπερνούν τα 5000 mm, καθώς και στα βόρεια παράλια της Αφρικής (Αίγυπτος, Μαρόκο), όπου τα ποσά δεν ξεπερνούν τα 200mm.

1.2. ΑΚΡΑΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ

Τα τελευταία χρόνια και κυρίως μετά τη βιομηχανική επανάσταση (19ος αιώνας), οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες και πιο συγκεκριμένα τα θερμοκηπικά αέρια που προέρχονται από αυτές (Christidis et al. 2005), έχουν συμβάλει σημαντικά στη μεταβολή του κλίματος της Γης. Σύμφωνα με τους Jones et al. (1999), η παγκόσμια μέση ετήσια θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί περισσότερο από 0.6°C από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ενώ σύμφωνα με το IPCC (2007) η παγκόσμια μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0.74 ± 0.18°C κατά την περίοδο 1906-2005. Σύμφωνα με την πρόσφατη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC 2018), επισημαίνεται ότι η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει ήδη αυξηθεί κατά 1°C σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή (1850-1900), ενώ τονίζεται η ανάγκη αυτή η αύξηση να μην

ξεπεράσει το όριο του 1.5°C. Το Σχήμα 1.2, χρησιμοποιώντας ως πεδίο αναφοράς την τριακονταετία 1951-1980, παρουσιάζει τις θερμοκρασιακές ανωμαλίες της μέσης επιφάνειας του πλανήτη κατά την περίοδο 1880-2018. Σύμφωνα με το προαναφερθές Σχήμα (Σχήμα 1.3), προκύπτει μία σημαντική αύξηση, η οποία στο έτος 2018 έφτασε τους 0.8°C. Επιπροσθέτως, τον 21^ο αιώνα καταγράφηκαν 18 από τα θερμότερα έτη της περιόδου που περιγράφεται, με το θερμότερο όλων να είναι το έτος 2016 (<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>).



Source: climate.nasa.gov

Σχήμα 1.2. Διαφορά κατ' έτος της μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας των ετών 1880-2018 από τη μέση θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς (1951-1980) (Data source: NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS). Credit: NASA/GISS).

Πέρα από τις αλλαγές στις μέσες τιμές των κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασίας και βροχόπτωσης), ιδιαίτερα εμφανείς είναι οι μεταβολές στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων φαινομένων. Μια πληθώρα μελετών, επιβεβαιώνει την αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων κλιματικών επεισοδίων του πλανήτη, ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής (Stocker et al. 2013; Furió and Meneu 2011; Klein and Können 2003; Tompkins 2002, Coumou and Rahmstorf, 2012; Tolika et al., 2012; Barros et al., 2014). Οι παρατηρούμενες αλλαγές, οι οποίες εντοπίζονται τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε περιοχικό επίπεδο (Alexander et al., 2006), έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρές

κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις (Furió and Meneu, 2011; Stocker et al., 2013). Σύμφωνα με αρκετές μελέτες (Hegerl et al. 2004, Min et al. 2011) οι ακραίες υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς και τα ακραία επεισόδια βροχής και ανέμων, που εμφανίζονται όλο και με μεγαλύτερη συχνότητα την τελευταία εικοσαετία, συμβάλλουν στην εμφάνιση φαινομένων ερημοποίησης, καυσώνων, πλημμυρών, ανεμοστρόβιλων κ.α σε πολλές περιοχές του πλανήτη.

Η παράμετρος της βροχόπτωσης αποτελεί μία κρίσιμη κλιματική παράμετρο, κυρίως εξαιτίας του μεγέθους των επιπτώσεών της σε πολλούς τομείς (γεωργία, κοινωνία, οικονομία κ.α.). Γενικότερα το μεγαλύτερο μέρος των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί, εκτιμούν αυξητική τάση τόσο στη συχνότητα όσο και στην ένταση των ακραίων επεισοδίων βροχής σε παγκόσμιο και περιοχικό επίπεδο (Groisman et al. 1999, Frich et al. 2002, Pachauri and Reisinger's 2007, Joshi et al 2019, Irannezhad 2019), γεγονός που επηρεάζεται σημαντικά από την παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη, (McInnes and Hubbert 1996, Francis and Hengevelt 1998, Tompkins 2002). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι παρά την προβλεπόμενη αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων, η συνολική ποσότητα νερού που δέχονται ορισμένες περιοχές του πλανήτη μειώνεται σταδιακά με το χρόνο, οδηγώντας σε έντονα φαινόμενα ξηρασίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της Μεσογείου (Konats et al., 2014).

Γενικότερα, η Μεσόγειος αποτελεί μία περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και για το λόγο αυτό αρκετοί μελετητές έχουν ασχοληθεί με τις ακραίες βροχοπτώσεις που σημειώνονται στην έκτασή της. Τα συχνότερα ατμοσφαιρικά αίτια που ευθύνονται για τις ακραίες τιμές βροχοπτώσεων στην περιοχή αυτή είναι τα συστήματα μέσης κλίμακας (Delrieu et al., 2005), οι υφέσεις (Alpert et al., 1990), οι αυλώνες ανώτερων επιπέδων (Kotroni et al., 2006) καθώς επίσης και οι δείκτες τηλεσυσχέτισης της περιοχής αυτής (Feldstein and Dayan, 2008). Στην εργασία των Goodness and Jones (2002), αναλύεται η αυξητική τάση του αριθμού των ημερών με έντονη βροχόπτωση στην περιοχή που εκτείνεται κατά μήκος της Νοτιοανατολικής Μεσογειακής ακτής. Επίσης, σύμφωνα με τους Toreti et al (2010), τα ακραία επεισόδια βροχής επιδρούν σημαντικά (πάνω από 60%) στη συνολική εποχική βροχόπτωση της μεσογειακής περιοχής. Αξίζει επίσης να σημειωθεί

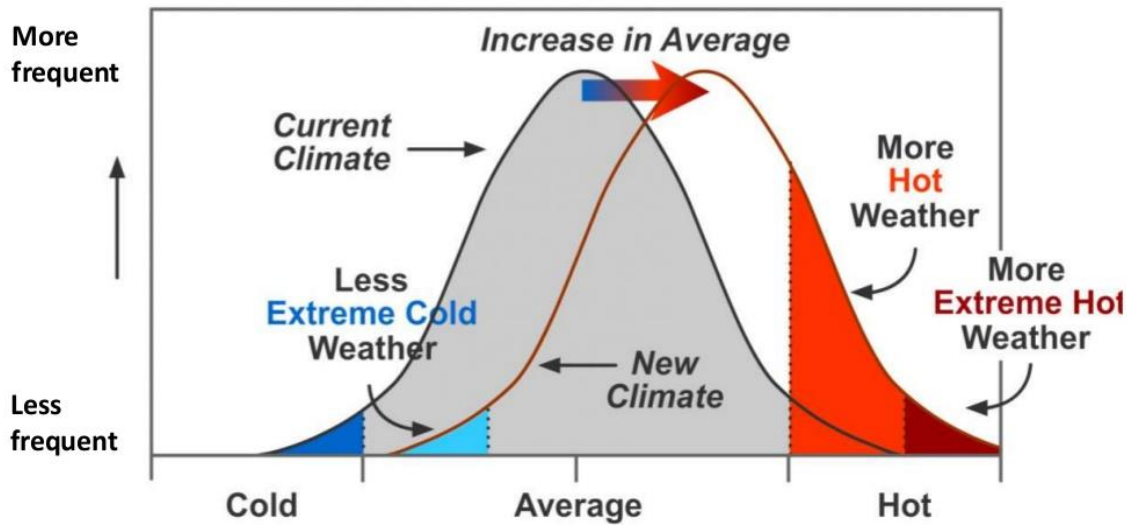


ότι σε πολλές μελέτες, η ανάλυση των ακραίων βροχοπτώσεων πραγματοποιείται με τη χρήση δεικτών (Oikonomou, 2008, Tolika et al 2007).

Ο τομέας της γεωργίας, είναι ένας από τους πρώτους που πλήττεται τόσο λόγω πλημμυρών και καταστροφών στις καλλιέργειες, όσο και λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων σε περιοχές που η κλιματική τιμή τους είναι οριακά επαρκής για την κάλυψη των τρέχουσων αναγκών. Οι καταρρακτώδεις βροχές που έπληξαν την πολιτεία Τενεσί των ΗΠΑ, τον Μάιο του 2010 ευθύνονται για το θάνατο 11 ατόμων, ενώ τον ίδιο χρόνο, στη Βραζιλία (Ρίο ντε Ζανέιρο), εκατοντάδες άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, εξαιτίας της κατολίσθησης τόνων λάσπης που προκλήθηκε από τις έντονες βροχοπτώσεις. (<https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-2-klimatiki-allagi.pdf>). Στον Ευρωπαϊκό χώρο, το καλοκαίρι το 2002, ήταν ένα από τα πιο υγρά καλοκαίρια που έχει καταγραφεί, προκαλώντας σοβαρές πλημμύρες σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις (Christensen 2003), και ιδιαίτερα στη κεντρική Μεσόγειο, η οποία θεωρείται από αρκετές μελέτες ως πιο ευάλωτη στα ακραία επεισόδια που σχετίζονται με την παράμετρο της βροχόπτωσης (πλημμύρες, ξηρασίες) (Pal et al. 2004). Επίσης ένα από τα πιο καταστροφικά επεισόδια πλημμυρών συνέβη το Νοέμβριο του 2017 στην περιοχή της Μάνδας (Αττική - Ελλάδα) το, κοστίζοντας τη ζωή σε περισσότερους από 20 ανθρώπους (Diakakis, 2019)

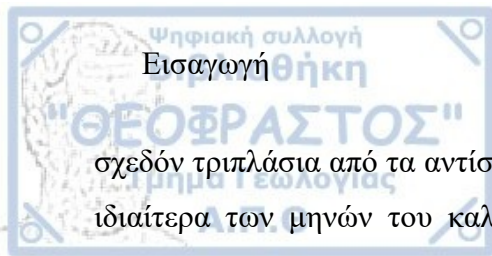
Πέρα από την παράμετρο της βροχόπτωσης, ιδιαίτερα σημαντικές είναι και οι αλλαγές στη συμπεριφορά των ακραίων θερμοκρασιών που επηρεάζονται από την παγκόσμια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (IPCC 2012). Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του IPCC (IPCC 2012) τα ακραία επεισόδια υψηλών θερμοκρασιών τείνουν να γίνονται πιο έντονα (Σχήμα 1.3) και οι επιπτώσεις τους σε διάφορους τομείς σοβαρότερες.

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Πρόγραμμα για την κλιματική αλλαγή (Climate Change Science Program (CCSP 2008) η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας είναι εμφανέστερη στα ακραία κλιματικά επεισόδια, συμπεριλαμβανομένων και των ακραίων θερμοκρασιών. Ιδιαίτερα, η αυξητική τάση στις μέσες θερμοκρασίες συνήθως ακολουθείται από αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ημερών με πολύ υψηλές θερμοκρασίες (Mitchell et al. 1990).



Σχήμα 1.3. Επίδραση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη στις ακραίες θερμοκρασίες (www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/).

Παραδείγματα τέτοιων επεισοδίων είναι ιδιαίτερα συχνά τόσο σε παγκόσμια όσο και σε περιοχική κλίμακα. Ισχυροί καύσωνες με μεγάλη διάρκεια και σοβαρές επιπτώσεις σημειώθηκαν το καλοκαίρι του 2007 στην Ασία και την Νότια Ευρώπη καθώς και το καλοκαίρι του 2011 στην Αμερική. Οι οικονομικές επιπτώσεις των ακραίων αυτών επεισοδίων, είναι τεράστιες σε παγκόσμιο επίπεδο, και το 2011 το συνολικό κόστος ανήλθε στα 120 δισ. Ευρώ. (<https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-2-klimatiki-allagi.pdf>.) Ένα από τα πιο καταστροφικά ακραία επεισόδια που σημειώθηκαν στην Ευρώπη, ήταν ο καύσωνας του 2003. Το Met Office, επεσήμανε το έτος αυτό, ως το θερμότερο των τελευταίων 500 ετών, που στοίχισε τη ζωή σε πολλούς ανθρώπους στην Γαλλία και σε άλλες ευρωπαϊκές πόλεις. Σύμφωνα με τη μελέτη των Schär and Jendritzky (2004), ο απολογισμός αυτού του επεισοδίου καύσωνα, ξεπέρασε τους 22.000 νεκρούς. Στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου, η ένταση, η συχνότητα και η διάρκεια των καυσώνων έχει αυξηθεί σημαντικά (Kuglitsch et al. 2010), με την Ελλάδα να αποτελεί και αυτή μια από τις περιοχές που επηρεάζονται ιδιαίτερα. Σύμφωνα με στοιχεία του του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, τα ακραία κλιματικά φαινόμενα που παρατηρήθηκαν τα τελευταία 30 χρόνια στην ελληνική περιοχή, ήταν



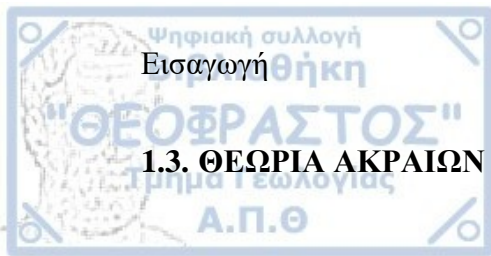
σχεδόν τριπλάσια από τα αντίστοιχα των περασμένων ετών. Ακόμα, η μέση θερμοκρασία ιδιαίτερα των μηνών του καλοκαιριού, είναι σημαντικά αυξημένη από τις αρχές της δεκαετίας του '90 και μετά (E.M.E.K. 2011).

Όσον αφορά στην επικράτηση των ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών, η μελέτη μιας σειράς επεισοδίων αποκαλύπτει στοιχεία για τη γενικότερη συμπεριφορά τους. Ένα παράδειγμα ερμηνείας της συμπεριφοράς των ακραίων θερμοκρασιών που καταγράφονται στην περιοχή της Ευρασίας δίνεται από τους Kretschmer et al. (2016). Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, το «σπάσιμο» του στρατοσφαιρικού πολικού στρόβιλου, οδηγεί σε πιο κυματοειδή ροή του πολικού αεροχειμάρρου, που έχει σαν αποτέλεσμα την εισβολή ψυχρών αερίων μαζών σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη και συνεπώς την εκδήλωση πιο ψυχρών χειμώνων σε περιοχές της Ευρασίας. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως ο πολικός στρόβιλος παρουσιάζει σημαντική τάση εξασθένησης κατά τις τελευταίες δεκαετίες, με όλο και πιο συχνές τις περιπτώσεις κατάρρευσής του κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Kretschmer et al., 2018), γεγονός που επιβεβαιώνει και την αυξητική τάση των ημερών παγετού που ανιχνεύτηκε από τους Kostopoulou & Jones, (2005) για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Επίσης, οι Sánchez et al., (2004) προβλέπουν για την Μεσόγειο μία αυξητική τάση στη μεταβλητότητα της θερμοκρασιακής διακύμανσης. Πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται ότι οι αντιθέσεις εναλλαγές πολύ θερμών και πολύ ψυχρών ημερών ως το τέλος του 21ου αιώνα θα αυξηθεί σημαντικά. Μία ακόμα αξιοσημείωτη περίπτωση ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών ήταν αυτή του χειμώνα των ετών 2009-2010. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της περιόδου Δεκέμβριος 2009 – Φεβρουάριος 2010, σε πολλά μέρη του βόρειου ημισφαιρίου παρατηρήθηκαν ασυνήθιστες υπερβάσεις των συχνότερα καταγεγραμμένων ορίων χαμηλών θερμοκρασιών (<http://www.ncdc.NCEP.gov/sotc/>), ενώ την ίδια χρονική περίοδο στην Ευρώπη καταγράφηκαν τρία από τα πιο ακραία επεισόδια χαμηλών θερμοκρασιών (<http://www.knmi.nl/cms/content/79165>). Συν αυτού, σε χώρες της Μεσογείου (Ελλάδα) ο χειμώνας αυτός αποτέλεσε έναν από τους πιο ψυχρούς χειμώνες των τελευταίων 55 ετών (Tolika et al. 2013). Ένα από τα πιο πρόσφατα ακραία επεισόδια χαμηλών θερμοκρασιών είναι αυτό που καταγράφηκε το 2017 στην περιοχή των Βαλκανίων και μελετήθηκε από τους Anagnostopoulou et al. (2017). Σημαντικό πεδίο έρευνας αποτελεί και η συσχέτιση των ισχυρών ψυχρών εισβολών με ατμοσφαιρικές τηλεσυνδέσεις όπως ο NAO (North

Atlantic Oscillation), ή ο ΑΟ (Arctic Oscillation). Αρκετές έρευνες έχουν μελετήσει τη συσχέτιση των δεικτών αυτών με ακραίες θερμοκρασιακές αποκλίσεις και φαινόμενα, όπως οι Wettstein & Mearns, (2002) και οι Higgins et al. (2002) για τις ΗΠΑ και τον Καναδά, οι Wu & Wang (2002) για τον μουσώνα της Ανατολικής Ασίας, και οι Lopez-Moreno et al. (2011) για τα βουνά της Μεσογείου.

Τα ακραία επεισόδια χαμηλών θερμοκρασιών μπορούν να είναι εξίσου καταστροφικά με τις ακραίες υψηλές θερμοκρασιακές συνθήκες. Στις ΗΠΑ, τον Ιανουάριο του 2014 καταγράφηκαν πρωτοφανείς χαμηλές θερμοκρασίες (έως -51°C). Οι αεροπορικές μετακινήσεις είχαν σταματήσει, τα σχολεία και τα δικαστήρια παρέμειναν κλειστά, ενώ οι αρχές καλούσαν τους πολίτες να παραμείνουν στα σπίτια τους. Επιπρόσθετα, κατά τον Ιανουάριο του 2019 καταγράφηκε ένα από τα πιο ακραία επεισόδια χαμηλών θερμοκρασιών στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής, που προκλήθηκε από το σπάσιμο του πολικού στροβίλου (polar vortex) κοστίζοντας τη ζωή σε πολλούς ανθρώπους (MacQuarrie, 2019). Στον Ευρωπαϊκό χώρο, ακραία χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν τους χειμώνες των ετών 2009-2010 και 2011-2012. Μάλιστα το 2011-2012, στη βαλκανική χερσόνησο, παρατηρήθηκαν θερμοκρασίες μικρότερες των -10°C και συγκεκριμένα σε τοπικό επίπεδο -30°C σε Ρουμανία και Τουρκία, -24°C σε Ελλάδα και Σερβία.

Οι ακραίες καταστάσεις θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, έχουν επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας με σημαντικότερη τη θνησιμότητα. Μελέτη των Nastos and Matzarakis (2012) απέδειξε ότι οι θερμοκρασιακές αλλαγές σχετίζονται άμεσα με τα επίπεδα θνησιμότητας. Αποτέλεσμα των ιδιαίτερα σοβαρών επιπτώσεων των ακραίων κλιματικών γεγονότων, στους διάφορους τομείς, ήταν η πρόσφατη συμφωνία των 170 χωρών του ΟΗΕ για τη λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και για τη μείωση των επιπτώσεων τους. Επιπλέον, για τη λήψη κατάλληλων μέτρων, απαιτείται ακριβέστερη πληροφόρηση σχετικά με την ένταση και τη συχνότητα των ακραίων καιρικών επεισοδίων όπως επισημαίνεται και από το Παγκόσμιο Κλιματικό Ερευνητικό Πρόγραμμα (<http://www.wcrp-climate.org/gc-extreme-events>).



1.3. ΘΕΩΡΙΑ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ

Σύμφωνα με το IPCC (2012) ως ακραίο επεισόδιο ορίζεται η τιμή μιας κλιματικής – μετεωρολογικής παραμέτρου, η οποία υπερβαίνει (πάνω ή κάτω) μία τιμή κατωφλίου που βρίσκεται κοντά στις υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές του παρατηρούμενου δείγματος, σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Ουσιαστικά, ακραίο επεισόδιο είναι ένα επεισόδιο του οποίου η τιμή διαφέρει σημαντικά, από τα αντίστοιχα επεισόδια που έχουν ήδη παρατηρηθεί. Η επιστημονική κοινότητα συμφωνεί ότι είναι αναγκαία η βελτίωση των θεωριών που αναλύουν ακραία επεισόδια έτσι ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους (Cooley et al. 2007, <http://www.wcrp-climate.org/gc-extreme-events>) και να οργανωθούν αποτελεσματικότερες στρατηγικές για την αντιμετώπιση των επιπτώσεών τους. Ωστόσο, η ανάλυση των ακραίων τιμών εμπεριέχει μεγάλη δυσκολία, αφενός εξαιτίας του μικρού αριθμού των ακραίων παρατηρήσεων και της μη περιοδικότητας της εμφάνισής τους - ανεξάρτητα από το εάν η χρονοσειρά δεδομένων είναι μεγάλη, και αφετέρου εξαιτίας της στοχαστικότητας που εμπεριέχουν. Η θεωρία ακραίων τιμών, προσεγγίζει τα ακραία γεγονότα από δύο πλευρές: την πιθανοθεωρητική που εξετάζει την στοχαστική συμπεριφορά των ακραίων συμβάντων και τη στατιστική που προβλέπει μελλοντικές ακραίες τιμές, χρησιμοποιώντας μοντέλα ερμηνείας και εκτιμήσεις. Με τις προσεγγίσεις αυτές, επιτυγχάνεται η επαγωγή της μελέτης σε επίπεδο τιμών εκτός του εύρους των δεδομένων που συνήθως παρουσιάζει η μελετώμενη μεταβλητή.

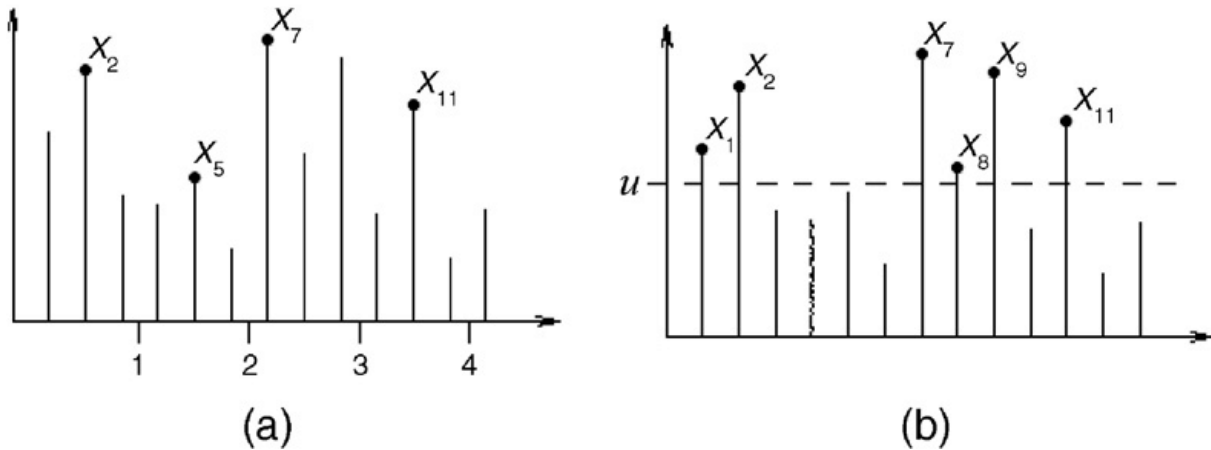
Μια αρχική άτυπη πρόταση της θεωρίας ακραίων τιμών, τοποθετείται στο 1950, και αφορά στον τομέα της μηχανικής. Πιο συγκεκριμένα οι μηχανικοί έπρεπε να σχεδιάσουν τα έργα τους, με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν σε καταστάσεις που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν ακόμα και μία φορά στο μέλλον. Σήμερα η θεωρία ακραίων τιμών αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη και εφαρμοσμένη στατιστική θεωρία σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, που σχετίζονται με την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη ακραίων συμβάντων (ασφαλιστικές εταιρίες, μετεωρολογία, χρηματοοικονομικά, αστρονομία, υδρολογία κα). Η απαρχή της θεωρίας αποδίδεται στον Leonard Tippett (1902-1985), ο οποίος δουλεύοντας σε εργοστάσιο βαμβακιού παρατήρησε ότι η αντοχή του ισχυρότερου νήματος, επηρεάζεται από την αντοχή των πιο ασθενών ινών του. Έτσι ο Tippett σε συνεργασία με τον R.A.Fisher, περιέγραψε τις ακραίες τιμές με τη βοήθεια τριών

ασυμπτωτικών οριακών κατανομών (Fisher and Tippett, 1928). Μερικά χρόνια αργότερα (1958), ο Gumbel, ο οποίος θεωρείται ως ένας από τους θεμελιωτές της στατιστικής βάσης της Θεωρίας Ακραίων Τιμών, χρησιμοποίησε επιτυχημένα τις κατανομές αυτές στο βιβλίο του με τίτλο "Statistics of Extremes" (Gumbel, 1958), προσθέτοντας και τις κατανομές Gumbel που πήραν και το όνομά του. Συνεπώς η μαθηματική θεμελίωση της θεωρίας ακραίων τιμών παρέχεται από τους Leadbetter et al. (1983), Resnick (1987) και Galambos (1987), ενώ μερικά χρόνια αργότερα ο Galambos (1995) ανέλυσε το θεωρητικό υπόβαθρο της θεωρίας αυτής. Αρκετοί μελετητές διαφόρων επιστημονικών πεδίων ασχολήθηκαν με τη θεωρία ακραίων τιμών σε μονομεταβλητό και πολυμεταβλητό επίπεδο, προσφέροντας μια γενικότερη πιο σύγχρονη εικόνα του υποβάθρου της θεωρίας αυτής (Castillo 1988, Smith 1991, Kotz & Nadarajah 2000). Οι Gilli και Këllezi (2006) χρησιμοποίησαν τη θεωρία ακραίων τιμών για να μοντελοποιήσουν σπάνια χρηματοοικονομικά φαινόμενα, ενώ οι Embrechts et al. (1998), την χρησιμοποίησαν για ασφαλιστικές εφαρμογές. Η θεωρία ακραίων τιμών είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη όχι μόνο στην επιστήμη των οικονομικών (Ho et al. 2000, Gomes & Pestana 2007), αλλά και στις περιβαλλοντικές επιστήμες (Coles & Pericchi 2003, Kharin & Zwiers 2000).

1.3.1. Επιλογή Ακραίων Τιμών

Για την επιλογή των ακραίων τιμών ενός δείγματος και την μετέπειτα μελέτη του με τη θεωρία ακραίων τιμών χρησιμοποιούνται δύο ιδιαίτερα διαδεδομένες τεχνικές: η τεχνική των «Μεγίστων ανά Περίοδο» - «Block Maxima» και η τεχνική των «Κορυφών πάνω από το Κατώφλι» - POT (Peaks Over Threshold). Στην πρώτη τεχνική η περίοδος μελέτης χωρίζεται σε μη αλληλο-επικαλυπτόμενες υποπεριόδους και ως ακραίες επιλέγονται οι μέγιστες ή οι ελάχιστες τιμές κάθε υποπεριόδου. Στην τεχνική POT, ορίζεται ως όριο-κατώφλι μία τιμή και επιλέγονται ως ακραίες, όλες οι παρατηρήσεις οι οποίες την υπερβαίνουν. Και οι δύο τεχνικές εμπεριέχουν στοιχεία υποκειμενικότητας και αβεβαιότητας, καθώς στην πρώτη ο εκάστοτε ερευνητής πρέπει να επιλέξει τη διάρκεια των υποπεριόδων ενώ στην POT τεχνική (Coles 2001), την τιμή του κατωφλίου (Beguiria 2005). Αυτό γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 1.4 (Bhattacharyya and Ritolia, 2008) στο

οποίο φαίνεται η διαφορά του συνόλου των ακραίων που προκύπτει ανάλογα με την επιλεγόμενη τεχνική.



Σχήμα 1.4. Ακραίες παρατηρήσεις σύμφωνα με τις τεχνικές α) Block Maxima και β) POT. (Bhattacharyya and Ritolia, 2008).

Και οι δύο τεχνικές είναι ευρέως εφαρμοσμένες στην επιστήμη της κλιματολογίας. Η τεχνική “Block Maxima” επιλέγεται από τους ερευνητές κυρίως λόγω της απλότητας και της ευκολίας στη χρήση της. Για παράδειγμα, το 2010 οι Furió and Meneu (Furió and Meneu, 2011) επέλεξαν τις ακραία υψηλές θερμοκρασίες στην περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου με την block maxima τεχνική, ενώ για την ίδια περιοχή οι Maharaj et al (2015) ομαδοποίησαν τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών επιλέγοντας αυτές και πάλι με την ίδια τεχνική. Επιπρόσθετα, για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, η εργασία των Tanarhte et al (2015) προσεγγίζει τα επεισόδια καυσώνων τόσο με την τεχνική Block Maxima όσο και με την POT, ενώ μια αξιολόγηση των τεχνικών αυτών για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου έχει πραγματοποιηθεί από τους Lazoglou et al. (2019a). Σύμφωνα με την εργασία των Lazoglou et al (2019) καθώς και των Lazoglou and Anagnostopoulou (2017), φαίνεται ότι η POT τεχνική παρουσιάζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις ακραίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις στην περιοχή της Μεσογείου. Γενικότερα, ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας, θεωρεί περισσότερο αποτελεσματική την POT τεχνική από την Block maxima, παρά το γεγονός ότι η τελευταία είναι πιο εύκολα εφαρμόσιμη (Naveau et al. 2009, Van den Brink et al. 2005, De Valk 1993). Συνεπώς, η χρήση της POT τεχνικής είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη τόσο στην κλιματολογία όσο και σε

άλλες επιστήμες (π.χ. υδρολογία). Για παράδειγμα, οι Carreau et al., (2017) χρησιμοποίησαν την POT τεχνική για την ανάλυση των ακραίων βροχοπτώσεων στην Μεσογειακή ζώνη της Γαλλίας ορίζοντας σαν κατώφλι το ποσοστημόριο 98%. Αντίστοιχη ανάλυση πραγματοποιείται και από τους Vallebona et al (2015) για τις ακραίες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Τοσκάνης στην Ιταλία, χρησιμοποιώντας όμως ως κατώφλι το 95%. Μία γενικότερη μελέτη για την επιλογή των κατάλληλων ορίων για την παράμετρο της βροχόπτωσης πραγματοποιήθηκε το 2012 από τους Anagnostopoulou and Tolika οι οποίοι απέδειξαν ότι το 99% μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια τις ακραίες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Ευρώπης. Για την παράμετρο της θερμοκρασίας, οι ακραίες τιμές σύμφωνα με αρκετούς μελετητές είναι αυτές που υπερβαίνουν το 95% (και 5% αντίστοιχα για τις χαμηλές τιμές) (Caesar et al. 2006, Coelho et al 2007, Heikkila et al. 2011).

1.3.2. Κατανομές Ακραίων

Η ανάλυση και η στοχαστική μελέτη των ακραίων τιμών ενός συνόλου κλιματικών και όχι μόνο δεδομένων, απαιτεί την εύρεση της μαθηματικής κατανομής που περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη συμπεριφορά του. Η οριακή κατανομή των ακραίων μέγιστων ή ελάχιστων τιμών ενός συνόλου μπορούν να περιγράψουν από δύο τύπους κατανομών της θεωρίας ακραίων τιμών (Coles 2001). Οι κατανομές αυτές είναι η Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων τιμών - Generalized Extreme Value Distribution (GEV) και η Γενικευμένη Κατανομή Pareto - Generalized Pareto Distribution (GPD). Η πλειοψηφία των μελετών (Kotz & Nadarajah 1999, Kharin & Zwiers 2000, Katz et al. 2002, Garcia et al. 2007), επισημαίνουν ότι η GEV κατανομή είναι κατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων τιμών που έχουν προέλθει από την block maxima τεχνική, ενώ η Pareto κατανομή περιγράφει ικανοποιητικά τις ακραίες τιμές που βρίσκονται πάνω από το κατώφλι (POT τεχνική) (Katz et al. 2002). Αυτό παρατηρείται κυρίως εξαιτίας του ότι οι τα σύνολα των ακραίων παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά με τις οικογένειες κατανομών που ανήκουν στις ευρύτερες οικογένειες των GEV και GPD (Coles 2001). Όσον αφορά στην επιστήμη της κλιματολογίας, τόσο η GEV όσο και η GPD κατανομές, αποτελούν βασικά εργαλεία για την περιγραφή και τη μελέτη ακραίων κλιματικών παραμέτρων από διάφορους μελετητές

(π.χ Carter and Challenor 1981, Buishand 1989, Diebolt et al. 2008, Fitzgerald 1989, Walshaw 1994). Επίσης, η αποτελεσματικότητα των κατανομών αυτών για την περιγραφή των ακραίων τις καθιστά ιδιαίτερα διαδεδομένες και σε άλλες επιστήμες όπως της υδρολογίας (Lima et al, 2016, Amin et al, 2015, Jiang and Kang, 2019), της ωκεανογραφίας (Rueda et al. 2017, Calderón-Vega et al., 2019), της οικονομίας (Zhang, Z., and Shinki, K. 2007, Rocco 2014), της μηχανικής (Rinaldi, 2007).

Ποικίλες μελέτες για τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων έχουν πραγματοποιηθεί για πολλές περιοχές, χρησιμοποιώντας είτε την GEV κατανομή, είτε την GPD είτε και τις δύο για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Σε μια μελέτη τους οι Kioutsioukis et al. (2010) χρησιμοποίησαν και τις δύο τεχνικές για την ανάλυση των τάσεων των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο, μελετώντας τις αλλαγές των παραμέτρων των κατανομών αυτών. Αντίστοιχα, για την περιοχή της Γαλλίας, οι Parey et al. (2007) χρησιμοποίησαν τις τιμές της παραμέτρου σχήματος της GPD κατανομής, για να αναλύσουν τη συμπεριφορά των πολύ υψηλών θερμοκρασιών σε 22 σταθμούς της Γαλλίας, οι οποίοι είχαν διαφορές χρονοσειρές (22-55 χρόνια). Μία πιο ιδιαίτερη προσέγγιση στην POT τεχνική και κατά συνέπεια στην GPD κατανομή που περιγράφει τις τιμές της παρουσίασαν το 2010 οι Kyselý et al. Πιο συγκεκριμένα στη μελέτη αυτή πραγματοποιείται μία εκτίμηση των ακραίων θερμοκρασιών της Ευρώπης επιλέγοντας όμως ως ακραίες τιμές αυτές που υπερβαίνουν ένα όριο-κατώφλι το οποίο δεν είναι σταθερό αλλά μεταβάλλεται χρονικά. Παρόμοια τεχνική ακολούθησαν ένα χρόνο αργότερα οι Beguería et al (2011) για τις ακραίες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Ισπανίας. Για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και όχι μεμονωμένα για περιοχές που ανήκουν σε αυτή, οι Toreti et al (2010) χρησιμοποίησαν την GPD κατανομή για την μελέτη της συμπεριφοράς των ακραίων βροχοπτώσεων 20 Μεσογειακών σταθμών, για τους μήνες Οκτώβριο – Μάρτιο. Μία πιο πρόσφατη μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Toreti, et al. (2016) για τις ακραίες βροχοπτώσεις της Μεσογείου, στην οποία όμως, η συμπεριφορά των ακραίων, συνδέεται και με τα δυναμικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας στα ανώτερα στρώματα. Όπως γίνεται αντιληπτό, από τις παραπάνω μελέτες, υπάρχει μία πληθώρα εργασιών στις οποίες οι κατανομές της θεωρίας ακραίων τιμών χρησιμοποιούνται για τη ερμηνεία των ακραίων κλιματικών παραμέτρων. Ωστόσο οι εργασίες αξιολόγησης των αποτελεσμάτων είναι ακόμη περιορισμένες.

1.3.3. Παράμετροι κατανομών

Η συμπεριφορά της κάθε κατανομής περιγράφεται από τις κρίσιμες παραμέτρους της. (π.χ. σχήμα, κλίμακα, θέση). Οι μέθοδοι με τις οποίες μπορούν να εκτιμηθούν οι τιμές των παραμέτρων αυτών ποικίλουν, και η τελική επιλογή βρίσκεται στην ευχέρεια του κάθε ερευνητή.

Μία από τις μεθόδους η οποία επιλέγεται από πολλούς ερευνητές είναι η μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας - Maximum Likelihood Estimation method (MLE). Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής, τα οποία συνήθως οδηγούν και στην επιλογή της είναι η απλότητά της και η αμεροληψία των αποτελεσμάτων της (Coles 2001). Συνεπώς σε πολλές κλιματικές η MLE μέθοδος χρησιμοποιείται για την επιλογή των εκτιμητών των κατανομών που μελετώνται, Kotz & Nadarajah 1999, Coles 2001, Caires & Sterl 2005, Zhou 2009).

Μία μέθοδος η οποία αποτελεί τη γραμμική «εκδοχή» της μεθόδου των Ροπών είναι η L-moments μέθοδος η οποία προτάθηκε το 1990 από τον Hosking. Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η υψηλή αμεροληψία των υπολογισμών της, γεγονός που προκύπτει από την γραμμικότητα που εμπεριέχει. Επιπρόσθετα, οι Pandey et al. 2001 επισημαίνουν ως πλεονέκτημα και το μικρό αριθμό των υπολογισμών που πρέπει να πραγματοποιηθούν, μέχρι να εκτιμηθούν οι τελικές τιμές των παραμέτρων. Η υψηλή αξιοπιστία των εκτιμήσεων της L-moment μεθόδου για μικρά δείγματα την καθιστά ιδιαίτερα διαδεδομένη στην επιστήμη της υδρολογίας (Cassalho et al 2017, Batool 2016, Martins et al 2000), ενώ παράλληλα αρκετοί είναι και οι ερευνητές που την έχουν επιλέξει για εφαρμογή και αξιολόγηση σε κλιματικά δεδομένα (Xu et al 2010, Kharin et al 2013, Kysel 2002).

Μία ακόμα μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται λόγω των ικανοποιητικών αποτελεσμάτων της είναι η Μπευζιανή μέθοδος (Bayesian method). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή εκτιμά τις τιμές των μελετώμενων παραμέτρων με μία πολύπλοκη διαδικασία. Η πολυπλοκότητα αυτή της Μπευζιανής θεωρίας, έχει σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη σημαντικού αριθμού ερευνών που έχουν σαν στόχο την εις βάθος κατανόησή της. Έτσι οι Casella και Berger (2001), παρουσίασαν συνοπτικά τη θεωρία του Bayes, ενώ η εφαρμογή της θεωρίας αυτής στην κατανομή GEV περιγράφεται στην εργασία των Smith and Naylor

(1987). Οι τελευταίοι πειραματίστηκαν και έλεγξαν την επίδραση που έχει η επιλογή τυχαίων «εκ των προτέρων» κατανομών, στις παραμέτρους της Weibull κατανομής, όταν αυτή αποτελεί την «εκ των υστέρων κατανομή». Το 1996, οι Coles και Tawn συνδύασαν την γνώση ειδικών για τη δημιουργία της «εκ των προτέρων» κατανομής των εκτιμώμενων ακραίων παραμέτρων, συμπεριλαμβάνοντας και τη συσχέτιση των παραμέτρων αυτών. Τέλος αρκετές ακόμα μελέτες εστιάζουν στην Μπευζιανή μέθοδο, ελέγχοντας τις ιδιότητές της και την εφαρμογή της σε διάφορες κατανομές (Walshaw 2000, Stephenson and Tawn 2004).

1.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

1.4.1. Κλιματικά Μοντέλα – Εκτιμήσεις για Ακραία

Η εκτίμηση των μελλοντικών καιρικών και κλιματικών συνθηκών αποτελεί, από την αρχαιότητα ακόμα, ένα μείζον θέμα μελέτης κυρίως λόγω της πολύ μεγάλης επίδρασης στις καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα τελευταία χρόνια, η όλο και μεγαλύτερη κατανόηση των διεργασιών που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα αλλά και η εξέλιξη της τεχνολογίας, αποτελούν δύο βασικούς παράγοντες για την ακριβέστερη εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κλιματικών μοντέλων. Τα κλιματικά μοντέλα είναι ένα σύνολο αριθμητικών εξισώσεων που διέπονται από βασικές αρχές της Φυσικής, της Βιολογίας, της Χημείας, έχοντας ως στόχο έχουν να αναπαραστήσουν όλες τις διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα της Γης και ως απώτερο σκοπό την αναπαράσταση του κλίματός της. Ωστόσο, λόγω της χαοτικής φύσης των διεργασιών της ατμόσφαιρας της Γης, ορισμένα φαινόμενα περιγράφονται χρησιμοποιώντας παραμετροποιήσεις ή πιο απλοποιημένες μορφές των εξισώσεων που τα περιγράφουν. Ανάλογα με την περιοχή ενδιαφέροντος τα κλιματικά μοντέλα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τα μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Global Circulation Models - GCMs) και τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (Regional Climate Models – RCMs). Τα πρώτα αφορούν τις κλιματικές συνθήκες σε όλη τη Γη ενώ τα RCMs είναι μοντέλα μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης και περιγράφουν τις κλιματικές συνθήκες σε μία μικρότερης έκτασης περιοχή (π.χ. Μεσόγειος).

Η χρήση των κλιματικών μοντέλων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη όχι μόνο στην μετεωρολογία και την κλιματολογία αλλά και σε άλλες επιστήμες περιβάλλοντος όπως η υδρολογία (Frei et al 2006, Gao 2006, Kay et al 2006, Lazoglou et al 2017, Venetsanou et al 2019). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον τίθεται, από μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας για την εκτίμηση των μελλοντικών ακραίων τιμών διαφόρων κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασία, βροχόπτωση, άνεμος κ.α.). Γενικότερα, ένα σημαντικό πλήθος μελετών προβλέπει ότι τα ακραία επεισόδια θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων θα ενταθούν και η συχνότητα εμφάνισής τους θα αυξηθεί (Kharin and Zwiers 2005, Meehl et al. 2005). Μία τέτοια μελέτη που αφορά την περιοχή της Μεσογείου, πραγματοποιήθηκε από τους Scoccimarro et al (2014) οι οποίοι χρησιμοποιώντας δεδομένα από μοντέλα σύζευξης (σύζευξη ωκεάνιων και ατμοσφαιρικών διεργασιών - CMPI5) εκτιμούν αύξηση της έντασης των ακραίων βροχοπτώσεων, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, πολλές μελέτες που αναφέρονται σε Ευρωπαϊκές περιοχές συμφωνούν ότι οι ακραίες καλοκαιρινές βροχοπτώσεις θα ενταθούν, σε αντίθεση με την τιμή των μέσων βροχοπτώσεων που θα παρουσιάσει μείωση (Christensen 2003, Maraun 2013, Rajczak 2013, Ban 2015, Scoccimarro 2015). Ωστόσο υπάρχουν και μελέτες στις οποίες τόσο τα ακραία επεισόδια όσο και η μέση βροχόπτωση εκτιμάται ότι θα παρουσιάσουν αύξηση, με αυτή των ακραίων να είναι σημαντικά μεγαλύτερη (Meehl et al. 2007). Βασικότερη αιτία αυτών των επεισοδίων φαίνεται να είναι η αυξημένη εξάτμιση που προκαλείται από την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών, και οδηγεί σε κορεσμό της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς (Trenberth et al 1999, Allen et al 2002). Όσον αφορά στις ακραίες θερμοκρασίες, πολλές είναι οι μελέτες στις οποίες εκτιμάται ότι τα ακραία θερμοκρασιακά επεισόδια θα παρουσιάσουν αυξητική τάση στα επόμενα χρόνια. Για παράδειγμα οι Giorgi (2006), Hadjinicolaou et al. (2011), Lelieveld et al. (2013) εκτιμούν αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα. Αντίστοιχα και στη δυτική Μεσόγειο προβλέπεται ότι ο αριθμός των ακραίων θερμών επεισοδίων θα αυξηθεί ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα αυξητική τάση θα παρουσιάσουν και τα επεισόδια ψυχρών νυκτών (Fonseca, 2016).

1.4.2. Συστηματικά Σφάλματα Κλιματικών Μοντέλων

Παρά την ιδιαίτερα διαδομένη και αναγκαία πλέον χρήση των κλιματικών μοντέλων, έχει αποδειχθεί ότι οι τιμές τους παρουσιάζουν αποκλίσεις (σφάλματα από τις πραγματικές τιμές των παρατηρούμενων κλιματικών παραμέτρων (Christensen and Christensen 2007; Mearns et al. 2012; Sillmann et al. 2013). Σύμφωνα με τους Lupo and Kininmoth (2013) οι αποκλίσεις αυτές προέρχονται από την αδυναμία των μοντέλων να περιγράψουν μαθηματικά όλες τις φυσικές, βιολογικές ή χημικές διαδικασίες της ατμόσφαιρας αλλά και από τις περιορισμένες ικανότητες των υπολογιστών, οι οποίοι παρά την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, αδυνατούν να επιλύσουν όλες τις εξισώσεις των ατμοσφαιρικών διαδικασιών. Το 1976 οι Bryson και Dittberner πρωτο-περιέγραψαν ορισμένους παράγοντες που είναι ικανοί να επηρεάσουν τις εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων και προέρχονται τόσο από εξωτερικές αιτίες (πχ ανθρωπογενείς επιρροές, ηφαίστεια) όσο και από μηχανισμούς ανατροφοδότησης (ανακλαστικότητα, νεφοκάλυψη). Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι αποκλίσεις που παρατηρούνται σε περιοχές με έντονο α (Wilby et al 2004), αλλά και στις παρατηρήσεις που αφορούν τις ακραίες τιμές των μελετώμενων παραμέτρων (Cannon 2015, Thrasher 2012). Σύμφωνα με την αξιολόγηση 10 περιοχικών κλιματικών μοντέλων, η οποία πραγματοποιήθηκε από τους Jacob et al (2007) φαίνεται ότι οι αποκλίσεις των ακραίων τιμών είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των μέσων.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τις σημαντικές παρατηρούμενες αποκλίσεις καθώς και τις επιπτώσεις αυτών σε πολλούς τομείς (πχ Zhang et al 2011), κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση των συστηματικών αυτών σφαλμάτων, όπως επισημαίνεται και από διάφορους επιστήμονες (πχ Teutschbein et al 2012, Liu et al 2014). Για να επιτευχθεί η διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των κλιματικών μοντέλων απαιτείται η προ-επεξεργασία των εξαγόμενων αποτελεσμάτων τους, πριν την τελική τους χρήση (Sharma et al. 2007, Ines and Hansen et al. 2006). Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «διόρθωση αποκλίσεων» - «bias correction» και έχει στόχο την ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ των τιμών που εκτιμώνται από τα κλιματικά μοντέλα και τις πραγματικές τιμές. Συχνότερα, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων στηρίζονται στην επιστήμη της στατιστικής. Είναι μέθοδοι που εύκολα εφαρμόζονται, διακρίνονται από ευελιξία εφαρμογής και λαμβάνουν τη μεταβλητότητα των δεδομένων που διορθώνουν (Johnson and Sharma, 2012).

Ο αριθμός των διαθέσιμων μεθόδων για την διόρθωση των αποκλίσεων είναι μεγάλος και είναι στην ευχέρεια του κάθε ερευνητή στο ποιες θα χρησιμοποιήσει. Ορισμένες από τις πιο γνωστές και διαδεδομένες είναι οι μέθοδοι: “delta”, “scaling”, “empirical quantile mapping”, με την αποτελεσματικότητα της κάθε μιας να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (αριθμός παρατηρήσεων, κατανομή δεδομένων). Μια ακόμα ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδος είναι η μέθοδος «quantile mapping» η οποία είναι εύχρηστη (Chen et al 2013) παρά το ότι αδυνατεί να βελτιώσει σημαντικές αποκλίσεις κυρίως στην κυκλοφορία μεγάλης κλίμακας (Maraun 2015). Πιο πρόσφατες μελέτες προτείνουν τη διόρθωση σε πολυμεταβλητό επίπεδο για να μειωθούν τα μειονεκτήματα των μονομεταβλητών προσεγγίσεων (Vrac 2015, Cannon 2016). Μία νέα μέθοδος με ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα, η οποία χρησιμοποιήθηκε κυρίως στον τομέα της υδρολογίας είναι η μέθοδος των συζεύξεων -copulas. Η μέθοδος αυτή προτάθηκε αρχικά από τον Pianì et al (2012) για τη διόρθωση των τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης και χρησιμοποιήθηκε από άλλους ερευνητές τόσο για τη διόρθωση των μέσων όσο και των ακραίων τιμών των κλιματικών παραμέτρων (Mao et al. 2015, Lazoglou et al 2019). Γενικότερα, ένας μεγάλος ακόμα αριθμός νέων μεθόδων ή παραλλαγών των μεθόδων που ήδη χρησιμοποιούνται έχει προταθεί (π.χ. Hijmans 2005, Smitha et al 2018), ενώ ιδιαίτερα χρήσιμες και απαραίτητες είναι οι μελέτες που αξιολογούν τις μεθόδους αυτές. Για παράδειγμα οι Lafon et al. (2013) αξιολόγησαν τέσσερις μεθόδους διόρθωσης αποκλίσεων για την ικανότητά τους να βελτιώνουν τις εκτιμήσεις κλιματικών μοντέλων για τις βροχοπτώσεις στην περιοχή της Μ. Βρετανίας. Μία παρόμοια μελέτη για την περιοχή της Βόρειας Αμερικής πραγματοποιήθηκε από τους Chen et al (2013), ενώ μεγάλος αριθμός μελετών αξιολόγησης τεχνικών διόρθωσης σφαλμάτων έχουν πραγματοποιηθεί και για την περιοχή της Μεσογείου (Conti et al 2014, Marcos et al 2018, Macias 2018).

1.5. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ

Η παρούσα διατριβή έχει ως πρωταρχικό στόχο την ολοκληρωμένη περιγραφή της συμπεριφοράς των ακραίων κλιματικών τιμών στη περιοχή της Μεσογείου. Αυτό επιτυγχάνεται με την αξιολόγηση ευρέως χρησιμοποιούμενων στατιστικών κατανομών,



σχετικά με την ικανότητά τους να περιγράφουν την συμπεριφορά ακραίων κλιματικών παραμέτρων στην περιοχή της Μεσογείου. Δεύτερος βασικός στόχος της έρευνας είναι η ανάπτυξη μιας καινοτόμου στατιστικής μεθόδου, η οποία στηρίζεται στο συνδυασμό δύο βασικών θεωριών της επιστήμης των μαθηματικών και έχει ως σκοπό την εκτίμηση των ακραίων κλιματικών επεισοδίων στη Μεσογειακή περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο επιμέρους στόχους που περιλαμβάνουν τη βελτίωση των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων για τις ακραίες τιμές, καθώς και τον υπολογισμό των τιμών αυτών σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.

Η επίτευξη των στόχων της διδακτορικής διατριβής πραγματοποιείται μέσα από την επίλυση των παρακάτω επιμέρους ερευνητικών ερωτημάτων.

- Ποιες είναι οι καταλληλότερες στατιστικές κατανομές για την περιγραφή των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στη Μεσόγειο;
- Επηρεάζεται η τιμή των κρίσιμων παραμέτρων των κατανομών από τη μέθοδο υπολογισμού της; Πώς αυτό επηρεάζει την τελική συμπεριφορά της κατανομής και την απόδοση των ακραίων επεισοδίων;
- Ποια τα εκτιμώμενα επίπεδα επανάληψης των ακραίων επεισοδίων στη Μεσόγειο;
- Σε τι βαθμό είναι ικανά τα κλιματικά μοντέλα να προσεγγίσουν τις ακραίες τιμές στην περιοχή της Μεσογείου;
- Είναι ικανή η προτεινόμενη – καινοτόμος μέθοδος να βελτιώσει τις εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων για τις ακραίες τιμές της Μεσογείου; Σε τι βαθμό επιτυγχάνεται αυτό;
- Ποια η διαφορά των εκτιμήσεων της καινοτόμου μεθόδου με άλλες ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την διόρθωση αποκλίσεων.
- Πώς εκτιμά η νέα μέθοδος τις ακραίες κλιματικές παραμέτρους σε περιοχές χωρίς δεδομένα; Ποια η αξιοπιστία των εκτιμήσεων αυτών;

Η απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων πραγματοποιείται στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας διατριβής.

Αρχικά πραγματοποιείται μια αναλυτική περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα καθώς και των πηγών από τις οποίες έχουν προέλθει (Κεφάλαιο 2). Στη συνέχεια (Κεφάλαιο 3), παρουσιάζεται η γενική μεθοδολογία της

έρευνας που περιλαμβάνει τη θεωρία των εργαλείων και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Τα επιμέρους βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθείται σε κάθε τμήμα της διατριβής, παρατίθενται στα αντίστοιχα μέρη.

Ο αρχικός στόχος της διδακτορικής μελέτης (Κεφάλαιο 4) περιλαμβάνει την αξιολόγηση των στατιστικών θεωριών που περιγράφουν τις ακραίες τιμές των παραμέτρων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση της Θεωρίας Ακραίων Τιμών, οι μέθοδοι ανάλυσης της οποίας αναλύονται και συγκρίνονται (Block Maxima, POT). Επιπρόσθετα, στο μέρος αυτό πραγματοποιείται η εκτίμηση του εάν και κατά πόσο η επιλογή διαφορετικών μεθόδων, μπορεί να επηρεάσει τις τιμές των παραμέτρων των κατανομών. Έτσι τρεις από τις συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους εκτίμησης των παραμέτρων των κατανομών (MLE, L-moments, Bayesian) συγκρίνονται και αξιολογούνται. Το μέρος αυτό ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των εκτιμήσεων των επιπέδων επανάληψης των ακραίων επεισοδίων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, για τρεις περιόδους στην περιοχή της Μεσογείου με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων.

Η επίτευξη του βασικού σκοπού της μελέτης πραγματοποιείται μέσα από την ανάπτυξη, την αξιολόγηση και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της καινοτόμου μεθόδου (Κεφάλαια 5,6 και 7). Αναλυτικότερα, αρχικά παρουσιάζεται η μεθοδολογία της μεθόδου, τα βήματα που ακολουθούνται για την εφαρμογή της καθώς και μία πρώτη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της (Κεφάλαιο 5). Στη συνέχεια η εκτίμηση των ακραίων κλιματικών τιμών, πραγματοποιείται με τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων (Κεφάλαιο 6) καθώς και την αξιολόγησή τους με διάφορα κριτήρια. Τέλος πραγματοποιείται και η εκτίμηση των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στη Μεσογειακή περιοχή, χρησιμοποιώντας μόνο τα δεδομένα παρατηρήσεων (Κεφάλαιο 7). Η ολοκλήρωση του επιμέρους αυτού στόχου επιτυγχάνεται με την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του.



2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η βάση δεδομένων αποτελείται από ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, οι οποίες προέρχονται από τρεις πηγές: 1) Μετεωρολογικούς Σταθμούς, 2) Κλιματικό Μοντέλο (RegCM4-MPI), 3) Δεδομένα re-analysis (NCEP).

2.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Οι ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων 12 Ευρωπαϊκών Μεσογειακών σταθμών (Πίνακας 2.1), χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των μαθηματικών κατανομών και πιο συγκεκριμένα για την ικανότητα τους να περιγράψουν με ακρίβεια τη συμπεριφορά των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου. Οι 12 σταθμοί που εκτείνονται από τις Ισπανικές ακτές μέχρι την Ελληνική περιοχή, καλύπτουν το δυνατόν ομοιόμορφα τη Μεσόγειο (Σχήμα 2.1). Τα δεδομένα όλων σχεδόν των σταθμών μελέτης με εξαίρεση τα δεδομένα των δύο σταθμών που βρίσκονται στην Ελληνική περιοχή, έχουν προέλθει από το «European Climate Assessment & Dataset» (ECA&D) - <https://www.ecad.eu> (Klein Tank et al, 2002). Πιο συγκεκριμένα, από το ECA&D έχουν προέλθει οι μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων για 10 σταθμούς (Πίνακας 2.1 – Σταθμοί:1-10). Τα δεδομένα του σταθμού της Αθήνας (Athens) έχουν δοθεί από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (National

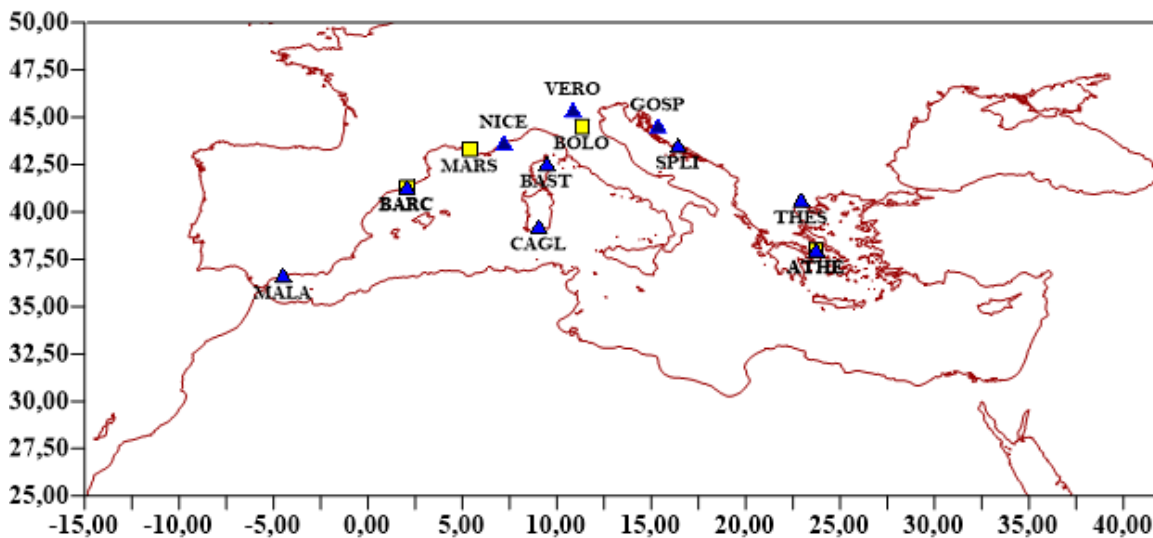
Observatory of Athens) και της Θεσσαλονίκης (Thessaloniki από τον Τομέα Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας του ΑΠΘ.

Πίνακας 2.1. Οι 12 σταθμοί της μελέτης

Αριθμός Σταθμού	Σταθμοί	Σύμβολο	Χώρα	Υψόμετρο (μέτρα)	LAT	LON
1	MALAGA	MALA	SP	7	36.66	-4.48
2	BARCELONA	BARC	SP	4	41.29	2.07
3	MARSEILLE	MARS	FR	75	43.30	5.39
4	NICE	NICE	FR	2	43.64	7.20
5	CAGLIARI	CAGL	IT	21	39.23	9.05
6	BASTIA	BAST	FR	10	42.54	9.48
7	VERONA VILLAFRANCA	VERO	IT	68	45.38	10.86
8	BOLOGNA	BOLO	IT	53	44.50	11.34
9	GOSPIC	GOSP	CR	564	44.55	15.36
10	SPLIT MARJAN	SPLI	CR	122	43.51	16.43
11	THESSALONIKI	THES	GR	40	40.73	22.92
12	ATHENS	ATHE	GR	62	37.98	23.72

Για τέσσερις σταθμούς (Bologna, Marseille, Athens (1901-2000), Barcelona (1916-2015)) τα διαθέσιμα δεδομένα καλύπτουν μία χρονική περίοδο 100 ετών. Αντίθετα για τους υπόλοιπους οχτώ σταθμούς (Malaga (SP), Nice (FR), Cagliari (IT), Bastia (France), Verona Villa Franca (IT), Gospic (CR), Split Marjan (CR) and Thessaloniki (GR)) διαθέσιμα δεδομένα υπάρχουν μόνο για την περίοδο 1951- 2010 (60 έτη). Επιπρόσθετα, για την 60ετή αυτή περίοδο, υπάρχουν δεδομένα και για τους σταθμούς Athens (1901-2000) και Barcelona (1916-2015). Συνεπώς τα δεδομένα της διατριβής καλύπτουν δύο χρονικές περιόδους: 100 έτη (4 σταθμοί) και 60 έτη (10 σταθμοί). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σε κανέναν από τους παραπάνω σταθμούς η έλλειψη παρατηρήσεων δεν ξεπερνά σε ποσοστό το 2% των συνολικών, διατηρώντας έτσι ένα υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας για την μελέτη.

STATIONS



Σχήμα 2.1. Γεωγραφική κατανομή των 12 Ευρωπαϊκών Μεσογειακών Σταθμών. Συμβολισμοί-Πίνακας 2.1. Με το τρίγωνο περιγράφονται οι σταθμοί με χρονοσειρά 60 ετών, ενώ με τετράγωνο 100 ετών. Barcelona και Athens αναπαρίστανται και με τα δύο σχήματα.

2.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ TIN-COPULA ΜΕΘΟΔΟΥ

Για την ανάπτυξη, την αξιολόγηση και την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Copula χρησιμοποιούνται δεδομένα διαφορετικών κατηγοριών. Συγκεκριμένα, για την ανάπτυξη της χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα σταθμών, η εφαρμογή της γίνεται σε τιμές του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI, ενώ η τελική αξιολόγησή της πραγματοποιείται με χρήση δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis – NCEP)

2.2.1. Δεδομένα σταθμών

Ένα δίκτυο σταθμών που καλύπτει ομοιόμορφα την Μεσογειακή Λεκάνη χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της νέας μεθόδου TIN-Copula. Τα δεδομένα των σταθμών καλύπτουν μια χρονική περίοδο 20 ετών, η οποία ξεκινά από το 1981 και φτάνει μέχρι το 2000.

Πίνακας 2.2. Οι 37 σταθμοί της μελέτης για την παράμετρο της θερμοκρασίας.

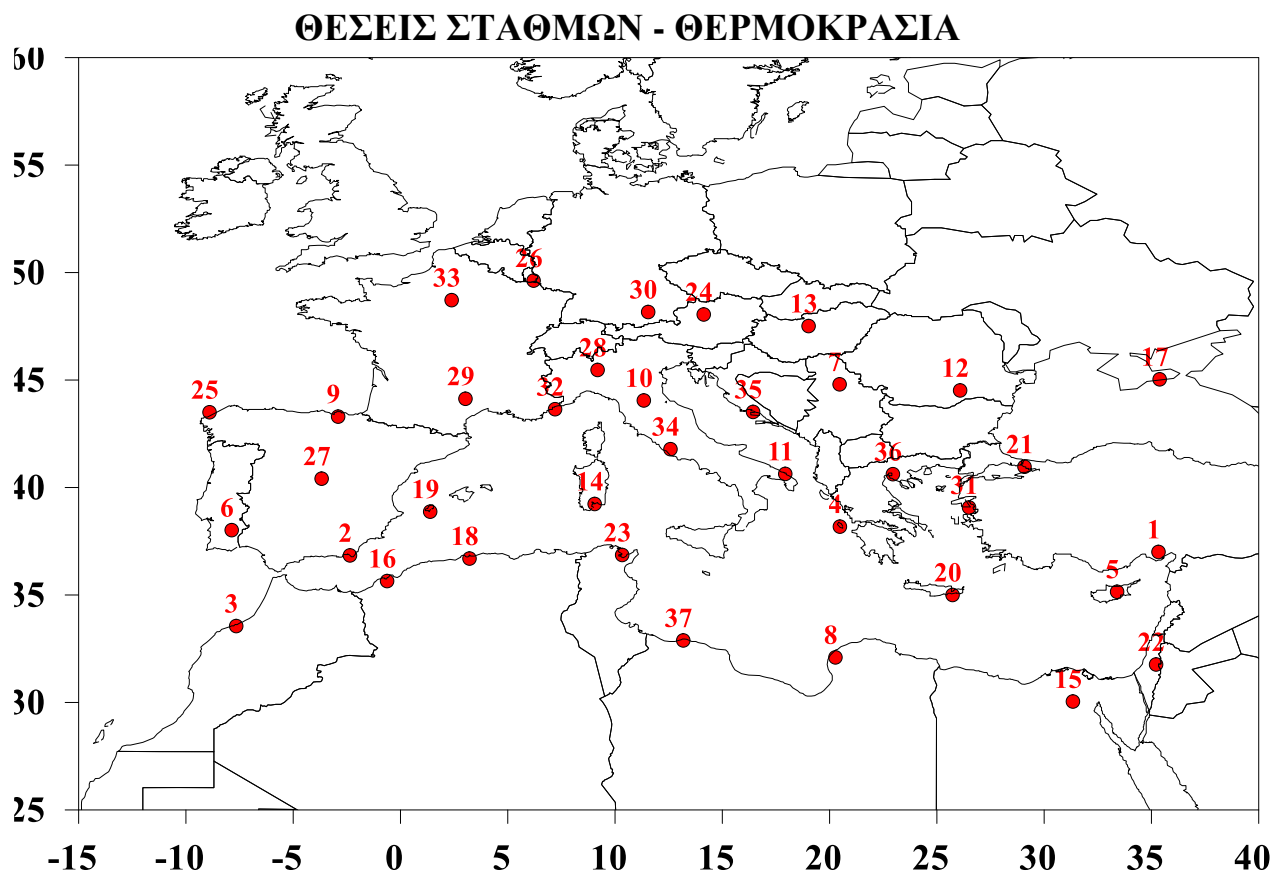
	ΣΤΑΘΜΟΣ	LAT	LON		ΣΤΑΘΜΟΣ	LAT	LON
1	ADANA	37.00	35.33	20	IERAPETRA	35.00	25.73
2	ALMERIA*	36.84	-2.35	21	ISTANBUL*	40.97	29.08
3	ANFA	33.55	-7.66	22	JERUSALEM*	31.77	35.22
4	ARGOSTOLI	38.18	20.48	23	KARXIDONA	36.86	10.33
5	ATHALLASSA*	35.15	33.40	24	KREMS MUENSTER*	48.05	14.13
6	BEJA*	38.02	-7.87	25	LA_CORUNIA*	43.50	-8.90
7	BELGRADE*	44.80	20.47	26	LUXEMBOURG*	49.63	6.20
8	BENINA	32.10	20.27	27	MADRID*	40.41	-3.67
9	BILBAO*	43.30	-2.91	28	MILAN*	45.47	9.19
10	BOLOGNA*	44.05	11.34	29	MILLAU*	44.13	3.03
11	BRINDISI*	40.63	17.93	30	MUENCHEN*	48.16	11.54
12	BUCURESTI*	44.52	26.08	31	MYTILINH	39.07	26.50
13	BUDAPEST*	47.51	19.02	32	NICE*	43.64	7.21
14	CAGLIARI*	39.23	9.05	33	ORLY*	48.72	2.38
15	CAIRO	30.04	31.34	34	ROMA*	41.78	12.58
16	EL_SENIA	35.65	-0.62	35	SPLIT*	43.52	16.43
17	FEODOSIIA*	45.03	35.38	36	THESSALONIKI	40.62	22.95
18	HOUARI BOUMEDIENE	36.70	3.22	37	TRIPOLI	32.89	13.18
19	IBIZA*	38.88	1.38				

* Σταθμοί με δεδομένα από European Climate Assessment (ECA&D)

Για την παράμετρο της θερμοκρασίας, χρησιμοποιούνται ημερήσιες τιμές από 37 σταθμούς, οι οποίοι καλύπτουν ομοιόμορφα την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 2.2 – Πίνακας 2.2). Οι σταθμοί αυτοί καλύπτουν μεγάλο μέρος της Ευρωπαϊκής περιοχής καθώς και τις Βόρειες ακτές της Αφρικής (γεωγραφικό μήκος: -10° - 38° , γεωγραφικό πλάτος: 28° - 50°). Η επιλογή των σταθμών αυτών, έγινε με στόχο την ομοιόμορφη χωρική κάλυψη της μελετώμενης περιοχής αλλά και με βάση την διαθεσιμότητα των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν σταθμοί οι οποίοι διαθέτουν ημερήσιες τιμές

θερμοκρασίας για την χρονική περίοδο 1981-2000 και ο συνολικός αριθμός των ημερών χωρίς δεδομένα δεν ξεπερνά το 1%. (Σχήμα 2.2). Τα δεδομένα των 25 από τους 37 μελετώμενους σταθμούς έχουν προέλθει από το Ευρωπαϊκό Κέντρο European Climate Assessment (ECA&D) (Klein Tank et al. 2002). Τα δεδομένα των τεσσάρων σταθμών που καλύπτουν την Ελληνική περιοχή (Πίνακας 2.2: 4, 20, 31, 36) έχουν δοθεί από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) ενώ οι τιμές των οκτώ σταθμών που καλύπτουν τις βόρειες ακτές της Αφρικής (Πίνακας 2.2: 1, 3, 8, 15, 16, 18, 23, 37) έχουν δοθεί από το Διεθνές Κέντρο Κλιματικών Δεδομένων - National Climatic Data Center (NCDC).

<https://www7.ncdc.ncep.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv&georegionabbv>



Σχήμα 2.2. Γεωγραφική θέση των 37 σταθμών με διαθέσιμα θερμοκρασιακά δεδομένα. Η αρίθμηση αντιστοιχεί στον πίνακα 2.2



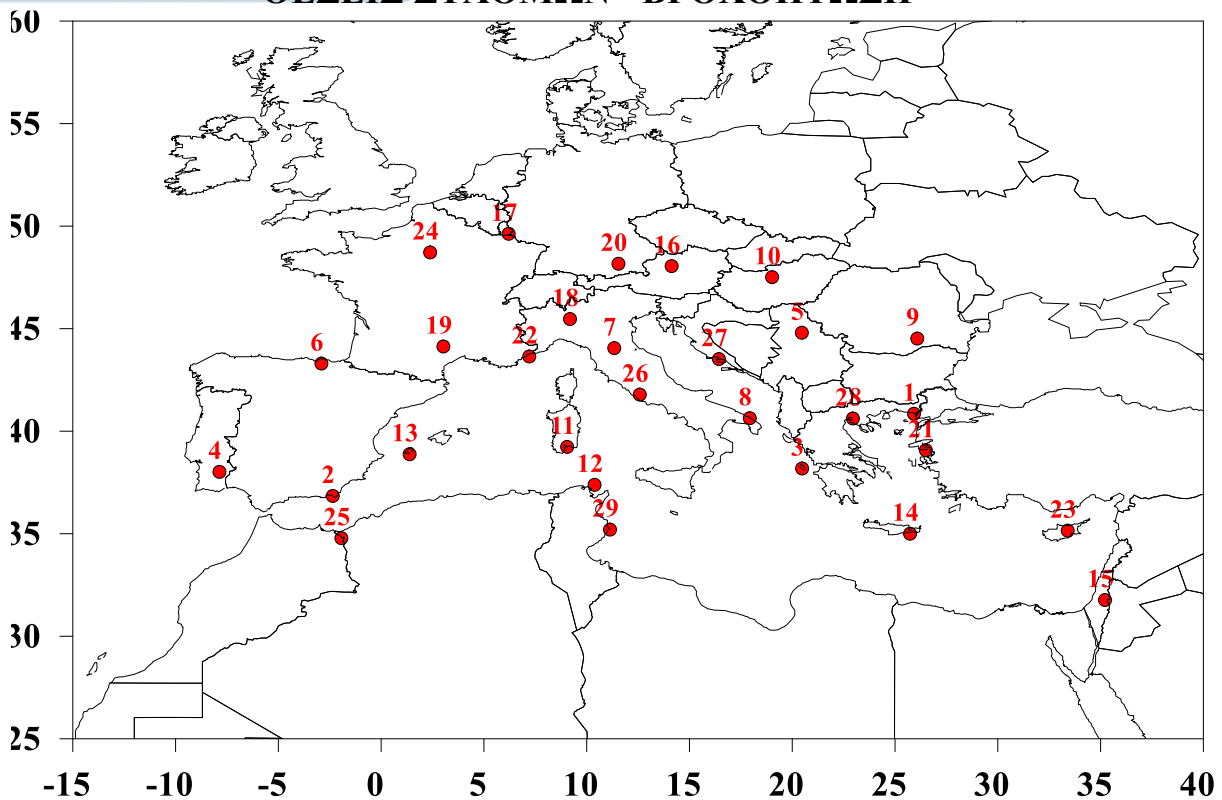
Για την παράμετρο της βροχόπτωσης, οι σταθμοί με διαθέσιμες ημερήσιες τιμές που καλύπτουν την περίοδο μελέτης και ο συνολικός αριθμός των ημερών χωρίς δεδομένα δεν ξεπερνά το 1%, είναι 29 (Σχήμα 2.3). Τα δεδομένα της πλειονότητας των σταθμών μελέτης προέρχονται από το Ευρωπαϊκό Κέντρο European Climate Assessment (ECAD) (E-OBS data) (Klein Tank et al 2002), τα δεδομένα των πέντε ελληνικών σταθμών (Πίνακας 2.3: 1, 3, 14, 21, 28) προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), ενώ τα δεδομένα των τριών σταθμών που βρίσκονται στην Αφρικανική ήπειρο (Πίνακας 2.3: 12, 25, 29) έχουν δοθεί από την εθνική μετεωρολογική υπηρεσία του Μαρόκου και της Τυνησίας.

Πίνακας 2.3. Οι 12 σταθμοί της μελέτης για την παράμετρο της βροχόπτωσης.

	ΣΤΑΘΜΟΣ	LAT	LON		ΣΤΑΘΜΟΣ	LAT	LON
1	ALEXANDROUPOLI	40.85	25.92	16	KREMSMUNSTER*	48.05	14.13
2	ALMERIA*	36.84	-2.35	17	LUXEMBOURG*	49.63	6.20
3	ARGOSTOLI	38.18	20.48	18	MILAN*	45.47	9.19
4	BEJA*	38.02	-7.87	19	MILLAU*	44.13	3.03
5	BELGRADE*	44.80	20.47	20	MUENCHEN*	48.16	11.54
6	BILBAO*	43.30	-2.91	21	MYTILINH	39.07	26.50
7	BOLOGNA*	44.05	11.34	22	NICE*	43.64	7.21
8	BRINDISI*	40.63	17.93	23	NICOSIA*	35.15	33.40
9	BUCURESTI*	44.52	26.08	24	ORLY*	48.72	2.38
10	BUDAPEST *	47.51	19.02	25	OUJDA	34.78	-1.93
11	CAGLIARI*	39.23	9.05	26	ROMA*	41.78	12.58
12	TUNIS_CARTHAGE	37.38	10.38	27	SPLIT*	43.52	16.43
13	IBIZA*	38.88	1.38	28	THESSALONIKI	40.62	22.95
14	IERAPETRA	35.00	25.73	29	GABES	35.20	11.13
15	JERUSALEM*	31.77	35.22				

* Σταθμοί με δεδομένα από European Climate Assessment (ECA&D)

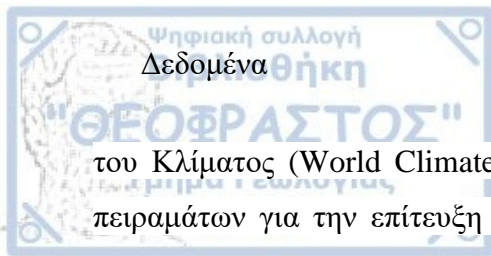
ΘΕΣΕΙΣ ΣΤΑΘΜΩΝ - ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



Σχήμα 2.3. Γεωγραφική θέση των 29 σταθμών με διαθέσιμα δεδομένα βροχοπτώσεων. Η αρίθμηση αντιστοιχεί στον πίνακα 2.3.

2.2.2. Δεδομένα Κλιματικού μοντέλου

Για την ακριβέστερη αναπαράσταση του κλίματος και γενικότερα των ατμοσφαιρικών διεργασιών σε περιοχές μικρής έκτασης, απαιτείται η χρήση δεδομένων με μεγάλη χωρική ανάλυση. Αυτά, συνήθως προέρχονται από διάφορα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCMs) με στόχο την εξαγωγή κλιματικών τιμών για περιοχές μικρότερης έκτασης (υποβιβασμός κλίμακας). Ο δυναμικός υποβιβασμός της κλίμακας του μοντέλου που χρησιμοποιείται (RegCM4), έχει επιτευχθεί στο πλαίσιο του προγράμματος Med-Cordex (www.medcordex.eu; Ruti et al., 2016) στόχοι του οποίου είναι α) η βελτίωση των περιοχικών κλιματικών μοντέλων β) η βελτίωση των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον υποβιβασμό κλίμακας και γ) η δημιουργία νέων ακριβέστερων σεναρίων εκπομπών. Το Παγκόσμιο Πρόγραμμα Μελέτης



του Κλίματος (World Climate Research Program - WCRP) , χρηματοδοτεί μια σειρά πειραμάτων για την επίτευξη των παραπάνω στόχων. Τα πειράματα αυτά τα: Cordex (COordinated Regional climate Downscaling Experiment) και Coupled Models Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), με το Med-Cordex να αποτελεί το πείραμα που αφορά την περιοχή της Μεσογείου.

Στην συγκεκριμένη διατριβή, χρησιμοποιείται το περιοχικό κλιματικό μοντέλο (Regional Climate Models- RCM) RegCM4, οι αρχικές τιμές του οποίου (driving forcing) έχουν προέλθει από το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Models-GCM) MPI (Max Plank Institute). Συνεπώς ο συμβολισμός των δεδομένων του μοντέλου στην παρούσα διατριβή γίνεται με το ακρωνύμιο RegCM4-MPI.

Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα. Οι προσομοιώσεις αυτές βασίζονται σε ορισμένες υποθέσεις που αφορούν τις εκτιμώμενες μελλοντικές εκπομπές αερίων, σύμφωνα με τη δυνητική εξέλιξη του πληθυσμού, της τεχνολογίας, της βιομηχανίας κ.τ.λ. Οι υποθέσεις αυτές περιλαμβάνουν χρονοσειρές εκπομπών, συγκεντρώσεις θερμοκηπικών αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων (Representative Concentration Pathways- RCPs) (IPCC, 2013). Το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας στο οποίο έχει ενσωματωθεί (nested) το περιοχικό μοντέλο RegCM4 είναι το ECHAM5/MPI, το οποίο αποτελεί μία σύγχρονη έκδοση των μοντέλων ECHAM και έχει δημιουργηθεί στο Ινστιτούτο Μετεωρολογίας Max Planck. Τα δεδομένα που έχουν επιλεγεί προέρχονται από το τρέξιμο που έχει γίνει με το πιο ακραίο – απαισιόδοξο σενάριο που είναι το RCP8.5 και η χωρική ανάλυση είναι 50 x 50 km.

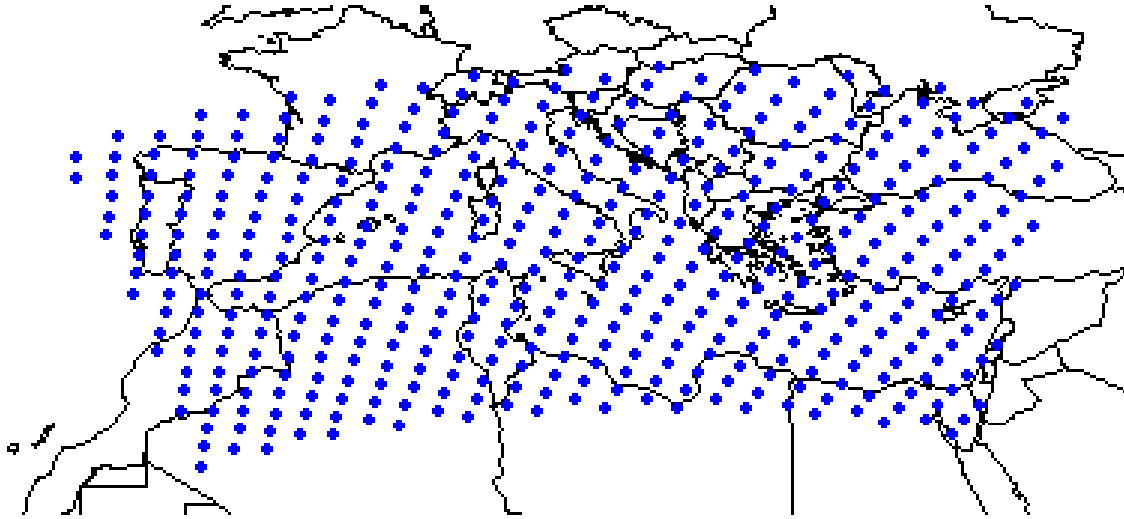
Το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4, αποτελεί την τελευταία έκδοση μιας σειράς προσπαθειών για την αναβάθμιση των περιοχικών μοντέλων που αναφέρονται ως RegCM (RegCM1 Dickinson et al. (1989), Giorgi (1990); RegCM2, Giorgi et al. (1993b), Giorgi et al. (1993c); RegCM2.5, Giorgi and Mearns (1999); RegCM3, Pal et al. (2000)). Η αναλυτική περιγραφή του μοντέλου αυτού, καθώς και οι ευαισθησίες που παρουσιάζει σε διαφορετικές περιοχές που έχουν καθοριστεί από το πείραμα COordinated Regional Downscaling EXperiment (CORDEX) παρουσιάζονται από τους Giorgi et al. 2009 και Giorgi et al. (2012). Ο πίνακας 2.4 παρουσιάζει ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του RegCM4 όπως αυτά αναφέρονται στην εργασία των Giorgi et al. (2012).

Πίνακας 2.4. Βασικά χαρακτηριστικά του μοντέλου RegCM4 (Giorgi et al. (2012))

Model Aspects	Available Options
Dynamics	<ul style="list-style-type: none"> Hydrostatic, σ-vertical coordinate (Giorgi et al. 1993a)
Radiative transfer	<ul style="list-style-type: none"> Modified CCM3 (Kiehl et al. 1996)
Planetary boundary layer	<ul style="list-style-type: none"> Modified Holtslag Holtslag et al. (1990) UW-PBL (Bretherton et al. 2004)
Cumulus convection	<ul style="list-style-type: none"> Kuo (Anthes et al. 1987) Grell (Grell 1993) MIT (Emanuel & Zivkovic-Rothman, 1999) Tiedtke (Tiedtke 1989)
Resolved scale precipitation	<ul style="list-style-type: none"> SUBEX (Pal et al. 2000)
Land surface	<ul style="list-style-type: none"> BATS (Dickinson et al. 1993) Sub-grid BATS (Giorgi et al. 2003) CLM (Steiner et al. 2009)
Ocean fluxes	<ul style="list-style-type: none"> BATS: (Dickinson et al. 1993) Zeng (Zeng et al. 1998) Diurnal sea surface temperature (Zeng & Beljaars 2005)
Interactive aerosols	<ul style="list-style-type: none"> Organic and black carbon, SO₄ (Solmon et al. 2006) Dust (Zakey et al. 2006) Sea salt (Zakey et al. 2008)
Interactive lake	<ul style="list-style-type: none"> 1D diffusion/convection (Hostetler et al. 1993)
Tropical band	<ul style="list-style-type: none"> Coppola et al. (2012, this Special)
Coupled Ocean	<ul style="list-style-type: none"> MIT (Artale et al. 2010) ROMS (Ratnam et al. 2009)

Ένας από τους βασικούς στόχους της διατριβής είναι η εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου (Κεφάλαιο 5 και 6). Συνεπώς, τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι οι μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων για την περιοχή της Μεσογείου, που καλύπτουν την χρονική περίοδο 1981-2000 (20 έτη) (Σχήμα 2.4). Η χωρική ανάλυση του κλιματικού μοντέλου είναι 0.11° (~12km) και η περιοχή μελέτης καλύπτεται με 3125 σημεία πλέγματος. Ωστόσο μετά από την πραγματοποίηση ελέγχων αξιοπιστίας, αποδείχθηκε ότι η μείωση των κόμβων, όχι μόνο δεν επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα, αλλά μειώνει σημαντικά τον απαιτούμενο χώρο

και χρόνο εξαγωγής τους. Συνεπώς, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν οι αρχικοί κόμβοι του μοντέλου με βήμα 7 – κάθε 7^ο σημείο πλέγματος (Σχήμα 2.4) .



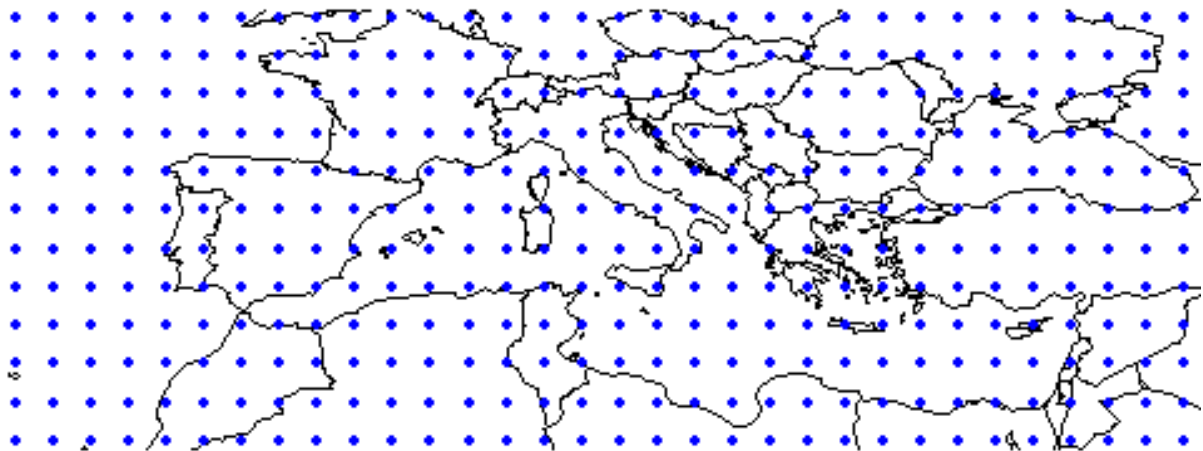
Σχήμα 2.4. Γεωγραφική θέση των κόμβων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI.

2.2.3. Δεδομένα Ανδρομικής Ανάλυσης (NCEP reanalysis)

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της TIN-Corula μεθόδου χρησιμοποιούνται τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης ή αλλιώς επανανάλυσης (reanalysis), τα οποία έχουν προέλθει από τη συνεργασία του Εθνικού Κέντρου Περιβαλλοντικών Προβλέψεων (National Center for Environmental Prediction - NCEP) με το Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικών Ερευνών (National Center for Atmospheric Research - NCAR) - NCEP/NCAR Reanalysis Data που βρίσκεται στις Η.Π.Α. Στην παρούσα μελέτη τα δεδομένα αυτά αναφέρονται ως “NCEP”. Η βάση των NCEP δεδομένων, αποτελείται από ένα πλέγμα σημείων με χωρική ανάλυση 2.5° x 2.5° γεωγραφικού μήκους-πλάτους, το οποίο εκτείνεται σε όλες τις περιοχές του πλανήτη. Τα NCEP δεδομένα αποτελούν μια ιδιαίτερα αξιόπιστη πηγή κλιματικών δεδομένων, καθώς χρησιμοποιούν ένα σύγχρονο σύστημα για τον συνδυασμό δεδομένων που έχουν προέλθει από όλους τους εφικτούς τρόπους παρατήρησης (δεδομένα σταθμών εδάφους, θαλάσσης, δορυφορικές μετρήσεις, ραδιοβολίσεις κτλ). Τα δεδομένα αυτά, καλύπτουν τη χρονική περίοδο από το 1948 μέχρι σήμερα και είναι διαθέσιμα για 4 χρονικές στιγμές μέσα στην ημέρα ή ως μία μέση ημερήσια τιμή. Στην παρούσα διατριβή, τα NCEP δεδομένα, χρησιμοποιούνται μετά από

την αξιολόγησή τους. Αναλυτικότερα, για τον κάθε διαθέσιμο σταθμό της μελέτης, επιλέχθηκε το κοντινότερο σημείο πλέγματος των NCEP δεδομένων που βρίσκεται σε ξηρά, και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των κλιματικών τιμών τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης, μπορούν να προσεγγίσουν ικανοποιητικά τα δεδομένα των σταθμών για την παράμετρο της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Ωστόσο, η ακρίβεια προσέγγισης των θερμοκρασιών, είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με αυτή των βροχοπτώσεων. Παρόμοια συμπεράσματα για τις τιμές των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών στην Ελληνική περιοχή προέκυψαν και από τη μελέτη των Flocas et al. (2005). Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των NCEP δεδομένων και των δεδομένων των μελετώμενων σταθμών, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου το ανάγλυφο δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαιτερότητα.

Στην παρούσα διδακτορική έρευνα χρησιμοποιούνται οι μέσες ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (Κεφάλαια 6, 7), οι οποίες έχουν προκύψει από τη μεσοποίηση των τεσσάρων τιμών που είναι διαθέσιμες για κάθε ημέρα. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων είναι $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ και καλύπτουν την περιοχή της Μεσογείου με ένα δίκτυο 405 κόμβων (Σχήμα 2.5). Τέλος τα δεδομένα έχουν υπολογιστεί στο επίπεδο της επιφάνειας (surface) και καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1981-2000.



Σχήμα 2.5. Γεωγραφική θέση των κόμβων των NCEP δεδομένων στην περιοχή μελέτης



3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία της παρούσας έρευνας αποτελείται από δύο βασικά μέρη, τα οποία σχετίζονται με τους δύο βασικούς στόχους της διατριβής.

Αρχικά, πραγματοποιείται μια αναλυτική περιγραφή των μεθόδων επιλογής ακραίων τιμών, των κατανομών που τις περιγράφουν και των κρίσιμων παραμέτρων τους. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται και η θεωρία των επιπέδων και περιόδων επαναφοράς ακραίων τιμών που χρησιμοποιείται στην έρευνα, με σκοπό την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς τους. Τέλος, ξεχωριστή αναφορά γίνεται και στα στατιστικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση όλων των παραπάνω φαινομένων.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο και η διαδικασία ανάπτυξης μιας νέας μεθόδου για την διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των κλιματικών μοντέλων. Η νέα μέθοδος ονομάζεται TIN-Copula και αποτελεί ένα συνδυασμό των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων (triangular irregular networks TIN) και των συζεύξεων (Copulas). Συνεπώς στο δεύτερο μέρος της μεθοδολογίας παρουσιάζεται η ανάλυση των δύο αυτών βασικών μαθηματικών θεωριών.



3.1. ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ

3.1.1. Μέθοδοι επιλογής ακραίων τιμών

Ένα βασικό αντικείμενο μελέτης σε όλες τις επιστήμες στις οποίες μελετώνται ακραίες τιμές (κλιματολογία, υδρολογία, οικονομικά, ασφάλειες) είναι η επιλογή των καταλληλότερων τεχνικών για το διαχωρισμό των ακραίων τιμών από ένα σύνολο δεδομένων. Ο καθορισμός των ακραίων τιμών είναι ένα ιδιαίτερα κρίσιμο ζήτημα, καθώς μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της εκάστοτε μελέτης. Γενικά, ο χαρακτηρισμός μιας τιμής ως ακραίας επιτυγχάνεται με δύο τεχνικές η αποτελεσματικότητα των οποίων διαφέρει σημαντικά. Οι τεχνικές αυτές είναι οι εξής: Α) «Μέγιστα ανά περίοδο» - (Block Maxima) και Β) «Κορυφές πάνω από το κατώφλι» - (Peaks Over Threshold -POT).

Α) Μέγιστα ανά περίοδο - Block Maxima

Για την εφαρμογή της Block maxima τεχνικής, αρχικά πραγματοποιείται ο χωρισμός της μελετώμενης χρονικής περιόδου σε μη αλληλο-επικαλυπτόμενες διαδοχικές υποπεριόδους, που έχουν το ίδιο μέγεθος. Στη συνέχεια από κάθε νέα υποπερίοδο, επιλέγεται η μέγιστη (ή η ελάχιστη) τιμή, δημιουργώντας έτσι ένα νέο σύνολο τιμών που περιέχει τις ακραίες παρατηρήσεις. Η μαθηματική περιγραφή της μεθόδου είναι η εξής: Έστω ένα σύνολο N παρατηρήσεων που ακολουθούν την άγνωστη κατανομή Φ .

$$X_1, X_2, \dots, X_N$$

Το σύνολο των N παρατηρήσεων διαιρείται σε κ υποπεριόδους με ν παρατηρήσεις η κάθε μία έτσι ώστε $N = \kappa * \nu$

$$X_1, X_2, \dots, X_\nu \quad X_{\nu+1}, X_{\nu+2}, \dots, X_{\nu+\nu} \quad \dots \quad X_{(\kappa-1)\nu+1}, X_{(\kappa-1)\nu+2}, \dots, X_{(\kappa-1)\nu+\nu}$$

Από κάθε υποπερίοδο κ , επιλέγεται η μέγιστη τιμή, $Y_1, Y_2, \dots, Y_\kappa$. Το σύνολο αυτών, αποτελούν τις ακραίες τιμές σύμφωνα με την τεχνική Block maxima.

$$Y_i = M_\nu^{(i)}, \text{ όπου } M_\nu = \max\{X_1, X_2, \dots, X_\nu\}$$

Η επιλογή του μεγέθους των υποπεριοδών είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς υποπεριόδοι με πολύ μικρό μέγεθος μπορούν να δημιουργήσουν συστηματικά σφάλματα (biases), ενώ αντίθετα το πολύ μεγάλο μέγεθος μπορεί να παράγει ελάχιστες ακραίες τιμές (Coles 2001).

Σύμφωνα με τους Zwiers & Kharin (1998) και Kharin & Zwiers (2000, 2005), η επιλογή του ετήσιου διαχωρισμού της αρχικής χρονικής περιόδου, θεωρείται κατάλληλη για τη χρονική διαίρεση πολύ μεγάλων βάσεων, όπως για παράδειγμα μιας βάσης με ημερήσια δεδομένα. Παρά το γεγονός ότι η επιλογή των ακραίων τιμών με τη χρήση της μεθόδου block maxima χαρακτηρίζεται από ορισμένα ελκυστικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα η ευκολία χρήσης της, εμπεριέχει και αρκετά μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο από αυτά είναι η πιθανή αγνόηση από τη μελέτη ενός σημαντικού αριθμού ακραίων γεγονότων, καθώς αυτά δεν θα αποτελούν τις μέγιστες (ή ελάχιστες) τιμές της κάθε υποπεριόδου. Αντίστοιχα, μπορεί να ληφθούν υπόψη στη μελέτη τιμές, οι οποίες δεν είναι ακραίες, αλλά τυχαίνει να είναι οι μέγιστες των υποπεριόδων. Για το λόγο αυτό ο Coles (2001), επεσήμανε ότι η χρήση της "Block Maxima" τεχνικής, μπορεί να είναι μη ικανοποιητική σε περιπτώσεις όπου το αρχικό σύνολο δεδομένων αποτελείται από μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων, καθώς πολλά ακραία συμβάντα απορρίπτονται από τη μελέτη.

B) Κορυφές πάνω από το Κατώφλι - POT (Peaks Over Threshold)

Η δεύτερη τεχνική επιλογής ακραίων τιμών είναι η επιλογή Κορυφών πάνω από το Κατώφλι (POT). Πρωταρχικό στάδιο για την εφαρμογή της POT τεχνικής είναι ο καθορισμός ενός κατωφλίου, πάνω από το οποίο οι τιμές θεωρούνται ακραίες. Ο καθορισμός του κατάλληλου κατωφλίου είναι ιδιαίτερα κρίσιμο ζήτημα καθώς επιδιώκεται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αμεροληψία αλλά και διασπορά των τιμών που το ξεπερνούν. Σύμφωνα με μελέτη του Beguería (2005), η προσωπική κρίση του ερευνητή για την επιλογή του καταλληλότερου κατωφλίου, προσδίδει επιπλέον αβεβαιότητα στην μέθοδο. Η επιλογή μίας υψηλής τιμής ως κατώφλι, παράγει ιδιαίτερα μικρό αριθμό ακραίων παρατηρήσεων, που δεν επαρκούν για τη συνέχεια της εκάστοτε μελέτης, καθώς δημιουργείται αυξημένη δειγματική μεταβλητότητα, τυπική απόκλιση και μεγαλύτερα διαστήματα εμπιστοσύνης (Coles 2001). Αντίθετα, με την επιλογή ενός πολύ χαμηλού κατωφλίου, λαμβάνονται υπόψη πολλές πληροφορίες με αποτέλεσμα να δημιουργείται «θόρυβος» και σημαντικά μεροληπτικά σφάλματα (biases) μεταξύ του μοντέλου που προσομοιώνει τα ακραία δεδομένα και της πραγματικότητας.



Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει καμία μέθοδος επιλογής του βέλτιστου ορίου που να είναι ικανή να εξισορροπήσει τη μεροληψία με τη διακύμανση. Ωστόσο υπάρχουν παραμετρικές και μη παραμετρικές τεχνικές, που βοηθούν στην επιλογή μιας καταλληλότερης τιμής κατωφλίου (π.χ. διάγραμμα μέσης τιμής των υπολοίπων - mean residual life plot, ποσοστιαίοι δείκτες, δείκτες διασποράς κ.α.). Μετά από την επιλογή του καταλληλότερου κατωφλίου, επιλέγονται ως ακραίες οι τιμές που υπερβαίνουν το προεπιλεγόμενο όριο, δημιουργώντας έτσι ένα νέο σύνολο τιμών για τη μετέπειτα μελέτη (Coles 2001 και Parey et al. 2007). Η μαθηματική περιγραφή της τεχνικής POT είναι η εξής:

Έστω ένα σύνολο N παρατηρήσεων που ακολουθούν την άγνωστη κατανομή Φ .

$$X_1, X_2, \dots, X_N$$

Έστω u το επιλεγόμενο κατώφλι. Το σύνολο ακραίων τιμών είναι

$$Y_i = \{X_i\}$$

το οποίο περιλαμβάνει όλες τις τιμές X_i που υπερβαίνουν το κατώφλι u

3.1.2. Θεωρία Ακραίων Τιμών – Extreme Value Theory (EVT)

Η θεωρία ακραίων τιμών (EVT) αποτελεί μια αυστηρή στατιστική θεωρία που περιγράφει ακραίες τιμές χρησιμοποιώντας καθορισμένες τεχνικές και μαθηματικά μοντέλα. Οι βασικοί κλάδοι της θεωρίας αυτής είναι δύο. Ο πρώτος είναι ο πιθανοθεωρητικός στον οποίο μελετάται η στοχαστική συμπεριφορά των ακραίων, και ο δεύτερος ο στατιστικός, που αφορά την ανάπτυξη μοντέλων για την ερμηνεία και την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς των ακραίων, χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα.

Στόχος της θεωρίας ακραίων τιμών (EVT) είναι η ανάλυση των ακραίων παρατηρήσεων ενός συνόλου, οι οποίες περιγράφονται γραφικά από την ουρά της κατανομής του εκάστοτε δείγματος. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται η εύρεση της οριακής κατανομής των ακραίων μέγιστων ή ελάχιστων τιμών. Οι καταλληλότερες οικογένειες κατανομών για το σκοπό αυτό είναι δύο: Α) η Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων Τιμών - Generalized Extreme Value Distribution (GEV) και Β) η Γενικευμένη κατανομή Pareto - Generalized Pareto Distribution (GPD). Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, έχει αποδειχτεί ότι η GEV κατανομή είναι κατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων τιμών που έχουν προέλθει από την block maxima τεχνική (Kharin & Zwiers

2000, Katz et al. 2002, Garcia et al. 2007, Kotz & Nadarajah 1999), ενώ η GPD κατανομή περιγράφει ικανοποιητικά τις ακραίες τιμές που εκτιμά η POT τεχνική (Katz et al. 2002).

A) (Generalized Extreme Value distribution (GEV))

Η Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων τιμών (Generalized Extreme Value distribution (GEV)) αποτελεί μια γενική οικογένεια τριών επιμέρους κατανομών: Fréchet, Weibull και Gumbel. Οι κατανομές αυτές ονομάζονται τυπικές κατανομές ακροτάτων, και αποτελούν το πεδίο έλξης μιας σειράς άλλων κατανομών.

Σύμφωνα με τη θεωρία ακραίων τιμών (EVT), όταν οι μέγιστες ή οι ελάχιστες τιμές ενός δείγματος (ουρά της κατανομής) συγκλίνουν σε μια μη εκφυλισμένη κατανομή, τότε μπορούν να περιγραφούν από μία από τις τρεις παραπάνω κατανομές. Το 1954 οι von Mises (Von Mises et al., 1954) και το 1955 ο Jenkinson (Jenkinson 1955), συνέπτυξαν τις τρεις τυπικές κατανομές ακροτάτων, σε έναν κοινό τύπο που αποτελεί τον τύπο της GEV κατανομής.

$$G(z)=exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{z-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

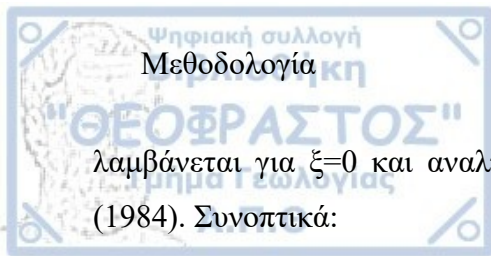
Η εξίσωση ορίζεται στο σύνολο $\{z: 1 + \xi(z - \mu)/\sigma > 0\}$,

μ : παράμετρος θέσης, $-\infty < \mu < \infty$

σ : παράμετρος κλίμακας, $\sigma > 0$

ξ : παράμετρος Σχήματος, $-\infty < \xi < \infty$.

Σύμφωνα με ένα από τα βασικότερα θεωρήματα της EVT, το θεώρημα Fisher – Tippett (Fisher-Tippett, 1928), η παράμετρος σχήματος αποτελεί μια ένδειξη για το ποια κατανομή μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων τιμών, καθώς διαφορετικές τιμές της παραμέτρου αυτής, υποδηλώνουν και διαφορετική συμπεριφορά ουράς. Αναλυτικότερα, θετικές τιμές της παραμέτρου ξ , υποδηλώνουν κατανομή τύπου Fréchet η οποία είναι κάτω φραγμένη, ενώ οι αρνητικές τιμές της παραμέτρου οδηγούν στην κατανομή Weibull, η οποία είναι άνω φραγμένη. Τέλος, η Gumbel κατανομή



λαμβάνεται για $\xi=0$ και αναλύεται σαν ειδική περίπτωση της GEV από τον Hosking (1984). Συνοπτικά:

Για $\xi=0$: Gumbel distribution

Για $\xi>0$: Fréchet distribution

Για $\xi<0$: Weibull distribution

B) Generalized Pareto distribution (GPD)

Η κατανομή Pareto, πήρε το όνομά της, από τον Ιταλό οικονομολόγο Vilfredo Pareto (1848–1923), ο οποίος τη χρησιμοποίησε για να περιγράψει την κατανομή του πλούτου στην κοινωνία. Πιο συγκεκριμένα, όρισε την «Αρχή του Pareto» που είναι γνωστή και ως «κανόνας 80-20», και απέδειξε ότι το 80% του πλούτου μιας κοινωνίας, ελέγχεται από το 20% του πληθυσμού. Σε γενικότερο επίπεδο, η Pareto κατανομή μπορεί να περιγράψει τη σχέση μεταξύ «μεγάλων» και «μικρών» τιμών σε αρκετές εφαρμογές (π.χ. ετήσια μέγιστα βροχοπτώσεων).

Το 1975, ο Pickands πρότεινε την ενσωμάτωση των μοντέλων των κατανομών Pareto (ομοιόμορφες στο διάστημα $[0,1]$) και των εκθετικών, σε μία κατηγορία που αποτελεί τη γενικευμένη κατανομή Pareto (Generalized Pareto Distribution (GPD)). Η γενικευμένη κατανομή Pareto, είναι μια οριακή κατανομή που μπορεί να περιγράψει τις κανονικοποιημένες υπερβάλλουσες τιμές μιας τυχαίας μεταβλητής. Έτσι προσφέρεται η δυνατότητα μελέτης, των τιμών που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο κατώφλι, καθώς παρουσιάζουν συνάρτηση κατανομής που εμπίπτει στην οικογένεια GPD.

Όσον αφορά τη μαθηματική έκφραση της γενικευμένης Pareto κατανομής, ισχύει ότι (Pickands, 1975):

Έστω X_1, X_2, \dots, X_n ένα σύνολο ανεξάρτητων και ισόνομων τυχαίων μεταβλητών με από κοινού συνάρτηση κατανομής F .

$$(X_1, X_2, \dots, X_n) \sim F$$

Έστω M_n το σύνολο των μέγιστων τιμών

$$M_n = \max \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$

Έστω ότι $G(z) \approx P\{M_n \leq z\}$ $G(z)$, η συνάρτηση κατανομής της GEV.

Τότε για ένα αρκετά μεγάλο κατώφλι u , η συνάρτηση των υπερβάσεων $(X_i - u)$, περιγράφεται από τον τύπο της γενικευμένης κατανομής Pareto:

$$H(y)=P(X-u \leq x | X > u) = 1 - (1 + \frac{\xi y}{\sigma'})^{-1/\xi}$$

Η εξίσωση ορίζεται στο σύνολο $\{y : y > 0 \text{ και } (1 + \xi y/\sigma') > 0\}$, $\sigma' = \sigma + \xi(u - \mu)$
Μάλιστα η τελική τιμή των παραμέτρων σχετίζεται άμεσα με την επιλογή του κατάλληλου
κατωφλίου, κάτι που μελετήθηκε από τους Frigessi et al. (2002). Η GPD συνδέεται άμεσα
με την GEV κατανομή, με την σχέση

$$GPD(x) = 1 + \ln GEV(x) \text{ με } \ln GEV(x) > -1$$

Συνεπώς, όπως και στην GEV κατανομή, η τιμή της παραμέτρου ξ είναι καθοριστική για
τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς της κατανομής. Οι αρνητικές τιμές του ξ
υποδηλώνουν ότι το ανώτερο όριο της κατανομής υπερβάσεων είναι η τιμή $u - \sigma'/\xi$.
Αντίθετα, θετικές τιμές του ξ , δείχνουν ότι η κατανομή δεν είναι άνω φραγμένη, κάτι που
ισχύει και στην περίπτωση όπου $\xi=0$.

3.1.3. Μέθοδοι εκτίμησης παραμέτρων

Οι κρίσιμες παράμετροι μίας κατανομής (σχήμα, θέση και κλίμακα) δίνουν σημαντικές
πληροφορίες για την συμπεριφορά της. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων υπολογίζονται με
τρεις διαφορετικές μεθόδους: Α) Μέθοδοι Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum
Likelihood Estimator method - MLE), Β) Μέθοδος των L-Ροπών (L-moments method)
και Γ) Μπευζιανή μέθοδος (Bayesian method). Οι τιμές που περιγράφονται από την
εκάστοτε κατανομή, επηρεάζονται σημαντικά από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον
υπολογισμό των κρίσιμων παραμέτρων της. Για το λόγο αυτό, η διατριβή αυτή
παρουσιάζει μια εκτεταμένη αξιολόγηση των μεθόδων αυτών.

Α) Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (MLE)

Αρχικά, στην MLE μέθοδο, πολλαπλασιάζονται οι συναρτήσεις πυκνότητας
πιθανότητας της κάθε τιμής του δείγματος με σκοπό την εκτίμηση της συνάρτησης
πιθανοφάνειας $L(\theta)$.

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta)$$

θ : οι κρίσιμες παράμετροι σχήμα, θέση, κλίμακα

$f(x_i, \theta)$: η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας

Για λόγους ευκολίας των απαιτούμενων υπολογισμών η συνάρτηση πιθανοφάνειας λογαριθμίζεται (log likelihood function) χωρίς ωστόσο αυτό να επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει καθώς τόσο η λογαριθμική συνάρτηση όσο και η συνάρτηση πιθανοφάνειας μεγιστοποιούνται από την ίδια τιμή (εκτιμητής Μέγιστης Πιθανοφάνειας θ_0), αφού η λογαριθμική συνάρτηση είναι γνήσια μονότονη.

$$l(\theta) = \text{Log}(L(\theta)) = \sum_{i=1}^n \log f(x_i; \theta)$$

Για την εύρεση της τιμής που μεγιστοποιεί τη λογαριθμική συνάρτηση πιθανοφάνειας αρκεί να βρεθεί η τιμή που μηδενίζει την παράγωγό της. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται για όλες τις κρίσιμες παραμέτρους, εκτιμώντας έτσι την τελική τιμή τους. Σύμφωνα με τον Coles (Coles 2001), οι συναρτήσεις λογαριθμικής πιθανοφάνειας για τις κατανομές GEV και GPD είναι οι εξής:

$$l(\mu, \sigma, \xi) = -n \log \sigma - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^n \log \left\{1 + \xi \left(\frac{z_i - \mu}{\sigma}\right)\right\} - \sum_{i=1}^n \left\{1 + \xi \left(\frac{z_i - \mu}{\sigma}\right)\right\}^{-1/\xi}$$

$$l(\sigma', \xi) = -n_u \log \sigma' - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^{n_u} \log \left\{1 + \xi \left(\frac{y_i}{\sigma'}\right)\right\} \quad \text{με } y_i = x_i - u$$

Η μέθοδος MLE, θεωρείται μία σχετικά απλή μέθοδος υπολογισμού παραμέτρων. Αυτό, σε συνδυασμό με το ότι σε ήπιες γενικές συνθήκες, οι εκτιμητήριές της είναι σχεδόν αμερόληπτες και μπορούν να παράγουν ιδιαίτερα αξιόπιστα αποτελέσματα, την καθιστούν ως μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους υπολογισμού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε μεγάλο αριθμό εργασιών (Coles 2001, Caires & Sterl 2005, Zhou 2009). Η επιλογή της MLE θεωρείται καταλληλότερη για ιδιαίτερα μεγάλα δείγματα, καθώς όταν το δείγμα είναι μικρό (<50) η μέθοδος θεωρείται ασταθής και τα αποτελέσματά της μη ρεαλιστικά (Hosking & Wallis 1997, Coles & Dixon 1999, Martins & Stedinger 2000).

B) Μέθοδος των L - ροπών (L-moments)

Η μέθοδος L-moments που αναπτύχθηκε από τον Hosking (1990), παρουσιάζει πολλά κοινά με τη συνήθη μέθοδο των Ροπών. Η βασική διαφορά εντοπίζεται στο ότι η L-moments μέθοδος στηρίζεται σε γραμμικούς συνδυασμούς των διατεταγμένων

παρατηρήσεων, κάτι που δηλώνεται και από το γράμμα "L" (Linear). Η γενική μεθοδολογία της μεθόδου αυτής είναι η εξίσωση των θεωρητικών ροπών με τις αντίστοιχες δειγματικές ροπές ενός δείγματος. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η εισαγωγή των εκτιμώμενων παραμέτρων σε στατιστικές συναρτήσεις, από τη λύση των οποίων προκύπτουν οι τιμές των μέτρων θέσης, διασποράς κύρτωσης, συμμετρίας και άλλων κρίσιμων πληροφοριών για το δείγμα. Η τάξη του συστήματος που επιλύεται είναι αντίστοιχη με τον αριθμό των εκτιμώμενων παραμέτρων. Μετά την εξίσωση των γενικών μορφών των συναρτήσεων, η γενική συνάρτηση των εκτιμητών είναι:

$$\lambda_r = \int_0^1 x(F) P_{r-1}^*(F) dF, r = 1, 2, \dots$$

$$\text{όπου, } P_r^*(F) = \sum_{k=0}^r P_{r-1}^* F^k \text{ και } P_{r-1}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k}$$

Με F συμβολίζεται η εκάστοτε κατανομή και με r συμβολίζεται η τάξη των ροπών και κατά συνέπεια ο αριθμός των παραμέτρων που εκτιμώνται. Για παράδειγμα οι εξισώσεις των εκτιμητών πρώτης και δεύτερης τάξης είναι οι εξής:

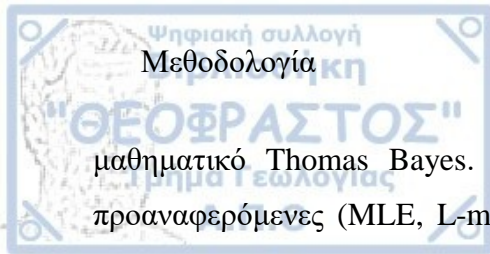
$$\lambda_1 = E(X) = \int_R x dx$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} E[X_{(2)} - X_{(1)}] = \int_R x(2F - 1) dF$$

Η μέθοδος L-moments, παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με την μέθοδο των ροπών (Methods of Moments). Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα είναι το ότι οι εκτιμητές της L-moments μεθόδου είναι πιο ανθεκτικοί, όχι ιδιαίτερα εξαρτημένοι από τα ακραία σημεία της και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη μεροληψία και ακρίβεια σε περιπτώσεις μικρών δειγμάτων. Για τους παραπάνω λόγους η μέθοδος L-moments, αποτελεί μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο (Rowinski 2001)

Γ) Μπευζιανή Μέθοδος (Bayesian Method)

Μία ακόμα πιο περίπλοκη μέθοδος εκτίμησης των παραμέτρων των κατανομών, είναι η Μπευζιανή μέθοδος (Bayesian method) που προτάθηκε από τον Άγγλο κληρικό και



μαθηματικό Thomas Bayes. Η βασική διαφορά της Μπευζιανής μεθόδου από τις προαναφερόμενες (MLE, L-moments), είναι ότι στη Μπευζιανή μέθοδο η εκτιμώμενη παράμετρος αντιμετωπίζεται σαν τυχαία μεταβλητή. Έτσι στη Μπευζιανή μέθοδο οι πιθανότητες είναι υποκειμενικές και εξαρτώνται από τις πεποιθήσεις του εκάστοτε μελετητή για την κατανομή που περιγράφει την εκτιμώμενη μεταβλητή. Ακόμα με τη χρήση της Μπευζιανής μεθόδου, λαμβάνεται υπόψη τόσο η αβεβαιότητα των παραμέτρων του μαθηματικού μοντέλου που μελετάται, όσο και η τυχαιότητα που εμπεριέχουν οι μελλοντικές παρατηρήσεις.

Για την εφαρμογή της Μπευζιανής μεθόδου, αρχικά ορίζεται μια «εκ των προτέρων» κατανομή, η οποία αντικατοπτρίζει τις υποθέσεις για την εκτιμώμενη μεταβλητή. Πολλές φορές πληροφορίες για τη πιθανή κατανομή της εκτιμώμενης παραμέτρου υιοθετούνται από προγενέστερες μελέτες. Επιπρόσθετα, καθώς η σημασία της εκ των προτέρων κατανομής είναι μεγάλη, σε πολλές περιπτώσεις η εκτίμηση κρίσιμων στατιστικών μεγεθών (π.χ. μέση τιμή, διακύμανση κ.α), μπορούν να βοηθήσουν στην ακριβέστερη πρόβλεψή της. Τέλος, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που εκτιμάται, θα πρέπει να έχει δύο ιδιότητες:

Έστω θ η παράμετρος που εκτιμάται ($\theta \in \Theta$) και $f(\theta)$ η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της παραμέτρου αυτής. Θα πρέπει:

$$1) f(\theta) \geq 0, \forall \theta \in \Theta$$

$$2) \int_{\Theta} f(\theta) d\theta = 1$$

Η συνάρτηση $f(\theta)$ αποτελεί την «εκ των προτέρων» κατανομή (prior distribution) της παραμέτρου.

Στην Μπευζιανή μέθοδο, χρησιμοποιείται η λογαριθμική συνάρτηση πιθανοφάνειας της κατανομής, με στόχο την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων

$$l(\theta; x) = \log\{L(\theta; x)\} = \log\left\{\prod_{i=1}^n f(x_i|\theta)\right\}$$

Τέλος, συνδυάζοντας τις πληροφορίες που προσφέρονται για την παράμετρο θ μέσω της «εκ των υστέρων» κατανομής της, με την λογαριθμική συνάρτηση πιθανοφάνειάς της, προκύπτει η «εκ των υστέρων» (posterior distribution) συνάρτηση πυκνότητας

πιθανότητας της παραμέτρου θ που δίνεται από την συνάρτηση (Stephenson & Tawn, 2004)

$$\pi(\theta|x) = \frac{\pi(\theta)L(\theta; x)}{\int_{\theta} \pi(\theta)L(\theta; x)d\theta}$$

3.1.4. Επίπεδα και Περίοδοι Επανάληψης

Σε πολλές επιστήμες, υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη για την εκτίμηση του «κινδύνου» (κλιματικών, οικονομικών κ.α.) συγκεκριμένων παραμέτρων. Ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία για τον υπολογισμό των ακραίων αυτών τιμών αποτελεί ο υπολογισμός των επιπέδων και των περιόδων επανάληψης ή αλλιώς επαναφοράς. Βασικό πλεονέκτημα των τιμών αυτών είναι ότι παρουσιάζουν με κατανοητό τρόπο, το μέγεθος των ακραίων επεισοδίων που προβλέπεται πως θα εμφανιστούν μία φορά, κατά τη διάρκεια μίας μελλοντικής περιόδου. Η περίοδος επανάληψης είναι το αντίστροφο της ετήσιας συχνότητας υπέρβασης ενός ακραίου επεισοδίου και εκφράζεται σε χρόνια. Σύμφωνα με τον Coles (2001), το επίπεδο επανάληψης T -χρόνων (T -year return level), ορίζεται ως η τιμή της παραμέτρου $u(T)$, που αναμένεται να ξεπεραστεί μία φορά στα επόμενα T έτη. Αναλυτικότερα, Έστω (X_1, X_2, \dots, X_T) τυχαίες μεταβλητές με από κοινού συνάρτηση κατανομής F .

$$(X_1, X_2, \dots, X_T) \sim F$$

Το όριο $u(T)$ που αναμένεται να ξεπεραστεί μία φορά στα επόμενα T έτη είναι το $(1 - \frac{1}{T})$ ποσοστιαίο σημείο της εξίσωσης F και ορίζεται σαν λύση της εξίσωσης:

$$u(T) = F^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right)$$

Συνεπώς ισχύει η σχέση:

$$P\{X_i > u(T)\} = 1 - F(u(T)) = 1/T$$

Η περίοδος T , αποτελεί την περίοδο επανάληψης (Reiss & Thomas 2001), ενώ η τιμή $u(T)$ το επίπεδο επανάληψης. Για τις δύο βασικές κατανομές της θεωρίας ακραίων τιμών (EVT), οι σχέσεις που δίνουν τα επίπεδα επανάληψης είναι:



$$z_p = \mu - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \{-\log 1 - p\}^{-\xi}] \text{ για } \xi \neq 0$$

και

$$z_p = \mu - \sigma \log\{\log(1 - p)\} \text{ για } \xi = 0$$

Η μεταβλητή z_p ονομάζεται επίπεδο επαναφοράς που σχετίζεται με την περίοδο επανάληψης $1/p$, καθώς το επίπεδο z_p υπολογίζεται να ξεπεραστεί κατά μέσο όρο μία φορά κάθε $1/p$ έτη.

GPD

$$x_m = u + \frac{\sigma}{\xi} [(mz_u)^\xi - 1] \text{ για } \xi \neq 0 \text{ και}$$

$$x_m = u + \sigma \log(mz_u) \text{ για } \xi = 0$$

Όπου $\zeta_u = Pr\{X > u\}$ περιγράφει το ποσοστό των υπερβάσεων του ορίου u .

Επειδή όμως η περίοδος που χρησιμοποιείται για τα επίπεδα επανάληψης είναι συνήθως τα έτη, εάν θεωρηθούν n_λ παρατηρήσεις ανά έτος και ένα σύνολο N ετών παρατήρησης, τότε $m = N \times n_\lambda$. Έτσι το επίπεδο επαναφοράς N ετών, δίνεται από τις παραστάσεις:

$$z_N = u + \frac{\sigma}{\xi} [(Nn_y \zeta_u)^\xi - 1] \text{ για } \xi \neq 0 \text{ και}$$

$$z_N = u + \sigma \log(Nn_y \zeta_u) \text{ για } \xi = 0.$$

3.2. TIN-COPULA ΜΕΘΟΔΟΣ

Η νέα μέθοδος η οποία αναπτύσσεται στην συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή ονομάζεται TIN-Copula και συνδυάζει τη θεωρία των συζεύξεων (Copulas) με τα τριγωνικά ακανόνιστα δίκτυα (Triangular Irregular Networks). Στη συνέχεια παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο των δύο αυτών μαθηματικών εργαλείων που συνδυάζει η νέα μέθοδος, ενώ η δομή της νέας προτεινόμενης μεθοδολογίας και η αξιολόγησή της θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2.1. Συζεύξεις – Copulas

Οι συζεύξεις αποτελούν ένα μέτρο στοχαστικής εξάρτησης δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Η σύζευξη είναι μια πολυμεταβλητή συνάρτηση κατανομής με ομοιόμορφες περιθώριες συναρτήσεις κατανομών οριζόμενες στο διάστημα $[0,1]$.

Το θεώρημα του Sklar (Sklar, 1959) αποτελεί το βασικό θεώρημα στο οποίο στηρίζεται η θεωρία των συζεύξεων. Σύμφωνα με τον Nelsen (1999) το θεώρημα του Sklar περιγράφει τη σημαντικότητα των συζεύξεων για την περιγραφή της εξάρτησης των πολυμεταβλητών συναρτήσεων των μελετώμενων μεταβλητών και των μονοδιάστατων περιθώριων κατανομών τους. Το θεώρημα του Sklar παρουσιάστηκε αρχικά σε διδιάστατη μορφή, αλλά επεκτάθηκε και για περισσότερες μεταβλητές. Η διδιάστατη μορφή του θεωρήματος περιγράφεται ως εξής:

Έστω H μια συνάρτηση κατανομής με περιθώριες συναρτήσεις F και G . Τότε υφίσταται μια σύζευξη C για κάθε x και y που ανήκουν στο χώρο R . Η κοινή συνάρτηση κατανομής περιγράφεται από την εξίσωση :

$$H(x, y) = C(F(x), G(y))$$

Εάν οι F και G είναι συνεχείς κατανομές, τότε η συνάρτηση C είναι μοναδικά ορισμένη στο χώρο $RanF \times RanG$ (ο όρος Ran δηλώνει το εύρος). Συμπερασματικά, εάν C είναι μία σύζευξη και F, G είναι οι συναρτήσεις κατανομής, τότε η συνάρτηση H αποτελεί την κοινή συνάρτηση κατανομής με περιθώριες τις F, G .

Από το θεώρημα του Sklar γίνεται αντιληπτό ότι κάθε πολυμεταβλητή κατανομή μπορεί να περιγραφεί από μια συνάρτηση των περιθώριων κατανομών της. Επιπρόσθετα, καθώς οι περιθώριες συναρτήσεις προσφέρουν μια αναλυτική περιγραφή των μελετώμενων κατανομών ξεχωριστά, η κατανομή των μεταβλητών αυτών μπορεί να περιγραφεί εξολοκλήρου και μοναδικά από μια σύζευξη. Συνεπώς, για τον υπολογισμό της κοινής συνάρτησης κατανομής χρειάζεται αρχικά να υπολογιστούν οι περιθώριες συναρτήσεις των μεταβλητών και μετά η σύζευξη. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως πιο ευέλικτη και αποτελεσματική συγκριτικά με άλλες κοινές μεθόδους (π.χ πολυμεταβλητή Γκαουσιανή κατανομή). Για την κατανόηση των συζεύξεων, κρίνεται απαραίτητο να παρουσιαστούν τα βασικά στοιχεία της θεωρίας αυτής. Η ανάλυση και η



παρουσίαση αυτή γίνεται για τη διδιάστατη μορφή, αντίστοιχα όμως μπορούν να επεκταθούν και στον n -χώρο.

3.2.2. Ιδιότητες των Συζεύξεων

Μια διδιάστατη σύζευξη - copula είναι μία συνάρτηση κατανομής που ορίζεται στο χώρο $C: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ και παρουσιάζει τις εξής ιδιότητες :

- Για κάθε $u, v \in [0,1]^2$, $C(u, 0) = 0 = C(0, v)$
- Για κάθε $u, v \in [0,1]^2$, $C(u, 1) = u$ και $C(1, v) = v$
- Για κάθε ζεύγος (u_1, u_2) και $(v_1, v_2) \in$ στο $[0,1] \times [0,1]$ για τα οποία ισχύει ότι $u_1 \leq u_2$ και για τα $v_1 \leq v_2$ ισχύει ότι:

$$C(u_2, v_2) - C(u_2, v_1) - C(u_1, v_2) + C(u_1, v_1) \geq 0$$

Από τις παραπάνω ιδιότητες γίνεται αντιληπτό ότι η σύζευξη είναι μία συνάρτηση με τιμές που ανήκουν στο διάστημα $[0,1]$. Όταν επιτευχθεί η μικρότερη τιμή της μίας περιθώριας κατανομής ($u=0$, $v=0$ για τις δύο περιθώριες αντίστοιχα), τότε η τιμή της σύζευξης μηδενίζεται. Αυτή η ιδιότητα είναι και η βασική απαίτηση για την πολυμεταβλητή κατανομή. Η δεύτερη ιδιότητα είναι συνέπεια του ότι οι u και v είναι οι περιθώριες συναρτήσεις της κοινής κατανομής-σύζευξης και είναι προ-απαιτούμενη για τις ομοιόμορφες περιθώριες κατανομές. Η τελευταία ιδιότητα επισημαίνει ότι οι συζεύξεις είναι αύξουσες συναρτήσεις, καθώς μία από τις ιδιότητές τους είναι ο θετικός ή μηδενικός όγκος. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η θετική τιμή της πιθανότητας:

$$P(u_1 < U_1 < v_1, u_2 < U_2 < v_2)$$

Μία ακόμα πολύ σημαντική ιδιότητα των συζεύξεων είναι ότι είναι ανεξάρτητες όταν μετασχηματίζονται σύμφωνα με μία αυστηρά μονότονη αύξουσα συνάρτηση. Με τον τρόπο αυτό η τελική κοινή κατανομή δεν επηρεάζεται και παραμένει αμετάβλητη πάρα το γεγονός ότι οι μεταβλητές έχουν μετασχηματιστεί. Αναλυτικότερα, εάν X_1, X_2 είναι οι συνεχείς τυχαίες μεταβλητές και η σύζευξη που τις ενώνει είναι η C , τότε η ίδια σύζευξη ενώνει και τις Y_1, Y_2 που είναι οι μονότονες αύξουσες συναρτήσεις των βαθμίδων X_1, X_2 ($\text{Rank}X_1, \text{Rank}X_2$). Αυτή η ιδιότητα αποτελεί και ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των συζεύξεων καθώς μεταβλητές που πιθανώς περιγράφονται από διαφορετικές κατανομές,

μπορούν να μετασχηματιστούν και να ανήκουν στον ίδιο χώρο, χωρίς να επηρεαστεί η δομή τους.

3.2.3. Όρια Fréchet-Hoeffding

Οι Fréchet και Hoeffding (Fréchet, 1951; Fisher and Sen, 1994) όρισαν ένα από τα βασικότερα θεωρήματα των συζευξεων, σύμφωνα με το οποίο κάθε σύζευξη είναι άνω και κάτω φραγμένη.

Για κάθε διδιάστατη σύζευξη C που ορίζεται στο χώρο $[0,1]^2 \rightarrow [0,1]$ και για κάθε u, v που ανήκουν στο χώρο αυτό, ισχύει ότι:

$$W(u, v) \leq C(u, v) \leq M(u, v)$$

Η συνάρτηση $W(u, v)$ αποτελεί το κάτω όριο Fréchet και Hoeffding και ισούται με $\max[u + v - 1, 0]$, ενώ η $M(u, v)$ το άνω και ισούται αντίστοιχα με το $\min [u, v]$. Κάθε μία από αυτές τις συναρτήσεις αποτελεί και μία σύζευξη.

Σύμφωνα με τον Nelsen (1999) στη διδιάστατη μορφή η συνάρτηση των ορίων περιγράφει την τέλεια θετική εξάρτηση των τυχαίων μεταβλητών u, v . Μάλιστα όταν η τιμή της σύζευξης ισούται με την τιμή ενός φράγματος τότε έχει επιτευχθεί οριακή κατάσταση δηλαδή τέλεια θετική (άνω φράγμα) ή τέλεια αρνητική (κάτω φράγμα) εξάρτηση.

Ιδιαίτερη σημασία στην ανάλυση των ορίων κατέχει και η σύζευξη η οποία παράγεται από το γινόμενο των μεταβλητών. Συγκεκριμένα η σύζευξη-γινομένου (product copula) είναι γνωστή και ως ανεξάρτητη σύζευξη (independent copula) και ορίζεται ως:

$$C(u, v) = u * v$$

Η σύζευξη αυτή βρίσκεται πάντα μεταξύ των ορίων Fréchet και Hoeffding και εκφράζει την ανεξαρτησία των μελετώμενων μεταβλητών εφόσον οριστούν οι περιθώριες συναρτήσεις τους. Επεξηγηματικά, δύο συνεχείς τυχαίες μεταβλητές X, Y είναι ανεξάρτητες αν και μόνο αν η κοινή συνάρτηση κατανομής τους (σύζευξη) ισούται με το γινόμενο των περιθωρίων συναρτήσεών τους $(C(F(x), G(y))) = F(x)G(y)$ όπου F, G οι περιθώριες συναρτήσεις των X, Y αντίστοιχα.

3.2.4. Εμπειρικές Συζεύξεις (Empirical Copulas)

Οι συζεύξεις είναι ικανές να περιγράψουν την εξάρτηση ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Οι συζεύξεις χωρίζονται σε διάφορες οικογένειες οι οποίες έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά. Κάθε οικογένεια χαρακτηρίζεται από μία μαθηματική συνάρτηση η οποία περιέχει μεταβλητές. Η τιμή των μεταβλητών αυτών είναι ικανή να καθορίσει το μέγεθος και το είδος της εξάρτησης. Σύμφωνα με τον Deheuvels (Deheuvels, 1978) επειδή η θεωρητική σύζευξη που περιγράφει την εξάρτηση δύο μεταβλητών δεν είναι πάντα πλήρως γνωστή, είναι απαραίτητη η μελέτη της εμπειρικής σύζευξης. Η εμπειρική σύζευξη είναι μια εκτίμηση της άγνωστης θεωρητικής σύζευξης των μελετώμενων παραμέτρων. Η μαθηματική διατύπωση της εμπειρικής σύζευξης είναι η εξής:

Έστω $\{r_1, \dots, r_n\}$ και $\{s_1, \dots, s_n\}$ οι τάξεις των μεταβλητών $\{x_1, \dots, x_n\}$ και $\{y_1, \dots, y_n\}$ αντίστοιχα. Η εμπειρική σύζευξη είναι $C_n(u, v) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n 1\left(\frac{r_t}{n+1} \leq u, \frac{s_t}{n+1} \leq v\right)$

Η εμπειρική σύζευξη χαρακτηρίζεται ως η πιο αξιόπιστη αναπαράσταση της αντίστοιχης θεωρητικής σύζευξης η οποία περιγράφει την εξάρτηση του δείγματος (X,Y) (Genest and Favre, 2007).

3.2.5. Συντελεστές συσχέτισης- Μέτρο εξάρτησης

Μία βασική προϋπόθεση για την μελέτη της κοινής κατανομής δύο μεταβλητών είναι να υπάρχει μια σχέση εξάρτησης μεταξύ τους. Οι συντελεστές συσχέτισης και εξάρτησης είναι ένας τρόπος μέτρησης και ελέγχου της σχέσης εξάρτησης. Ο συντελεστής Pearson αποτελεί έναν δείκτη μέτρησης της γραμμικής εξάρτησης δύο μεταβλητών.

$$\rho(x,y) = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{Var(x)Var(y)}}$$

Οι τιμές του δείκτη βρίσκονται μεταξύ των τιμών [-1,1]. Τιμές κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν ανεξαρτησία ενώ τιμές κοντά στα άκρα του διαστήματος δηλώνουν ισχυρή εξάρτηση. Η τέλεια γραμμική θετική σχέση περιγράφεται από την τιμή 1 ενώ η τέλεια αρνητική από την τιμή -1. Το βασικό μειονέκτημα του δείκτη είναι το ότι επικεντρώνεται στη μελέτη της γραμμικής συσχέτισης ενώ ταυτόχρονα η τιμή του επηρεάζεται όταν υπάρχει ένας αυξητικός μετασχηματισμός. Ταυτόχρονα ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι ο Pearson απαιτεί κανονικότητα.

Οι συντελεστές Spearman's rho και Kendall's tau, αποτελούν δύο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες στη θεωρία των συζεύξεων, καθώς δεν «περιέχουν» τα μειονεκτήματα του Pearson. Η μαθηματική περιγραφή των τύπων για τη μέθοδο των συζεύξεων είναι η εξής:

Έστω (X_1, X_2) είναι ένα διμεταβλητό τυχαίο μοντέλο με περιθώριες συναρτήσεις F_1 και F_2 αντίστοιχα. Ο συντελεστής Spearman's rho υπολογίζεται ως:

$$\rho_s = \rho_s(X_1, X_2) = Cor(F_1(X_1), F_2(X_2))$$

Αντίστοιχα, υποθέτοντας ότι (X_1', X_2') είναι ένα ανεξάρτητο αντίγραφο του δείγματος (X_1, X_2) , ο συντελεστής Kendall ορίζεται ως εξής:

$$\tau = \tau(X_1, X_2) = E(\text{sign}((X_1 - X_1')(X_2 - X_2'))) \text{ με}$$

$$\text{sign}(x) \begin{cases} -1 \text{ εάν } x < 0 \\ 0 \text{ εάν } x = 0 \\ 1 \text{ εάν } x > 0 \end{cases}$$

Ο συντελεστής Spearman είναι ένας συντελεστής συσχέτισης που περιγράφει τη γραμμική εξάρτηση ενός τυχαίου διανύσματος με $F_i(x_i)$ ($i=1,2$) χρησιμοποιώντας τις περιθώριες κατανομές των μεταβλητών x_i που προέρχονται από το (X_1, X_2) μετά από την περιθώρια εφαρμογή των μετασχηματισμών πυκνότητας πιθανότητας. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί πάντα, ανεξάρτητα από τα χαρακτηριστικά του δείγματος, και εξαρτάται από την επιλεγόμενη σύζευξη και όχι από τις περιθώριες συναρτήσεις. Συμπερασματικά λοιπόν ο συντελεστής Spearman εκτιμά την εξάρτηση του μελετώμενου δείγματος, μη λαμβάνοντας υπόψη τις περιθώριες κατανομές.

Οι συντελεστές Spearman's rho και Kendall's tau μπορούν να θεωρηθούν ως μέτρα συμφωνίας (concordance) και ασυμφωνίας (discordance) (Scarsini, 1984). Δύο σημεία (x, y) και (x', y') στο χώρο R^2 μπορούν να θεωρηθούν ως σημεία συμφωνίας όταν η κλίση του διανύσματος – (ευθεία που τα ενώνει είναι θετική $(x - x')(y - y') > 0$. Αντίθετα, όταν η κλίση της ευθείας είναι αρνητική $(x - x')(y - y') < 0$ τότε η το ζεύγος των σημείων θεωρείται ότι βρίσκεται σε ασυμφωνία.

Σύμφωνα με τους ορισμούς των σημείων που βρίσκονται σε συμφωνία ή όχι, ο συντελεστής Kendall's tau μπορεί να γραφτεί ως:

$$\tau = P((x - x')(y - y') > 0) - P((x - x')(y - y') < 0)$$

Ουσιαστικά περιγράφεται η πιθανότητα της διαφοράς των ζευγών που παρουσιάζουν συσχέτιση με τα αντίστοιχα ασυσχέτιστα ζευγάρια. Υποθέτοντας ότι οι περιθώριες συναρτήσεις των μεταβλητών είναι συνεχείς, ο τύπος μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\tau = 2P((x - x')(y - y') > 0) - 1$$

3.2.6. Εξάρτηση Άνω και Κάτω ουράς

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω υπάρχουν διάφοροι συντελεστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της εξάρτησης μεταξύ των μελετώμενων παραμέτρων. Ωστόσο, ιδιαίτερο είναι το ενδιαφέρον για τη μελέτη της εξάρτησης των ακραίων τιμών των δύο παραμέτρων. Αυτή η εξάρτηση των ακραίων, ουσιαστικά περιγράφει την εξάρτηση των άνω και κάτω ουρών των κατανομών των μεταβλητών που μελετώνται (tail dependence). Για την εκτίμηση της εξάρτησης των ακραίων τιμών, αυτών δηλαδή που παίρνουν τιμές στο πάνω-δεξιά (upper-right-quadrant tail) και κάτω-αριστερά (lower-left-quadrant tail) τεταρτημόριο υπολογίζεται ο συντελεστής εξάρτησης ουρών.

Έστω ότι $(X, Y)^T$ ένα διάνυσμα συνεχών τυχαίων μεταβλητών και οι αντίστοιχες περιθώριες κατανομές τους είναι F και G . Οι συντελεστές εξάρτησης της άνω και κάτω ουράς περιγράφονται από τις εξής σχέσεις:

$$\lambda_u = \lim_{u \rightarrow 1^-} P\{Y > G^{-1}(u) | X > F^{-1}(u)\}$$

$$\lambda_l = \lim_{u \rightarrow 0^+} P\{Y \leq G^{-1}(u) | X \leq F^{-1}(u)\}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εξάρτηση των ουρών δύο τυχαίων παραγόντων δεν μεταβάλλεται κάτω από αυστηρά αύξοντες μετασχηματισμούς των X και Y . Επίσης εντοπίζεται εξάρτηση των δεικτών αυτών με τις περιθώριες κατανομές και άρα είναι μη παραμετρικοί, και εξαρτώνται μόνο από την σύζευξη των X, Y .

Οι τιμές που παίρνουν οι συντελεστές εξάρτησης ουρών, εφόσον φυσικά μπορούν να οριστούν, ανήκουν στο διάστημα $[0, 1]$. Όταν ο συντελεστής της άνω ουράς ισούται με το μηδέν, τότε οι τιμές X και Y είναι ανεξάρτητες όσον αφορά το άνω όριο. Εάν οι τιμές του ίδιου συντελεστή είναι θετικές τότε υπάρχει εξάρτηση στην άνω ουρά. Αντίστοιχες είναι και οι παρατηρήσεις για την κάτω ουρά.

3.2.7. Οικογένειες Συζεύξεων

Χρησιμοποιώντας ως στοιχεία, ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των συζεύξεων, όπως για παράδειγμα η εξάρτηση άνω και κάτω ουράς ή η κατανομή που περιγράφει την σύζευξη, οι συζεύξεις μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: τις Ελλειπτικές και τις Αρχιμήδειες (Nelsen 1999). Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες περιλαμβάνει αρκετές οικογένειες συζεύξεων οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Παρακάτω περιγράφονται ορισμένες από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες οικογένειες της κάθε κατηγορίας.

A) Ελλειπτικές Συζεύξεις (Elliptical Copulas)

Οι ελλειπτικές συζεύξεις είναι μία κατηγορία που όπως μαρτυρά και η ονομασία τους έχουν σχέση με τις ελλειπτικές κατανομές. Πιο συγκεκριμένα, εάν στο διδιάστατο χώρο γίνουν τομές στις επιφάνειες της σύζευξης, τότε οι γραφικές παραστάσεις των παραγόμενων καμπυλών έχουν ελλειψοειδή μορφή. Οι ελλειπτικές συζεύξεις αποτελούν ένα συχνά χρησιμοποιούμενο εργαλείο από πολλούς ερευνητές καθώς μπορούν να μοντελοποιήσουν αρκετές μορφές εξάρτησης, καθώς επίσης και να εφαρμοστούν μετά από προσομοίωση σε διάφορα σύνολα δεδομένων. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των ελλειπτικών συζεύξεων είναι η εμφάνιση ακτινικής συμμετρίας, κάτι που συναντάται σε αρκετές εφαρμογές και προβλήματα. Μία σύζευξη θεωρείται ότι παρουσιάζει την ιδιότητα της ακτινικής συμμετρίας, όταν ισχύει η εξής σχέση:

$$C(u, v) = u + v - 1 + C(1 - u, 1 - v).$$

Συμπερασματικά, η ελλειπτική σύζευξη αποτελεί την κοινή συνάρτηση κατανομής της ελλειπτικής κατανομής, μετά από τυποποίηση των περιθώριων κατανομών της. Δύο από τις πιο γνωστές και ευρέως χρησιμοποιούμενες ελλειπτικές κατανομές είναι η Κανονική Σύζευξη (Gaussian or Normal Copula) και η t-Copula.

Gaussian or Normal Copula

Η συνάρτηση της πολυδιάστατης κανονικής ή Gaussian σύζευξης δίνεται από τον τύπο:

$$N_{\theta}(\Phi^{-1}(u), \Phi^{-1}(v)) \text{ με } \theta \in [-1, 1].$$



N_θ η συνάρτηση κατανομής μίας τυπικής διδιάστατης κανονικής κατανομής και θ ο συντελεστής συσχέτισης Pearson. Οι περιθώριες συναρτήσεις των u και v . Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω εξίσωση η μοναδική παράμετρος είναι το θ δηλαδή η γραμμική συσχέτιση των μεταβλητών u, v .

Student's t Copula

Η δεύτερη πιο γνωστή ελλειπτική οικογένεια των συζεύξεων είναι η Student's t, η οποία στην διδιάστατη μορφή της δίνεται από τον εξής τύπο:

$$T_{\theta,\gamma}(T_\gamma^{-1}(u), T_\gamma^{-1}(v)) \text{ με } \theta \in [-1, 1].$$

$T_{\theta,\gamma}$ η συνάρτηση μιας διδιάστατης Student κατανομής με γ βαθμούς ελευθερίας, και T_γ η συνάρτηση μιας Student κατανομής με γ βαθμούς ελευθερίας. Το όνομα της οικογένειας έχει προέλθει από το γεγονός ότι η κατανομή στην οποία βασίζεται είναι η t-Student. Στην εξίσωση αυτή τα θ, γ περιγράφουν τις παραμέτρους της οικογένειας. Από τις τιμές των παραμέτρων εξαρτάται η μορφή που έχει το διάγραμμα της copula και πιο συγκεκριμένα οι εξαρτήσεις των ουρών, των μέσω τιμών κτλ. Όταν η τιμή του θ αυξάνεται, τότε η τιμή του γ μειώνεται. Αυτό αυξάνει και τις εξαρτήσεις των τιμών στις ουρές. Συμπερασματικά σε αυτήν την οικογένεια, μπορεί να εντοπισθεί η ταυτόχρονη ύπαρξη ακραίων επεισοδίων.

B) Αρχιμήδειες συζεύξεις (Archimedean Copulas)

Οι Αρχιμήδειες συζεύξεις αποτελούν μια ιδιαίτερα συχνά εμφανιζόμενη κατηγορία σε πολλά προβλήματα. Βασική αιτία γι' αυτό είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να κατασκευαστούν αλλά και η πληθώρα των οικογενειών που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Επιπρόσθετα οι Αρχιμήδειες συζεύξεις μπορούν να μοντελοποιήσουν προβλήματα τα οποία δεν είναι απαραίτητα συμμετρικά (κάτι που παρατηρείται στις ελλειπτικές), χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν οικογένειες ικανές να μοντελοποιήσουν και την ακτινική συμμετρία. Αυτός είναι ένας ακόμα λόγος που τις καθιστά συχνά χρησιμοποιούμενες σε διάφορα προβλήματα όπως για παράδειγμα σε οικονομικές εφαρμογές στις οποίες η εξάρτηση των ζημιών είναι μερικές φορές ισχυρότερη από των κερδών. Βασικό στοιχείο των Αρχιμήδειων συζεύξεων είναι ότι δεν παράγονται από κάποια γνωστή πολυδιάστατη κατανομή, αλλά από συνδυασμούς γνωστών κατανομών. Αυτές αποτελούν και τις γεννήτριες συναρτήσεις, βάση των οποίων

ξεχωρίζουν και οι επιμέρους Αρχιμήδειες οικογένειες. Τρεις από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες Αρχιμήδειες οικογένειες είναι οι Frank (1979), Clayton (1978) και Gumbel (1960). Φυσικά πέρα από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, παρουσιάζουν και μερικά μειονεκτήματα. Ορισμένα από αυτά είναι οι πολύπλοκοι τύποι που απαιτούν χρονοβόρους υπολογισμούς για την μελέτη της εξάρτησης ή ο περιορισμός που υπάρχει στην επιλογή των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων. Τέλος δύο από τις βασικές ιδιότητες που εντοπίζονται στις Αρχιμήδειες συζεύξεις είναι η συμμετρία και η προσεταιριστική ιδιότητα. Δηλαδή:

$$C(u, v) = C(v, u) \text{ και} \\ C(C(u, v), w) = C(u, C(v, w)) = C(v, C(u, w)), \forall u, v, w \in [0, 1].$$

Frank Copula

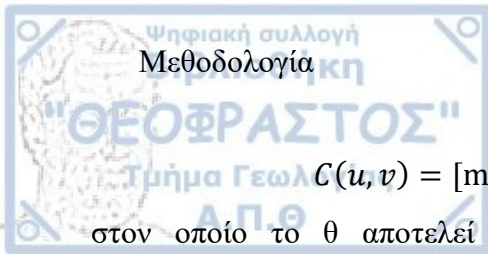
Η οικογένεια Frank στη διδιάστατη μορφή της δίνεται από τη σχέση

$$C(u, v) = -\frac{1}{\theta} \log \left[1 + \frac{(\exp(-\theta u) - 1)(\exp(-\theta v) - 1)}{\exp(-\theta) - 1} \right] \text{ με } \theta \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$$

Βασική προϋπόθεση που πρέπει να καλύπτεται σε αυτές τις συζεύξεις είναι η παράμετρος θ να είναι μεγαλύτερη από το μηδέν. Όταν η παράμετρος ισούται με το μηδέν τότε συναντάται η περίπτωση ανεξαρτησίας μεταξύ των μεταβλητών. Η Frank copula παρουσιάζει συμμετρία και κατά συνέπεια ίδια συμπεριφορά στην πάνω και κάτω ουρά. Επίσης η Frank copula είναι αυστηρή, καθώς το όριο της γεννήτριας συνάρτησής της είναι άπειρο όταν το $t \rightarrow 0$ ($\lim_{t \rightarrow 0} \varphi(t) = \infty$). Επιπρόσθετα η αυστηρότητα της σύζευξης αποδεικνύεται από το γεγονός ότι η πρώτη και η δεύτερη παράγωγος της γεννήτριας συνάρτησης είναι θετικές. Τέλος η Frank copula αποτελεί τη μοναδική που παρουσιάζει ακτινική συμμετρία.

Clayton Copula

Η σύζευξη Clayton αποτελεί μία ακόμα συχνά εμφανιζόμενη οικογένεια σε διάφορες εφαρμογές. Η συνάρτησή της στη διδιάστατη περίπτωση δίνεται από τον εξής τύπο:



$C(u, v) = [\max\{u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1; 0\}]^{-\frac{1}{\theta}} \quad \theta \in [-1, \infty) \setminus \{0\}$
στον οποίο το θ αποτελεί την παράμετρο της οικογένειας και συνηθίζεται να χρησιμοποιείται όταν είναι μεγαλύτερο του μηδενός. Όταν η παράμετρος ισούται με το μηδέν τότε υπάρχει πλήρης ανεξαρτησία μεταξύ των μελετώμενων παραμέτρων ενώ αντίθετα όταν τείνει στο άπειρο απεικονίζεται πλήρης εξάρτηση. Όταν η τιμή της παραμέτρου πλησιάζει σε μία μεγάλη τιμή τότε η οικογένεια τείνει να γίνει ίδια με το άνω φράγμα. Η ανάλυση και η μελέτη των εξαρτήσεων της οικογένειας αυτής δείχνει ότι υπάρχει εξάρτηση κάτω ουράς και σε γενική μορφή η Clayton είναι μία μη συμμετρική, θετική οικογένεια.

Gumbel Copula

Η οικογένεια Gumbel, παρουσιάζει μια μη συμμετρική θετική δομή, με την εξάρτηση να εντοπίζεται στην άνω ουρά. Ο τύπος της οικογένειας είναι ο εξής:

$$C(u, v) = \exp(-[(-\log(u))^\theta + (-\log(v))^\theta]^{-\frac{1}{\theta}}) \quad \theta \in [1, \infty)$$

Ο συντελεστής θ περιγράφει την παράμετρο της οικογένειας και παίρνει τιμές ≥ 1 . Μάλιστα όταν η τιμή τείνει στο άπειρο τότε απεικονίζεται μια κατάσταση πλήρους εξάρτησης, ενώ όταν ισούται με ένα, οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες. Επιπρόσθετα αξίζει να τονισθεί ότι η Gumbel copula ανήκει και στην οικογένεια των ακραίων συζεύξεων και είναι ικανή να περιγράψει την εξάρτηση ακραίων τιμών σε αρκετές εφαρμογές.

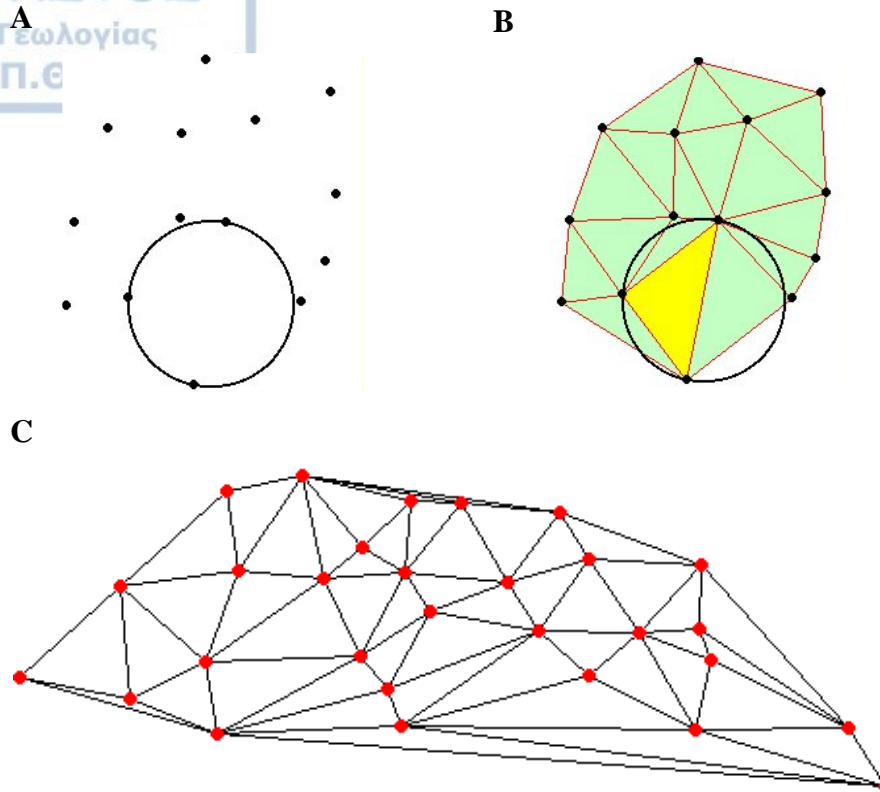
Πέρα από τις παραπάνω περιγραφόμενες οικογένειες, υπάρχουν πολλές ακόμα οι οποίες εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και είναι κατάλληλες για την περιγραφή διαφορετικών καταστάσεων. Υπάρχουν επίσης οικογένειες οι οποίες συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά δύο ή περισσότερων βασικών οικογενειών. Για παράδειγμα η οικογένεια BB1 αποτελεί μια οικογένεια που συνδυάζει χαρακτηριστικά της Clayton και της Gumbel οικογένειας. Γίνεται αντιληπτό ότι η θεωρία των συζεύξεων, επιτρέπει τη δημιουργία νέων οικογενειών, οι οποίες είναι ικανές να περιγράψουν την εξάρτηση των μελετώμενων δειγμάτων. Αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα, το οποίο

συνδυάζεται με τη θεωρία των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων έχοντας σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων οικογενειών για την περιγραφή των ακραίων στην περιοχή μελέτης.

3.3. ΤΡΙΓΩΝΙΚΑ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ – TRIANGULAR IRREGULAR NETWORKS (TIN)

Τις τελευταίες δεκαετίες σε πολλές επιστήμες (γεωλογία, γεωγραφία, μηχανική) έχουν εισαχθεί τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (Digital Terrain Models – DTM). Με τον όρο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) νοείται κάθε «ψηφιακή» εδαφική αναπαράσταση μιας περιοχής, η οποία επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας διάφορα δεδομένα (γεωγραφικών, υψομετρικών κ.α.). Τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους αποτελούνται από δύο βασικές κατηγορίες: Τα Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα (Digital Elevation Models – DEM) τα οποία πραγματοποιούν μία απλή αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας και τα Τριγωνικά Ακανόνιστα Δίκτυα (Triangular Irregular Networks -TIN) (Li et al., 2004). Σύμφωνα με τους Peckham και Jordan (2007), τα συστήματα αυτά αποτελούν απαραίτητο εργαλείο σε όλες σχεδόν τις σύγχρονες γεωγραφικές μελέτες, γεγονός που έχει προέλθει από την αναβάθμισή τους, εξαιτίας της εξέλιξης των επιστημών της πληροφορικής και των γεωγραφικών πληροφοριών (Chang, 2003).

Τα Τριγωνικά Ακανόνιστα Δίκτυα – Triangular Irregular Networks (TIN), είναι ένα σύνολο τριγώνων τα οποία έχουν ως κορυφές συγκεκριμένα ακανόνιστα γεωγραφικά σημεία και χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν συνεχείς επιφάνειες, οι οποίες μπορούν να διαμελιστούν σε τρίγωνα διαφορετικών μεγεθών. Οι Peuckel et al. συνέλαβαν την ιδέα των ακανόνιστων τριγώνων το 1969 (Peuckel, 1969), ενώ μερικά χρόνια αργότερα, οι Peuckel et al. (1976, 1978) όρισαν την θεωρία των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων (TIN). Σύμφωνα με την TIN θεωρία, τα μη επικαλυπτόμενα τρίγωνα σχηματίζονται από σημεία τα οποία βρίσκονται στην περιοχή μελέτης, σύμφωνα με την Delaunay τριγωνοποίηση (Delaunay, 1934).



Σχήμα 3.1. Περιγραφή της δημιουργίας ενός TIN τριγώνου σύμφωνα με την τριγωνοποίηση Delaunay (A,B https://www.ian-ko.com/resources/triangulated_irregular_network.htm) και η αναπαράσταση ενός τυχαίου δικτύου TIN (C).

Έστω S ένα σύνολο σημείων που έχει κυρτή θήκη το Ω ($\text{Conv}S$). Η τριγωνοποίηση των σημείων αυτών είναι η Delaunay εφόσον οι περιγεγραμμένοι κύκλοι (σφαίρες σε χώρο με διάσταση $d > 2$), δεν εσωκλείουν κανέναν άλλο σημείο του χώρου S (Σχήμα 3.1 A,B). Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται το ότι κάθε κόμβος-σημείο ενώνεται μόνο με τους δύο κοντινότερους (Σχήμα 3.1 A,B). Επιπρόσθετα το κριτήριο της Delaunay τριγωνοποίησης, εξασφαλίζει τη μοναδικότητα σχεδιασμού του ακανόνιστου τριγωνικού δικτύου που μπορεί να περιγράψει την περιοχή μελέτης (Σχήμα 3.1 C).

Τα βασικά πλεονεκτήματα της θεωρίας TIN είναι το ότι τα χρησιμοποιούμενα σημεία προσαρμόζονται στην μελετώμενη περιοχή. Αναλυτικότερα, περιοχές με ιδιαίτερη μορφολογία αναπαρίστανται από περισσότερα σημεία, ενώ αντίθετα πιο ομοιόμορφες επιφάνειες περιγράφονται ικανοποιητικά από λιγότερα σημεία και κατά συνέπεια από λιγότερα και μεγαλύτερα τρίγωνα (Kumler, 1994). Με την προσαρμογή του αριθμού των κόμβων στις ανάγκες της περιοχής μπορεί να επιτευχθεί σημαντική οικονομία στους

απαιτούμενους υπολογισμούς (Goodrich et al., 1991), όταν η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ομοιόμορφα χαρακτηριστικά. Έτσι τα τριγωνικά ακανόνιστα δίκτυα αποτελούν ένα χρήσιμο και συχνά επιλεγόμενο εργαλείο για την επιχειρησιακή έρευνα σε πολλούς τομείς (π.χ. υδρολογία Ivanov et al., 2001, 2004) καθώς μπορούν να πάρουν από μία απλή μορφή μέχρι μια ιδιαίτερα περίπλοκη (Tucker et al., 2001) ανάλογα με τις ανάγκες της μελετώμενης περιοχής.

3.4. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφορα στατιστικά εργαλεία. Κάποια από αυτά είναι ευρέως γνωστά (QQplots, KS test, X^2 test κ.α.) ενώ κάποια άλλα λιγότερο (Cullen and Frey Graphs, ROC curves, Taylor Diagrams).

Δύο από τα βασικά χαρακτηριστικά μιας κατανομής, είναι η λοξότητα και η κύρτωση. Τα διαγράμματα Cullen and Frey graphs (Cullen and Frey, 1999), προσφέρουν μια οπτικοποίηση του συνδυασμού των δύο αυτών βασικών παραμέτρων της κατανομής (Σχήμα 3.2Α). Οι άξονες των Cullen and Frey διαγραμμάτων περιγράφουν τις τιμές του τετραγώνου της λοξότητας και της κυρτότητας διαφόρων κατανομών, οι τιμές των οποίων έχουν υπολογιστεί με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Οι κατανομές οι οποίες ελέγχονται, είναι η Κανονική, η Ομοιόμορφη, η Λογιστική, η Εκθετική, η Γάμα, η Βήτα, και η Λογαριθμική. Οι τρεις πρώτες αναπαρίστανται στο διάγραμμα με ένα σημείο, καθώς υπάρχει μόνο ένα πιθανό σημείο κύρτωσης και λοξότητας. Αντίθετα, για τις υπόλοιπες κατανομές το πιθανό σημείο λοξότητας και κύρτωσης δεν είναι μοναδικό, με συνέπεια η Γάμα και η Λογαριθμική κατανομή να περιγράφονται με μία καμπύλη, και η Βήτα με μία σκιασμένη περιοχή. Πέρα από τις επτά κατανομές που παρουσιάζονται στο διάγραμμα ελέγχεται και ένα μεγάλο εύρος άλλων κατανομών οι οποίες ανήκουν στο πεδίο έλξης των επτά κατανομών που παρουσιάζονται. Τα Cullen and Frey διαγράμματα, χρησιμοποιούνται με στόχο την απόρριψη των πιο ακατάλληλων κατανομών για την περιγραφή του μελετώμενου δείγματος. Αυτό συμβαίνει όταν οι τιμές κύρτωσης και

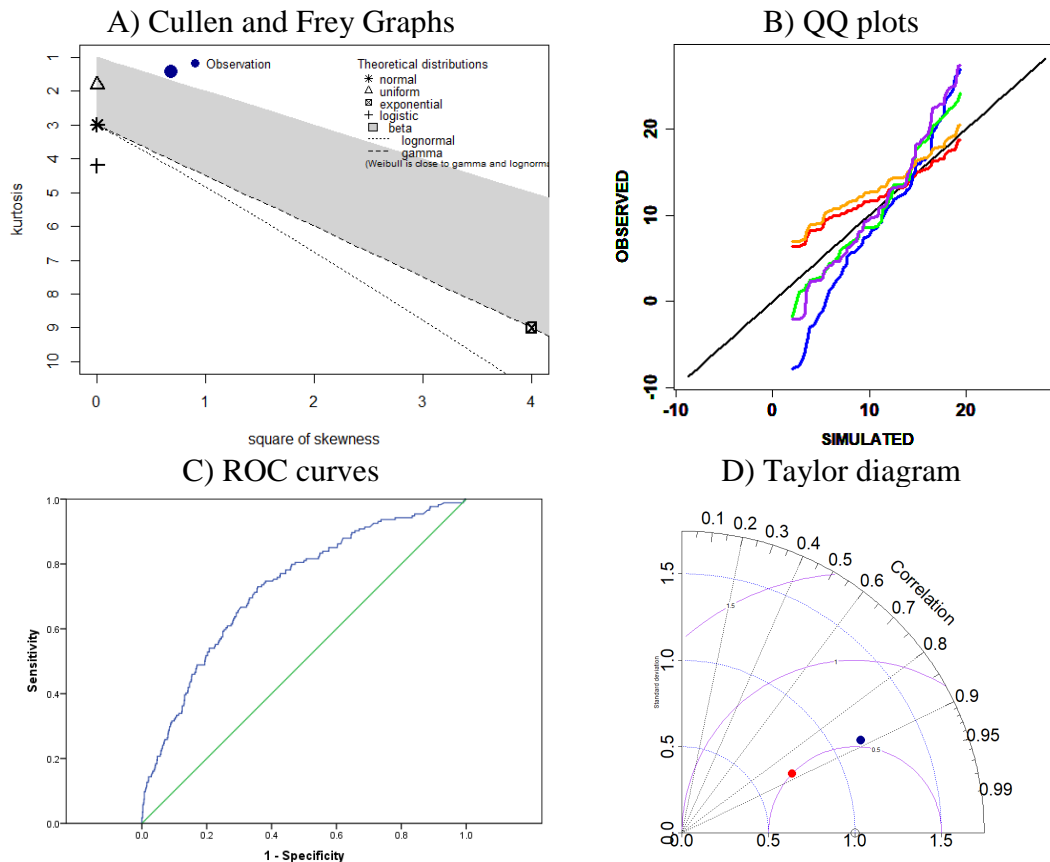
λοξότητος του του μελετώμενου δείγματος διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές των κατανομών που περιγράφονται στο διάγραμμα.

Τα διαγράμματα ποσοστημορίων - QQ-plots (Quantile-Quantile plot) αποτελούν έναν τρόπο να ελεγχθεί εάν οι κατανομές πιθανοτήτων δύο δειγμάτων είναι ίδιες, ή εάν ένα δείγμα ακολουθεί τη συνάρτηση μιας συγκεκριμένης θεωρητικής κατανομής (Σχήμα 3.2B). Ουσιαστικά τα QQ plots, αποτελούν έναν γραφικό τρόπο για την επαλήθευση ή την απόρριψη της αρχικής υπόθεσης σχετικά με την συνάρτηση κατανομής του μελετώμενου δείγματος. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των διαγραμμάτων αυτών, είναι ότι μπορεί να γίνει σύγκριση δειγμάτων που δεν έχουν το ίδιο μέγεθος. Για τη δημιουργία ενός QQ plot, υπολογίζεται η θεωρητικά αναμενόμενη τιμή του κάθε σημείου, βασιζόμενη στη θεωρητική κατανομή που υποτίθεται πως περιγράφει το μελετώμενο δείγμα. Τα σημεία αυτά τοποθετούνται στο διάγραμμα, μαζί με την διαγώνιο. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, βασίζεται στην απόσταση του εκάστοτε σημείου από την γραμμή της διαγωνίου. Όσο μικρότερη είναι η απόσταση του κάθε σημείου από τη διαγώνιο, τόσο ισχυρότερη είναι η απόδειξη ότι η θεωρητική κατανομή που έχει επιλεγεί περιγράφει ικανοποιητικά το δείγμα.

Ένα στατιστικό εργαλείο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής είναι οι καμπύλες λειτουργικού χαρακτηριστικού δείκτη – ROC (Receiver Operating Characteristic curve) (Σχήμα 3.2C). Οι πρώτοι οι οποίοι δημιούργησαν τις καμπύλες ROC ήταν δύο φοιτητές του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών στο πανεπιστήμιο του Michigan (Peterson and Birdsall 1954), οι οποίοι πρότειναν τις καμπύλες ως ένα μέτρο της ποιότητας με την οποία ένας δέκτης μπορούσε να δεχτεί μηνύματα. Αρκετά χρόνια μετά, οι καμπύλες ROC χρησιμοποιήθηκαν ως ένα διαγνωστικό εργαλείο στον τομέα της Ιατρικής και πιο συγκεκριμένα ως ένα εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων Lusted (1971). Τα επόμενα χρόνια η θεωρία των καμπυλών ROC αναπτύχθηκε τόσο στον τομέα της Ιατρικής όσο και σε άλλους τομείς όπως για παράδειγμα στην πληροφορική για τη δημιουργία και σύγκριση αλγορίθμων (Spackman 1989). Η ακρίβεια ενός ελέγχου να διαχωρίζει προβληματικές καταστάσεις από φυσιολογικές μπορούσε να μετρηθεί με τις καμπύλες ROC (Metz, 1978; Zweig & Campbell, 1993), ενώ σύμφωνα με τους Griner et al. (1981), οι καμπύλες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση δύο εργαστηριακών ή διαγνωστικών ελέγχων-πειραμάτων. Ουσιαστικά οι καμπύλες ROC

αποτελούν ένα εργαλείο για το διαχωρισμό διαφόρων τιμών-γεγονότων- επεισοδίων, σε δύο κατηγορίες οι οποίες μπορούν να εκφραστούν από «ΝΑΙ» ή «ΟΧΙ». Το πιο χρήσιμο στοιχείο των καμπυλών αυτών που αποτελεί ένα εύχρηστο μέτρο της διαγνωστικής ακρίβειας, είναι η περιοχή κάτω από την καμπύλη ROC (Area Under Curve - AUC). Η AUC, αποτελεί ένα μέτρο της σωστής ταξινόμησης των τιμών η οποία συνοψίζεται σε μία τιμή. Όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδό κάτω από την καμπύλη και η τιμή της τείνει στο ένα, τόσο αυξάνεται η αξιοπιστία. Αντίθετα όσο μικρότερη η περιοχή κάτω από την καμπύλη, τόσο μικρότερη η αξιοπιστία.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ- ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ



Σχήμα 3.2. Διαγράμματα που χρησιμοποιούνται στη μελέτη για αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου που προτείνεται στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιούνται και τα διαγράμματα Taylor (Taylor, 2001) (Σχήμα 3.2D). Τα



διαγράμματα αυτά έχουν την ικανότητα να συνοψίζουν και να παρουσιάζουν γραφικά τρία κρίσιμα στατιστικά μεγέθη που προκύπτουν από τη σύγκριση δύο ή περισσότερων συνόλων δεδομένων. Αναλυτικότερα, σε ένα διάγραμμα παρουσιάζονται οι τιμές της συσχέτισης (correlation) – (ακτίνες), της τυπικής απόκλισης (standard deviation) – (άξονες) και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (root mean square error RMSE) – (ημικύκλια) (Σχήμα 3.2).

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης των ακραίων επεισοδίων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου με τις πιο γνωστές στατιστικές μεθόδους ανάλυσης ακραίων τιμών. Ειδικότερα, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των μεθόδων της Θεωρίας Ακραίων Τιμών, καθώς επίσης και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των παραμέτρων τους (MLE, L-moments, Bayesian). Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται για τις παραμέτρους των ακραίων μέγιστων - ελάχιστων θερμοκρασιών και των ακραίων βροχοπτώσεων.

4.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

4.1.1. Δεδομένα

Για τη μελέτη των επιλεγμένων μεθόδων και την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων κρίνεται απαραίτητη η χρήση δεδομένων που καλύπτουν μεγάλη χρονική περίοδο. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα 12 σταθμών που καλύπτουν ομοιόμορφα την Μεσογειακή περιοχή (Σχήμα 2.2 και Σχήμα 2.3). Τέσσερις από αυτούς τους σταθμούς διαθέτουν δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για μια περίοδο 100

ετών (Bologna, Marseille, Athens, Barcelona) ενώ οι υπόλοιποι για μία περίοδο 60 ετών (1951-2010) (Malaga, Barcelona, Nice, Cagliari, Bastia, Verona Villa Franca, Gospic, Split Marjan, Athens, Thessaloniki).

Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και μέσες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για την περίοδο μελέτης, ενώ αντίστοιχα ο Πίνακας 4.2 δείχνει τις μέσες ημερήσιες, τις μέσες ετήσιες και τις μέγιστες τιμές βροχοπτώσεων που έχουν καταγραφεί σε κάθε σταθμό κατά την περίοδο των 60 ετών (ή 100 ετών). Οι μέσες ημερήσιες και ετήσιες τιμές βροχόπτωσης έχουν προκύψει από τη διαίρεση του συνολικού ποσού βροχής της περιόδου που αναλύεται με το συνολικό αριθμό ημερών βροχής (>0mm) της εκάστοτε περιόδου.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 η ελάχιστη τιμή των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών που έχει καταγραφεί κατά τη μελετώμενη χρονική περίοδο σε όλους σχεδόν τους σταθμούς, δεν ξεπερνά τους 0°C. Εξάιρεση αποτελούν οι σταθμοί Cagliari και Malaga, στους οποίους οι αντίστοιχες τιμές είναι 0°C και 2.2°C. Η ελάχιστη τιμή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών καταγράφηκε στο σταθμό Gospic και ήταν ίση με -22.9°C. Στο σταθμό αυτό επίσης καταγράφονται οι χαμηλότερες τιμές μέσων (8.8°C) και μέγιστων (26.8°C) τιμών μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Τα αποτελέσματα αυτά, δικαιολογούνται από την γεωγραφική θέση του σταθμού Gospic και πιο συγκεκριμένα από το υψόμετρο του (565μ). Ιδιαίτερα χαμηλές τιμές μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών παρουσιάζουν και οι σταθμοί Marseille, Verona Villa Franca και Bologna, οι ελάχιστες τιμές των οποίων δεν ξεπερνούν τους -10°C. Στους σταθμούς Thessaloniki και Split, οι ελάχιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών κυμαίνονται στους -7°C, ενώ αντίστοιχη τιμή για τους σταθμούς Barcelona, Nice και Athens είναι κατά 3-4°C υψηλότερες.

Τα αποτελέσματα των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, παρουσιάζουν ορισμένες ομοιότητες με τα αντίστοιχα των ελαχίστων τιμών, αλλά και σημαντικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη τιμή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών της περιόδου 1951-2010, παρατηρήθηκε στους σταθμούς στους οποίους αντίστοιχα καταγράφηκαν οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες ελάχιστες τιμές μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για την ίδια περίοδο. Οι τιμές αυτές είναι 8.8°C στο σταθμό του Gospic και 18.3°C στη Malaga. Επιπρόσθετα, όπως παρατηρήθηκε και για τις ελάχιστες τιμές, οι μέσες θερμοκρασίες των σταθμών Marseille, Verona Villa Franca και Bologna

κυμαίνονται στο ίδιο περίπου εύρος τιμών (13-14.8°C) ενώ ελάχιστα ψηλότερα (15.5-15.6 °C) κυμαίνονται οι τιμές των σταθμών Nice, Barcelona και Bastia. Ίση τιμή μέσης θερμοκρασίας (16.2 °C) για την περίοδο των 60 ετών υπολογίστηκε για τους σταθμούς Split και Thessaloniki. Η τιμή αυτή αποτελεί μια υψηλή τιμή σχετικά με τις αντίστοιχες των άλλων σταθμών, παρά το γεγονός ότι οι σταθμοί αυτοί παρουσιάζουν χαμηλές ελάχιστες θερμοκρασίες. Ο σταθμός Cagliari ήταν αυτός με τη δεύτερη υψηλότερη ελάχιστη τιμή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών (0°C), γεγονός που επηρεάζει και την αντίστοιχα υψηλή τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (16.8 °C - 3^η μεγαλύτερη). Τέλος στους σταθμούς Athens και Malaga καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές μέσων θερμοκρασιών οι οποίες ισούνται με 17.9°C και 18.3°C αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1. Μέγιστες, Ελάχιστες και Μέσες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών των 12 σταθμών μελέτης.

STATIONS			TEMPERATURE (°C)		
NAME	Abbreviation	Country	Min	Mean	Max
Malaga	MALA	Spain	2.2	18.3	34.4
Barcelona	BARC	Spain	-4.0	15.6	33.0
Marseille	MARS	France	-11.6	14.8	34.5
Nice	NICE	France	-2.6	15.5	31.4
Bastia	BAST	France	-0.3	15.6	31.4
Cagliari	CAGL	Italy	0.0	16.8	33.9
Verona Villa Franca	VERO	Italy	-10.7	13.0	32.2
Bologna	BOLO	Italy	-10.7	14.1	33.8
Gospic	GOSP	Croatia	-22.9	8.8	26.8
Split Marjan	SPLI	Croatia	-7.4	16.2	33.2
Athens	ATHE	Greece	-3.4	17.9	36.4
Thessaloniki	THES	Greece	-7.8	16.2	34.0

Όπως προαναφέρθηκε, ο σταθμός Malaga ήταν αυτός με την επίσης υψηλότερη τιμή των ελάχιστων τιμών μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, ενώ ο σταθμός Athens ήταν αυτός



με την 5^η υψηλότερη τιμή. Η αξιοσημείωτη αυτή αλλαγή στη θέση του σταθμού Athens, δικαιολογείται από τις υψηλές τιμές των μέσων θερμοκρασιών (36.4 °C). Η Malaga που παρουσίασε τις υψηλότερες ελάχιστες και μέσες τιμές μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών, παρουσιάζει την τρίτη υψηλότερη τιμή των μέγιστων μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών, η οποία είναι δύο βαθμούς χαμηλότερη από αυτήν της Αθήνας. Ελάχιστα υψηλότερη (0.1°C) είναι η τιμή του σταθμού Marseille η οποία φτάνει τους 34.5 °C. Σε πέντε από τους 12 σταθμούς της Μεσογείου (Thessaloniki, Cagliari, Bologna, Split, Barcelona) οι ακραίες υψηλές τιμές των μέσων θερμοκρασιών της μελετώμενης περιόδου κυμαίνονται από 33°C έως 34°C. Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει ο σταθμός Bologna, ο οποίος παρουσιάζει σχετικά υψηλή τιμή για τις μέσες θερμοκρασίες, ενώ η αντίστοιχη τιμή για τις ελάχιστες τιμές μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών είναι ιδιαίτερα χαμηλή (-10.7°C). Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και ο σταθμός Verona Villa Franca, όπου η τιμή των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών είναι 32.2°C, ενώ η αντίστοιχη τιμή των ελάχιστων είναι -10.7°C. Οι σταθμοί Nice και Bastia παρουσιάζουν γενικότερα παρόμοια συμπεριφορά, καθώς πέρα από τις ελάχιστες τιμές μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών που κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα (συγκριτικά με τους άλλους σταθμούς) και την σχεδόν ίση τιμή των μέσων θερμοκρασιών της μελετώμενης περιόδου (15.5 και 15.6°C), έχουν και ίση μέγιστη τιμή μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών – 31.4 °C. Τέλος ο σταθμός Gospic, παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή ακραία υψηλών θερμοκρασιών, η οποία είναι σχεδόν 10 °C μικρότερη από την υψηλότερη τιμή που καταγράφηκε στο σταθμό της Αθήνας.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες, οι μέσες ημερήσιες και οι απόλυτες ημερήσιες ακραίες βροχοπτώσεις στους 12 μελετώμενους Μεσογειακούς σταθμούς. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.2, οι μέσες ετήσιες και ημερήσιες βροχοπτώσεις σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους, ενώ οι ακραίες τιμές βροχοπτώσεων παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά. Αναλυτικότερα, η Αθήνα αποτελεί τον σταθμό με τις χαμηλότερες τιμές μέσω ετήσιων και ημερήσιων βροχοπτώσεων (399.7mm και 1.1mm), παρά το γεγονός ότι η πιο ακραία ημερήσια τιμή βροχόπτωσης που έχει καταγραφεί κατά την περίοδο μελέτης στο σταθμό αυτό (116mm) ξεπερνά την αντίστοιχη τιμή των σταθμών Cagliari (109.6mm) και Thessaloniki (98mm). Οι μέσες ετήσιες και ημερήσιες βροχοπτώσεις των δύο τελευταίων σταθμών κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, συμπληρώνοντας μαζί με την Αθήνα την τριάδα με τους ξηρότερους σταθμούς.

Πίνακας 4.2. Μέση ημερήσια, Μέση ετήσια και Απόλυτη μέγιστη τιμή των ακραίων βροχοπτώσεων των 12 μελετώμενων σταθμών.

STATIONS			PRECIPITATION (mm)		
NAME	Abbreviation	Country	Day Mean	Year Mean	Max
Malaga	MALA	Spain	1.55	564.8	313.00
Barcelona	BARC	Spain	1.72	626.5	194.80
Marseille	MARS	France	1.63	596.8	200.00
Nice	NICE	France	2.20	803.4	191.40
Bastia	BAST	France	2.12	774.5	232.40
Cagliari	CAGL	Italy	1.14	415.2	109.60
Verona Villa Franca	VERO	Italy	2.17	793.5	198.00
Bologna	BOLO	Italy	1.83	667.5	155.70
Gospic	GOSP	Croatia	3.79	1383.7	141.00
Split Marjan	SPLI	Croatia	2.23	814.6	131.60
Athens	ATHE	Greece	1.09	399.7	116.00
Thessaloniki	THES	Greece	1.24	453.5	98.00

Μια ιδιαίτερη περίπτωση σταθμού, αποτελεί η Malaga. Ο σταθμός αυτός αποτελεί τον τέταρτο ξηρότερο σταθμό μελέτης με μέσο όρο 565mm βροχής ανά έτος, παρά το γεγονός ότι σε αυτόν έχει καταγραφεί το πιο ακραίο επεισόδιο βροχής, το ύψος του οποίου έφτασε τα 313mm. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τον σταθμό Marseille, ο οποίος παρά το γεγονός ότι είναι ο πέμπτος ξηρότερος σταθμός της μελέτης (1.63mm και 596.8mm) σε αυτόν έχει καταγραφεί το τρίτο πιο ακραίο επεισόδιο βροχής που ισούται με 200mm. Οι αμέσως επόμενοι σταθμοί με ελαφρώς υψηλότερη τιμή μέσων ετήσιων και ημερήσιων βροχοπτώσεων είναι οι σταθμοί Barcelona και Bologna. Στους σταθμούς αυτούς, η μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης είναι 627mm και 667mm και η αντίστοιχη ημερήσια 1.72mm και 1.83mm. Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί ότι τα ακραία ύψη βροχής που παρατηρήθηκαν στους σταθμούς αυτούς διαφέρουν σημαντικά, καθώς η τιμή

της Barcelona είναι κατά ~40mm χαμηλότερη από αυτήν της Bologna. Δύο σταθμοί με ημερήσια μέση βροχόπτωση που ξεπερνά τα 2mm και αντίστοιχα ετήσια μέση βροχόπτωση μεγαλύτερη από 700mm είναι οι Bastia και η Verona Villa Franca. Η υψηλή τιμή των μέσων βροχοπτώσεων στους σταθμούς αυτούς, συμπίπτει με τις αντίστοιχα υψηλές τιμές των ακραίων παρατηρούμενων επεισοδίων βροχής που ισούται με 198mm και 232mm αντίστοιχα. Οι σταθμοί Nice και Split επιβεβαιώνουν τον αρχικό ισχυρισμό ότι οι μέσες τιμές βροχοπτώσεων μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά από τις ακραίες. Στους σταθμούς αυτούς, η μέση ετήσια βροχόπτωση ξεπερνά τα 800mm ενώ οι ακραίες τιμές βροχής που έχουν καταγραφεί είναι χαμηλές, Μάλιστα στον σταθμό Split η υψηλότερη τιμή βροχόπτωσης που έχει παρατηρηθεί είναι 131.6mm. Τέλος ο σταθμός Gospic, αποτελεί τον υγρότερο σταθμό μελέτης με μέσες βροχοπτώσεις (ετήσιες και ημερήσιες) σχεδόν διπλάσιες από τον αμέσως επόμενο (3.7mm και 1383.7mm). Ωστόσο, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στο πιο ακραίο επεισόδιο βροχής που παρατηρήθηκε, τα χιλιοστά νερού δεν ξεπέρασαν το 141 mm, αριθμός ιδιαίτερα μικρός συγκριτικά με τις ακραίες βροχοπτώσεις που καταγράφονται στους υπόλοιπους 11 σταθμούς μελέτης. Συμπερασματικά, λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες (πολύ υψηλές) και την ακραία (όχι πολύ μεγάλη) τιμή βροχόπτωσης για το σταθμό Gospic φαίνεται ότι αυτός αποτελεί τον υγρότερο σταθμό, του οποίου η βροχόπτωση δεν προέρχεται από περιστασιακά ακραία, επεισόδια αλλά από συνεχή επεισόδια μικρότερης έντασης.

4.1.2. Μεθοδολογία

Για την εφαρμογή της θεωρίας ακραίων τιμών, απαιτείται η επιλογή και η οργάνωση των ακραίων φαινομένων, η οποία στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται με τη χρήση δύο βασικών μεθοδολογιών, της Block Maxima και της Peaks Over Threshold (POT).

Αρχικά, εφαρμόζοντας την Block Maxima τεχνική, οι μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών του κάθε σταθμού επιλέχθηκαν από το αρχικό σύνολο δεδομένων, δημιουργώντας τη χρονοσειρά των ακραίων. Αντίστοιχη χρονοσειρά δημιουργήθηκε και με την POT τεχνική. Για την επιλογή των ακραίων επεισοδίων με την τεχνική POT, απαιτείται ο καθορισμός ενός κατάλληλου ορίου –κατώφλι, πάνω από το οποίο οι τιμές θεωρούνται ακραίες. Στην παρούσα μελέτη, η επιλογή των κατάλληλων ορίων έγινε με τη χρήση ποσοστημορίων. Το 2012 οι Anagnostopoulou and Tolika,(2012)

χρησιμοποιώντας κλιματικά κριτήρια, απέδειξαν ότι το 99^ο ποσοστημόριο, είναι το καταλληλότερο για την περιγραφή των ακραίων επεισοδίων βροχής στην Ευρώπη. Στην παρούσα μελέτη, το ποσοστό αυτό, μπορεί να περιγράψει με μεγάλη ακρίβεια τα ακραία επεισόδια βροχής, όπως απέδειξε και ο έλεγχός του με άλλες τιμές (mean residual life plots). Με τον ίδιο τρόπο, το 95% και το 5%, κρίθηκαν ως τα καταλληλότερα όρια για την επιλογή των ακραίων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιακών επεισοδίων. Η επιλογή αυτή βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με την μελέτη των Caesar et al. (2006), που χρησιμοποίησαν το 5^ο και 95^ο ποσοστημόριο για την μελέτη των αλλαγών που παρουσιάζουν οι ακραίες θερμοκρασίες, από το 1946 και μετά. Επιπρόσθετα, οι Coelho et al. (2007), υποστήριξαν ότι το 95% αποτελεί ένα πλήρως αποδεκτό κατώφλι για τις θερμοκρασίες, καθώς προσφέρει έναν ικανοποιητικό αριθμό υπερβάσεων, αλλά και ακραίες τιμές αρκετά μεγάλες. Βασιζόμενοι στην παραδοχή αυτή, αρκετοί μελετητές όπως οι Heikkila et al. (2011), υιοθέτησαν το 95% και το 5% ως όρια για τη μελέτη των ακραίων θερμοκρασιών.

Με την εφαρμογή των τεχνικών Block Maxima, και POT στις ημερήσιες τιμές, δημιουργείται μια νέα βάση δεδομένων που περιλαμβάνει τις ακραίες τιμές των μελετώμενων κλιματικών παραμέτρων. Ένας σημαντικός αριθμός μαθηματικών κατανομών ελέγχονται με στόχο να επιλεγεί η καταλληλότερη για την περιγραφή των χρονοσειρών αυτών. Επιπρόσθετα, πέρα από τον έλεγχο των κατανομών, πραγματοποιείται και έλεγχος για την εύρεση της καταλληλότερης τεχνικής υπολογισμού των παραμέτρων τους (MLE, L-moments, Bayesian). Η τελική επιλογή επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων ελέγχων (Cullen and Frey graphs, Kolmogorov-Smirnov test, Anderson Darling test, X^2 test, QQ plots, Shape diagrams).

Τέλος στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται και υπολογισμός των επιπέδων επανάληψης των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στους σταθμούς μελέτης, για τρεις μελλοντικές περιόδους επαναφοράς (50, 150 και 300 έτη). Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας τις επικρατέστερες κατανομές (σύμφωνα με τους ελέγχους που έχουν προηγηθεί) και όλες τις τεχνικές υπολογισμού των παραμέτρων τους. Ακόμα, σύμφωνα με τις τιμές αυτές, οι σταθμοί έχουν ταξινομηθεί σε κατηγορίες με κοινά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας την Ευκλείδεια μέθοδο.

4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ 100 ΚΑΙ 60 ΕΤΩΝ

Πρωταρχικό ρόλο για την διεξαγωγή μιας κλιματικής μελέτης, αποτελεί η δημιουργία μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων. Η ύπαρξη μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Μεσογείου με διαθέσιμες χρονοσειρές που να ξεπερνούν τα 100 χρόνια είναι περιορισμένη. Μόνο τέσσερις σταθμοί βρέθηκαν που να εμφανίζουν μία κοινή χρονική περίοδο 100 ετών για τα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης (Barcelona, Marseille, Bologna, Athens) και να είναι ελεύθερα διαθέσιμες. Αντίθετα, στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν πολλοί σταθμοί, με διαθέσιμα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για μικρότερες χρονικές περιόδους (60 έτη). Με στόχο να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι σταθμοί αναφοράς, κρίθηκε απαραίτητο να ερευνηθούν και να αξιολογηθούν οι διαφορές που εντοπίζονται σε βασικές παραμέτρους των κατανομών της θεωρίας ακραίων τιμών, τόσο για δεδομένα 100 ετών όσο και για δεδομένα 60 ετών. Αν τα αποτελέσματα των μικρότερων χρονοσειρών είναι παρόμοια με αυτά των μεγάλου μήκους χρονοσειρών τότε θα μπορούν να συμπεριληφθούν στη βάση δεδομένων σταθμοί με μικρότερες χρονοσειρές. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν οι τέσσερις σταθμοί (Barcelona, Marseille, Bologna, and Athens) τα δεδομένα των οποίων (θερμοκρασία και βροχόπτωση) καλύπτουν τόσο τη μικρή περίοδο (60 έτη) όσο και τη μεγάλη περίοδο των 100 ετών.

Οι κρίσιμες παράμετροι σε μία κατανομή αποτελούν ένα βασικό εργαλείο, καθώς παρουσιάζουν πληροφορίες για τη μορφή της κατανομής και κατά συνέπεια των δεδομένων που περιγράφονται. Στην κατανομή GEV οι κρίσιμες παράμετροι είναι τρεις (θέση-location, κλίμακα-scale και σχήμα-shape) ενώ στην Pareto κατανομή είναι δύο (κλίμακα-scale και σχήμα-shape). Γενικά, η παράμετρος θέσης παρουσιάζει μια εικόνα του κέντρου βάρους της κατανομής ενώ η παράμετρος κλίμακας της τυπικής απόκλισης των χρησιμοποιούμενων δεδομένων. Τέλος, με την παράμετρο σχήματος δίνονται πληροφορίες για την βαρύτητα της ουράς της μελετώμενης κατανομής. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόσημο της παραμέτρου σχήματος είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη συμπεριφορά των περιγραφόμενων κατανομών. Για παράδειγμα στην κατανομή GEV, όταν η τιμή της παραμέτρου σχήματος είναι αρνητική προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι τιμές περιγράφονται από την κατανομή Weibull η οποία είναι άνω φραγμένη. Αντίθετα,

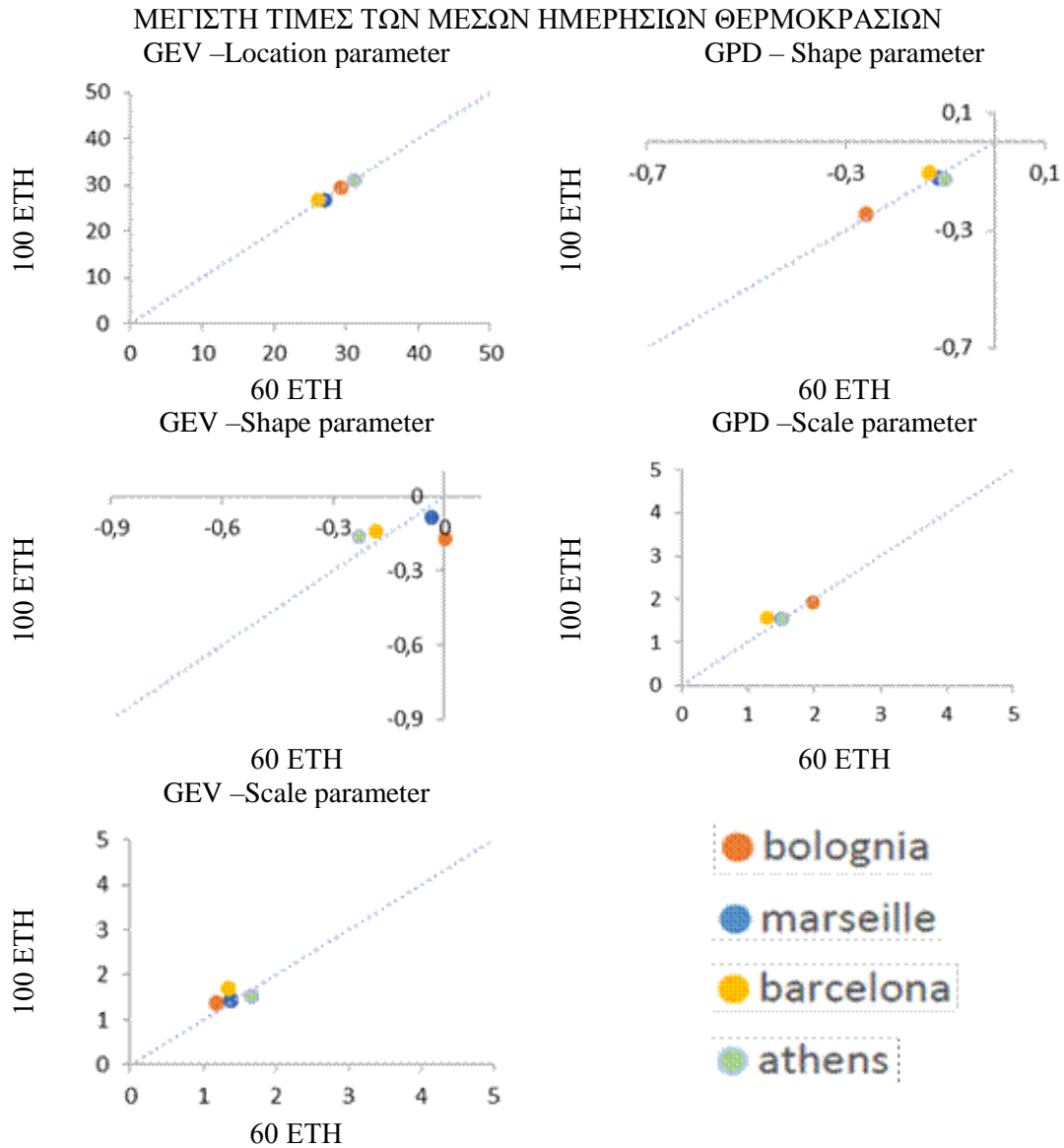
θετική τιμή της παραμέτρου οδηγεί στην κατανομή Frechet η οποία έχει βαριά ουρά. Εύλογα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η τιμή της παραμέτρου σχήματος δεν μπορεί να είναι αρνητική για την παράμετρο της βροχοπτώσης καθώς οι τιμές της παραμέτρου αυτής δεν παρουσιάζουν άνω όριο. Αντίθετα, αρνητικές τιμές μπορούν να περιγράψουν την παράμετρο των ακραίων βροχοπτώσεων, όπου οι τιμές είναι συγκεντρωμένες στο κέντρο της κατανομής και τα πιο ακραία επεισόδια δεν διαφέρουν σημαντικά από το υπόλοιπο σύνολο.

Αρχικά τα δεδομένα των σταθμών Barcelona, Marseille, Bologna, και Athens οργανώθηκαν σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα αποτελεί τη μεγάλη βάση δεδομένων, η οποία δημιουργείται από δεδομένα 100 ετών, ενώ η δεύτερη αποτελεί τη μικρή βάση δεδομένων, με στοιχεία που καλύπτουν μια χρονική περίοδο 60 ετών (1951-2010). Και στις δύο ομάδες έγινε επιλογή των ακραίων τιμών με τις μεθόδους Block Maxima (υποπερίοδος-μήνας) και POT (99% θερμοκρασία, 5 και 95% θερμοκρασία) ενώ στην συνέχεια εφαρμόστηκαν οι κατανομές GEV και GPD, στα σύνολα που προέκυψαν. Η αξιολόγηση βασίζεται στην σύγκριση των κρίσιμων παραμέτρων των κατανομών αυτών (θέση, κλίμακα, σχήμα). Στα Σχήματα 4.1, 4.2 και 4.3 (Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών και Μέγιστες Βροχοπτώσεις) παρουσιάζονται με τη μορφή διαγραμμάτων οι τιμές των παραμέτρων θέσης, κλίμακας και σχήματος (location, scale, shape) για τις χρονοσειρές των 60 και 100 ετών. Μία μορφή διαγράμματος με τις τιμές πάνω ή κοντά στην διαγώνιο δείχνει μηδενική ή μικρή διαφορά μεταξύ των κρίσιμων παραμέτρων των συνόλων με 100 και 60 χρόνια. Αντίθετα, όταν οι τιμές αποκλίνουν από την διαγώνιο υποδηλώνεται ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συγκρινόμενων παραμέτρων.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκρίσεων για τις ακραία μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για τις περιόδους 100 και 60 ετών. Σύμφωνα με το Σχήμα 4.1, στην GEV κατανομή υπάρχει τέλεια ταύτιση των παραμέτρων θέσης-location και κλίμακας-scale που έχουν υπολογιστεί για τις περιόδους 100 και 60 ετών, καθώς οι τιμές βρίσκονται πάνω στη διαγώνιο. Το συμπέρασμα αυτό αφορά και τους τέσσερις σταθμούς μελέτης. Στην παράμετρο του σχήματος-shape τα αποτελέσματα είναι εξίσου ικανοποιητικά καθώς οι τιμές των σταθμών Barcelona, Marseille και Athens

Αξιολόγηση Κατανομών

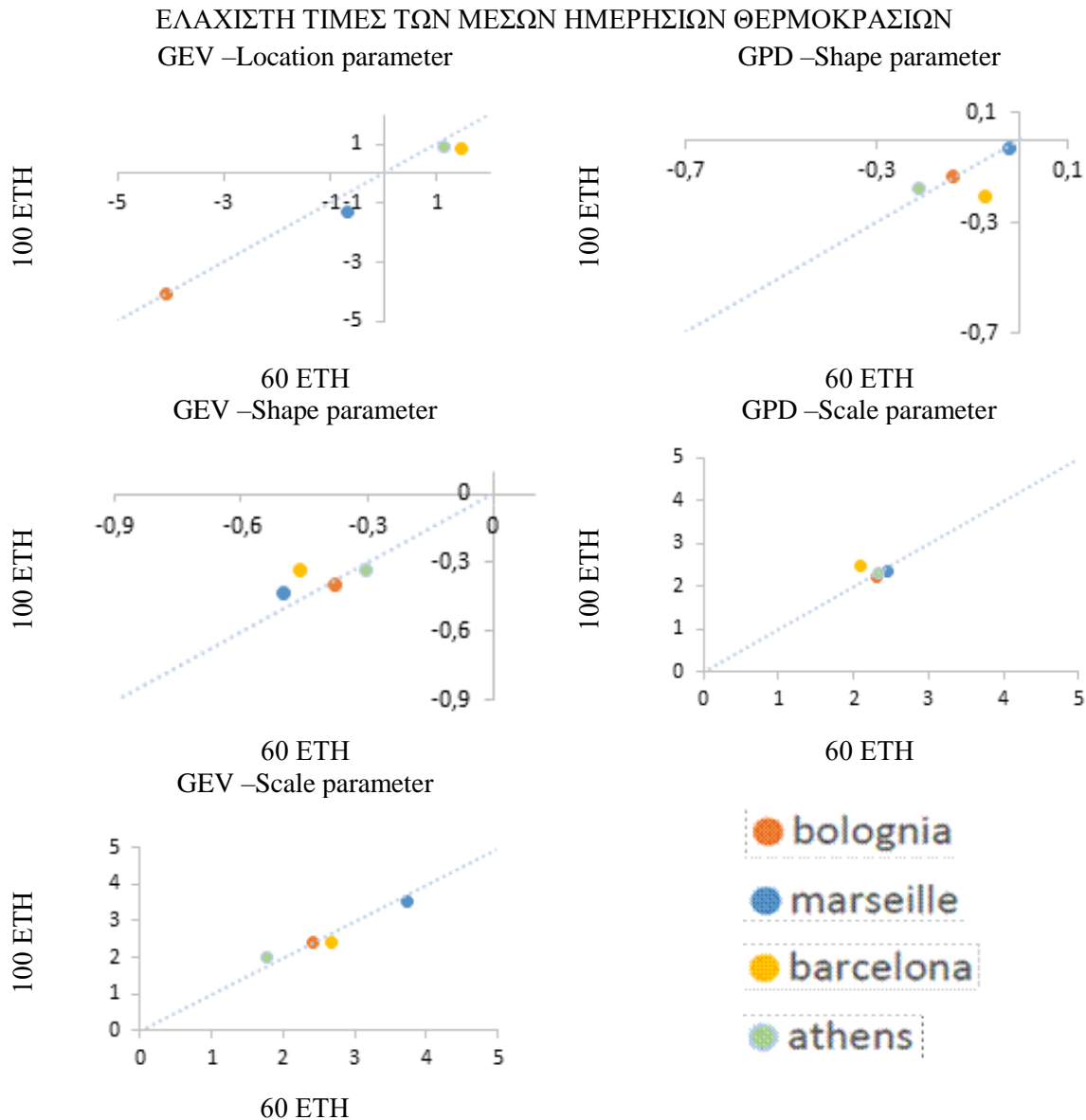
προσεγγίζουν με ακρίβεια την διαγώνιο, ενώ μικρή απόκλιση παρατηρείται στα δεδομένα του σταθμού Bologna.



Σχήμα 4.1. Σύγκριση των παραμέτρων θέσης, κλίμακας και σχήματος των κατανομών GEV και GPD, μεταξύ των χρονοσειρών με 100 και 60 χρόνια για τις ακραίες μέγιστες κατά μήνα, μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες. Η σύγκριση γίνεται για τέσσερις σταθμούς (Bologna, Marseille, Barcelona and Athens)

Όσον αφορά στην κατανομή GPD, τα αντίστοιχα διαγράμματα του Σχήματος 4.1, δείχνουν ότι και στις δύο κρίσιμες παραμέτρους (κλίμακα-scale, σχήμα-shape) υπάρχει τέλεια ταύτιση των τιμών των δύο χρονοσειρών. Συμπερασματικά προκύπτει ότι για την

παράμετρο των μέγιστων θερμοκρασιών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σταθμοί με μικρότερες χρονοσειρές (πχ 60 ετών), διατηρώντας την αξιοπιστία της μελέτης στο ίδιο επίπεδο με αυτό που θα είχε εάν οι μελετώμενοι σταθμοί διέθεταν δεδομένα 100 ετών.

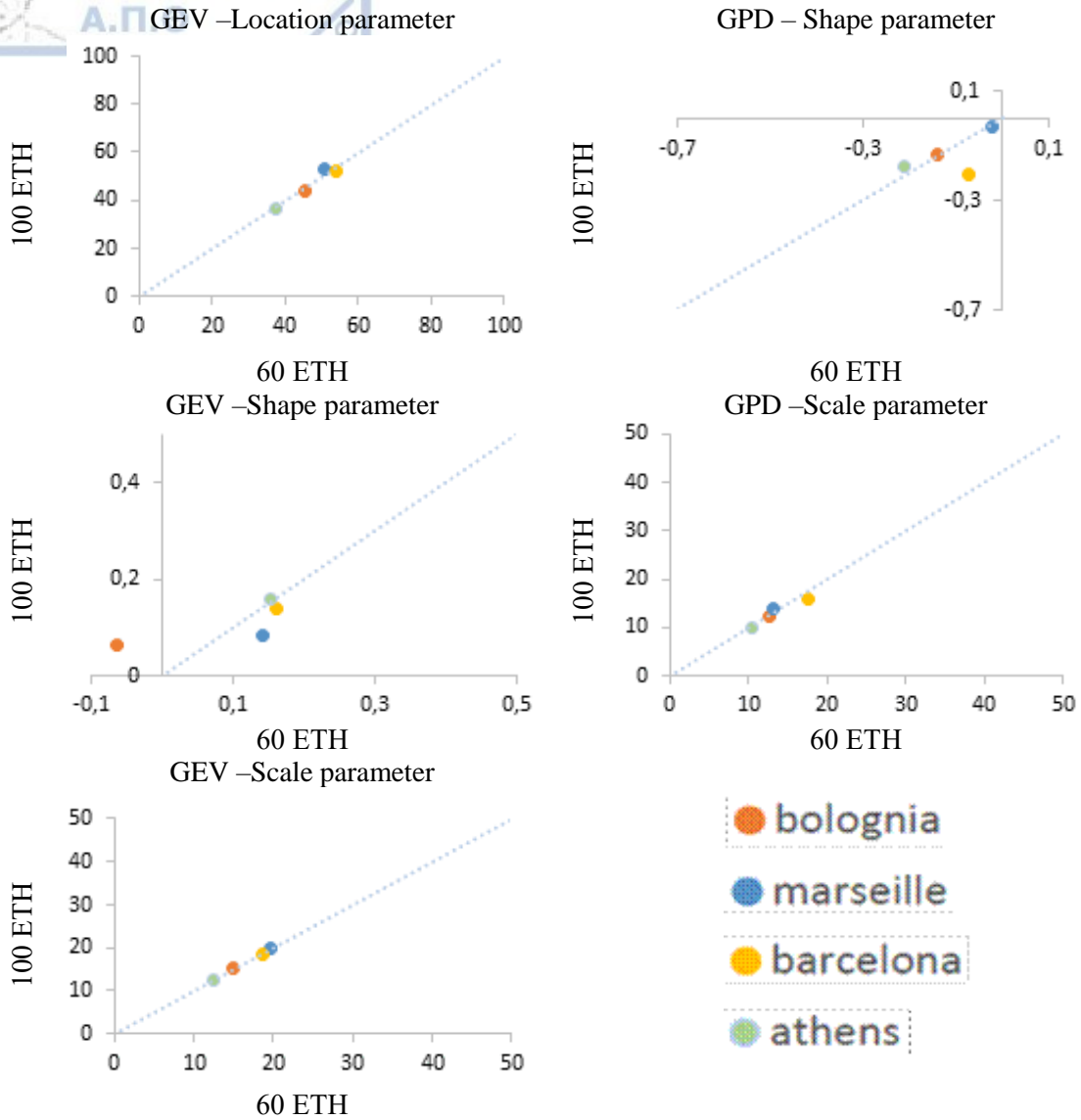


Σχήμα 4.2. Σύγκριση των παραμέτρων θέσης, κλίμακας και σχήματος των κατανομών GEV και GPD, μεταξύ των χρονοσειρών με 100 και 60 χρόνια για τις ακραία ελάχιστες κατά μήνα, μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες. Η σύγκριση γίνεται για τέσσερις σταθμούς (Bologna, Marseille, Barcelona and Athens)

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις ακραία ελάχιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών των τεσσάρων σταθμών μελέτης. Όπως παρατηρήθηκε και στις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 4.1) οι τιμές των κρίσιμων παραμέτρων θέσης (location) και κλίμακας (scale) της κατανομής GEV που υπολογίστηκαν από χρονοσειρές 100 και 60 ετών, συμπίπτουν απόλυτα και στους τέσσερις σταθμούς καθώς εντοπίζονται πάνω στη γραμμή της διαγωνίου. Το διάγραμμα που αναφέρεται στην παράμετρο σχήματος δείχνει ότι σε τρεις από τους τέσσερις σταθμούς οι υπολογιζόμενες τιμές είναι ίσες ενώ μικρή απόκλιση παρατηρείται για τον τέταρτο σταθμό που είναι ο σταθμός της Barcelona. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τις παραμέτρους της Pareto κατανομής. Πιο συγκεκριμένα, τόσο στο διάγραμμα της παραμέτρου κλίμακας όσο και σχήματος οι τιμές είναι ακριβώς ίσες για τους σταθμούς Bologna, Marseille και Athens ενώ μικρή απόκλιση εντοπίζεται στα δεδομένα του σταθμού Barcelona. Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα πέντε γραφήματα του Σχήματος 4.2, είναι ότι και για την παράμετρο των ελαχίστων θερμοκρασιών (όπως και των μεγίστων) η χρήση σταθμών με δεδομένα 60 αντί για 100 έτη, δεν επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

Στο Σχήμα 4.3, φαίνονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης για την παράμετρο της βροχόπτωσης. Από τα διαγράμματα των παραμέτρων θέσης-location και κλίμακας-scale της GEV κατανομής, φαίνεται ότι υπάρχει μια τέλεια ταύτιση των τιμών που υπολογίζονται για αυτές τις παραμέτρους από τις χρονοσειρές 60 και 100 ετών σε όλους τους σταθμούς μελέτης. Η παράμετρος σχήματος της GEV κατανομής, αποτελεί τη μόνη περίπτωση όπου παρατηρείται μια μεγαλύτερη απόκλιση των τιμών από την διαγώνιο για έναν σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της παραμέτρου σχήματος για τον σταθμό της Bologna, αποκλίνουν σημαντικά από την διαγώνιο, ενώ αντίθετα οι τιμές των σταθμών Athens, Marseille και Barcelona παρουσιάζουν μικρή ή μηδενική απόκλιση. Για την κατανομή Pareto, τα αντίστοιχα διαγράμματα δείχνουν ότι και στις δύο παραμέτρους οι τιμές που προέκυψαν από τις δύο χρονοσειρές είναι ίσες. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα αποτελέσματα αυτά, προκύπτει ότι και για τόσο για την παράμετρο της θερμοκρασίας όσο και για την παράμετρο της βροχής η χρήση χρονοσειρών 60 αντί για 100 ετών δεν επηρεάζει σημαντικά τα τελικά συμπεράσματα και κυρίως την αξιοπιστία αυτών.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



Σχήμα 4.3. Σύγκριση των παραμέτρων θέσης, κλίμακας και σχήματος των κατανομών GEV και GPD, μεταξύ των χρονοσειρών με 100 και 60 χρόνια για τις μέγιστες κατά μήνα ημερήσιες βροχοπτώσεις. Η σύγκριση γίνεται για τέσσερις σταθμούς (Bologna, Marseille, Barcelona and Athens)

4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Ένας σημαντικός αριθμός στατιστικών ελέγχων έχουν χρησιμοποιηθεί με στόχο την εύρεση των μαθηματικών κατανομών που μπορούν με ακρίβεια να περιγράψουν τη συμπεριφορά των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου. (Cullen and Frey Graphs, έλεγχοι Anderson Darling, Kolmogorov Smirnov, X^2 test, QQ plots - διαγράμματα ποσοστημορίων και - Shape diagrams - διαγράμματα της παραμέτρου σχήματος). Η αξιολόγηση έχει πραγματοποιηθεί για τους 10 Μεσογειακούς σταθμούς της μελέτης, τα δεδομένα των οποίων καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1951-2010 (60 ετών). Οι σταθμοί Bologna και Marseille εξαιρέθηκαν από περεταίρω ανάλυση καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα για ολόκληρη την μελετώμενη περίοδο (1951-2010).

4.3.1. 1η Αξιολόγηση – Διαγράμματα Cullen and Frey

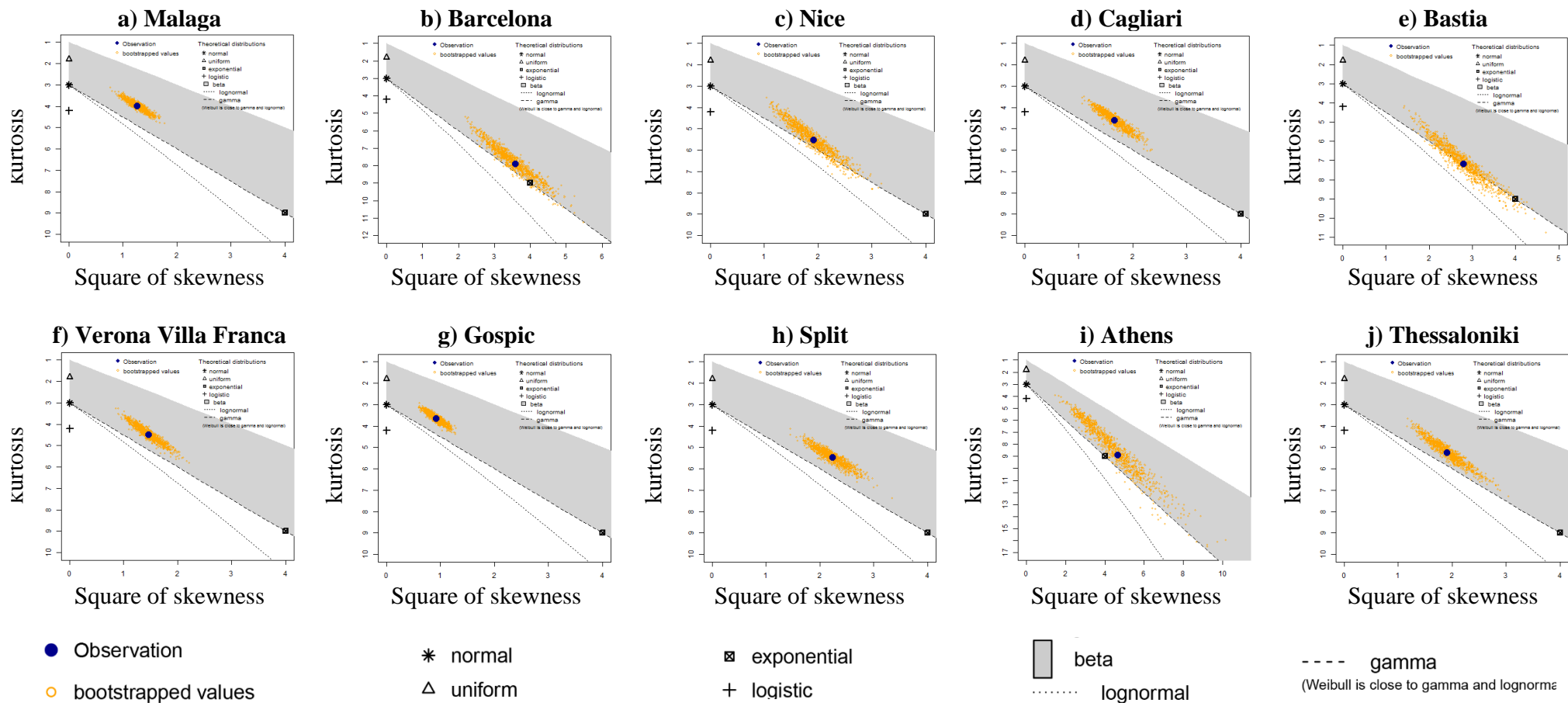
Η αξιολόγηση των στατιστικών κατανομών ξεκινά με την χρήση των διαγραμμάτων Cullen and Frey (Cullen and Frey, 1999) τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται για την απόρριψη των κατανομών που αδυνατούν να περιγράψουν με ακρίβεια την συμπεριφορά των ακραίων. Στόχος της πρώτης αξιολόγησης είναι να ελεγχθεί ένας μεγάλος αριθμός κατανομών και να απορριφθούν οι μη κατάλληλες, ενώ για τις υπόλοιπες κατανομές πραγματοποιούνται περισσότεροι έλεγχοι. Στα διαγράμματα Cullen and Frey, η αξιολόγηση βασίζεται στις τιμές κύρτωσης και λοξότητας του ελεγχόμενου συνόλου δεδομένων, οι οποίες συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές γνωστών κατανομών. Οι κατανομές οι οποίες ελέγχονται είναι οι εξής: Κανονική, Ομοιόμορφη, Εκθετική, Λογιστική, Βήτα, Λογαριθμική και Γάμμα (Σχήματα 4.4-4.6). Επιπρόσθετα, έμμεσα ελέγχεται και η Weibull κατανομή η οποία είναι κοντά στην Λογαριθμική και Γάμμα κατανομή. Οι κατανομές Κανονική, Ομοιόμορφη, Εκθετική, Λογιστική αναπαρίστανται στο διάγραμμα από ένα σημείο, η κατανομή Βήτα από μια γραμμοσκιασμένη περιοχή (γκρι περιοχή) ενώ οι κατανομές Λογαριθμική και Γάμμα από μία καμπύλη (διακεκομμένες γραμμές). Τέλος, σε κάθε διάγραμμα η θέση του μελετώμενου συνόλου παρουσιάζεται με ένα μπλε σημείο ενώ με κίτρινο χρώμα αναπαρίστανται τα πιθανά αποτελέσματα μετά από τυχαία δειγματοληπτική επιλογή τιμών από το αρχικό σύνολο

(bootstrapped values). Μία κατανομή θεωρείται μη απορριπτέα όταν το σημείο περιγραφής της (σημείο, περιοχή ή καμπύλη), ταυτίζεται ή βρίσκεται αντικειμενικά κοντά με το σημείο του μελετώμενου συνόλου (μπλε).

Στο Σχήμα 4.4, παρουσιάζονται τα διαγράμματα Cullen and Frey των δέκα μελετώμενων σταθμών για την παράμετρο των υψηλότερων μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Σύμφωνα με τα γραφήματα όλων των σταθμών, η κανονική, η ομοιόμορφη και η λογιστική κατανομή δεν μπορούν να περιγράψουν τη συμπεριφορά των ακραίων υψηλών μέσων θερμοκρασιών και απορρίπτονται ως μη κατάλληλες. Επιπρόσθετα, και οι τιμές κύρτωσης και λοξότητας της εκθετικής κατανομής αποκλίνουν σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές του μελετώμενου συνόλου, σε οκτώ από τους δέκα σταθμούς. Εξαιρέση αποτελούν οι σταθμοί Athens και Barcelona, στους οποίους η απόκλιση είναι μικρότερη, όχι όμως ικανή να αποτρέψει την απόρριψη των κατανομών αυτών από περαιτέρω έλεγχο. Μία ακόμα κατανομή η οποία δεν προσεγγίζει το σημείο των παρατηρήσεων είναι η λογαριθμική. Η παρατήρηση αυτή προέρχεται από όλους τους σταθμούς που αναλύονται. Οι υπόλοιπες δύο κατανομές όπου το εύρος των τιμών τους καταλαμβάνει μια περιοχή ή περιγράφεται από μια καμπύλη (Βήτα και Γάμμα) φαίνεται να μπορούν να προσεγγίσουν την συμπεριφορά των ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών σε όλους τους σταθμούς. Τέλος ένα σημείο που λαμβάνεται υπόψη στη συνέχεια της μελέτης είναι ότι και οι δύο επιλεγόμενες κατανομές ανήκουν στην οικογένεια των κατανομών της Θεωρίας Ακραίων Τιμών.



ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ CULLEN AND FREY



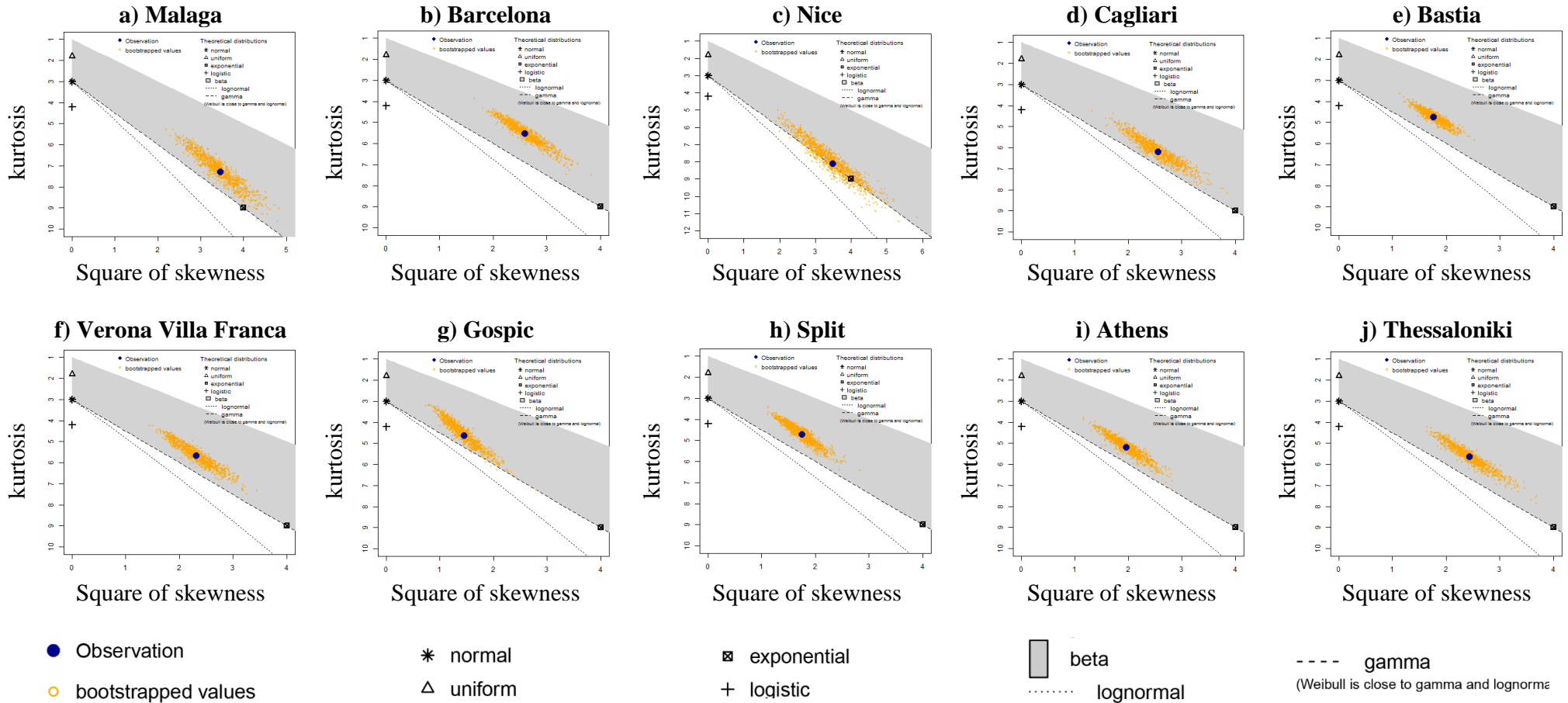
Σχήμα 4.4. Διαγράμματα Cullen and Frey, για την παράμετρο των μέγιστων κατά μήνα μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών. Τα διαγράμματα αφορούν τους 10 υπό μελέτη σταθμούς, με χρονοσειρά 60 ετών (1955-2010).

Τα διαγράμματα Cullen and Frey που αναφέρονται στην παράμετρο των ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών της περιόδου 1951-2010 (Σχήμα 4.5), παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με τα αντίστοιχα των μεγίστων θερμοκρασιών (Σχήμα 4.4). Αναλυτικότερα οι κατανομές: Κανονική, Ομοιόμορφη και Λογιστική δεν πλησιάζουν σε κανέναν σταθμό το σημείο που περιγράφει τις ακραία χαμηλές θερμοκρασίες. Αντίστοιχη παρατήρηση προκύπτει και για την τιμή της εκθετικής κατανομής με εξαίρεση τον σταθμό της Nice. Επιπρόσθετα και στους δέκα Μεσογειακούς σταθμούς, οι τιμές της λογαριθμικής κατανομής φαίνεται πως δεν μπορούν να περιγράψουν τις αντίστοιχες τιμές του σταθμού μελέτης. Κατά συνέπεια και για τις ακραίες χαμηλές μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες οι κατανομές που μπορούν να προσεγγίσουν τις τιμές λοξότητας και κύρτωσης φαίνεται να είναι η Βήτα και η Γάμμα και κατά γενικότερα είναι αποδεκτές όλες οι κατανομές οι οποίες παρουσιάζουν ομοιότητες με τις δύο προαναφερόμενες στις τιμές λόξωσης και κύρτωσης.

Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει τα Cullen and Frey γραφήματα για τις ακραίες βροχοπτώσεις στους δέκα Μεσογειακούς σταθμούς. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα οι κατανομές οι οποίες απορρίπτονται ως ακατάλληλες για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων σε όλους τους σταθμούς είναι η κανονική, η ομοιόμορφη και η λογιστική κατανομή. Στην παράμετρο αυτή, η εκθετική κατανομή φαίνεται πως προσεγγίζει το σημείο των δεδομένων του σταθμού ή κάποιες από τις τιμές του δειγματοληπτικού ελέγχου (bootstrapped values) σε αρκετές περιπτώσεις (Nice, Cagliari, Bastia, Gospic, Split, Athens and Thessaloniki). Συνεπώς η κατανομή αυτή θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια της μελέτης. Ένα επιπλέον στοιχείο που προκύπτει από την Σχήμα 4.6 είναι ότι οι εκτιμώμενες τιμές της λογαριθμικής κατανομής αποκλίνουν από τις αντίστοιχες τιμές λοξότητας και κύρτωσης του σημείου μελέτης σε αρκετούς σταθμούς, με εξαίρεση τους σταθμούς Malaga και Barcelona. Τέλος και για την παράμετρο αυτή, οι θεωρητικές κατανομές Βήτα και Γάμμα προσεγγίζουν με ακρίβεια τις τιμές λοξότητας και κύρτωσης των συνόλων των ακραίων βροχοπτώσεων.



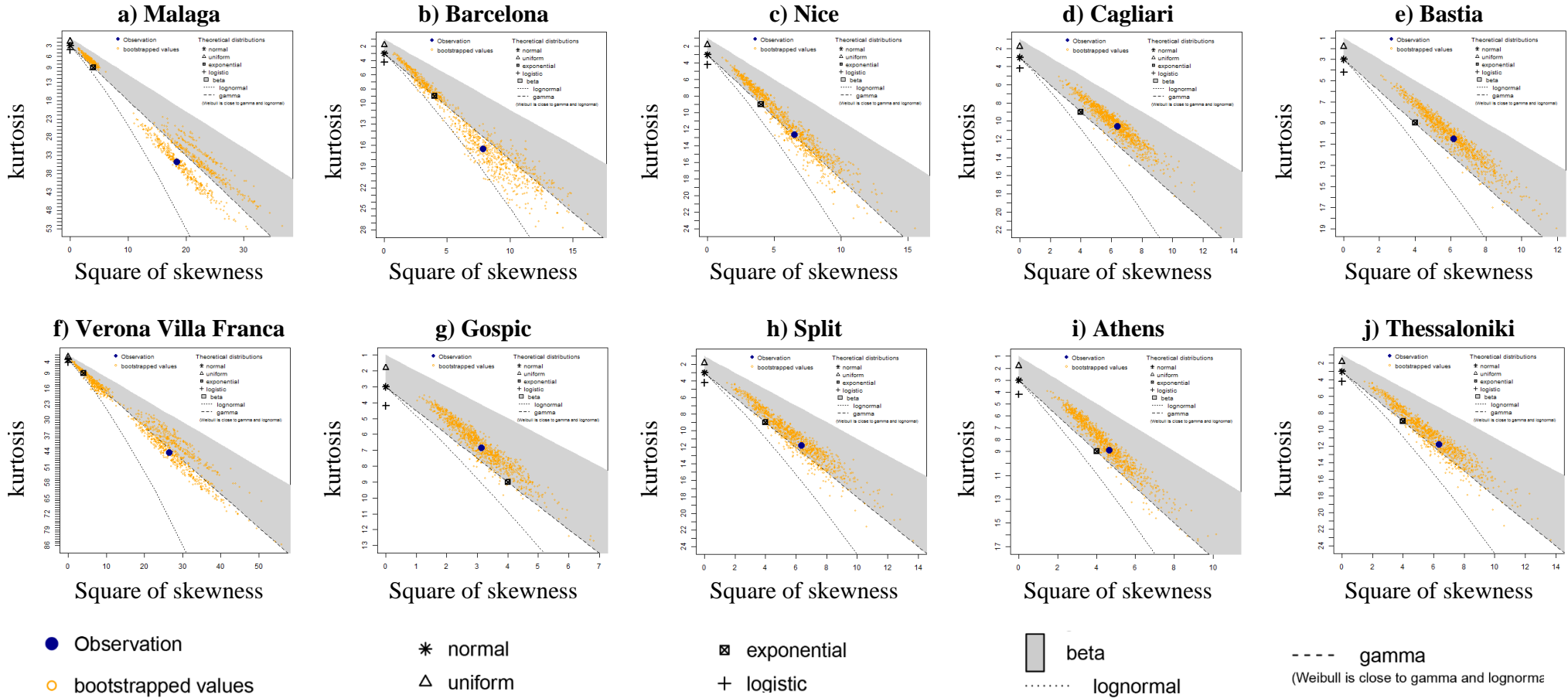
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ- ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ CULLEN AND FREY



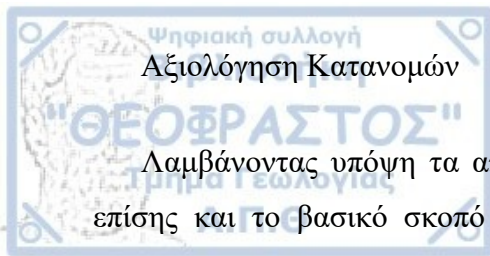
Σχήμα 4.5. Διαγράμματα Cullen and Frey, για την παράμετρο ελάχιστων κατά μήνα μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών. Τα διαγράμματα αφορούν τους 10 υπό μελέτη σταθμούς, με χρονοσειρά 60 ετών (1955-2010).

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ CULLEN AND FREY

Αξιολόγηση Κατανομών



Σχήμα 4.6. Διαγράμματα Cullen and Frey, για την παράμετρο της βροχόπτωσης. Τα διαγράμματα αφορούν τους 10 υπό μελέτη σταθμούς, με χρονοσειρά 60 ετών (1955-2010).



Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων Cullen and Frey καθώς επίσης και το βασικό σκοπό χρήσης τους που είναι η απόρριψη των ακατάλληλων θεωρητικών κατανομών (βασιζόμενη στις τιμές λοξότητας και κυρτότητας), κρίνεται σωστό να απορριφθούν από τη συνέχεια της ανάλυσης οι εξής κατανομές: κανονική, ομοιόμορφη και λογιστική και γενικότερα όλες οι «ισοδύναμης ουράς» κατανομές. Η γενίκευση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι με τα διαγράμματα Cullen and Frey, δεν ελέγχονται επιλεγμένα επτά κατανομές αλλά ένα ευρύ φάσμα κατανομών που παρουσιάζουν ομοιότητες (κυρτότητα και λοξότητα) με τις επτά αυτές πιλοτικές κατανομές (Cullen and Frey, 1999). Επιπρόσθετα, συνδυάζοντας τις προτεινόμενες κατανομές των διαγραμμάτων (οι οποίες εμπίπτουν στο πεδίο έλξης των κατανομών της Θεωρίας Ακραίων Τιμών) με την υπάρχουσα βιβλιογραφία για τις ακραίες τιμές κρίνεται απαραίτητο οι κατανομές στις οποίες θα εφαρμοστούν επιπλέον έλεγχοι να είναι η GEV και η GPD.

4.3.2 2η Αξιολόγηση – Έλεγχοι Anderson Darling, Kolmogorov Smirnov, X^2

Χρησιμοποιώντας τα συμπεράσματα της παραγράφου (4.3.1), οι κατανομές GEV και GPD ελέγχονται εκτενέστερα, σχετικά με το βαθμό καταλληλότητάς τους για την περιγραφή των ακραίων υψηλών και χαμηλών τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών της περιόδου 1951-2010, καθώς και των ακραίων βροχοπτώσεων στους δέκα Μεσογειακούς σταθμούς της μελέτης. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται με τη χρήση τριών ελέγχων καλής προσαρμογής: Anderson Darling test, Kolmogorov Smirnov test και X^2 test. Με τους τρεις αυτούς ελέγχους γίνεται σύγκριση των χαρακτηριστικών του μελετώμενου δείγματος με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά ενός άλλου δείγματος ή με διάφορες μαθηματικές κατανομές. Η αξιολόγηση των κατανομών GEV και GPD σχετικά με το βαθμό της καταλληλότητάς τους για την περιγραφή των ακραίων κλιματικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού “Easy Fit” (<http://www.mathwave.com/en/home.html>). Αναλυτικότερα, η εκάστοτε χρονοσειρά των ακραίων τιμών των τριών παραμέτρων, συγκρίθηκε με περισσότερες από 50 κατανομές (Πίνακας 4.3) με τη χρήση των ελέγχων Anderson Darling (AD), Kolmogorov Smirnov (KS) και X^2 . Τα αποτελέσματα κατατάσσουν τις 50 αυτές κατανομές σε σειρά καταλληλότητας για την περιγραφή του μελετώμενου δείγματος. Οι Πίνακες 4.4, 4.5 και

4.6 παρουσιάζουν την σειρά ταξινόμησης των κατανομών GEV και GPD για τις ακραίες μέγιστες και ελάχιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών και για τις τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3. Μαθηματικές κατανομές με τις οποίες συγκρίνονται οι χρονοσειρές των ακραίων τιμών.

ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ		
Bernoulli	Generalized Pareto	Nakagami
Beta	Geometric	Normal
Binomial	Gumbel Max	Pareto
Burr	Gumbel Min	Pareto 2 (Lomax)
Cauchy	Hyperbolic Secant	Pearson 5
Chi-Squared	Hypergeometric	Pearson 6
Dagum	Inverse Gaussian	Pert
Discrete Uniform	Johnson SB	Poisson
Erlang	Johnson SU	Phased Bi-Exponential
Error	Kumaraswamy	Phased Bi-Weibull
Error Function	Laplace	Power Function
Exponential	Levy	Rayleigh
F	Logarithmic	Reciprocal
Fatigue Life	Logistic	Rice
Frechet	Log-Gamma	Student's t
Gamma	Log-Logistic	Triangular
Generalized Extreme Value	Log-Pearson 3 (LP3)	Uniform
Generalized Gamma	Lognormal	Wakeby
Generalized Logistic	Negative Binomial	Weibull

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4, οι ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από την GEV κατανομή στο μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών. Σε οχτώ από τους δέκα σταθμούς η GEV κατανομή βρίσκεται στην πρώτη πεντάδα καταλληλότητας σύμφωνα με έναν τουλάχιστον έλεγχο. Μάλιστα στους

σταθμούς Malaga, Bastia, Split και Athens καταλαμβάνει την πρώτη θέση κατάταξης στην ταξινόμηση κάποιου από τους τρεις ελέγχους. Αξιοσημείωτη είναι η χαμηλή θέση που έχει η GEV κατανομή στον σταθμό Nice, γεγονός που επισημαίνεται και από τους τρεις ελέγχους. Επιπρόσθετα, ένα γεγονός που παρατηρείται από τις τιμές του Πίνακα 4.4 είναι ότι τα αποτελέσματα των ελέγχων KS και AD παρουσιάζουν μια συσχέτιση, σε αντίθεση με αυτά του ελέγχου X^2 . Αναλυτικότερα, σε επτά από τους δέκα σταθμούς, η διαφορά θέσης της κατανομής GEV στις κατατάξεις των ελέγχων KS και AD δεν είναι μεγαλύτερη από 3. Αντίθετα, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η αντίστοιχη διαφορά με την κατάταξη του ελέγχου X^2 είναι σημαντικά μεγαλύτερη (πχ Nice, Gagliari, Bastia, Verona Villa Franca, Gospic, Split, Athens, Thessaloniki). Αιτία αυτών των αποτελεσμάτων πιθανώς να είναι η κατηγοριοποίηση στην οποία υποβάλλονται τα δεδομένα με το X^2 , καθώς ο έλεγχος αυτός είναι πιο αξιόπιστος για κατηγορικά και όχι συνεχή δεδομένα (Laiο 2004). Η κατανομή GPD φαίνεται ως ιδιαίτερα ικανή να περιγράψει τη συμπεριφορά των ακραίων υψηλών μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών στην πλειοψηφία των σταθμών μελέτης. Σε εννέα από τους δέκα σταθμούς η κατανομή αυτή κατατάσσεται μέσα στην πρώτη τριάδα καταλληλότητας, ενώ σε έξι από τους σταθμούς αυτούς βρίσκεται στην πρώτη θέση σύμφωνα με έναν τουλάχιστον έλεγχο. Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός Barcelona στον οποίον η θέση της GPD κατανομής είναι 6^η, 10^η και 14^η σύμφωνα με τους ελέγχους KS, AD και X^2 αντίστοιχα, ενώ αξιοσημείωτο είναι το ότι στους σταθμούς Cagliari και Split όλοι οι έλεγχοι θεωρούν την GPD κατανομή ως την καταλληλότερη για την περιγραφή των ακραίων θερμοκρασιών τους. Τέλος, υπάρχουν δύο σταθμοί (Gospic και Thessaloniki) στους οποίους η κατανομή GPD είναι απορριπτέα σύμφωνα με τον έλεγχο X^2 , παρά το ότι οι άλλοι έλεγχοι την κατατάσσουν σε υψηλή θέση καταλληλότητας. Τέλος σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα, και οι δύο κατανομές μπορούν να περιγράψουν τις ακραίες υψηλές θερμοκρασίες της περιοχής με μεγάλη ακρίβεια. Μάλιστα η GEV κατανομή θεωρείται η ένατη, κατά μέσο όσο, ικανότερη κατανομή για περιγραφή των ακραίων θερμοκρασιών ενώ η GPD η πέμπτη, ανάμεσα σε περισσότερες από 50 κατανομές.

Πίνακας 4.4. Η κατάταξη των κατανομών GEV και GPD, για την παράμετρο των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, σύμφωνα με τους τρεις στατιστικούς ελέγχους καλής προσαρμογής (AD, KS, X²). Ο συμβολισμός R συμβολίζει την απόρριψη της κατανομής, σύμφωνα με τον εκάστοτε έλεγχο.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΑΣΙΑ						
	GEV			GPD		
	KS	AD	X ²	KS	AD	X ²
MALA	3	1	5	2	1	5
BARC	21	8	5	6	10	14
NICE	14	23	17	1	1	6
CAGL	11	9	3	1	1	1
BAST	1	4	13	4	3	3
VERO	7	6	36	2	2	6
GOSP	2	4	14	3	12	R
SPLI	3	1	9	1	1	1
ATHE	1	3	9	1	2	1
THES	14	8	2	1	42	R
MEAN	9			5		

Ο Πίνακας 4.5, παρουσιάζει τη θέση κατάταξης σχετικά με την καταλληλότητα των κατανομών GEV και GPD για την περιγραφή των ακραίων χαμηλών μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών στους δέκα σταθμούς μελέτης. Σύμφωνα με τις τιμές του πίνακα, η GEV κατανομή αποτελεί μια από τις τρεις πιο κατάλληλες κατανομές για την περιγραφή των ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών στους σταθμούς Malaga, Gagliari, Bastia και Athens, σύμφωνα με έναν τουλάχιστον έλεγχο. Μάλιστα, εάν η μελέτη επικεντρωθεί στην πρώτη δεκάδα των καταλληλότερων κατανομών, εκεί η GEV κατανομή συναντάται σε εννέα από τους δέκα σταθμούς μελέτης (εξαιρέση ο σταθμός Gospic). Τα αποτελέσματα της παραμέτρου αυτής φαίνεται να παρουσιάζουν αρκετές διαφορές ανάλογα με τον έλεγχο ο οποίος χρησιμοποιείται. Σε πολλούς σταθμούς μάλιστα, οι διαφορές αυτές είναι σημαντικές όχι μόνο με τις τιμές του ελέγχου X², όπως παρατηρήθηκε στις μέγιστες θερμοκρασίες, αλλά ανάμεσα στις τιμές και των τριών ελέγχων. Όσον αφορά την

κατανομή GPD, η ικανότητά της για περιγραφή των ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών είναι ιδιαίτερα υψηλή σε όλους τους σταθμούς, σύμφωνα με τους ελέγχους KS και AD. Πιο συγκεκριμένα, ο πρώτος έλεγχος (KS) κατατάσσει την GPD κατανομή στην πρώτη θέση της κατάταξης καταλληλότητας σε τέσσερις από τους δέκα σταθμούς. Το νούμερο αυτό αυξάνεται σημαντικά (8/10) εάν μελετηθεί η πρώτη τριάδα κατανομών, ενώ τέλος στην πρώτη δεκάδα συναντάται η GPD κατανομή σε όλους τους σταθμούς μελέτης. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τον έλεγχο AD, η κατανομή GPD βρίσκεται στις πέντε καταλληλότερες για την περιγραφή των ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών σε έξι από τους δέκα σταθμούς (Barcelona, Nice, Bastia, Verona Villa Franca, Split, Athens). Όσον αφορά τα αποτελέσματα του ελέγχου X^2 είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι απορρίπτει την μελετώμενη κατανομή σε επτά από τους δέκα σταθμούς. Ωστόσο όπως σημειώθηκε και στις μέγιστες θερμοκρασίες, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του ελέγχου αυτού είναι χαμηλότερη συγκριτικά με των άλλων δύο, καθώς τα δεδομένα που αναλύονται είναι συνεχή και όχι κατηγορικά. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι τόσο η GEV όσο και η GPD κατανομές μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια τις ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες στην μελετώμενη περιοχή, καθώς θεωρούνται, κατά μέσο όρο, η 11^η και 6^η αντίστοιχα καταλληλότερες κατανομές ανάμεσα σε τουλάχιστον 50 άλλες.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων καλής προσαρμογής για την παράμετρο της βροχοπτώσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6. Σύμφωνα με τις τιμές κατάταξης που παρουσιάζει ο πίνακας αυτός, φαίνεται ότι η GEV κατανομή δεν αποτελεί την καταλληλότερη για περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων ούτε μία από τις τρεις καταλληλότερες (όπως στην παράμετρο των ακραίων θερμοκρασιών), σε κανέναν σταθμό μελέτης. Στους περισσότερους σταθμούς (9/10) βρίσκεται στην πρώτη δεκάδα καταλληλότητας σύμφωνα με έναν τουλάχιστον έλεγχο, ωστόσο η υψηλότερη θέση στην οποία έχει βρεθεί είναι η τέταρτη (Malaga, Nice, Verona Villa Franca, Gospic). Αντίθετα συμπεράσματα προκύπτουν για την κατανομή GPD. Αναλυτικότερα, σε όλους σχεδόν τους σταθμούς (εκτός από Verona Villa Franca) η κατανομή αυτή θεωρείται η καταλληλότερη ή μία από τις τρεις καταλληλότερες για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων, σύμφωνα με όλους σχεδόν τους ελέγχους. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για την κατανομή αυτή σε οκτώ από τους δέκα σταθμούς, τα αποτελέσματα των τριών ελέγχων παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες (πχ Malaga, Barcelona, Nice, Cagliari,

Bastia, Gospic, Athens, Thessaloniki). Εξάιρεση στα περιγραφόμενα αυτά αποτελέσματα αποτελούν οι σταθμοί Verona Villa Franca και Split. Στον πρώτο σταθμό, η θέση κατάταξη της κατανομής GPD σύμφωνα με τους ελέγχους KS και AD είναι η 13^η και 45^η, ενώ ο έλεγχος X^2 την απορρίπτει. Στον σταθμό Split, οι αντιθέσεις των αποτελεσμάτων μεταξύ των τριών ελέγχων είναι σημαντικές. Αναλυτικότερα, ενώ σύμφωνα με τον έλεγχο KS η GPD κατανομή είναι η πιο κατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων στο σταθμό αυτό, ο έλεγχος AD την κατατάσσει στην 35^η θέση ενώ ο X^2 την θεωρεί ακατάλληλη. Γενικότερα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.6, και οι δύο μελετώμενες κατανομές βρίσκονται ψηλά στην κατάταξη ικανότητας περιγραφής των ακραίων βροχοπτώσεων, με την GPD κατανομή ωστόσο να παρουσιάζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

Πίνακας 4.5. Η κατάταξη των κατανομών GEV και GPD, για την παράμετρο των ελάχιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, σύμφωνα με τους τρεις στατιστικούς ελέγχους καλής προσαρμογής (AD, KS, X^2). Ο συμβολισμός R συμβολίζει την απόρριψη της κατανομής, σύμφωνα με τον εκάστοτε έλεγχο.

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΑΣΙΑ						
	GEV			GPD		
Σταθμοί	KS	AD	X^2	KS	AD	X^2
MALA	3	45	R	5	24	R
BARC	6	7	6	3	1	10
NICE	7	30	R	3	5	R
CAGL	1	1	3	3	21	R
BAST	7	1	9	2	2	R
VERO	7	26	R	1	1	3
GOSP	17	18	17	1	22	R
SPLI	8	14	13	1	1	3
ATHE	2	29	R	1	3	R
THES	6	4	5	8	17	R
MEAN	11			6		

Κλείνοντας τη διαδικασία της αξιολόγησης των κατανομών, φαίνεται ότι τόσο η GEV κατανομή όσο και η GPD αποτελούν δύο κατανομές ικανές να περιγράψουν τις ακραίες τιμές των κλιματικών παραμέτρων που μελετώνται με μεγάλη ακρίβεια. Επιπρόσθετα, σε όλες τις παραμέτρους που μελετήθηκαν, η GPD κατανομή καταλαμβάνει υψηλότερη θέση στην κατάταξη των 50 ελεγχόμενων κατανομών. Πιο συγκεκριμένα, η GPD κατανομή βρίσκεται κατά μέσο όρο στην 5^η θέση της κατάταξης σε αντίθεση με την GEV που είναι πέντε θέσεις χαμηλότερα. Αυτό, αποδεικνύει ότι η GPD κατανομή μπορεί να θεωρηθεί καταλληλότερη από την GEV, για την περιγραφή των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει ότι η GEV κατανομή πρέπει να απορριφθεί από την συνέχεια της μελέτης ως ακατάλληλη.

Πίνακας 4.6. Η κατάταξη των κατανομών GEV και GPD, για την παράμετρο των ακραίων βροχοπτώσεων, σύμφωνα με τους τρεις στατιστικούς ελέγχους καλής προσαρμογής (AD, KS, X^2). Ο συμβολισμός R συμβολίζει την απόρριψη της κατανομής, σύμφωνα με τον εκάστοτε έλεγχο.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ						
	GEV			GPD		
Σταθμοί	KS	AD	X^2	KS	AD	X^2
MALA	4	4	12	3	2	2
BARC	7	5	10	2	1	3
NICE	15	4	21	1	1	1
CAGL	16	9	17	1	1	2
BAST	8	6	9	1	1	1
VERO	4	19	23	13	45	R
GOSP	8	4	15	1	1	2
SPLI	16	8	8	1	35	R
ATHE	20	11	36	3	2	1
THES	17	5	13	1	1	5
MEAN	12			5		

4.3.3 3η Αξιολόγηση – Διαγράμματα Ποσοστημορίων (QQ plots)

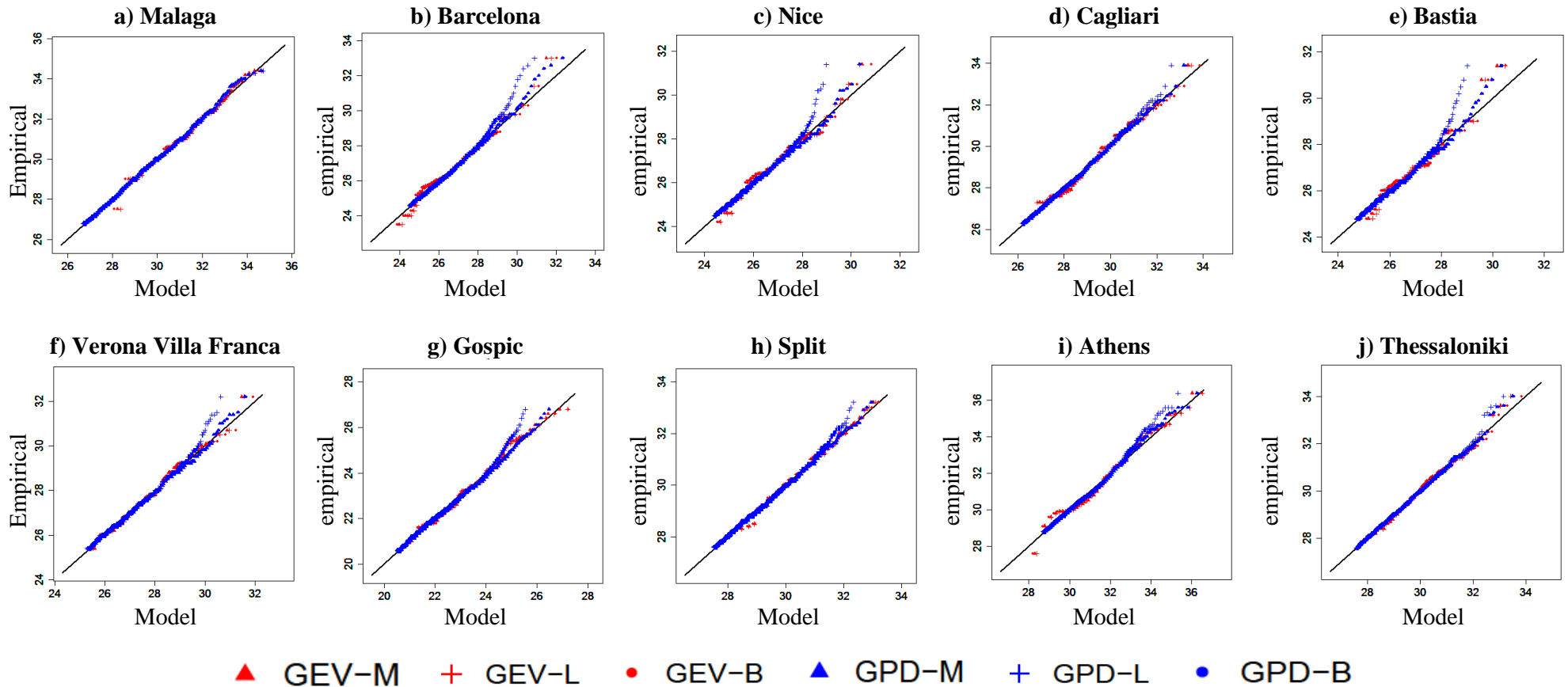
Οι κατανομές GEV και GPD ελέγχθηκαν (4.3.1. – 4.3.2.) και κρίθηκαν ικανές να περιγράψουν με μεγάλη ακρίβεια την συμπεριφορά των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου. Εκτός από την επιλογή της κατάλληλης κατανομής, σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια με την οποία μπορούν να προσεγγιστούν τα ακραία κλιματικά φαινόμενα της περιοχής έχει και η μέθοδος υπολογισμού των κρίσιμων παραμέτρων της εκάστοτε κατανομής. Στο μέρος αυτό, αξιολογούνται τρεις συνήθεις μέθοδοι, με τις οποίες υπολογίζονται οι τιμές των παραμέτρων των μελετώμενων κατανομών: η μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Estimation - MLE), η Μέθοδος των L-Ροπών (L-Moments Method) και η Μπευζιανή μέθοδος (Bayesian method). Η σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με διαγράμματα ποσοστημορίων (Quantile-Quantile plots - QQ plots). Στα Σχήματα 4.7, 4.8 και 4.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κατανομών GEV και GPD, των οποίων οι παράμετροι έχουν υπολογιστεί με τις τρεις μελετώμενες μεθόδους: MLE, L-moments, Bayesian. Για την ευκολία των αναλύσεων τα συγκρινόμενα σύνολα περιγράφονται με τις εξής ονομασίες: GEV-M, GEV-L, GEV-B, GPD-M, GPD-L, GPD-B, στις οποίες δηλώνεται η κατανομή (GEV η GPD) και η τεχνική υπολογισμού των παραμέτρων της με το δεύτερο συνθετικό (M-MLE, L-Lmoments, B-Bayesian). Η κάθε κατανομή αποτυπώνεται στα διαγράμματα με διαφορετικό χρώμα (GEV - μπλε και GPD – κόκκινο) και η κάθε μέθοδος υπολογισμού παραμέτρων με διαφορετικό σχήμα (MLE- τρίγωνο, L-moments-σταυρός and Bayesian-κύκλος).

Στο Σχήμα 4.7, παρουσιάζονται τα διαγράμματα ποσοστημορίων για τις μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα γραφήματα όλων των σταθμών είναι ότι οι μεσαίες τιμές των διαγραμμάτων προσεγγίζονται με μεγάλη ακρίβεια και από τις δύο κατανομές με όλες τις τεχνικές υπολογισμού των παραμέτρων τους. Αντίθετα, όσον αφορά στις χαμηλότερες τιμές των διαγραμμάτων – κάτω ουρά, παρατηρείται μικρή απόκλιση σε πέντε από τους δέκα σταθμούς (Barcelona, Nice, Cagliari, Bastia and Athens) για τις καμπύλες GEV-M, GEV-L ή GEV-B. Η κατανομή GPD φαίνεται ικανή να μπορεί να περιγράψει με μεγάλη ακρίβεια τις αντίστοιχες τιμές (κάτω ουρά) σε όλους τους σταθμούς μελέτης, ανεξάρτητα



από τη μέθοδο υπολογισμού των παραμέτρων της. Μελετώντας τις πιο ακραίες τιμές των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών – άνω ουρά, το Σχήμα 4.7 δείχνει ότι σε όλους σχεδόν τους σταθμούς με εξαίρεση αυτόν της Malaga, οι μελετώμενες κατανομές αποκλίνουν από τη γραμμή της διαγωνίου. Στους σταθμούς Barcelona, Nice, Bastia και Verona-Villa Franca, οι καμπύλες τόσο της GPD κατανομής όσο και της GEV αποκλίνουν σημαντικά από τη γραμμή της διαγωνίου, ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι σε όλους αυτούς τους σταθμούς η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται για την GPD-L κατανομή. Συνοψίζοντας, τα γραφήματα του Σχήματος 4.7 δείχνουν ότι η GPD-L μέθοδος είναι η λιγότερο κατάλληλη για την περιγραφή των πιο υψηλών μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Η GPD-M μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας, ενώ η GPD-B είναι πιο κατάλληλη για την περιγραφή των μεγαλύτερων ακραίων τιμών-άνω ουρά του διαγράμματος. Τέλος, η GEV κατανομή παρεκκλίνει από τη διαγώνιο σε αρκετούς σταθμούς, ωστόσο η GEV-B, είναι ικανή να προσεγγίσει τις πιο ακραία υψηλές θερμοκρασίες, με την ίδια ακρίβεια που το κάνει η GPD-M.

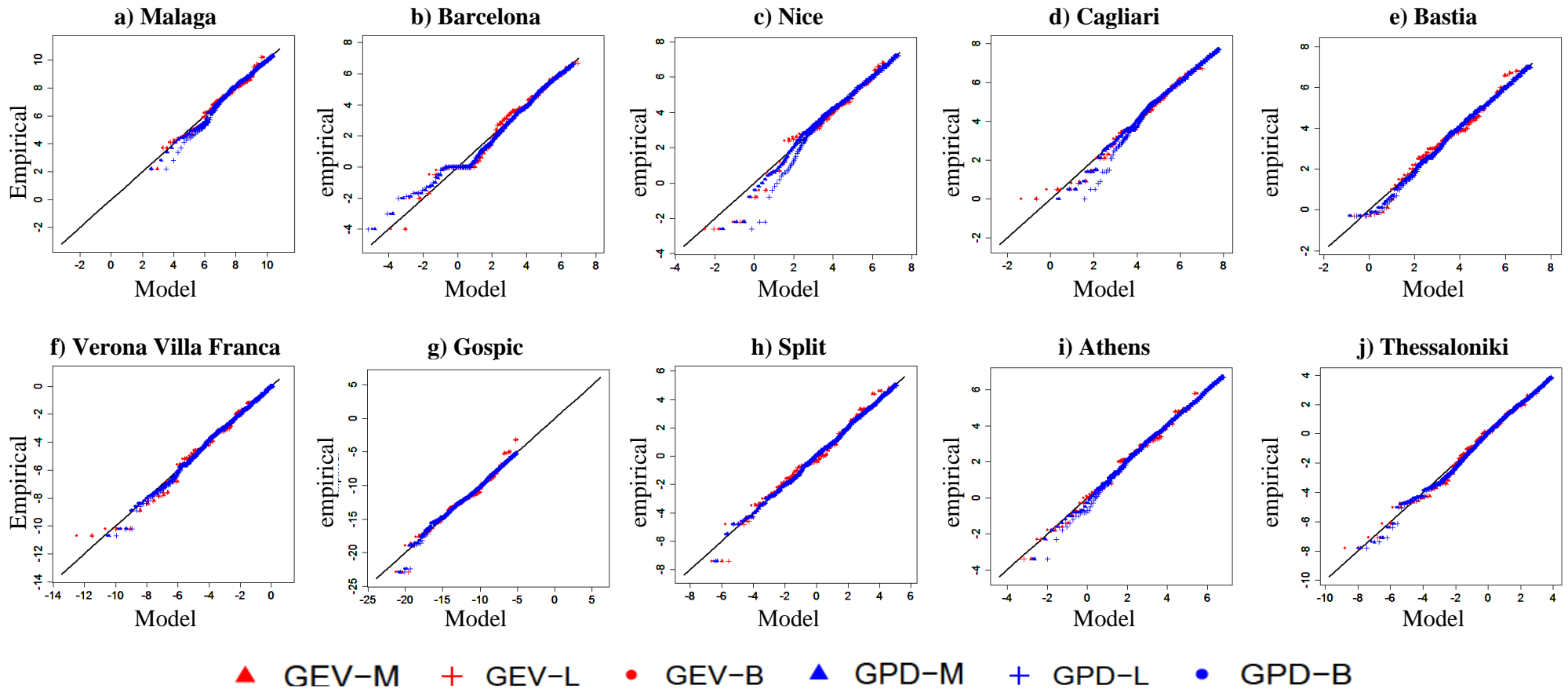
ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ QQ



Σχήμα 4.7. Διαγράμματα ποσοστημορίων (QQ plots) για την παράμετρο των μέγιστων κατά μήνα μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών και για τους 10 μελετώμενους σταθμούς με χρονοσειρά 60 ετών (1955-2010). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η GEV κατανομή και με μπλε η GPD. Οι διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης των κρίσιμων παραμέτρων περιγράφονται με διαφορετικά σχήδα (MLE-τρίγωνο, L-moments-σταυρός, Bayesian-κύκλος).

Το Σχήμα 4.8, παρουσιάζει τα διαγράμματα ποσοστημορίων για τις ακραία ελάχιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών της περιόδου 1951-2010, στους δέκα σταθμούς μελέτης. Όπως φαίνεται από τα γραφήματα του Σχήματος 4.8, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις των μελετώμενων καμπυλών από τη γραμμή της διαγωνίου, παρατηρούνται στο κάτω μέρος των διαγραμμάτων. Γενικότερα, τα γραφήματα των ελάχιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με τα αντίστοιχα των μεγίστων (Σχήμα 4.7). Ωστόσο, στην παράμετρο αυτή τα σχόλια επικεντρώνονται κυρίως στην κάτω ουρά των καμπυλών. Πιο συγκεκριμένα, στο μέσο και άνω τμήμα των διαγραμμάτων, τα σημεία της GPD κατανομής, βρίσκονται πολύ κοντά στη διαγώνιο, ανεξάρτητα από τη μέθοδο εκτίμησης. Αντίθετα, στα τμήματα αυτά παρατηρείται μια ελαφριά απόκλιση σε αρκετούς σταθμούς από την καμπύλη της GEV κατανομής (MLE, L-moments, Bayesian). Παρατηρώντας τις χαμηλότερες τιμές των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών, φαίνεται ότι η GPD-L είναι η μέθοδος με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις, ενώ η GPD-M αυτή με τις μικρότερες. Αξιοσημείωτο και στα διαγράμματα της παραμέτρου αυτής, είναι ότι η GEV-B, είναι ικανή να προσεγγίσει σε μεγάλο βαθμό τις πιο ακραίες ελάχιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Συνοψίζοντας, τα διαγράμματα ποσοστημορίων των ακραίων ελάχιστων θερμοκρασιών, παρουσιάζουν ομοιότητες με τα αντίστοιχα των ακραίων μεγίστων. Η κατανομή GEV αποκλίνει από τη γραμμή της διαγωνίου στο πάνω και μέσο τμήμα των διαγραμμάτων, ενώ η GEV-B προσεγγίζει ικανοποιητικά το χαμηλότερο τμήμα αυτών. Οι μέθοδοι GPD-M, GPD-L και GPD-B είναι ικανές να περιγράψουν τις μεγαλύτερες και μέσες ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες, ενώ για τις χαμηλότερες τιμές, η GPD-L είναι η λιγότερο κατάλληλη κατανομή.

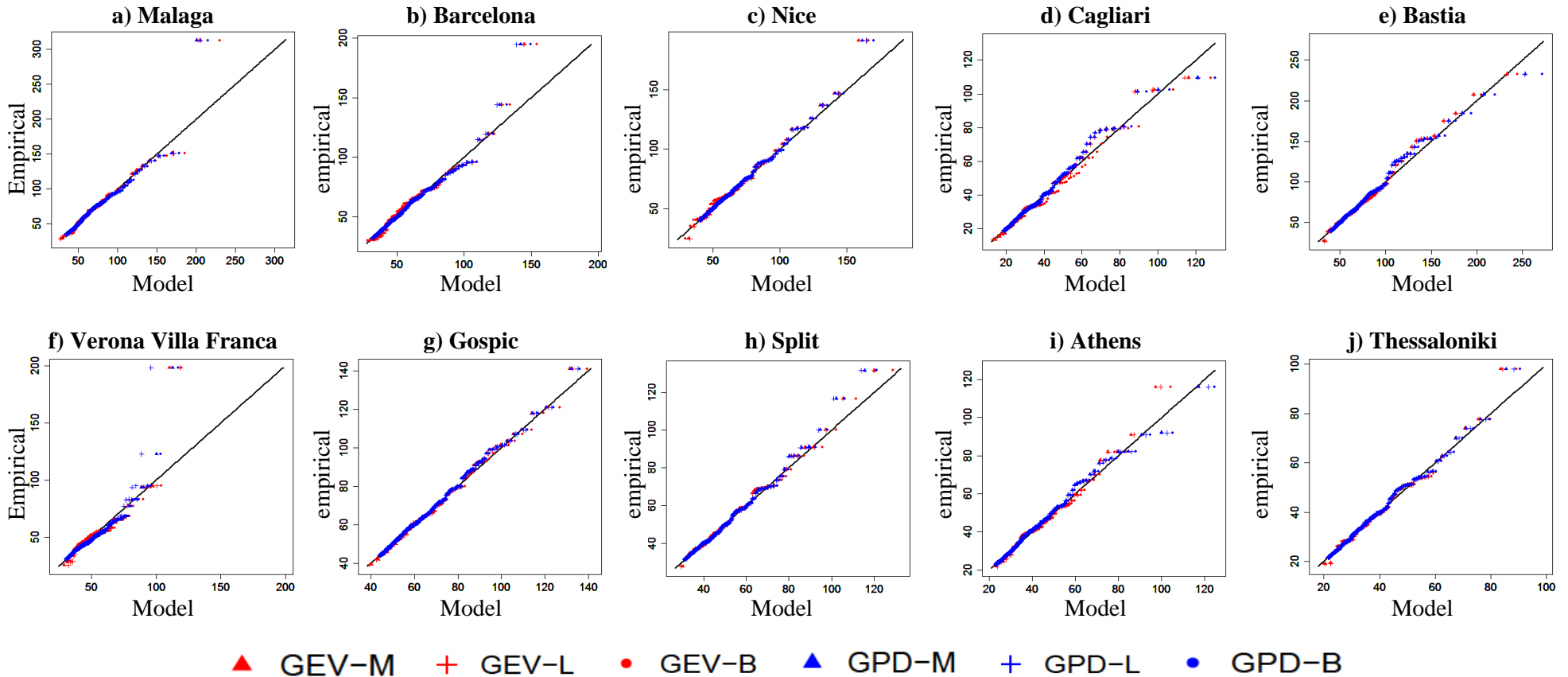
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ QQ



Σχήμα 4.8. Διαγράμματα ποσοστημορίων (QQ plots) για την παράμετρο των ελαχίστων κατά μήνα μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών και για τους 10 μελετώμενους σταθμούς με χρονοσειρά 60 ετών (1955-2010). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η GEV κατανομή και με μπλε η GPD. Οι διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης των κρίσιμων παραμέτρων περιγράφονται με διαφορετικά σχέδια (MLE-τρίγωνο, L-moments-σταυρός, Bayesian-κύκλος).

Στο Σχήμα 4.9, παρουσιάζονται τα διαγράμματα ποσοστημορίων για την αξιολόγηση των κατανομών GEV-M, GEV-L, GEV-B, GPD-M, GPD-L και GPD-B σχετικά με την ικανότητά τους να προσεγγίσουν τις τιμές των ακραίων. Τα γραφήματα του Σχήματος 4.9 αποκαλύπτουν ότι τόσο η GEV όσο και η GPD κατανομή, και με τις τρεις μεθόδους εκτίμησης των παραμέτρων τους, μπορούν να περιγράψουν ικανοποιητικά τα ακραία επεισόδια βροχής, σε όλους σχεδόν τους σταθμούς. Στη κάτω ουρά και μέσο τμήμα των διαγραμμάτων, η GEV κατανομή αποκλίνει ελαφρώς από τη διαγώνιο σε τέσσερις από τους δέκα μελετώμενους σταθμούς (Nice, Bastia, Gospic, Split), ανεξάρτητα από τη μέθοδο εκτίμησης που χρησιμοποιείται. Αντίθετα, η GPD κατανομή, αποκλίνει από τη διαγώνιο στο κάτω και μέσο τμήμα του διαγράμματος, μόνο σε έναν σταθμό (Verona-Villa-Franca). Όσον αφορά στις μεγαλύτερες τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων, παρατηρείται σημαντική απόκλιση από τη γραμμή της διαγωνίου, σε όλους σχεδόν τους σταθμούς και από όλες τις μεθόδους. Η μικρότερη απόκλιση εντοπίζεται στους σταθμούς Gospic και Thessaloniki ενώ η μεγαλύτερη στους σταθμούς Barcelona, Cagliari, Verona Villa Franca και Malaga. Ένα ακόμα αξιοσημείωτο συμπέρασμα που προκύπτει από το Σχήμα 4.9, είναι ότι είναι ότι η GEV-B καμπύλη προσεγγίζει ικανοποιητικά τις υψηλότερες τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων σε αρκετούς σταθμούς (Malaga, Barcelona, Nice, Bastia and Split), παρά το γεγονός ότι παρουσιάζει μικρή απόκλιση από την διαγώνιο στο κάτω και μέσο τμήμα των διαγραμμάτων. Γενικότερα, στην πλειονότητα των σταθμών, οι GPD-M, GPD-L, GPD-B χαρακτηρίζουν σχεδόν τέλεια τα ακραία δεδομένα βροχής, κυρίως στο κάτω και το μέσο τμήμα του διαγράμματος. Αντίθετα στις καμπύλες των κατανομών GEV-M, GEV-L, GEV-B παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις από την διαγώνιο, στις μικρές και μέσες ακραίες τιμές των γραφημάτων. Όσον αφορά τις μεγαλύτερες ακραίες τιμές - άνω τμήμα διαγράμματος, οι κατανομές GEV-B και GPD-B κρίνονται ως οι καταλληλότερες, κυρίως λόγω του ότι οι τελικές εκτιμήσεις της Bayesian μεθόδου δεν επηρεάζονται από τις απαραίτητες αρχικές υποθέσεις.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ QQ



Σχήμα 4.9. Διαγράμματα ποσοστημορίων (QQ plots) για την παράμετρο των ακραίων βροχοπτώσεων και για τους 10 μελετώμενους σταθμούς με χρονοσειρά 60 ετών (1955-2010). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η GEV κατανομή και με μπλε η GPD. Οι διαφορετικές μέθοδοι εκτίμησης των κρίσιμων παραμέτρων περιγράφονται με διαφορετικά σχέδια (MLE-τρίγωνο, L-moments-σταυρός, Bayesian-κύκλος).

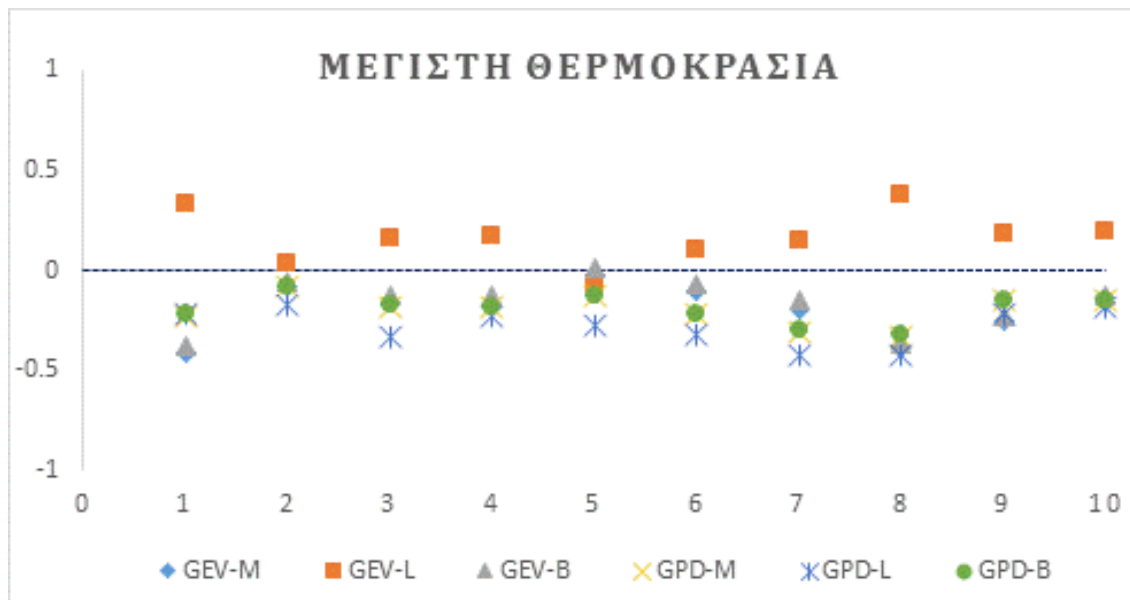
4.3.4. 4η Αξιολόγηση – Διάγραμμα Παραμέτρου Σχήματος (Shape diagram)

Στα Σχήματα 4.10, 4.11 και 4.12 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου σχήματος των GEV και GPD κατανομών για τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των υπό μελέτης σταθμών. Τα διαγράμματα αυτά, αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο, για την αποδοχή ή την απόρριψη των μελετώμενων κατανομών που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του εκάστοτε συνόλου ακραίων τιμών. Αναλυτικότερα, η παράμετρος σχήματος η οποία συνήθως συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα (ξ) δίνει σημαντικές πληροφορίες για το πάχος που έχει η ουρά της κατανομής. Όταν η τιμή της παραμέτρου αυτής λαμβάνει μεγάλες τιμές τότε γίνεται αντιληπτό ότι η ουρά της περιγραφόμενης κατανομής είναι βαριά και συνεπώς υπάρχουν αυξημένες πιθανότητες να επιτευχθούν οι ακραίες τιμές. Αντίθετα, οι πιθανότητες αυτές, είναι λιγότερες σε μία κατανομή με λεπτή ουρά όπου το μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων είναι συγκεντρωμένες στο μέσο κομμάτι της κατανομής.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της σημασίας της παραμέτρου σχήματος δίνεται από την Weibull κατανομή, η οποία αποτελεί την κατανομή που περιγράφεται από την GEV κατανομή, όταν η παράμετρος σχήματός της είναι αρνητική. Η Weibull, αποτελεί μια κατανομή άνω φραγμένη, γεγονός που την καθιστά μη κατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων. Αντίστοιχα και στην GPD, η αρνητική παράμετρος σχήματος περιγράφει σύνολα με ελαφριά ουρά, κάτι που δεν αντιπροσωπεύει τα ακραία επεισόδια βροχοπτώσεων. Συνεπώς, οι κατανομές με αρνητική παράμετρο σχήματος θα πρέπει να θεωρηθούν μη κατάλληλες για την περιγραφή ακραίων βροχοπτώσεων καθώς περιγράφουν κατανομές με ελαφριά ουρά. Αντίθετα, μια κατανομή με βαριά ουρά στην οποία οι υψηλότερες τιμές των μεγίστων παρατηρούνται με μεγαλύτερη συχνότητα, θεωρούνται μη κατάλληλες για την περιγραφή των ακραίων μεγίστων και ελάχιστων θερμοκρασιών. Συνεπώς, για την περιγραφή των ακραίων μεγίστων και ελάχιστων θερμοκρασιών καταλληλότερες θεωρούνται οι κατανομές με ελαφριά ουρά – των οποίων η παράμετρος σχήματος είναι αρνητική.

Στο Σχήμα 4.10, παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου σχήματος για τις ακραίες μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Όπως γίνεται αντιληπτό από το διάγραμμα, όλες οι κατανομές παρουσιάζουν αρνητικές τιμές για την παράμετρο

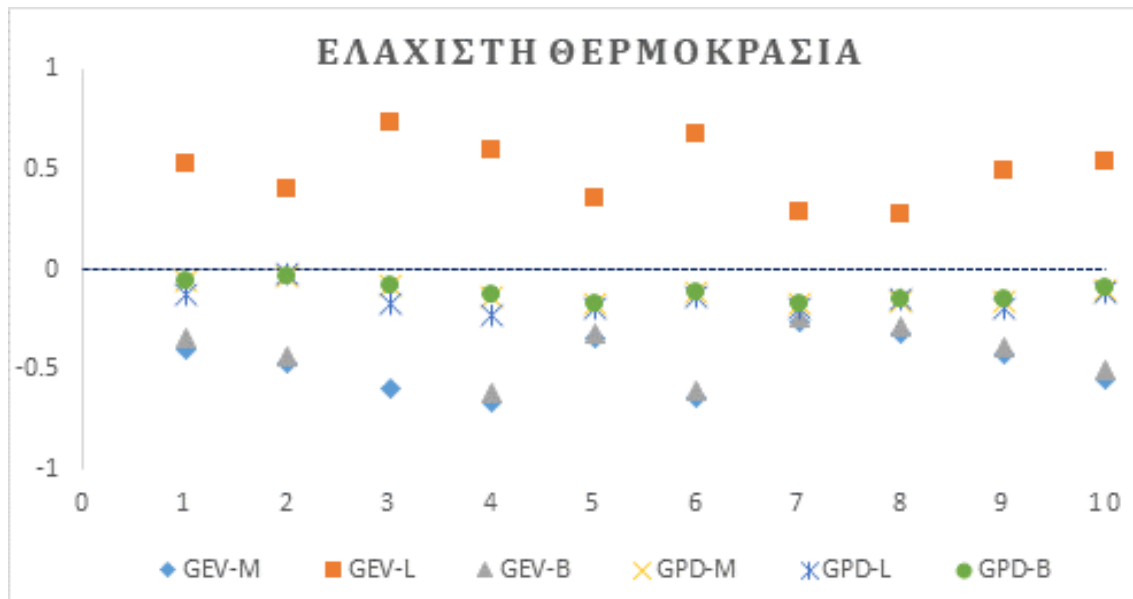
σχήματος, με εξαίρεση την GEV-L η οποία σε όλους σχεδόν τους σταθμούς έχει θετική τιμή (εκτός από το σταθμό Cagliari). Κατά συνέπεια, η κατανομή αυτή κρίνεται ως ακατάλληλη για την προσέγγιση των ακραίων θερμοκρασιών, σε εννέα από τους δέκα σταθμούς της μελέτης, καθώς οι θετικές τιμές της υποδηλώνουν κατανομές με βαριά ουρά. Αντίθετα, οι υπόλοιπες πέντε κατανομές που αξιολογούνται παρουσιάζουν αρνητικές τιμές παραμέτρου σχήματος, περιγράφοντας κατανομές με λεπτή ουρά, οι οποίες θεωρούνται κατάλληλες για την παράμετρο της θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, σε όλους σχεδόν τους σταθμούς (εκτός από το σταθμό Malaga), η χαμηλότερη τιμή της παραμέτρου υπολογίζεται από την GPD-L κατανομή, ενώ οι τιμές των άλλων καμπυλών στην πλειοψηφία των σταθμών συμπίπτουν.



Σχήμα 4.10. Οι τιμές της παραμέτρου σχήματος για τις μέγιστες κατά μήνα μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες. Κάθε κατανομή-μέθοδος εκτίμησης απεικονίζεται με διαφορετικό σχήμα. Οι αριθμοί στον άξονα χ, αναπαριστούν τους 10 μελετώμενους σταθμούς, από τα δυτικά προς τα ανατολικά (1: Malaga, 2: Barcelona, 3: Nice, 4: Bastia, 5: Cagliari, 6: Verona Villa Franca, 7: Gospic, 8: Split Marjan, 9: Athens, 10: Thessaloniki)

Σημαντικές ομοιότητες με τη μορφή του διαγράμματος των μέγιστων θερμοκρασιών, παρουσιάζει και το διάγραμμα της παραμέτρου σχήματος για τις ακραίες χαμηλές τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών (Σχήμα 4.11). Αναλυτικότερα, όπως και στο Σχήμα

4.10, η κατανομή GEV-L αποτελεί την μοναδική με θετικές τιμές παραμέτρου σχήματος, περιγράφοντας εσφαλμένα μία κατανομή με βαριά ουρά που δεν είναι κατάλληλη για τις ακραίες θερμοκρασίες. Επιπρόσθετα, για την παράμετρο των ελάχιστων θερμοκρασιών, οι μικρότερες τιμές παραμέτρου σχήματος παρατηρούνται στις κατανομές GEV-M και GEV-B με την τελευταία μάλιστα να παρουσιάζει σχεδόν διπλάσια αρνητική τιμή στο σταθμό Nice. Οι υπόλοιπες καμπύλες (GPD κατανομής) έχουν ελαφρώς υψηλότερη τιμή, ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι σε αρκετούς σταθμούς η τιμή αυτή βρίσκεται πολύ κοντά στο μηδέν ή είναι ίση με μηδέν. Σε περίπτωση που η τιμή είναι ίση με μηδέν η μελετώμενη καμπύλη είναι η ίδια με αυτήν της εκθετικής κατανομής.

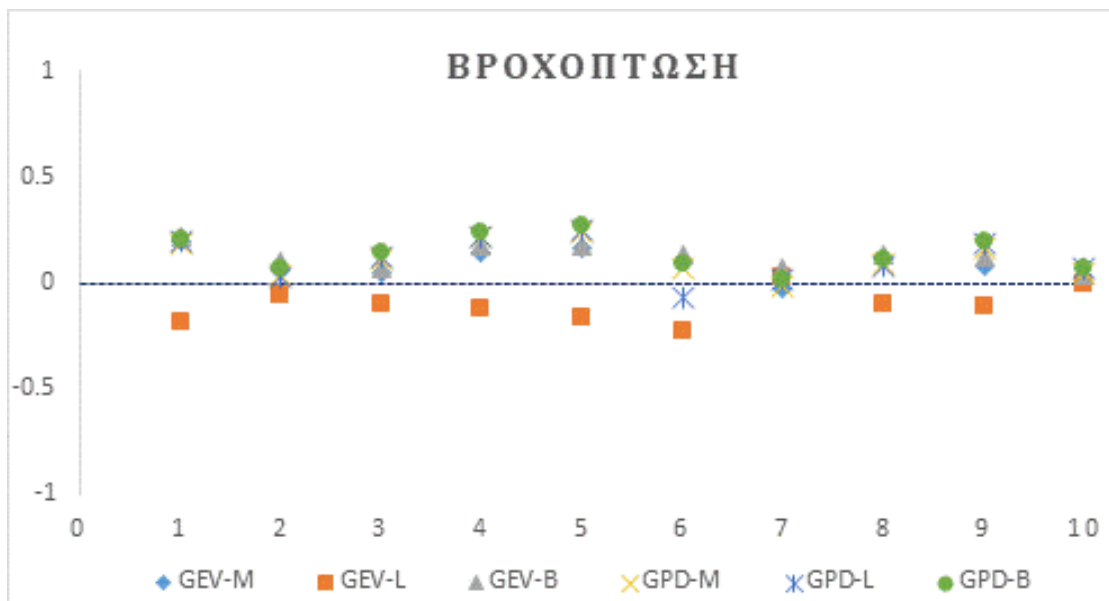


Σχήμα 4.11. Οι τιμές της παραμέτρου σχήματος για τις ελάχιστες κατά μήνα μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες. Κάθε κατανομή-μέθοδος εκτίμησης απεικονίζεται με διαφορετικό σχήμα. Οι αριθμοί στον άξονα χ, αναπαριστούν τους 10 μελετώμενους σταθμούς, από τα δυτικά προς τα ανατολικά (1: Malaga, 2: Barcelona, 3: Nice, 4: Bastia, 5: Cagliari, 6: Verona Villa Franca, 7: Gospic, 8: Split Marjan, 9: Athens, 10: Thessaloniki)

Στο Σχήμα 4.12, παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου σχήματος για την παράμετρο της βροχόπτωσης. Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, η περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων μπορεί να επιτευχθεί από κατανομές με βαριά ουρά δηλαδή με θετική παράμετρο σχήματος. Συνεπώς, η GEV-L κρίνεται ως ακατάλληλη για την περιγραφή των μελετώμενων τιμών σε όλους σχεδόν τους σταθμούς (εξαιρέση αποτελούν οι σταθμοί

Gospic και Thessaloniki). Ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και για την κατανομή GPD-L, για το σταθμό Verona Villa Franca, καθώς και για τις κατανομές GEV-M και GPD-M για το σταθμό Gospic. Όσον αφορά τις άλλες κατανομές, οι θετικές τους τιμές τις καθιστούν ικανές να περιγράψουν τις ακραίες βροχοπτώσεις στους άλλους σταθμούς. Για την παράμετρο αυτή, δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με το ποια κατανομή δίνει τις υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές, καθώς αυτό μεταβάλλεται από σταθμό σε σταθμό.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα όλων των διαγραμμάτων, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η GEV κατανομή είναι ακατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, όταν οι παράμετροί της έχουν υπολογιστεί με την τεχνική L-moments. Για τις υπόλοιπες κατανομές δεν μπορεί να προκύψει κάποιο γενικό συμπέρασμα καθώς όλες θεωρούνται ικανές να περιγράψουν τα μελετώμενα σύνολα. Οι διάφορες εξαιρέσεις που παρατηρούνται για συγκεκριμένους σταθμούς και κατανομές, δεν είναι ικανές να οδηγήσουν στη γενική απόρριψη μιας καμπύλης.



Σχήμα 4.12. Οι τιμές της παραμέτρου σχήματος για τις ακραίες βροχοπτώσεις. Κάθε κατανομή-μέθοδος εκτίμησης απεικονίζεται με διαφορετικό σχήμα. Οι αριθμοί στον άξονα x , αναπαριστούν τους 10 μελετώμενους σταθμούς, από τα δυτικά προς τα ανατολικά (1: Malaga, 2: Barcelona, 3: Nice, 4: Bastia, 5: Cagliari, 6: Verona Villa Franca, 7: Gospic, 8: Split Marjan, 9: Athens, 10: Thessaloniki)

4.4 ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα μελέτης στην επιστήμη της κλιματολογίας είναι η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των ακραίων επεισοδίων σε μελλοντικές περιόδους. Τα επίπεδα επανάληψης αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την εκτίμηση των μελλοντικών ρίσκων, καθώς παρέχουν πληροφορίες για τις πιθανές τιμές που ενδέχεται να ξεπεραστούν τουλάχιστον μία φορά μέσα σε μια προκαθορισμένη μελλοντική περίοδο – την περίοδο επαναφοράς. Στην παρούσα διατριβή, υπολογίζονται τα επίπεδα επανάληψης των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων για τους δέκα υπό εξέταση σταθμούς, για τρεις χρονικές περιόδους: 50, 150 και 300 έτη.

4.4.1 Ομαδοποίηση των σταθμών σύμφωνα με τα επίπεδα επανάληψης

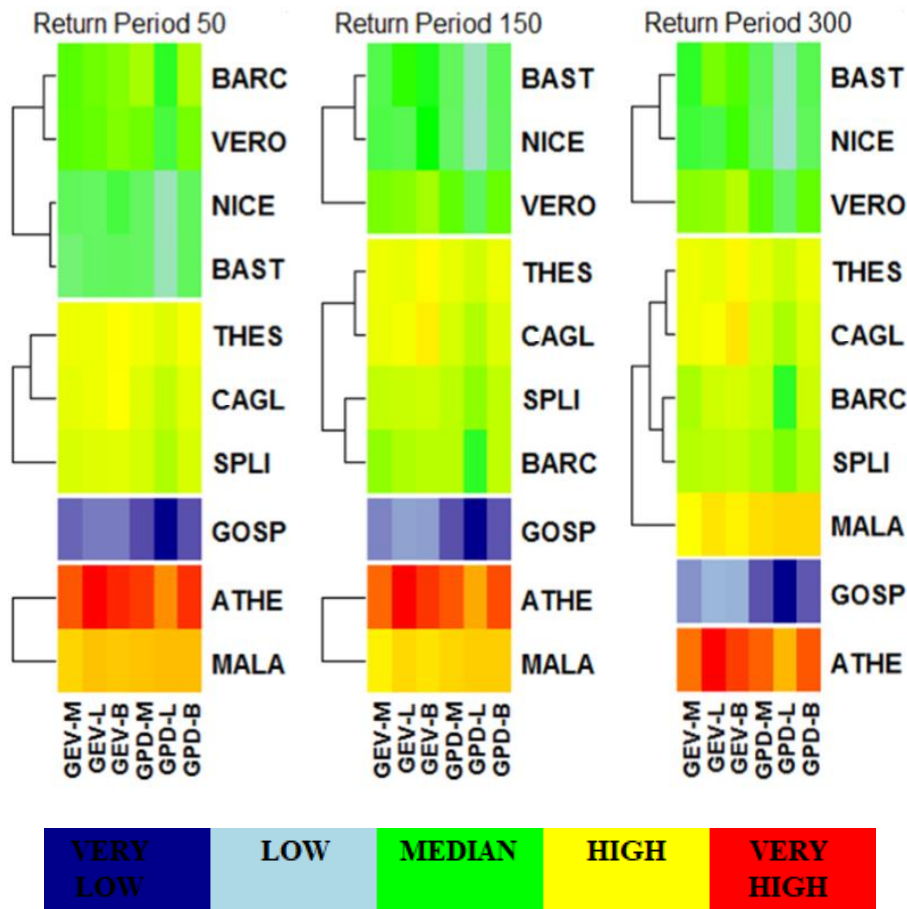
Χρησιμοποιώντας τις τιμές των επιπέδων επανάληψης για τις τρεις μελλοντικές μελετώμενες περιόδους (50, 150 και 300 έτη), πραγματοποιείται ταξινόμηση των σταθμών σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά σύμφωνα με την Ευκλείδεια μέθοδο ταξινόμησης. Από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης προκύπτουν σημαντικές πληροφορίες για την εκτιμώμενη αλλαγή συμπεριφοράς των ακραίων στους σταθμούς μελέτης..

Τα Σχήματα 4.13, 4.14 και 4.15, παρουσιάζουν την ομαδοποίηση των δέκα σταθμών, ανάλογα με τα εκτιμώμενα χαρακτηριστικά των ακραίων θερμοκρασιών (μέγιστων και ελάχιστων) και βροχοπτώσεων, κατά τη διάρκεια τριών μελλοντικών περιόδων (50, 150 και 300 έτη). Η ομαδοποίηση έγινε με τη χρήση των χαρτών θερμικής ανάλυσης (heatmaps) οι οποίοι αποτελούν μία κατηγορία cluster ανάλυσης στην οποία οι τιμές των δεδομένων αναπαρίστανται με χρώματα. Τα διαγράμματα heatmaps αποτελούν ένα εργαλείο cluster ανάλυσης. Ο υπολογισμός των επιπέδων επανάληψης γίνεται για όλες τις μελετώμενες κατανομές, οι οποίες παρουσιάζονται στον άξονα x των γραφημάτων. Το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στις πολύ χαμηλές τιμές επιπέδου επανάληψης για τις τρεις επιλεγμένες περιόδους επαναφοράς, το γαλάζιο χρώμα αντιστοιχεί στις χαμηλές τιμές επιπέδου επανάληψης, το πράσινο στις μέσες, το κίτρινο στις υψηλές τιμές και το κόκκινο χρώμα στις πολύ υψηλές τιμές.

Στο Σχήμα 4.13, παρουσιάζεται η ταξινόμηση των σταθμών σε ομάδες, ανάλογα με τις ακραίες μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για τις μελλοντικές

περιόδους των 50, 150 και 300 ετών. Σύμφωνα με το γράφημα αυτό, στην πρώτη ομάδα (μπλε χρώμα) με τα πολύ χαμηλά επίπεδα επανάληψης ανήκει ο σταθμός Gospic κατά τη διάρκεια και των τριών περιόδων μελέτης, κάτι που σημαίνει ότι στον σταθμό αυτό, οι τιμές που ενδέχεται να ξεπεραστούν μία φορά στην εκάστοτε περίοδο, είναι οι χαμηλότερες συγκριτικά με τους άλλους σταθμούς. Το αποτέλεσμα αυτό βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τα στοιχεία της κλιματικής ανάλυσης των σταθμών, σύμφωνα με τα οποία στο Gospic καταγράφονται οι χαμηλότερες μέγιστες, ελάχιστες και μέσες θερμοκρασίες της περιόδου 1951-2010.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



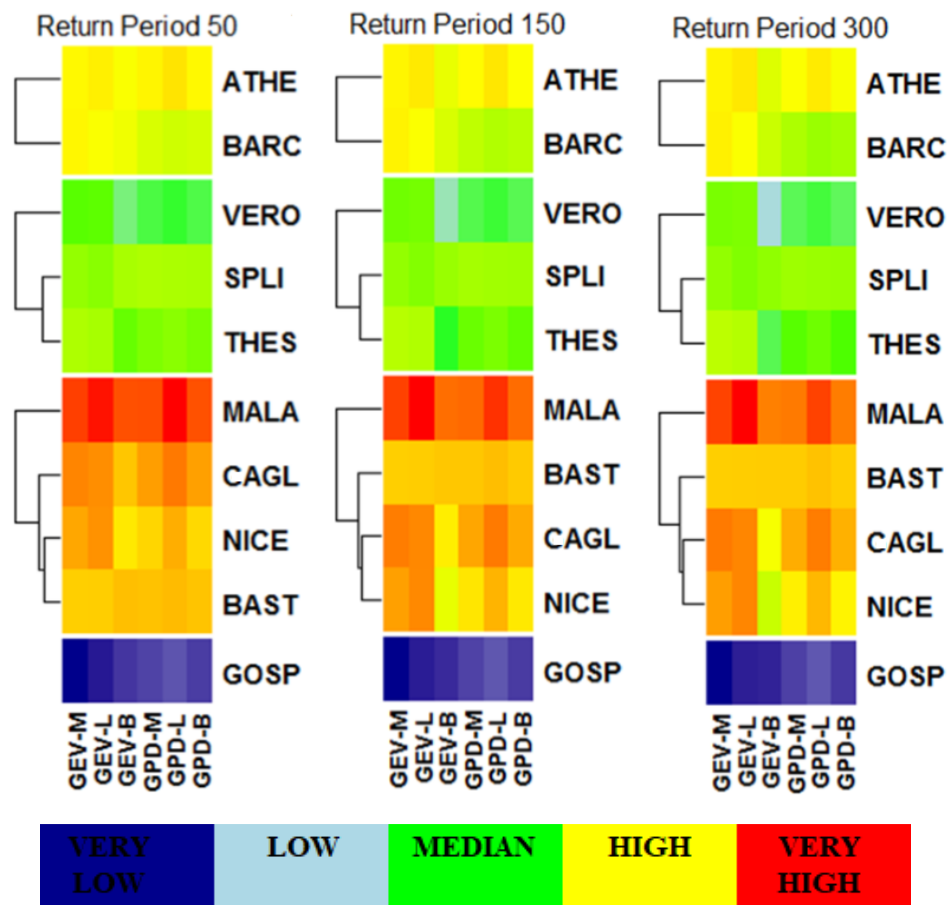
Σχήμα 4.13. Ομαδοποίηση των 10 Μεσογειακών σταθμών, με βάση τα επίπεδα επανάληψης των μέγιστων κατά μήνα μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών. Τα επίπεδα επανάληψης, υπολογίστηκαν για τρεις περιόδους επαναφοράς (50, 150 και 300 χρόνια). Στον X άξονα περιγράφονται οι έξι μέθοδοι και στον Y οι 10 σταθμοί. Με μπλε χρώμα περιγράφονται οι χαμηλότερες τιμές και με κόκκινο οι υψηλότερες.

Η κατηγορία με τις μέσες τιμές επιπέδων επανάληψης (πράσινο χρώμα), διαφοροποιείται με την αύξηση των ετών επαναφοράς. Αναλυτικότερα, ενώ στην πρώτη μελετώμενη περίοδο (50 έτη) περιλαμβάνει τους σταθμούς Barcelona, Verona-Villa Franca, Nice and Bastia, στις επόμενες δύο περιόδους, η Barcelona παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση στα επίπεδα επανάληψης των μέγιστων θερμοκρασιών της, με αποτέλεσμα να μετακινείται στην κατηγορία με τα υψηλά επίπεδα επανάληψης (κίτρινο χρώμα). Η κατηγορία των υψηλών τιμών των επιπέδων επανάληψης περιλαμβάνει τους σταθμούς Thessaloniki, Cagliari και Split για την περίοδο επαναφοράς 50 ετών, ενώ για τις περιόδους επαναφοράς 150 και 300 ετών περιλαμβάνει και τον σταθμό Barcelona. Αξιοσημείωτο επίσης είναι το γεγονός ότι η κατηγορία αυτή (κίτρινο χρώμα) είναι η πολυπληθέστερη κατά την τελευταία περίοδο των 300 ετών, καθώς πέρα από τους προαναφερόμενους σταθμούς περιλαμβάνει και τη Malaga. Τέλος στην κατηγορία με τα πολύ υψηλά επίπεδα επανάληψης των μέγιστων θερμοκρασιών (κόκκινο χρώμα) ανήκουν οι σταθμοί Malaga και Athens κατά τις περιόδους επανάληψης 50 και 150 ετών. Ωστόσο, κατά την τελευταία περίοδο επαναφοράς, η Athens έχει τις υψηλότερες θερμοκρασίες οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες της Malaga με αποτέλεσμα η κατηγορία με τις πολύ υψηλές τιμές να αποτελείται μόνο από τον σταθμό Athens. Όσον αφορά τις μελετώμενες μεθόδους, το Σχήμα 4.13 δείχνει ότι τόσο η GEV όσο και η GPD κατανομές, με όλες τις τεχνικές υπολογισμού των παραμέτρων τους, ταξινομούν τους σταθμούς με τον ίδιο τρόπο. Σε όλες σχεδόν τις περιόδους και για αρκετούς σταθμούς, η GPD-L κατανομή εκτιμά χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους.

Το Σχήμα 4.14, παρουσιάζει την κατηγοριοποίηση των δέκα Μεσογειακών σταθμών, σύμφωνα με τα επίπεδα επανάληψης των ακραίων ελαχίστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών τους. Αρχικά ένα σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα γραφήματα των τριών χρονικών περιόδων είναι ότι δεν υπάρχει καμία αλλαγή – μετακίνηση σταθμού ανάμεσα στις τέσσερις κατηγορίες. Έτσι κατά τη διάρκεια των περιόδων επανάληψης 50, 150 και 300 ετών, ο σταθμός Gospic, ανήκει και πάλι στην πρώτη κατηγορία (μπλε χρώμα) με τα χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης ελάχιστων θερμοκρασιών. Στην κατηγορία με τις μέσες τιμές επιπέδων επανάληψης (πράσινο χρώμα) εντοπίζονται οι σταθμοί Verona-Villa Franca, Split και Thessaloniki ενώ στην κατηγορία

με υψηλές τιμές επιπέδων επανάληψης (κίτρινο χρώμα) συναντώνται οι σταθμοί Athens και Barcelona. Τέλος η κατηγορία με τις πολύ υψηλές τιμές επιπέδων επανάληψης των ελάχιστων θερμοκρασιών (κόκκινο χρώμα), αποτελείται από τους σταθμούς Malaga, Cagliari, Nice και Bastia

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

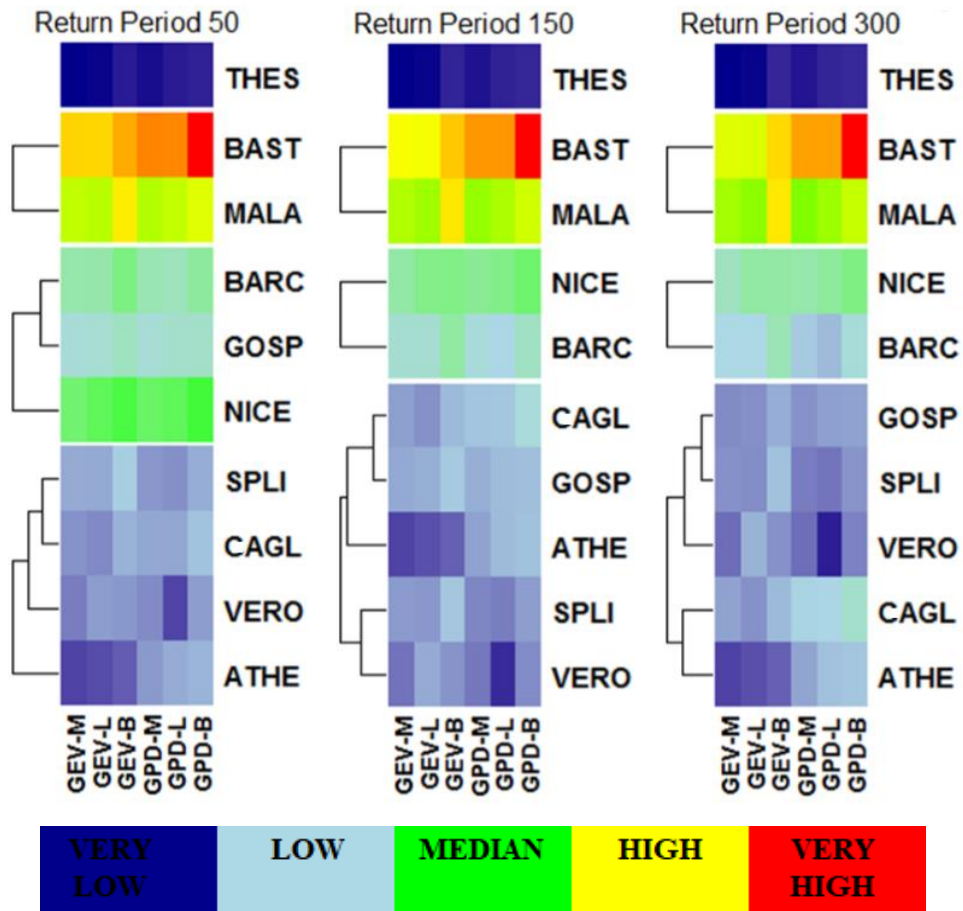


Σχήμα 4.14. Ομαδοποίηση των 10 Μεσογειακών σταθμών, με βάση τα επίπεδα επανάληψης των ελάχιστων κατά μήνα μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Τα επίπεδα επανάληψης, υπολογίστηκαν για τρεις περιόδους επαναφοράς (50, 150 και 300 χρόνια). Στον X άξονα περιγράφονται οι έξι μέθοδοι και στον Y οι 10 σταθμοί. Με μπλε χρώμα περιγράφονται οι χαμηλότερες τιμές και με κόκκινο οι υψηλότερες.

Μία σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από τη σύγκριση των γραφημάτων των επιπέδων επανάληψης των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών είναι ότι εκτός από το σταθμό Gospic ο οποίος ταξινομείται στην κατηγορία με τις χαμηλότερες τιμές και στις

δύο περιπτώσεις, όλες οι άλλες κατηγορίες περιλαμβάνουν διαφορετικούς σταθμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο σταθμός Athens, ο οποίος σύμφωνα με τα επίπεδα επανάληψης των μέγιστων θερμοκρασιών ανήκει στη κατηγορία με τις πολύ υψηλές τιμές ενώ σύμφωνα με τις ελάχιστες ταξινομείται σε αυτή των υψηλών τιμών. Επιπρόσθετα, και στην παράμετρο αυτή, ούτε η κατανομή ούτε και η μέθοδος υπολογισμού των παραμέτρων επηρέασε την κατηγοριοποίηση των σταθμών.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



Σχήμα 4.15. Ομαδοποίηση των 10 Μεσογειακών σταθμών, με βάση τα επίπεδα επανάληψης των ακραίων βροχοπτώσεων. Τα επίπεδα επανάληψης, υπολογίστηκαν για τρεις περιόδους επαναφοράς (50, 150 και 300 χρόνια). Στον X άξονα περιγράφονται οι έξι μέθοδοι και στον Y οι 10 σταθμοί. Με μπλε χρώμα περιγράφονται οι χαμηλότερες τιμές και με κόκκινο οι υψηλότερες.

Στην Σχήμα 4.15 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των επιπέδων επανάληψης για τις ακραίες βροχοπτώσεις των σταθμών που μελετώνται. Στην πρώτη κατηγορία μελέτης (μπλε χρώμα) η οποία παρουσιάζει τα χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης ανήκει μόνο ένας

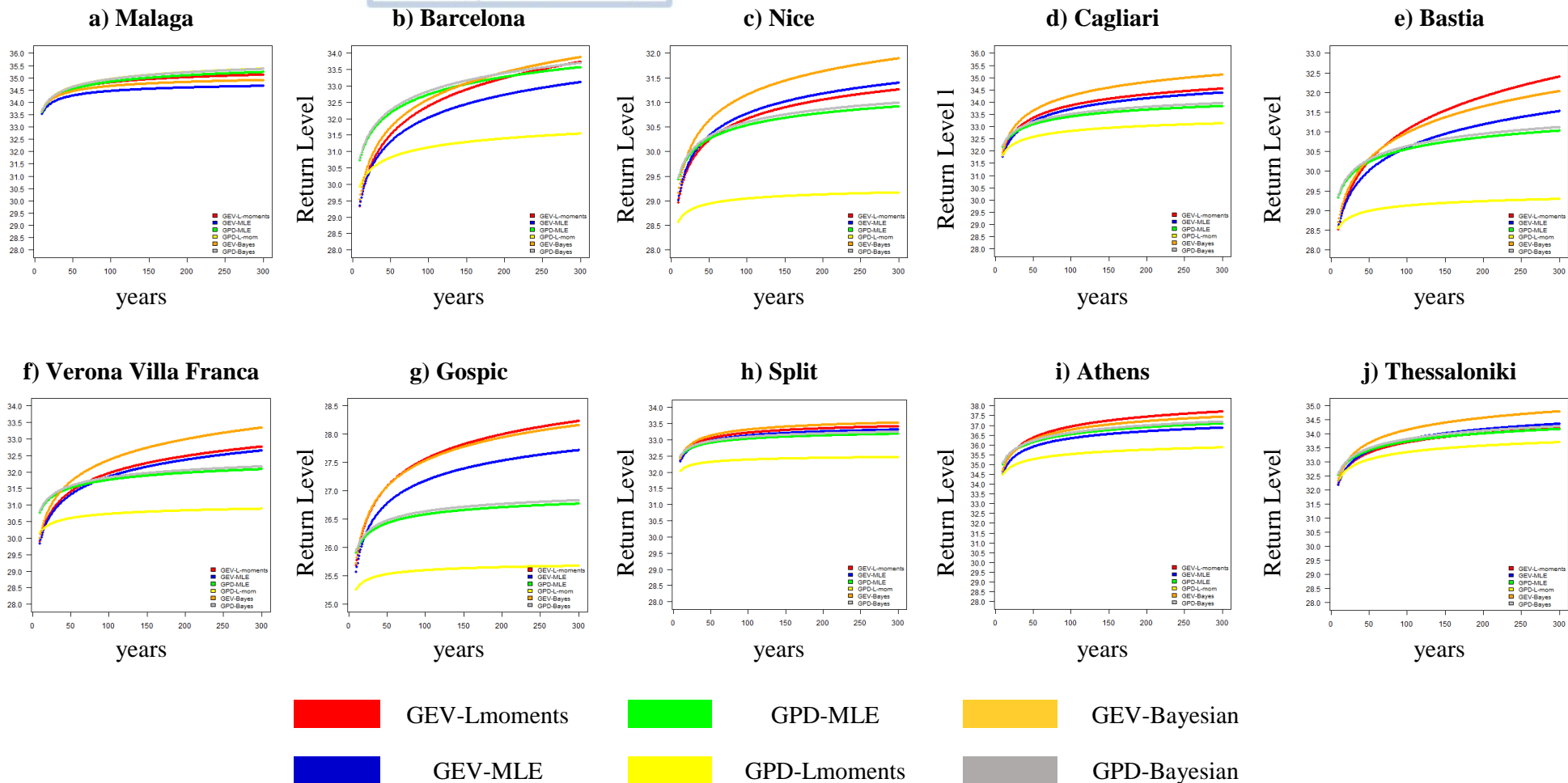
σταθμός (Thessaloniki) κατά τη διάρκεια και των τριών μελλοντικών περιόδων. Συνεπώς, οι ακραία τιμή βροχόπτωσης που ενδέχεται να ξεπεραστεί μία φορά κατά τη διάρκεια των μελετώμενων περιόδων στο σταθμό Thessaloniki, είναι σημαντικά χαμηλότερο συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές των άλλων σταθμών. Στην κατηγορία με τις χαμηλές τιμές επιπέδων επανάλιψης (γαλάζιο χρώμα) παρατηρείται μια αλλαγή κατά την διάρκεια των περιόδων 50 και 150 ετών. Πιο συγκεκριμένα, στο γράφημα της περιόδου επανάλιψης 50 ετών φαίνεται πως οι σταθμοί Split, Cagliari, Verona-Villa-Franca και Athens παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά σχετικά με τα επίπεδα επανάλιψης των ακραίων βροχοπτώσεών τους. Τις επόμενες δύο χρονικές περιόδους στην κατηγορία αυτή έχει προστεθεί και ο σταθμός Gospic, ο οποίος παρουσίασε χαμηλότερα επίπεδα επανάλιψης, συγκριτικά με αυτά των σταθμών Barcelona και Nice και μετακινήθηκε από την κατηγορία των μέσων τιμών (πράσινο χρώμα) στην κατηγορία με χαμηλές τιμές (γαλάζιο χρώμα). Συνεπώς, η κατηγορία με των μέσων τιμών (πράσινο χρώμα) αρχικά περιλαμβάνει τρεις σταθμούς ενώ κατά τις περιόδους επαναφοράς 150 και 300 ετών αποτελείται από δύο (Barcelona, Nice). Τέλος, οι περιοχές Bastia και Malaga, παρουσιάζουν τα υψηλότερα επίπεδα επανάλιψης κατά τη διάρκεια και των τριών μελλοντικών περιόδων, γεγονός που τις κατατάσσει στην κατηγορία με τις πιο υψηλές εκτιμώμενες ακραίες βροχοπτώσεις (κόκκινο χρώμα). Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από το γράφημα της βροχόπτωσης είναι ότι ο διαχωρισμός των κατηγοριών σε θέμα τιμών – χρωμάτων δεν είναι τόσο ξεκάθαρος όσο ήταν στην παράμετρο της θερμοκρασίας, καθώς οι χρωματικές διαφορές των κατηγοριών (εκτός από την πρώτη) δεν είναι μεγάλες.

4.4.2 Εκτιμώμενα επίπεδα επανάλιψης των κατανομών GEV και GPD

Οι τιμές των επιπέδων επανάλιψης που εκτιμώνται από τις κατανομές GEV και GPD (με όλες τις μεθόδους υπολογισμού των παραμέτρων τους) για τις τρεις μελετώμενες κλιματικές παραμέτρους και τους δέκα Μεσογειακούς σταθμούς παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.16, 4.17 και 4.18. Η χρονική περίοδος υπολογισμού των επιπέδων επανάλιψης των ακραίων φαινομένων ξεκινά από ένα έτος και φτάνει μέχρι 300. Επιπρόσθετα, τα διαγράμματα των σχημάτων 4.16, 4.17 και 4.18 φαίνεται πως έχουν άμεση σχέση με τα αντίστοιχα γραφήματα ομαδοποίησης των σταθμών (Σχήματα 4.13, 4.14 και 4.15)



ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ



Σχήμα 4.16 Διαγράμματα επιπέδων επανάληψης για τις μέγιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών των 10 μελετώμενων σταθμών. Η καμπύλη επαναφοράς κάθε μεθόδου αναπαρίσταται με διαφορετικό χρώμα

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.16 τα επίπεδα επανάληψης των μέγιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών που εκτιμώνται για το σταθμό της Malaga από τις δύο κατανομές (GEV και GPD) είναι σχεδόν ίσα (απόκλιση $<1^{\circ}\text{C}$) καθ' όλη την μελετώμενη περίοδο επαναφοράς, ανεξάρτητα από την μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων τους. Στο σταθμό της Barcelona, η πλειοψηφία των καμπυλών δείχνει ότι τα εκτιμώμενα επίπεδα επανάληψης για την επόμενη 300ετία θα κυμανθούν από 30°C έως 34°C . Εξαίρεση αποτελούν οι εκτιμήσεις των GEV-M και GPD-L κατανομών, οι οποίες είναι κατά 1°C και 4°C χαμηλότερες αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και από το διάγραμμα του σταθμού Nice όπου η GPD-L κατανομή εκτιμά και πάλι τα χαμηλότερα επίπεδα επαναφοράς για τις μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών (29°C για 300έτη) συγκριτικά με τις υπόλοιπες κατανομές (32°C για 300 έτη). Στο σταθμό Cagliari οι μέσες θερμοκρασίες που θα ξεπεραστούν τουλάχιστον μια φορά μέσα στα επόμενα 300 έτη θα είναι $32,5^{\circ}\text{C}$ σύμφωνα με την GPD-L κατανομή και 35°C σύμφωνα με την GEV-B. Οι εκτιμήσεις των υπόλοιπων κατανομών κυμαίνονται μέσα σε αυτά τα όρια. Στην Bastia, φαίνεται ότι όπως και στην πλειοψηφία των σταθμών μελέτης, τα χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης για όλη την περίοδο (1-300έτη) προβλέπονται από την GPD-L κατανομή ($28,5-29^{\circ}\text{C}$) ενώ από τα 100 έτη και μετά τα υψηλότερα εκτιμώνται από την GEV-L κατανομή, οι τιμές της οποίας φτάνουν τους 31 ως $32,5^{\circ}\text{C}$. Το διάγραμμα του σταθμού Verona Villa Franca φαίνεται να αποτυπώνει τη συνήθη εικόνα στην οποία οι τιμές επαναφοράς που προβλέπονται από την GPD-L κατανομή είναι οι χαμηλότερες (περίπου $30,5-^{\circ}\text{C}$), ενώ οι αντίστοιχες της GEV-B φτάνουν τους $33,5^{\circ}\text{C}$. Επιπρόσθετα αξίζει να σημειωθεί ότι ο εκτιμώμενες τιμές των GPD-M και GPD-B ($30,7-32^{\circ}\text{C}$) κατανομών και των GEV-L και GEV-M κατανομών σχεδόν ταυτίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της μελετώμενης μελλοντικής περιόδου. Στο Gospic, φαίνεται ότι οι εκτιμήσεις των διαφόρων κατανομών σχετικά με τα επίπεδα επαναφοράς των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για την περίοδο των 300ετών, δεν διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά ($>3^{\circ}\text{C}$). Για παράδειγμα, την επόμενη 100ετία η GPD-L κατανομή εκτιμά ότι το κατώφλι που θα ξεπεραστεί έστω μία φορά είναι οι $25,5^{\circ}\text{C}$. Η αντίστοιχη τιμή που προβλέπεται από τις GPD-M Και GPD-B κατανομές είναι $26,5^{\circ}\text{C}$, από την GEV-M είναι 27°C ενώ μισό βαθμό υψηλότερη είναι σύμφωνα με τις GEV-L και GEV-B κατανομές. Στο διάγραμμα

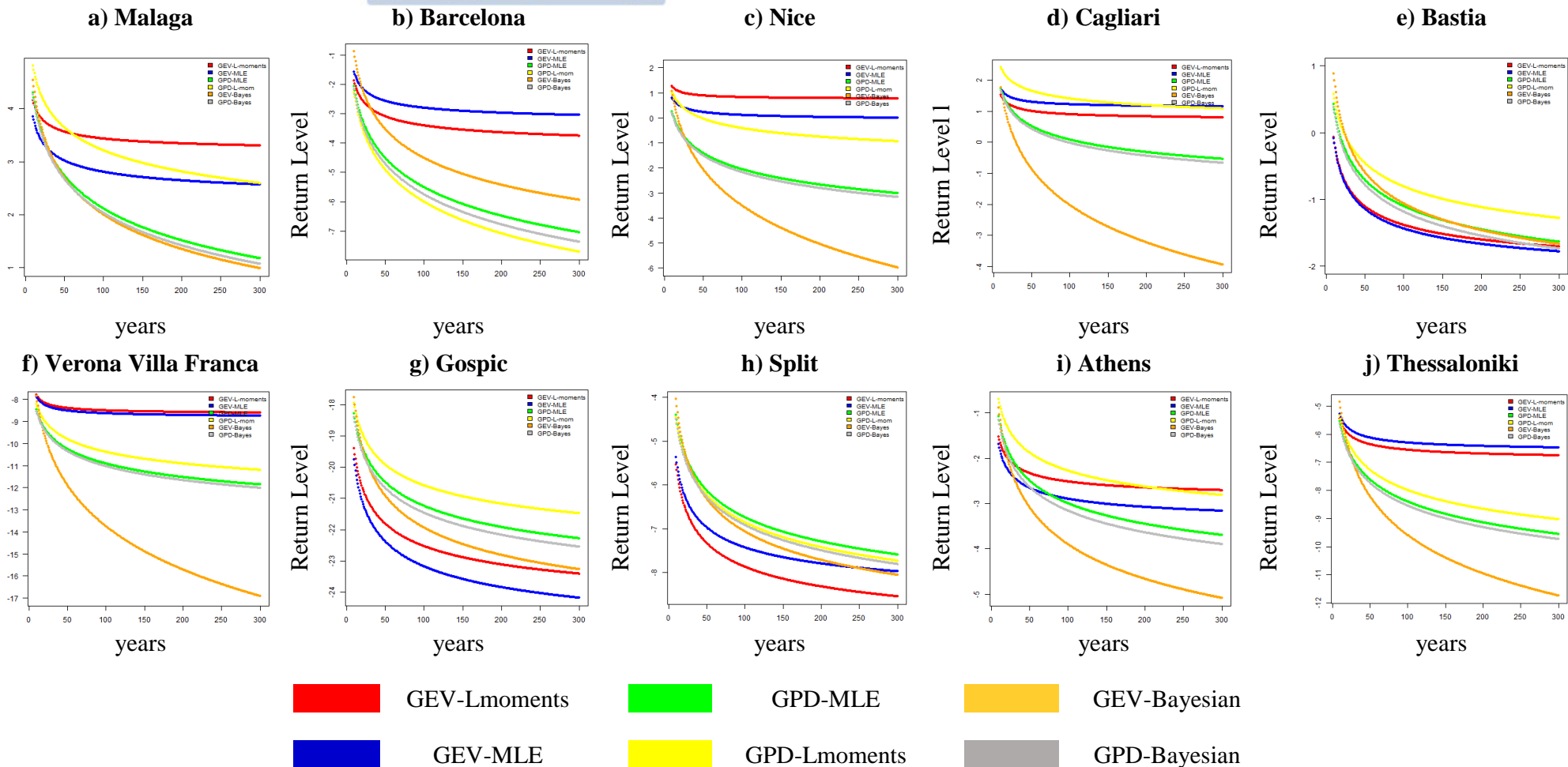
του σταθμού Split φαίνεται ότι οι καμπύλες όλων των κατανομών είναι πολύ κοντά, με εξαίρεση αυτήν της GPD-L κατανομής η οποία προβλέπει και πάλι χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης. Παρόμοια αποτελέσματα φαίνονται και από το γράφημα του σταθμού Athens, στον οποίο καταγράφονται οι μεγαλύτερες τιμές επιπέδων επανάληψης των μεγίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών (35-38°C). Τέλος στον σταθμό Thessaloniki, οι τιμές που εκτιμώνται από όλες τις κατανομές δεν παρουσιάζουν απόκλιση μεταξύ τους που να ξεπερνά τον 1.5°C. Ωστόσο και πάλι οι μικρότερες τιμές εκτιμώνται από την GPD-L μέθοδο (33,5°C), ενώ οι μεγαλύτερες από την GEV-B (34,5°C)

Στο Σχήμα 4.17 παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες τιμές των επιπέδων επαναφοράς των ελαχίστων θερμοκρασιών για τους 10 σταθμούς της μελέτης. Όπως φαίνεται από το γράφημα της Malaga, οι GPD-M, GPD-B και GEV-B κατανομές εκτιμούν τα χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης από τα 40έτη και μετά, τα οποία φτάνουν τον 1°C. Οι άλλες κατανομές εκτιμούν επίπεδα επαναφοράς που κυμαίνονται από 5-3,7°C, με τις υψηλότερες τιμές μετά τα πρώτα 50 χρόνια να προβλέπονται από την GEV-L κατανομή. Στην Barcelona, τα εκτιμώμενα επίπεδα είναι σημαντικά χαμηλότερα καθώς οι τιμές τους κυμαίνονται από -8 έως -1°C. Οι χαμηλότερες τιμές επαναφοράς εκτιμώνται από την GPD-L κατανομή ενώ οι υψηλότερες από την GEV-M. Μάλιστα στο σταθμό αυτό οι αποκλίσεις των εκτιμήσεων των κατανομών για ορισμένες περιόδους (250-300 έτη) ξεπερνούν τους 5°C. Στο σταθμό Nice, οι εκτιμήσεις των ελάχιστων θερμοκρασιών φαίνεται πως διαφέρουν σημαντικά από κατανομή σε κατανομή. Για παράδειγμα, για την περίοδο επαναφοράς 150 ετών, η GEV-B κατανομή εκτιμά ότι η μέση θερμοκρασία θα πέσει κάτω από τους -4.2°C τουλάχιστον μια φορά. Η αντίστοιχη τιμή που προβλέπεται από τις κατανομές GPD-M και GDP-B είναι -2,2°C, από την GDP-L -0,5°C, από την GEV-M +0.5°C ενώ από την GEV-L 1°C. Παρόμοια συμπεριφορά αλλά με υψηλότερες τιμές επιπέδων επανάληψης φαίνεται να παρουσιάζουν οι κατανομές για το σταθμό Cagliari. Αναλυτικότερα, Η κατανομή GEV-B προβλέπει πάλι τις χαμηλότερες τιμές, οι κατανομές GPD-M και GPD-B σχεδόν ταυτίζονται, ενώ οι τιμές των υπολοίπων κατανομών παρουσιάζουν πολύ μικρές αποκλίσεις. Στο σταθμό της Bastia φαίνεται πως όλες οι κατανομές εκτιμούν παρόμοια επίπεδα επαναφοράς τα οποία κυμαίνονται από 1-2°C. Πολύ χαμηλότερες είναι οι εκτιμώμενες θερμοκρασίες που προβλέπεται να ξεπεραστούν έστω μία φορά στο σταθμό Verona Villa Franca (-8 έως-17°C). Η συμπεριφορά των

κατανομών είναι παρόμοια με αυτήν του σταθμού Nice, με βασική διαφορά ωστόσο ότι οι καμπύλες των κατανομών GEV-M και GEV-L ταυτίζονται. Ο σταθμός Gospic παρουσιάζει τα χαμηλότερα επίπεδα των μέσων θερμοκρασιών για όλη τη διάρκεια της μελετώμενης μελλοντικής περιόδου, τα οποία κυμαίνονται από -18 έως -24°C . Οι υψηλότερες τιμές επιπέδων επανάληψης στο σταθμό αυτό εκτιμώνται από την GPD-L κατανομή, ενώ οι χαμηλότερες από την GEV-M. Στο σταθμό Split, οι εκτιμήσεις των έξι κατανομών για τα επίπεδα επανάληψης φαίνεται να είναι κοντά καθώς η μεγαλύτερη παρατηρούμενη απόκλιση είναι περίπου 2°C και παρατηρείται όταν η περίοδος επαναφοράς ξεπεράσει τα 200 χρόνια. Έτσι για αυτήν την περίοδο, η GPD-M προβλέπει ότι η μικρότερη τιμή της μέσης θερμοκρασίας θα είναι χαμηλότερη από -7°C έστω για μία φορά, ενώ η αντίστοιχη πρόβλεψη, που αποτελεί και την χαμηλότερη, από την GEV-L κατανομή είναι -8.5°C . Για τον σταθμό Athens, η GPD-L κατανομή εκτιμά τις υψηλότερες τιμές επιπέδων επανάληψης μέχρι την περίοδο επαναφοράς των 200 ετών, ενώ μετά από αυτήν, οι τιμές των GPD-L και GEV-L είναι σχεδόν ίσες. Οι χαμηλότερες τιμές προβλέπονται από την GEV-B κατανομή. Τέλος το διάγραμμα του σταθμού Thessaloniki δείχνει ότι οι κατανομές GEV-M και GEV-L εκτιμούν τα υψηλότερα επίπεδα επανάληψης (-6°C) ενώ η GEV-B τα χαμηλότερα (-12°C). Επιπρόσθετα, οι εκτιμήσεις των GPD-M και GPD-B είναι πολύ κοντά καθ' όλη την περίοδο ανάλυσης.



ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ



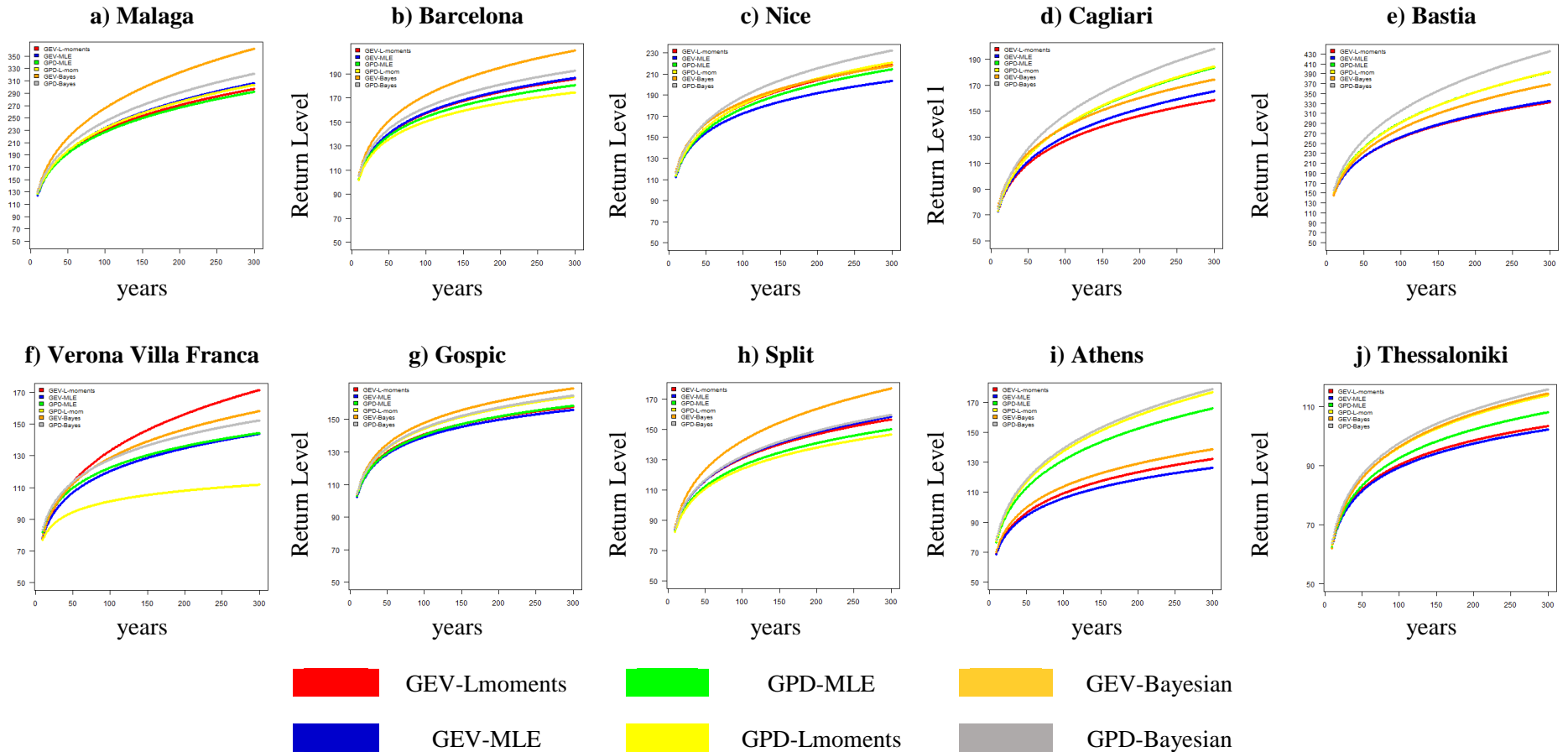
Σχήμα 4.17 Διαγράμματα επιπέδων επανάληψης για τις ελάχιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών των 10 μελετώμενων σταθμών. Η καμπύλη επαναφοράς κάθε μεθόδου αναπαρίστανται με διαφορετικό χρώμα

Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζονται τα επίπεδα επανάληψης των ακραίων βροχοπτώσεων για τους 10 Μεσογειακούς σταθμούς. Στο σταθμό της Malaga, φαίνεται πως όλες σχεδόν οι καμπύλες, με εξαίρεση την GPD-B και την GEV-B, εκτιμούν παρόμοια επίπεδα επανάληψης ακραίων βροχοπτώσεων για την περίοδο επαναφοράς 1-300 ετών, τα οποία κυμαίνονται από 120 έως 290mm. Οι καμπύλες GPD-B και GEV-B εκτιμούν υψηλότερες τιμές επανάληψης, οι οποίες για την περίοδο των 300 ετών φτάνουν τα 310 και 380mm αντίστοιχα. Οι ίδιες κατανομές εκτιμούν τα υψηλότερα επίπεδα επανάληψης και στο σταθμό της Barcelona, (110-210mm), ενώ τα χαμηλότερα υπολογίζονται από την GPD-L κατανομή (110-170mm). Στο διάγραμμα της Nice, φαίνεται πως όλες σχεδόν οι κατανομές εκτιμούν επίπεδα επανάληψης που ξεκινούν από 110 και φτάνουν τα 210mm κατά τη διάρκεια της περιόδου επαναφοράς 300ετών. Εξαιρέση αποτελούν οι κατανομές GEV-M και GPD-B οι οποίες αποκλίνουν από τις τιμές αυτές κατά -20 και +20mm αντίστοιχα, μετά από τα 150χρόνια επαναφοράς. Στο σταθμό Gagliari οι καμπύλες των κατανομών αποκλίνουν μεταξύ τους κυρίως από την περίοδο των 150 χρόνων και μετά. Για παράδειγμα, για την περίοδο επαναφοράς 200ετών, η GEV-L κατανομή προβλέπει ότι η ακραία βροχόπτωση που θα ξεπεραστεί τουλάχιστον μια φορά είναι τα 140mm. Δέκα χιλιοστά περισσότερα εκτιμά η GEV-M κατανομή, 15 η GEV-B ενώ η GPD-M και η GPD-L σχεδόν ταυτίζονται προβλέποντας 160mm. Τέλος οι υψηλότερες τιμές εκτιμώνται από τη GPD-B κατανομή και φτάνουν τα 170mm. Παρόμοια συμπεριφορά αλλά με πολύ υψηλότερες τιμές επαναφοράς παρουσιάζουν οι κατανομές για το σταθμό Bastia. Αναλυτικότερα, η GPD-B κατανομή προβλέπει τα μεγαλύτερα επίπεδα επανάληψης, τα οποία υπερβαίνουν τα 400mm στην περίοδο επαναφοράς 300ετών. Τα εκτιμώμενα ποσά των κατανομών GPD-L και GPD-M είναι ίσα σε όλη τη διάρκεια μελέτης, κάτι που παρατηρείται και για τις τιμές των κατανομών GEV-L και GEV-M οι οποίες μάλιστα εκτιμούν και τις χαμηλότερες τιμές. Στο σταθμό Verona Villa Franca, παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των εκτιμώμενων επιπέδων επανάληψης των μελετώμενων κατανομών, κυρίως για την περίοδο 70-300 ετών. Αναλυτικότερα, οι υψηλότερες τιμές προβλέπονται από την GEV-L κατανομή και φτάνουν τα 170mm. ενώ οι χαμηλότερες από την GPD-L και δεν ξεπερνούν τα 110mm. Οι υπόλοιπες κατανομές, προβλέπουν τιμές που βρίσκονται μεταξύ των προαναφερόμενων, με αυτές των κατανομών GEV-M και GPD-M



(80-140mm) να ταυτίζονται. Αντίθετα, στο σταθμό του Gospic όλες οι καμπύλες προβλέπουν επίπεδα επανάληψης που δεν αποκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους (>20mm). Το διάγραμμα του σταθμού Split δείχνει πως οι κατανομές GEV-L, GEV-M και GPD-B εκτιμούν ίδια επίπεδα επανάληψης για όλη την μελετώμενη μελλοντική περίοδο, τα οποία κυμαίνονται από 80-150mm. Λίγο μικρότερα (~15mm) είναι τα αντίστοιχα ποσά των κατανομών GPD-M και GPD-L, ενώ τα υψηλότερα που ξεπερνούν τα 170mm εκτιμώνται από την GEV-B κατανομή. Για το σταθμό Athens, η GPD κατανομή εκτιμά υψηλότερα επίπεδα επανάληψης συγκριτικά με την GEV. Ειδικότερα, η GPD-B και η GPD-L κατανομή εκτιμούν επίπεδα επανάληψης που ξεπερνούν τα 170mm ενώ οι αντίστοιχες τιμές που προβλέπονται από την GEV-M φτάνουν μέχρι τα 110mm. Τέλος για το σταθμό Thessaloniki οι καμπύλες των κατανομών GEV-B, GPD-B και GPD-L εκτιμούν τα υψηλότερα ποσά βροχοπτώσης της τάξης των 120mm. ενώ σύμφωνα με τις κατανομές GEV-M και GEV-L οι αντίστοιχες τιμές είναι τουλάχιστον κατά 20mm χαμηλότερες.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ



Σχήμα 4.18 Διαγράμματα επιπέδων επανάληψης για τις ακραίες βροχοπτώσεις των 10 μελετώμενων σταθμών. Η καμπύλη επαναφοράς κάθε μεθόδου αναπαρίσταται με διαφορετικό χρώμα



5. TIN-COPULA – ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αναπτύσσεται μία νέα μαθηματική μέθοδος η οποία συνδυάζει την θεωρία των συζεύξεων (Copulas) με αυτήν των Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (Triangular-Irregular-Networks TIN) και ονομάζεται TIN-Copula μέθοδος. Σκοπός της ανάπτυξης της νέας αυτής μεθόδου είναι η αποτελεσματική διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των κλιματικών μοντέλων για τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην περιοχή μελέτης, και κατά συνέπεια η αύξηση της ακρίβειας των προβλέψεών τους. Ένας ακόμα στόχος της ανάπτυξης της TIN-Copula μεθόδου είναι η χρήση της για την εκτίμηση των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν δεδομένα σταθμών, χρησιμοποιώντας μόνο δεδομένα γειτονικών σταθμών. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση της νέας μεθόδου είναι η αξιολόγηση της. Συνεπώς, στο παρόν κεφάλαιο, αρχικά παρουσιάζεται και αναλύεται η μεθοδολογία και ο τρόπος εφαρμογής της TIN-Copula μεθόδου, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιείται η αξιολόγησή της, συγκρίνοντας τα αποτελέσματά της με τα αντίστοιχα άλλων ευρέως γνωστών στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση των τιμών των κλιματικών μοντέλων.

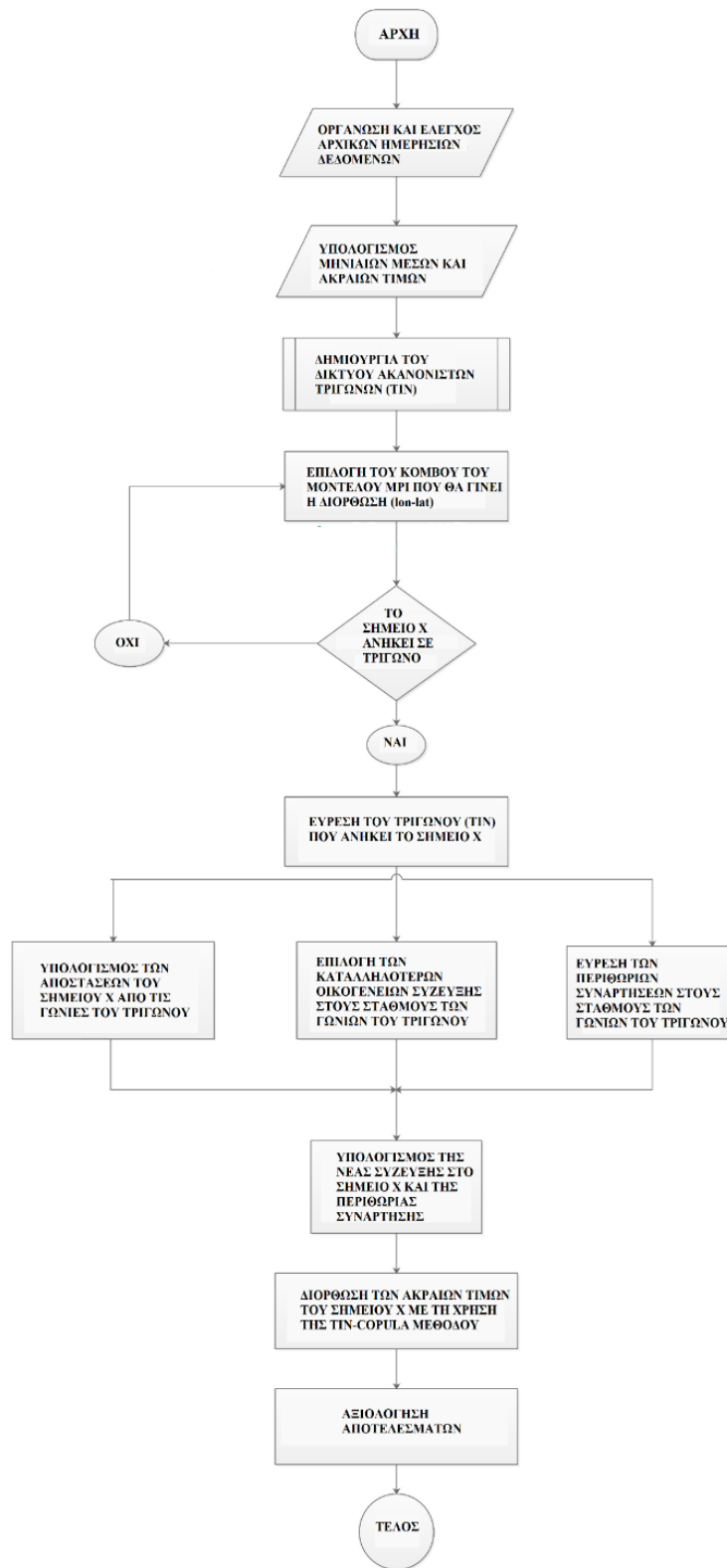


5.1. TIN-COPULA ΜΕΘΟΔΟΣ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Στην συγκεκριμένη ενότητα, παρουσιάζεται και αναλύεται η γενική μεθοδολογία της TIN-Copula μεθόδου. Η χρήση της μεθόδου προϋποθέτει, τη δημιουργία μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων η οποία αποτελείται τόσο από δεδομένα σταθμών όσο και από δεδομένα κλιματικών μοντέλων, στα οποία πραγματοποιείται και η διόρθωση.

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται τα βήματα της μεθοδολογίας της μεθόδου TIN-Copula. Αρχικά, χρησιμοποιούνται τα ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών καθώς και τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου, από τα οποία υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες και ακραίες τιμές. Για τη συγκεκριμένη μελέτη, τα διαθέσιμα δεδομένα καλύπτουν την περίοδο 1981-2000 (20 χρόνια) και έτσι, οι μηνιαίες χρονοσειρές (μέσων και ακραίων) που υπολογίζονται αποτελούνται από 240 τιμές. Συνεπώς, η τελική βάση δεδομένων περιλαμβάνει δύο χρονοσειρές - μέσων και ακραίων μηνιαίων τιμών - για κάθε σταθμό που χρησιμοποιείται και για κάθε κόμβο του κλιματικού μοντέλου.

Μετά την δημιουργία της τελικής βάσης δεδομένων ακολουθεί η δημιουργία του δικτύου των ακανόνιστων τριγώνων (Triangular Irregular Network – TIN). Χρησιμοποιώντας τη γεωγραφική θέση των διαθέσιμων σταθμών σαν κορυφές, δημιουργούνται μη κανονικοποιημένα και μη αλληλεπικαλυπτόμενα τρίγωνα, βασιζόμενα στην τριγωνοποίηση Delaunay (Delaunay 1934) (Σχήμα 5.1). Τα τρίγωνα αυτά, καλύπτουν την περιοχή μελέτης.



Σχήμα 5.1. Τα βήματα της μεθοδολογία της νέας μεθόδου TIN-Copula

Με τη ολοκλήρωση του δικτύου TIN, ξεκινά η μοντελοποίηση της σχέσης εξάρτησης που υπάρχει μεταξύ των μέσων και ακραίων χρονοσειρών σε κάθε σταθμό μελέτης – κορυφή τριγώνου. Περισσότερες από 20 οικογένειες συζεύξεων ελέγχονται, με στόχο να βρεθεί αυτή που μπορεί να περιγράψει με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τη σχέση εξάρτησης μεταξύ των μέσων και ακραίων τιμών του εκάστοτε σταθμού μελέτης. Οι οικογένειες αυτές προέρχονται τόσο από την κατηγορία των Αρχιμήδειων όσο και των Ελλειπτικών συζεύξεων, και πληροφορίες για τον τύπο, τις παραμέτρους, την εξάρτηση των ουρών καθώς και τον συντελεστή Kendall t της κάθε μίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Η τελική επιλογή της καταλληλότερης οικογένειας γίνεται με τη χρήση των κριτηρίων AIC (Akaike 1973) και BIC (Schwarz 1978). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι επιλεγόμενες οικογένειες δεν παρουσιάζουν κάποια χωρική ομοιογένεια, γεγονός που επιβεβαιώνει την ευαισθησία της επιλογής.

Εκτός από τον έλεγχο για την επιλογή της καταλληλότερης οικογένειας σύζευξης, ιδιαίτερα κρίσιμος είναι και ο έλεγχος που απαιτείται για την εύρεση των καταλληλότερων περιθώριων συναρτήσεων για την περιγραφή των ακραίων χρονοσειρών. Για το λόγο αυτό, έξι γνωστές μαθηματικές κατανομές (normal, gamma, log-normal, Weibull, GEV και Pareto) ελέγχονται με την τελική επιλογή να γίνεται με τη χρήση των κριτηρίων AIC και BIC.

Με την ολοκλήρωση των απαραίτητων υπολογισμών σε κάθε κορυφή των TIN-τριγώνων- σταθμός μελέτης (εύρεση κατάλληλης σύζευξης και περιθώριων συναρτήσεων) ξεκινά η διαδικασία διόρθωσης των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου για τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Για την καλύτερη περιγραφή και κατανόηση των βημάτων που ακολουθούνται παρουσιάζεται ένα πιλοτικό τρίγωνο (Σχήμα 5.2), το οποίο θεωρητικά αποτελεί ένα από τα τρίγωνα του σχηματιζόμενου TIN δικτύου. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2, οι σταθμοί οι οποίοι αποτελούν τις κορυφές του τριγώνου περιγράφονται ως St1, St2, St3, ο κόμβος στον οποίο πραγματοποιείται η διόρθωση περιγράφεται ως x-point ενώ ως Dist1, Dist2, Dist3 ορίζονται οι αποστάσεις των κορυφών του τριγώνου από το σημείο μελέτης (x-point). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι διόρθωση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στα σημεία -κόμβους του μοντέλου (x-point) που βρίσκονται εντός ενός τριγώνου TIN.

Πίνακας 5.1. Οι οικογένειες των συζεύξεων που χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ μέσων και ακραίων χρονοσειρών Brechmann, E., & Schepsmeier, U. (2013).

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΣΥΖΕΥΞΕΩΝ

ΕΛΛΗΠΤΙΚΕΣ ΣΥΖΕΥΞΕΙΣ					
	Κατανομή	Εξίσωση	Συντελεστής Kendall τ	Εύρος παραμέτρου	Εξάρτηση ουράς (συμμετρικές άνω-κάτω)
1	Gaussian	$C(u_1, u_2) = \Phi_\rho(\Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2))$	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\rho)$	$\rho \in (-1, 1)$	0
2	Student-t	$C(u_1, u_2) = t_{\rho, \nu}(t_\nu^{-1}(u_1), t_\nu^{-1}(u_2))$	$\frac{2}{\pi} \arcsin(\rho)$	$\rho \in (-1, 1), \nu > 2$	$2t_{\nu+1}(-\sqrt{\nu+1} \sqrt{\frac{1-\rho}{1+\rho}})$
<p>- Φ_ρ η διδιάστατη κανονική κατανομή με συντελεστή συσχέτισης ρ και Φ^{-1} την ανάστροφη συνάρτηση της μονοδιάστατης τυπικής κανονικής κατανομής</p> <p>- $t_{\rho, \nu}$ η διδιάστατη Student-t κατανομή με συντελεστή συσχέτισης ρ και ν βαθμούς ελευθερίας και t_ν^{-1} η ανάστροφη συνάρτηση της μονοδιάστατης συνάρτησης Student-t με ν βαθμούς ελευθερίας</p>					
ΑΡΧΙΜΙΔΕΙΕΣ ΣΥΖΕΥΞΕΙΣ					
	Οικογένεια	Εξίσωση	Συντελεστής Kendall τ	Εύρος παραμέτρου	Εξάρτηση ουρών (άνω-κάτω)
3	Clayton	$\frac{1}{\theta}(t^{-\theta} - 1)$	$\frac{\theta}{\theta + 2}$	$\theta > 0$	$(2^{-\frac{1}{\theta}}, 0)$
4	Gumbel	$(-\log t)^\theta$	$1 - \frac{1}{\theta}$	$\theta \geq 1$	$(0, 2 - 2^{\frac{1}{\theta}})$
5	Frank	$\log \frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1}$	$1 - \frac{4}{\theta} + 4 \frac{D1(\theta)}{\theta}$	$\theta \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$	(0, 0)
6	Joe	$-\log[1 - (1 - t)^\theta]$	$1 + \frac{4}{\theta^2} \int_0^1 t \log(t)(1 - t)^{2(1-\theta)/\theta} dt$	$\theta > 1$	$(0, 2 - 2^{\frac{1}{\theta}})$
7	BB1 (Clayton+Gumbel)	$(t^{-\theta} - 1)^\delta$	$1 - \frac{2}{\delta(\theta+2)}$	$\theta > 0, \delta \geq 1$	$(2^{-\frac{1}{\theta\delta}}, 2 - 2^{\frac{1}{\theta}})$
8	BB6 (Joe+Gumbel)	$(-\log[1 - (1 - t)^\theta])^\delta$	$1 + \frac{4}{\delta\theta} \int_0^1 (-\log(1 - (1 - t)^\theta)) \times (1 - t)(1 - (1 - t)^{-\theta}) dt$	$\theta \geq 1, \delta \geq 1$	$(0, 2 - 2^{\frac{1}{\theta\delta}})$
9	BB7 (Joe+Clayton)	$(1 - (1 - t)^\theta)^{-\delta} - 1$	$1 + \frac{4}{\delta\theta} \int_0^1 (-(1 - (1 - t)^\theta)^{\delta+1} \times \frac{(1 - (1 - t)^\theta)^{-\delta} - 1}{(1 - t)^{\theta-1}} dt$	$\theta \geq 1, \delta > 0,$	$(2^{-\frac{1}{\theta}}, 2 - 2^{\frac{1}{\theta}})$
10	BB8 (Joe+Frank)	$-\log[\frac{1 - (1 - \delta t)^\theta}{1 - (1 - \delta)^\theta}]$	$1 + \frac{4}{\delta\theta} \int_0^1 (-\log(\frac{(1 - t\delta)^\theta - 1}{(1 - \delta)^\theta - 1})) \times (1 - t\delta)(1 - (1 - t\delta)^{-\theta}) dt$	$\theta \geq 1, \delta \in (0, 1]$	(0, 0)
	The rotated by 90, 180 and 270 degrees version of the families:		$C_{90}(u_1, u_2) = u_2 - C(1 - u_1, u_2)$ $C_{180}(u_1, u_2) = u_1 + u_2 - 1 + C(1 - u_1, 1 - u_2)$ $C_{270}(u_1, u_2) = u_1 - C(u_1, 1 - u_2)$		
<p>- $D_1(\theta) = \int_0^\theta \frac{c/\theta}{\exp(x)-1} dx$ είναι η Debye συνάρτηση.</p>					



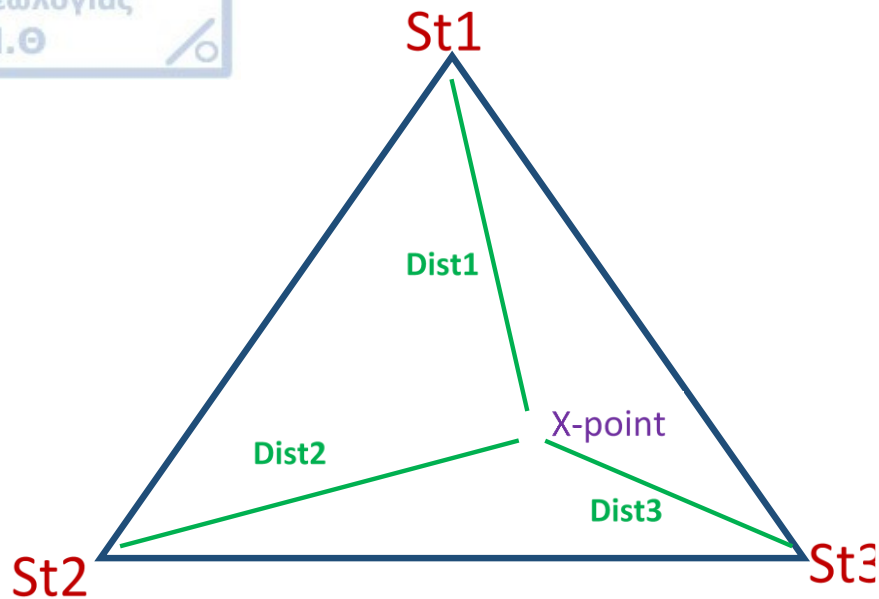
Για τη διόρθωση των συστηματικών αποκλίσεων των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων που παρατηρούνται στον μελετώμενο κόμβο (x-point) του κλιματικού μοντέλου, ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα.

- Εντοπίζεται το TIN τρίγωνο στο οποίο περιέχεται ο μελετώμενος κόμβος (x-point).
- Υπολογίζονται οι αποστάσεις του σημείου x-point από τις κορυφές του τριγώνου (Dist1, Dist2, Dist3).
- Στο σημείο x-point δημιουργείται μια νέα οικογένεια σύζευξης – new corula (νέα εξίσωση), βασιζόμενη στις οικογένειες των συζεύξεων που έχουν επιλεγεί στην κάθε κορυφή – σταθμό του μελετώμενου τριγώνου. Η βαρύτητα με την οποία συμμετέχει η σύζευξη της κάθε κορυφής στη δημιουργία της τελικής - νέας σύζευξης, εξαρτάται από την απόσταση της από το σημείο x-point. Αναλυτικότερα, οι εξισώσεις των συζεύξεων των κορυφών προστίθενται με βαρύτητα αντιστρόφως ανάλογη των αποστάσεων. Δηλαδή, η οικογένεια σύζευξης της κοντινότερης κορυφής στο σημείο x, έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό ενός συντελεστή W, ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$S = (\text{Dist } 1 + \text{Dist } 2 + \text{Dist } 3)$$

$$W_n = S / (\text{Dist } n * ((S / \text{Dist}1) + (S / \text{Dist}2) + (S / \text{Dist}3)))$$

όπου Dist 1,2,3 οι αποστάσεις του σημείου x-point από τις κορυφές – σταθμούς St1, St2, St3 αντίστοιχα, και n η κορυφή για την οποία υπολογίζεται ο συντελεστής (n=1 ή 2 ή3)



Σχήμα 5.2. Ένα τρίγωνο του TIN δικτύου. Οι κορυφές του τριγώνου βρίσκονται στις θέσεις τριών σταθμών (St1, St2, St3), το σημείο που επιχειρείται η διόρθωση είναι το x-point και οι αποστάσεις του σημείου αυτού από τις κορυφές συμβολίζονται με Dist1, Dist2, Dist3.

Εκτός από τον υπολογισμό της new copula στο σημείο x-point, απαιτείται και ο υπολογισμός μιας νέας περιθώριας συνάρτησης (marginal distribution), η οποία θα περιγράφει την συμπεριφορά των ακραίων τιμών στο σημείο αυτό (x-point). Η νέα περιθώρια συνάρτηση υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκε και η new copula.

Με τον υπολογισμό των συναρτήσεων της νέας σύζευξης και των νέων περιθώριων συναρτήσεων στο σημείο x-point ολοκληρώνονται οι απαιτούμενες ενέργειες – υπολογισμοί για την εφαρμογή της TIN-Copula μεθόδου με στόχο τη διόρθωση των εκτιμήσεων των ακραίων τιμών. Έτσι, χρησιμοποιώντας την εξίσωση της νέας σύζευξης στο σημείο x-point, καθώς και τη χρονοσειρά των μέσων τιμών του κλιματικού μοντέλου στο σημείο x-point (σαν δεδομένα εισόδου), υπολογίζεται μία νέα χρονοσειρά που αποτελείται από κανονικοποιημένες τιμές. Η νέα αυτή χρονοσειρά προσαρμόζεται στην περιθώρια συνάρτηση που έχει υπολογιστεί στο σημείου x-point, δημιουργώντας έτσι την τελική χρονοσειρά των διορθωμένων ακραίων τιμών.

Τέλος, απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοχή και τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της.

5.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ TIN-COPULA

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ανάγκη για κατανόηση της συμπεριφοράς των ακραίων κλιματικών συνθηκών, και για ακριβέστερη εκτίμηση αυτών, αποτελεί θέμα μείζονος σημασίας, όπως επισημαίνεται και από το Παγκόσμιο Κλιματικό Ερευνητικό Πρόγραμμα (<http://www.wcrp-climate.org/gc-extreme-events>). Η TIN-Copula μέθοδος, προτείνεται ως μια νέα μέθοδος η οποία μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τη βελτίωση των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων, για ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων. Η αξιολόγηση της παραπάνω μεθόδου, επιτυγχάνεται με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με αντίστοιχα αποτελέσματα τριών άλλων μεθόδων, ευρέως χρησιμοποιούμενων, για τη διόρθωση των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων (Delta, Scaling, Empirical Quantile Mapping).

5.2.1. Δεδομένα Αξιολόγησης

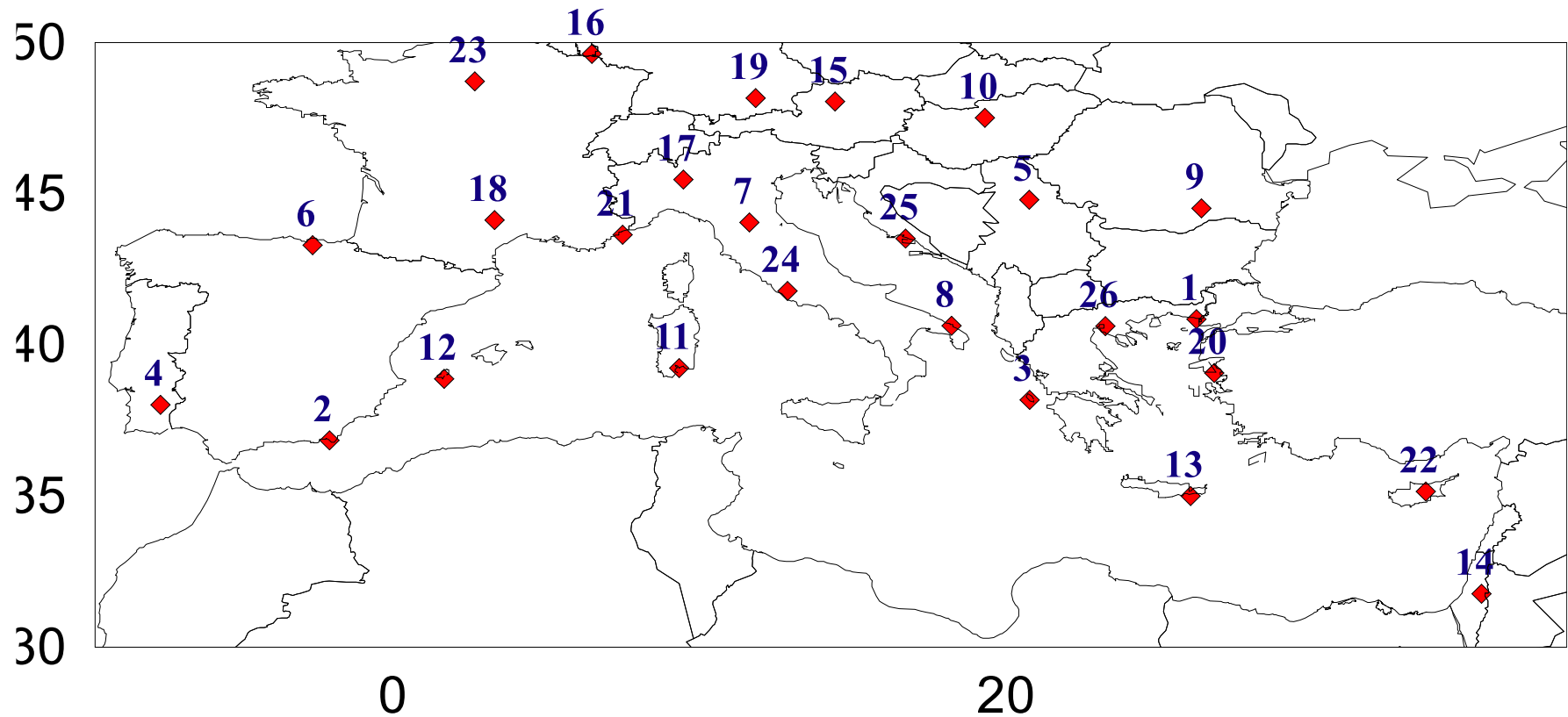
Για την αξιολόγηση της μεθόδου TIN-Copula χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης προερχόμενα από 26 Ευρωπαϊκούς σταθμούς, οι οποίοι εκτείνονται από την Ισπανία μέχρι την Ελλάδα (Klein Tank et al. 2002) (Πίνακας 5.2 - Σχήμα 5.3). Επιπρόσθετα, εκτός από τα δεδομένα των σταθμών, χρησιμοποιούνται και δεδομένα ημερήσιων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, από το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI, τα οποία καλύπτουν όλη τη Μεσογειακή Λεκάνη. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι στην συγκεκριμένη ενότητα, επιλέγονται μόνο οι χερσαίοι κόμβοι του μοντέλου – και κατά συνέπεια τα δεδομένα αυτών – οι οποίοι έχουν την μικρότερη απόσταση από τους σταθμούς της μελέτης. Τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα και των δύο πηγών καλύπτουν μια χρονική περίοδο 20ετών (1981-2000).

Η αξιολόγηση της μεθόδου TIN-Copula, πραγματοποιείται για δέκα από τους 26 διαθέσιμους σταθμούς. Κάθε φορά, ένας από τους δέκα σταθμούς της αξιολόγησης, εξαιρείται τη δημιουργία του TIN δικτύου. Η TIN-Copula μέθοδος εφαρμόζεται στο χερσαίο κόμβο του RegCM4-MPI που βρίσκεται πιο κοντά στον σταθμό που αξιολογείται. Συνεπώς, τα διορθωμένα δεδομένα του κόμβου συγκρίνονται με τα δεδομένα του εκάστοτε αξιολογούμενου σταθμού. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για 10 σταθμούς (Σχήμα 5.4). Η επιλογή των 10 αξιολογούμενων σταθμών έγινε με βάση 2

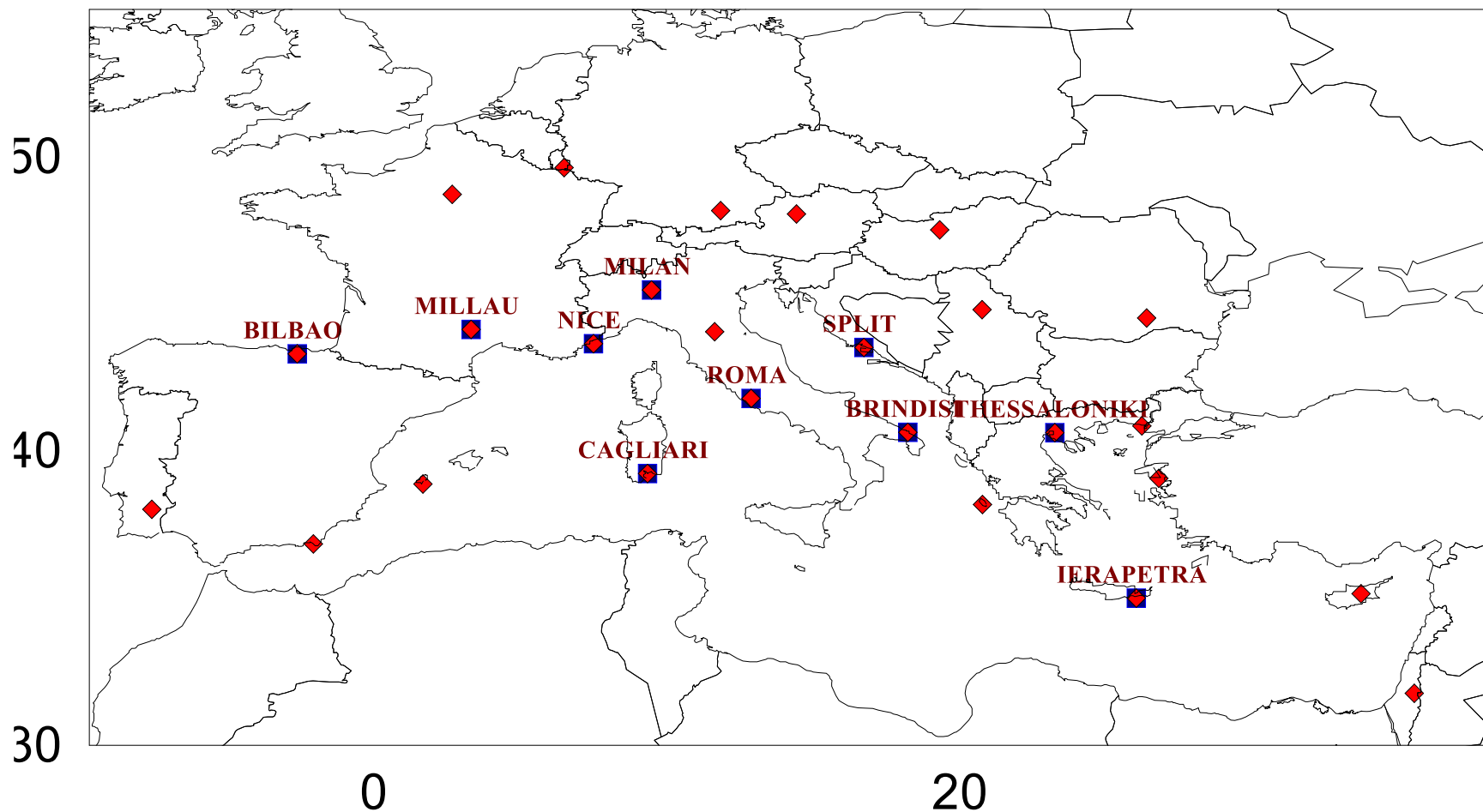
κριτήρια. Αρχικά, ο κάθε σταθμός πρέπει να ανήκει σε ένα τρίγωνο του σχηματιζόμενου δικτύου, ενώ ταυτόχρονα το σύνολο των 10 σταθμών πρέπει να καλύπτει ομοιόμορφα την υπό μελέτη περιοχή. Σε περιπτώσεις όπου δύο ή περισσότεροι σταθμοί ικανοποιούν και τα δύο κριτήρια, η επιλογή του τελικού σταθμού γίνεται τυχαία. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για καθεμία από τις 10 υπό μελέτη περιπτώσεις, το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων σχηματίζεται ξεχωριστά, καθώς οι σταθμοί-κόμβοι που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικοί.

Πίνακας 5.2. Οι 26 σταθμοί της μελέτης. Οι κωδικοί αντιστοιχούν στους αριθμούς του Σχήματος 5.1

CODE	STATION	LON	LAT	CODE	STATION	LON	LAT
1	ALEXANDROUPOLI	25.92	40.85	14	JERUSALEM	31.76	31.76
2	ALMERIA	-2.35	36.84	15	KREMSMUENSTER	48.05	48.05
3	ARGOSTOLI	20.48	38.18	16	LUXEMBOURG	49.62	49.62
4	BEJA	-7.86	38.01	17	MILAN	45.46	45.46
5	BELGRADE	20.46	44.80	18	MILLAU	44.12	44.12
6	BILBAO	-2.90	43.29	19	MUENCHEN	48.16	48.16
7	BOLOGNA	11.34	44.05	20	MYTILINH	39.07	39.07
8	BRINDISI	17.93	40.63	21	NICE	43.64	43.64
9	BUCURESTI	26.08	44.52	22	NICOSIA	35.15	35.15
10	BUDAPEST	19.02	47.51	23	ORLY	48.71	48.71
11	CAGLIARI	9.05	39.23	24	ROMA_CIAMPINO	41.78	41.78
12	IBIZA	1.38	38.88	25	SPLIT	43.51	43.51
13	IERAPETRA	25.73	35.00	26	THESSALONIKI	40.62	40.62



Σχήμα 5.3. Η γεωγραφική θέση των 26 σταθμών που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της μεθόδου TIN-Copula. Η αρίθμηση αντιστοιχεί στην αρίθμηση του Πίνακα 5.2



Σχήμα 5.4. Οι γεωγραφικές θέσεις των 10 σταθμών που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της TIN-Copula μεθόδου. Οι σταθμοί που αναπαρίστανται με ρόμβο και τετράγωνο, είναι οι 10 επιλεγμένοι σταθμοί.

5.2.2. Μεθοδολογία Αξιολόγησης

Η αξιολόγηση της TIN-Copula μεθόδου αφορά την ικανότητά της να βελτιώνει τις εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI και επιτυγχάνεται με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της με τα αντίστοιχα αποτελέσματα τριών άλλων ευρέως γνωστών μεθόδων, που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση των συστηματικών μεροληπτικών σφαλμάτων για κλιματικές και όχι μόνο παραμέτρους. Οι μέθοδοι αυτοί είναι: Delta, Scaling και Empirical Quantile Mapping EQM.

Η μέθοδος "Delta", αποτελεί μια από τις πιο απλές μεθόδους διόρθωσης των σφαλμάτων μεροληψίας. Σύμφωνα με τον Navarro-Racines (2015), η μέθοδος αυτή αποτελεί μία απλή μορφή για την προσέγγιση της μεταβολής ενός παράγοντα ("change factor"). Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η μεταφορά του σήματος της μέσης διαφοράς μεταξύ των παρατηρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών από μία ιστορική περίοδο στα δεδομένα του εκάστοτε κλιματικού μοντέλου (Eisner et al. 2012). Πιο συγκεκριμένα, δύο χρονοσειρές από δεδομένα του μελετώμενου κλιματικού μοντέλου (ιστορική περίοδος και παρόν περίοδος) χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι διαφορές τους, οι οποίες σύμφωνα με τους Tabor και Williams (2010) ονομάζονται «κλιματικές ανωμαλίες». Μετά τον υπολογισμό των «κλιματικών ανωμαλιών», το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων προστίθεται στη χρονοσειρά των παρατηρούμενων δεδομένων έτσι ώστε να υπολογιστούν οι διορθωμένες τιμές του κλιματικού μοντέλου για την περίοδο που μελετάται (Σχήμα 5.5 - Ramirez 2008). Επιπρόσθετα, παρά το γεγονός ότι η Delta μέθοδος προτείνεται για κάθε είδους δεδομένα, είναι καταλληλότερη για μεταβλητές οι οποίες δεν παρουσιάζουν άνω ή κάτω φράγμα, καθώς σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει πιθανότητα να παρατηρηθούν αποτελέσματα τα οποία είναι εκτός του εύρους των τιμών (Yuanchao, 2018). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου, οι οποίες είναι κάτω φραγμένες δεδομένου ότι οι μετρήσεις ξεκινούν από το μηδέν (Yuanchao, 2018). Η ευρύτερη χρήση της μεθόδου Delta και η επιλογή της για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων από πολλούς ερευνητές (Eisner et al. 2012, Hawkins et al. 2013, Olsson et al. 2009), προέρχεται κυρίως από την απλότητα της εφαρμογής και κατανόησής της.



Μοντέλο (Α' περίοδος)

Διαφορά

+ / *

Παρατηρήσεις
Σταθμών
(Α' περίοδος)

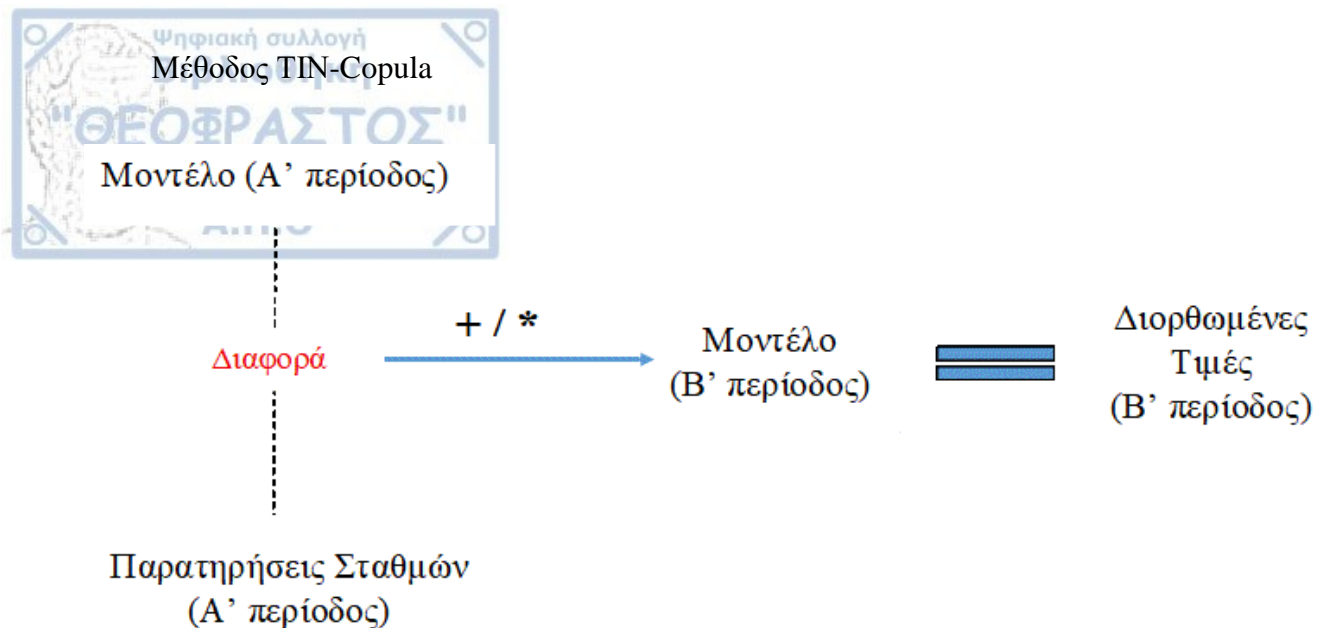
=

Διορθωμένες
Τιμές
(Β' περίοδος)

Μοντέλο (Β' περίοδος)

Σχήμα 5.5. Διάγραμμα περιγραφής του τρόπου λειτουργίας της μεθόδου Delta.

Μία ακόμα ιδιαίτερα απλή και ευρύτερα διαδεδομένη μέθοδος διόρθωσης μεροληπτικών σφαλμάτων είναι η μέθοδος “Scaling”. Σύμφωνα με τους Shrestha et al. (2017), η εν λόγω η μέθοδος αποτελεί την απλούστερη μέθοδο για τη διόρθωση των συστηματικών αποκλίσεων, με αποτέλεσμα την ευρύτερη χρήση της (Ines and Hansen 2006, Shrestha 2015). Στη μέθοδο αυτή, οι αρχικές διαφορές μεταξύ των παρατηρούμενων και των προσομοιωμένων τιμών του κλιματικού μοντέλου υπολογίζονται για μια ιστορική χρονική περίοδο, οδηγώντας στον υπολογισμό του παράγοντα Scaling (Σχήμα 5.6 - Ramirez 2008). Στη συνέχεια, ο παράγοντας αυτός χρησιμοποιείται για την διόρθωση των συστηματικών αποκλίσεων του κλιματικού μοντέλου (Yuanchao 2018). Ο τόπος χρήσης του παράγοντα Scaling εξαρτάται από την παράμετρο που μελετάται. Σύμφωνα με τον Yuanchao (2018), εάν η παράμετρος είναι η θερμοκρασία τότε προτείνεται η πρόσθεση του παράγοντα στην μελετώμενη χρονοσειρά. Αντίθετα, εάν η παράμετρος είναι η βροχόπτωση ή κάποια άλλη παράμετρος με κάτω φράγμα, τότε προτείνεται ο πολλαπλασιασμός του παράγοντα κλιμακοποίησης με την μελετώμενη χρονοσειρά.



Σχήμα 5.6. Διάγραμμα περιγραφής του τρόπου λειτουργίας της μεθόδου Scaling.

Η μέθοδος 'empirical quantile mapping (EQM)' αποτελεί μια μέθοδο διόρθωσης μεροληπτικών σφαλμάτων, που εστιάζει σε ολόκληρη την κατανομή της μελετώμενης μεταβλητής (Thiemebl et al. 2012). Η μέθοδος EQM προτάθηκε από τους Panofsky και Brier το 1968, και χρησιμοποιήθηκε για το σχηματισμό της μεθόδου διόρθωσης μεροληψίας σε ποσοστιαία σημεία. Η μέθοδος αυτή βαθμονομεί τις προσομοιωμένες τιμές σύμφωνα με τις παρατηρούμενες, χρησιμοποιώντας την Αθροιστική συνάρτηση κατανομής. Η μέθοδος EQM αποτελεί μια πιο περίπλοκη μέθοδο συγκριτικά με τις προηγούμενες, η οποία όμως παρουσιάζει αξιόπιστα αποτελέσματα ακόμα και για στοχαστικές μεταβλητές όπως για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία ή η βροχόπτωση (Ramirez 2008). Επιπρόσθετα, με την τεχνική EQM τα συστηματικά σφάλματα μειώνονται με το πλεονέκτημα του ότι οι αποκλίσεις των κλιματικών μοντέλων λαμβάνονται υπόψη σε κάθε χρονική στιγμή. Παρόλα αυτά, και σε αυτήν την μέθοδο θεωρείται δεδομένο ότι οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν κατά την ιστορική περίοδο παραμένουν σταθερές (Thrasher et al., 2012).

Η συνήθης διαδικασία διόρθωσης με όλες τις μελετώμενες μεθόδους, περιλαμβάνει τη χρήση δύο υποπεριόδων. Η πρώτη υποπερίοδος (ιστορική) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απαραίτητων συναρτήσεων και συνήθως είναι μια περίοδος στην οποία οι οριακές συνθήκες του κλιματικού μοντέλου παραμένουν σταθερές. Η δεύτερη υποπερίοδος (μελλοντική) είναι αυτήν για την οποία πραγματοποιείται η διόρθωση. Στην

παρούσα μελέτη, η διαθέσιμη περίοδος των 20 ετών (1981-2000) έχει χωριστεί σε δύο υποπεριόδους των 10 ετών. Η πρώτη χρησιμοποιείται ως ιστορική περίοδος ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Οι υπολογισμοί των κεφαλαίων που ακολουθούν, πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό R programming language (Core R Team, 2018) και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση των πακέτων "VineCopula" (Scheepmeier et al., 2018), "copula" (Hofert et al., 2018) και "spcopula" (Gräler, 2014). Επιπρόσθετα, η αρχική τεχνική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό της CDO (Climate Data Operator) μέσω της πλατφόρμας UI (User Interface) του ΚΗΔ (Κέντρο Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης).

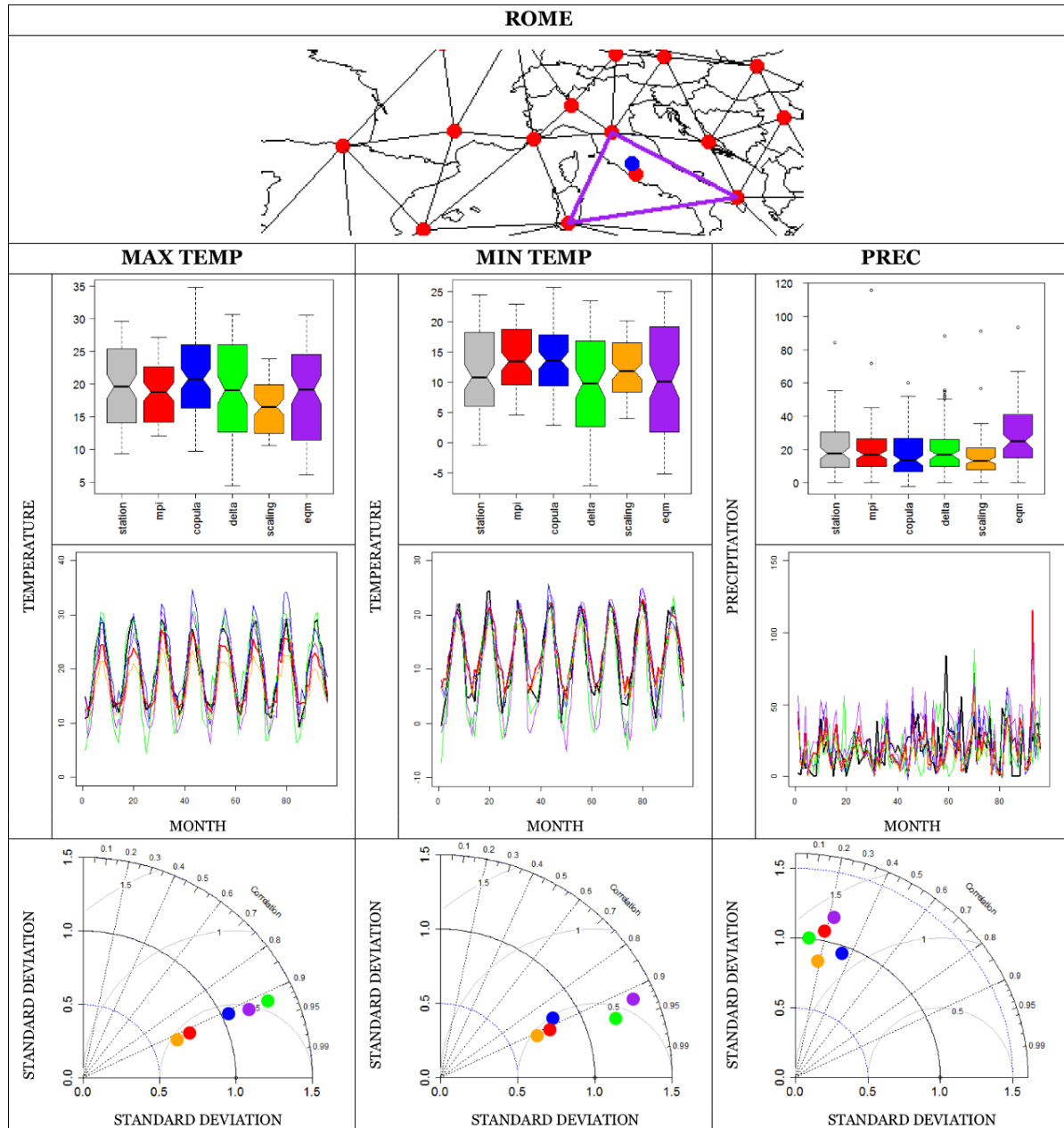
5.2.3. Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Αξιολόγηση 1η: Θηκογράμματα, Διαγράμματα Διακύμανσης και Taylor

Τα Σχήματα 5.7 και Π.1-Π.9 του παραρτήματος, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της μεθόδου TIN-Copula, με τη χρήση θηκογραμμάτων, διαγραμμάτων διακύμανσης και γραφημάτων Taylor. Στον χάρτη των σχημάτων παρουσιάζεται η θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), ο κοντινότερος κόμβος του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τον οποίο πραγματοποιείται η διόρθωση (μπλε σημείο) καθώς και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα διαφορετικό χρώμα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.7 και στα Σχήματα Π.1-Π.9 του παραρτήματος, φαίνεται ότι το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις στην προσέγγιση των παρατηρούμενων ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων. Σύμφωνα με τα θηκογράμματα, τα διαγράμματα διακύμανσης και τα γραφήματα Taylor, το μοντέλο υποεκτιμά τις ακραίες υψηλές θερμοκρασίες σε όλους τους σταθμούς μελέτης. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τις ακραία χαμηλές θερμοκρασίας έξι σταθμών (Bilbao, Cagliari, Millan, Nice, Split, Thessaloniki) ενώ σε τρεις σταθμούς το μοντέλο υπερεκτιμά τις παρατηρούμενες ακραίες χαμηλές τιμές (Brindisi, Millau, Rome). Στους υπόλοιπους σταθμούς τα αποτελέσματα παρουσιάζουν ομοιότητες μεταξύ τους. Όσον αφορά στην παράμετρο της βροχόπτωσης, οι ακραίες τιμές υπερεκτιμώνται από το μοντέλο RegCM4-MPI σε έξι από τους 10 σταθμούς (Bilbao,

Cagliari, Milan, Millau, Nice, Thessaloniki), σε έναν σταθμό παρατηρείται υποεκτίμηση (Brindisi), ενώ στους υπόλοιπους τρεις σταθμούς οι εκτιμώμενες τιμές παρουσιάζουν ομοιότητες.



Σχήμα 5.7 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό της Ρώμης. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.

Θερμοκρασία

Σύμφωνα με τα σχήματα των αποτελεσμάτων (Σχήμα 5.7 και Π.1-Π.9 Παραρτήματος), η προτεινόμενη μέθοδος TIN-Corula παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την παράμετρο των μεγίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών, για την πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών. Στο 50% των σταθμών της μελέτης τα αποτελέσματα της μεθόδου TIN-Corula είναι κοντά στις παρατηρούμενες τιμές και ιδιαίτερα σε αυτές που καλύπτουν το εύρος από 25-75%. Όσον αφορά τα ακραία μέγιστα και ελάχιστα των σταθμών αυτών (Rome, Nice, Bilbao, Brindisi, Cagliari, Bilbao) παρατηρείται μια υπερεκτίμηση και υποεκτίμηση αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, στους περισσότερους σταθμούς, η προτεινόμενη μέθοδος TIN-Corula, παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τις μεθόδους Delta και EQM. Ωστόσο, υπάρχουν σταθμοί (Bilbao, Nice) στους οποίους οι μέθοδοι Delta και EQM παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο εύρος συγκριτικά με την TIN-Corula μέθοδο, ενώ σε δύο άλλους σταθμούς (Brindisi, Rome) οι ίδιες μέθοδοι υποεκτιμούν τις παρατηρούμενες τιμές. Στους σταθμούς Ierapetra, Milan και Thessaloniki, η μέθοδος TIN-Corula προσεγγίζει με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές, κάτι που επιτυγχάνεται και από τις μεθόδους Delta και EQM, ενώ αντίθετα υπάρχουν σταθμοί (Millau) στους οποίους και η TIN-Corula μέθοδος παρουσιάζει υπερεκτίμηση των ακραίων ή παρουσιάζει μικρότερο εύρος (Split) από το αντίστοιχο των παρατηρούμενων τιμών. Αντίθετα η μέθοδος Scaling παρουσιάζει τα χειρότερα αποτελέσματα, καθώς σε ορισμένους σταθμούς εκτιμά ένα μη ρεαλιστικά μεγάλο εύρος (Thessaloniki, Millau, Milan), σε άλλους υποεκτιμά τις ακραίες τιμές (Ierapetra) ή τις υπερεκτιμά (Cagliari). Τα ικανοποιητικά αποτελέσματα της νέας μεθόδου παρουσιάζονται και στα διαγράμματα αλλά και στα γραφήματα Taylor. Σύμφωνα με τα διαγράμματα των σταθμών, τόσο η μέθοδος TIN-Corula όσο και οι άλλες μέθοδοι παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση με τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές. Συνεπώς και οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ακραίων παρατηρούμενων θερμοκρασιών και των αντίστοιχα εκτιμώμενων από τις 4 μεθόδους, ξεπερνούν το 0.9 σε όλους σχεδόν τους σταθμούς. Τέλος, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα Taylor, οι σταθμοί που παρουσίαζαν μεγάλο εύρος στα αντίστοιχα θηκογράμματά τους είναι οι ίδιοι στους οποίους καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές τυπικής απόκλισης (πχ Ierapetra, Milan, Millau, Thessaloniki).



Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διόρθωσης των μεροληπτικών σφαλμάτων για την παράμετρο των ελαχίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών, φαίνεται ότι η μέθοδος TIN-Corula παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τις άλλες τρεις μεθόδους. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις (Ierapetra, Milan, Thessaloniki), τα αποτελέσματά της προσεγγίζουν τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές με μεγαλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τις άλλες μεθόδους. Σε πολλούς από τους μελετώμενους σταθμούς (Bilbao, Brindisi, Nice, Split), όλες οι μέθοδοι διόρθωσης δίνουν αποτελέσματα τα οποία είναι σχεδόν ίσα μεταξύ τους, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες τα αποτελέσματα μιας ή περισσότερων μεθόδων αποκλίνουν σημαντικά από τις υπόλοιπες (Cagliari, Millau, Rome). Σε έξι σταθμούς, σχεδόν όλες οι μέθοδοι έδωσαν όμοια αποτελέσματα. Σε τρεις από αυτούς (Bilbao, Brindisi, Millau) παρατηρήθηκε μικρή υπερεκτίμηση των παρατηρούμενων ακραίων τιμών (Bilbao, Brindisi, Millau), ενώ στους άλλους τρεις (Cagliari, Millau, Rome) μικρή υποεκτίμηση. Σύμφωνα με την πλειονότητα των διαγραμμάτων, όλα τα διορθωμένα σύνολα δεδομένων παρουσιάζουν όμοια διακύμανση με τα παρατηρούμενα ακραία. Αυτό γίνεται αντιληπτό και από τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης που ξεπερνά το 0.9 σε όλους σχεδόν τους σταθμούς. Όσον αφορά την τυπική απόκλιση, οι υψηλότερες τιμές της καταγράφονται για τη μέθοδο Scaling στους σταθμούς Milan, Millau και Thessaloniki, για τις μεθόδους Delta και EQM στους σταθμούς Rome και Ierapetra ενώ τέλος για την TIN-Corula μέθοδο στο σταθμό Bilbao. Στους υπόλοιπους σταθμούς, όλες οι μέθοδοι διόρθωσης δίνουν όμοια αποτελέσματα.

Βροχόπτωση

Τα αποτελέσματα της διόρθωσης των μεροληπτικών σφαλμάτων για την παράμετρο της βροχόπτωσης παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για την παράμετρο της θερμοκρασίας (μέγιστη και ελάχιστη). Γενικά, η μέθοδος TIN-Corula, προσεγγίζει ικανοποιητικά τη μέση τιμή των ακραίων βροχοπτώσεων σε αρκετούς από τους μελετώμενους σταθμούς (Brindisi, Ierapetra, Nice, Rome, Split). Σε πολλούς από αυτούς τους σταθμούς, η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζει ομοιότητες με ορισμένες από τις άλλες μεθόδους διόρθωσης μεροληψίας. Για παράδειγμα στο σταθμό Brindisi, τόσο η μέθοδος TIN-Corula όσο και η μέθοδος EQM δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ στους σταθμούς Nice, Rome και Split όλες οι μέθοδοι προσεγγίζουν

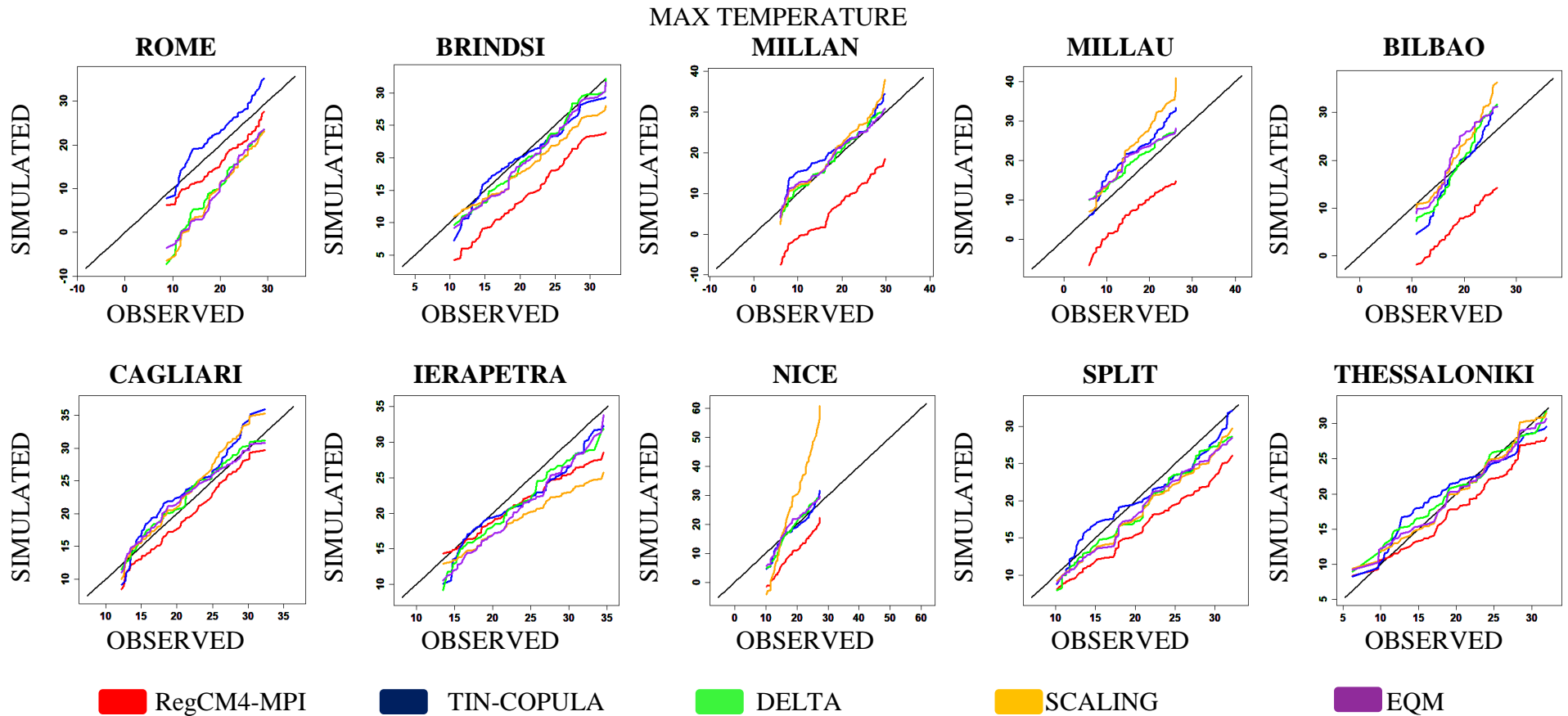
ικανοποιητικά τις ακραίες βροχοπτώσεις, με εξαίρεση τη μέθοδο EQM. Εκτός από τις περιπτώσεις όπου οι μέθοδοι προσεγγίζουν τα ακραία, υπάρχουν περιπτώσεις όπου όλες οι μέθοδοι αποκλίνουν σημαντικά από τις παρατηρούμενες τιμές. Σε ορισμένους σταθμούς, η απόκλιση είναι υψηλή (20mm), ενώ σε άλλους δεν ξεπερνά τα 10mm. Στους σταθμούς Bilbao, Millan και Millau, όλες σχεδόν οι μέθοδοι υποεκτιμούν τις ακραίες τιμές, ενώ στους σταθμούς Cagliari και Thessaloniki τις υπερεκτιμούν. Η βασική διαφορά ανάμεσα στην παράμετρο της θερμοκρασίας και βροχόπτωσης εντοπίζεται στα διαγράμματα διακύμανσης, στα οποία ενώ στην παράμετρο της θερμοκρασίας τα διορθωμένα σύνολα δεδομένων ακολουθούν τη διακύμανση των παρατηρούμενων τιμών, στην παράμετρο της βροχόπτωσης τα διορθωμένα σύνολα δεν μπορούν να αποδώσουν την διακύμανση των ακραίων βροχοπτώσεων. Αυτό το συμπέρασμα είναι ευδιάκριτο και στα γραφήματα Taylor, όπου οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης ανάμεσα στις παρατηρούμενες ακραίες βροχοπτώσεις και στα σύνολα μετά τη διόρθωση, κυμαίνονται από 0 έως 0.3. Οι τιμές αυτές αφορούν όλους τους σταθμούς και όλες τις μελετώμενες μεθόδους. Τέλος όσον αφορά την τυπική απόκλιση, οι τιμές της είναι παρόμοιες για όλες σχεδόν τις μεθόδους και σταθμούς, ενώ η μέθοδος Scaling δίνει τις χαμηλότερες τιμές. Όμοια αποτελέσματα καταγράφονται και για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE).

Αξιολόγηση 2 : Διαγράμματα ποσοτημορίων (QQ plots)

Το Σχήμα 5.8 παρουσιάζει τα διαγράμματα ποσοτημορίων των μέγιστων θερμοκρασιών, για τους 10 σταθμούς που έχουν επιλεγεί για την αξιολόγηση της μεθόδου TIN-Copula. Από το Σχήμα προκύπτει ότι οι ακραίες μέγιστες τιμές του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI αποκλίνουν σημαντικά από τις πραγματικές ακραίες μέγιστες τιμές του σταθμού για την πλειονότητα των σταθμών. Ειδικότερα, το διάγραμμα ποσοτημορίων για το σταθμό Rome δείχνει ότι οι διορθωμένες τιμές, προερχόμενες από όλες τις μεθόδους αποκλίνουν από το σημείο αναφοράς-διαγώνιος. Η μικρότερη απόκλιση από τις μεθόδους διόρθωσης παρατηρείται από την προτεινόμενη νέα μέθοδο, ενώ όλες οι άλλες μέθοδοι παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις, ιδιαίτερα στην κάτω ουρά του διαγράμματος. Για τις πόλεις Brindisi, Milan, Millau και Bilbao, τα αποτελέσματα παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες. Μετά τη διόρθωση των τιμών του κλιματικού



μοντέλου με τις τέσσερις μεθόδους, τα αποτελέσματα έχουν βελτιωθεί, καθώς οι αντίστοιχες καμπύλες τους βρίσκονται πλησιέστερα στη διαγώνιο. Η μέθοδος Scaling παρουσιάζει σημαντική απόκλιση στο άνω άκρο του διαγράμματος, ενώ η καμπύλη της μεθόδου TIN-Corula, είναι κοντά στη διαγώνιο. Από το διάγραμμα ποσοτημορίων της πόλης Cagliari, φαίνεται ότι οι διορθωμένες τιμές προσεγγίζουν την καμπύλη αναφοράς, ενώ απόκλιση παρατηρείται από τις μεθόδους TIN-Corula και Scaling στην άνω ουρά του γραφήματος. Όσον αφορά το σταθμό Ierapetra, όλα τα διορθωμένα σύνολα δεδομένων αποκλίνουν ελαφρώς από τη διαγώνιο, ιδιαίτερα στο μέρος που περιλαμβάνει τις τιμές που υπερβαίνουν τη μέση τιμή. Στο κάτω άκρο του γραφήματος, η TIN-Corula και η Delta μέθοδος προσεγγίζουν πιο ικανοποιητικά τις παρατηρούμενες τιμές- ενώ αντίθετα στο κάτω άκρο, τα αποτελέσματα της μεθόδου Scaling δεν βελτίωσαν ιδιαίτερα τα δεδομένα του μοντέλου αφού παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά.. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα για το σταθμό Nice, όπου φαίνεται ότι η μέθοδος TIN-Corula, η μέθοδος Delta και η μέθοδος EQM ακολουθούν τη διαγώνιο, ενώ η μέθοδος Scaling παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από τη διαγώνιο. Τέλος, οι σταθμοί Spit και Thessaloniki, παρουσιάζουν παρόμοια αποτελέσματα με τις τιμές των μεγίστων θερμοκρασιών να έχουν βελτιωθεί σημαντικά μετά τη διόρθωση με όλες τις μεθόδους.



Σχήμα 5.8. Διαγράμματα ποσοστημορίων των μεθόδων βελτίωσης μεροληπτικών σφαλμάτων για την παράμετρο της μέγιστης τιμής των μέσων θερμοκρασιών



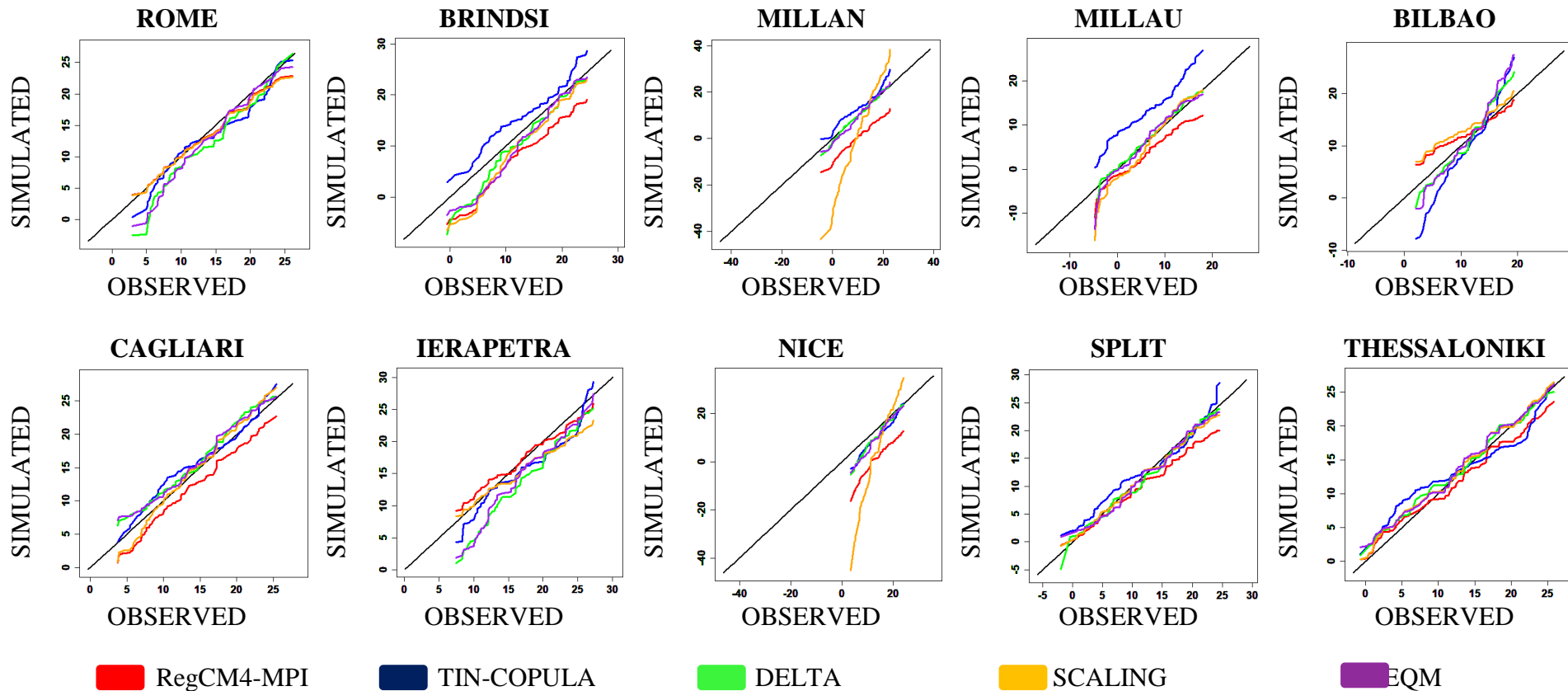
Το Σχήμα 5.9 παρουσιάζει τα διαγράμματα ποσοστιμορίων των ελάχιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, για τους 10 επιλεγμένους σταθμούς αξιολόγησης. Σύμφωνα με το Σχήμα 5.9 το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από τις πραγματικές ελάχιστες θερμοκρασίες, και η εφαρμογή των μεθόδων διόρθωσης κρίνεται απαραίτητη. Σε τέσσερις από τους 10 σταθμούς (Rome, Cagliari, Split, Thessaloniki), οι τιμές που προέρχονται από τις μελετώμενες μεθόδους διόρθωσης των σφαλμάτων μεροληψίας, ακολουθούν τη διαγώνιο, αποδεικνύοντας ότι οι ελάχιστες θερμοκρασίες προσεγγίζουν τις αντίστοιχες παρατηρούμενες με μεγάλη ακρίβεια. Στο σταθμό του Brindisi, παρατηρείται ότι μετά τη διόρθωση των τιμών με τις μεθόδους Delta, Scaling και EQM, τα αποτελέσματα στην άνω και κάτω ουρά του γραφήματος έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Επίσης, η καμπύλη της μεθόδου TIN-Copula, παρουσιάζει μικρές διαφορές από τη διαγώνιο. Στο σταθμό Milan, η καμπύλη της μεθόδου Scaling, παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από τη διαγώνιο, σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους, συμπεριλαμβανομένης και της TIN-Copula, οι οποίες προσεγγίζουν με ακρίβεια τις παρατηρούμενες τιμές. Στο σταθμό Millau, παρατηρείται απόκλιση όλων των καμπυλών από τη διαγώνιο στο κάτω μέρος του γραφήματος, εκτός από τη καμπύλη που περιγράφει τα δεδομένα που προέρχονται από την μέθοδο TIN-Copula, ενώ η ίδια μέθοδος αποκλίνει από την διαγώνιο στο υπόλοιπο γράφημα. Στο σταθμό Bilbao, παρατηρείται απόκλιση του συνόλου δεδομένων από τις παρατηρούμενες τιμές στην κάτω ουρά του διαγράμματος. Επιπρόσθετα, τεκμηριώνεται ότι η μέθοδος Scaling υπερεκτιμά τις ελάχιστες θερμοκρασίες, ενώ η TIN-Copula μέθοδος, η μέθοδος Delta και η μέθοδος EQM τις υποεκτιμούν. Όσον αφορά την άνω ουρά του διαγράμματος του τελευταίου σταθμού, η μέθοδος Scaling προσεγγίζει ικανοποιητικά τις υψηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες, ενώ οι άλλες μέθοδοι διόρθωσης παρουσιάζουν αποκλίσεις. Στο διάγραμμα του σταθμού Ierapetra, η πλειονότητα των καμπυλών-μεθόδων, αποκλίνει από τις παρατηρούμενες τιμές, ενώ οι μέθοδοι Delta και EQM παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαφορές με τη διαγώνιο στο κάτω μέρος του γραφήματος. Τέλος, όπως παρατηρήθηκε και στο αντίστοιχο διάγραμμα των μέγιστων θερμοκρασιών, στο σταθμό Nice, τα δεδομένα που προέρχονται από τη μέθοδο Scaling διαφέρουν σημαντικά από τα παρατηρούμενα, ενώ τα αντίστοιχα δεδομένα που προέρχονται από τις υπόλοιπες μεθόδους, προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρούμενες τιμές

Σύμφωνα με τα διαγράμματα ποσοστημορίων για την παράμετρο της βροχοπτώσης (Σχήμα 5.10), προκύπτει ότι στους περισσότερους σταθμούς, οι καμπύλες που περιγράφουν τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια τις παρατηρούμενες τιμές στην κάτω ουρά των γραφημάτων. Ωστόσο, το παραπάνω συμπέρασμα δεν παρατηρείται στις υπόλοιπες τιμές των διαγραμμάτων (μέσο και άνω ουρά), καθώς εκεί παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις του μοντέλου από τις παρατηρούμενες τιμές. Ειδικότερα, σε τρεις από τους σταθμούς (Milan, Millau, Nice), το κλιματικό μοντέλο υπερεκτιμά σημαντικά τις ακραίες βροχοπτώσεις καθώς οι αντίστοιχες καμπύλες του βρίσκονται πολύ πάνω από τη διαγώνιο. Στο σταθμό της Rome η καμπύλη της μεθόδου EQM παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές από τη διαγώνιο στο κάτω μέρος του γραφήματος και μέχρι τη μέση αυτού, ενώ στο άνω άκρο όλες οι μέθοδοι εκτός από τη Delta αποκλίνουν σημαντικά από τις παρατηρούμενες τιμές. Το διάγραμμα του σταθμού Brindisi αποκαλύπτει ότι όλες οι μέθοδοι παρουσιάζουν τιμές ακραίων βροχοπτώσεων που είναι κοντά στις πραγματικές. Για τους σταθμούς Milan και Nice όλες οι μέθοδοι προσεγγίζουν τη διαγώνιο μέχρι το μέσο του διαγράμματος, ενώ μετά παρατηρούνται αποκλίσεις. Όσον αφορά το σταθμό Millau, όλες οι μέθοδοι διόρθωσης εκτιμούν ακραίες βροχοπτώσεις που διαφέρουν από τις πραγματικές, ωστόσο η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζει τις μικρότερες διαφορές. Το διάγραμμα ποσοστημορίων της πόλης Bilbao, δείχνει ότι η μέθοδος EQM ακολουθεί τη διαγώνιο από το κάτω άκρο μέχρι τη μέση, χωρίς σημαντικές αποκλίσεις, ενώ τόσο η μέθοδος TIN-Copula όσο και η μέθοδος Delta παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στο μεγαλύτερο κομμάτι του γραφήματος.



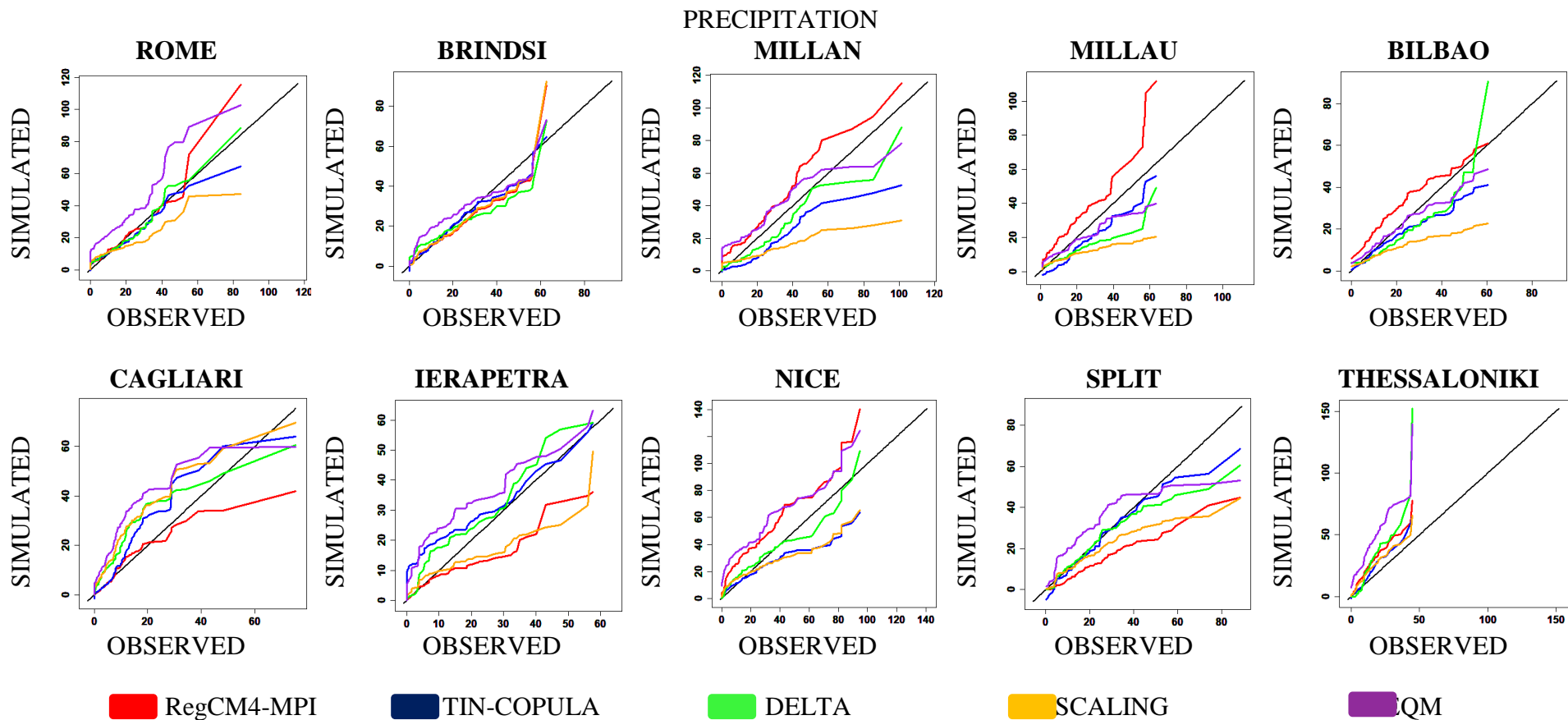
MIN TEMPERATURE

MILLAN



Σχήμα 5.9. Διαγράμματα ποσοστημορίων των μεθόδων βελτίωσης μεροληπτικών σφαλμάτων για την παράμετρο της ελάχιστης τιμής της μέσης θερμοκρασίας

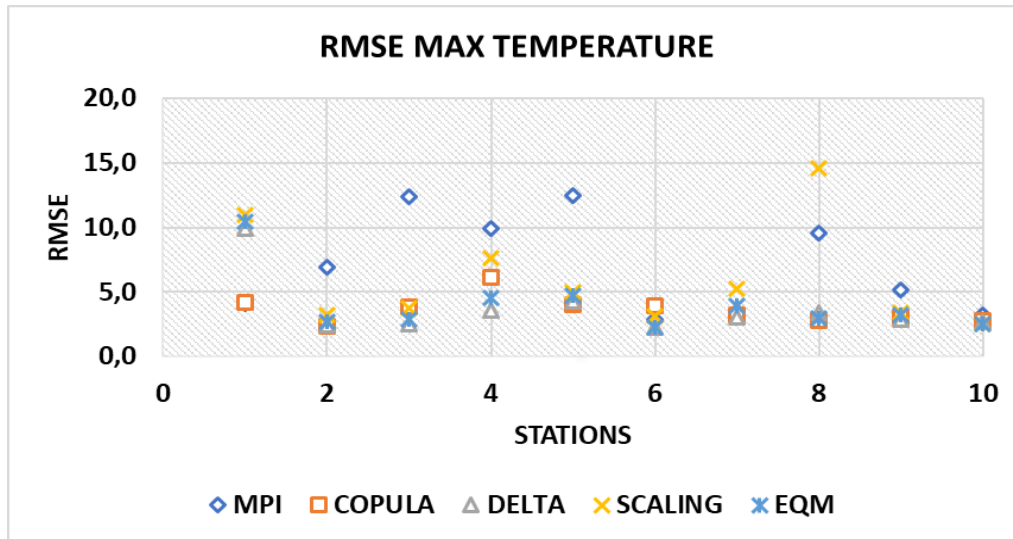
Στο σταθμό Cagliari, μετά από τη διόρθωση των μεροληπτικών λαθών του κλιματικού μοντέλου, τα αποτελέσματα αποκλίνουν από τις πραγματικές παρατηρήσεις, με τις μεγαλύτερες διαφορές να καταγράφονται για τις τιμές της μεθόδου EQM. Τέλος στο άνω τμήμα του διαγράμματος, όλες οι καμπύλες των μεθόδων διόρθωσης παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με το μέσο και κατώτερο μέρος. Στον σταθμό Ierapetra, οι τιμές του κλιματικού μοντέλου και οι τιμές που προέρχονται από τη μέθοδο Scaling δεν παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθώς αποκλίνουν σημαντικά από τη διαγώνιο, σε αντίθεση με τις μεθόδους Delta και TIN-Copula που ακολουθούν την διαγώνιο στο μεγαλύτερο μέρος, ενώ μικρές αποκλίσεις παρατηρούνται στην κάτω ουρά του γραφήματος. Για τον ίδιο σταθμό, η μέθοδος EQM υπερεκτιμά τις παρατηρούμενες τιμές σε όλο σχεδόν το γράφημα. Το διάγραμμα της πόλης Nice, δείχνει ότι η μέθοδος EQM υπερεκτιμά τις μέγιστες βροχοπτώσεις ενώ αντίθετα, η νέα μέθοδος TIN-Copula και η μέθοδος Scaling τις υποεκτιμούν. Τα αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη ακρίβεια για το σταθμό αυτόν επιτυγχάνονται από τη μέθοδο Delta. Στο σταθμό Split, η μέθοδος Scaling και η μέθοδος EQM παρουσιάζουν σημαντική απόκλιση από την καμπύλη της διαγωνίου, ενώ οι μέθοδοι Delta και TIN-Copula την προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια. Πιο συγκεκριμένα, στο άνω μέρος του γραφήματος, όλες οι μέθοδοι αποκλίνουν από τις πραγματικές τιμές, οι αποκλίσεις της μεθόδου TIN-Copula είναι οι μικρότερες. Τέλος, σύμφωνα με το διάγραμμα ποσοστημορίων για την πόλη της Thessaloniki η μέθοδος Scaling και η μέθοδος TIN-Copula προσεγγίζουν με ακρίβεια τις παρατηρούμενες ακραίες βροχοπτώσεις, ενώ τα σύνολα δεδομένων που προέρχονται από τις μεθόδους EQM και Delta, αποκλίνουν σημαντικά ιδιαίτερα στην άνω ουρά του γραφήματος.



Σχήμα 5.10. Διαγράμματα ποσοστημορίων των μεθόδων βελτίωσης μεροληπτικών σφαλμάτων για την παράμετρο της βροχόπτωσης

Αξιολόγηση 3η: Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (RMSE)

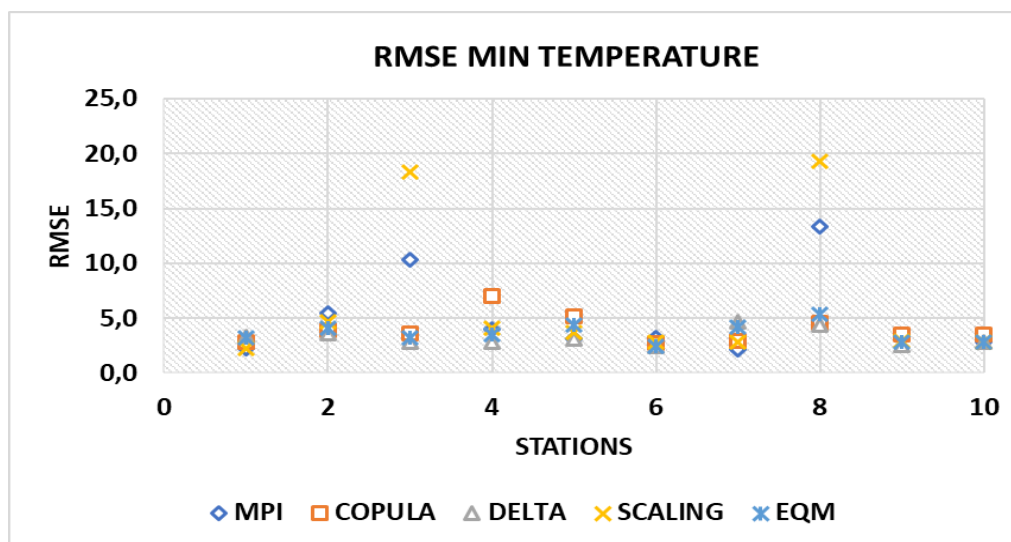
Για την αξιολόγηση της νέας προτεινόμενης μεθόδου TIN-Copula χρησιμοποιείται επίσης το μέγεθος της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) μεταξύ των παρατηρούμενων ακραίων τιμών, των αντίστοιχων τιμών που εκτιμώνται από το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI, και τις μεθόδους διόρθωσης, συμπεριλαμβανομένης της TIN-Copula.



Σχήμα 5.11. Διαγράμματα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE για τους 10 σταθμούς και για την παράμετρο της μέγιστης θερμοκρασίας. (1: Rome, 2: Brindisi, 3: Milan, 4: Millau, 5: Bilbao, 6: Cagliari, 7: Ierapetra, 8: Nice, 9: Split, 10: Thessaloniki)

Στην Σχήμα 5.11 παρουσιάζονται οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος για τις ακραία υψηλές θερμοκρασίες των 10 σταθμών που έχουν επιλεγεί για την αξιολόγηση της νέας μεθόδου. Στους περισσότερους σταθμούς (έξι) η τιμή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ των παρατηρούμενων και των τιμών του κλιματικού μοντέλου είναι η υψηλότερη, οι τιμές του RMSE ελαττώνονται μετά την εφαρμογή των 4 μεθόδων διόρθωσης. Αναλυτικότερα, για το σταθμό της Rome (1), η τιμή του RMSE της μεθόδου TIN-Copula είναι περίπου πέντε, ενώ όλων των άλλων μεθόδων είναι σχεδόν διπλάσια. Για τους σταθμούς Brindisi (2), Milan (3), Bilbao (5), Ierapetra (7), Split (9) και Thessaloniki (10), οι τιμές του RMSE όλων σχεδόν των μεθόδων διόρθωσης μεροληπτικών σφαλμάτων είναι πολύ χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές του κλιματικού μοντέλου. Η μέθοδος TIN-Copula παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα,

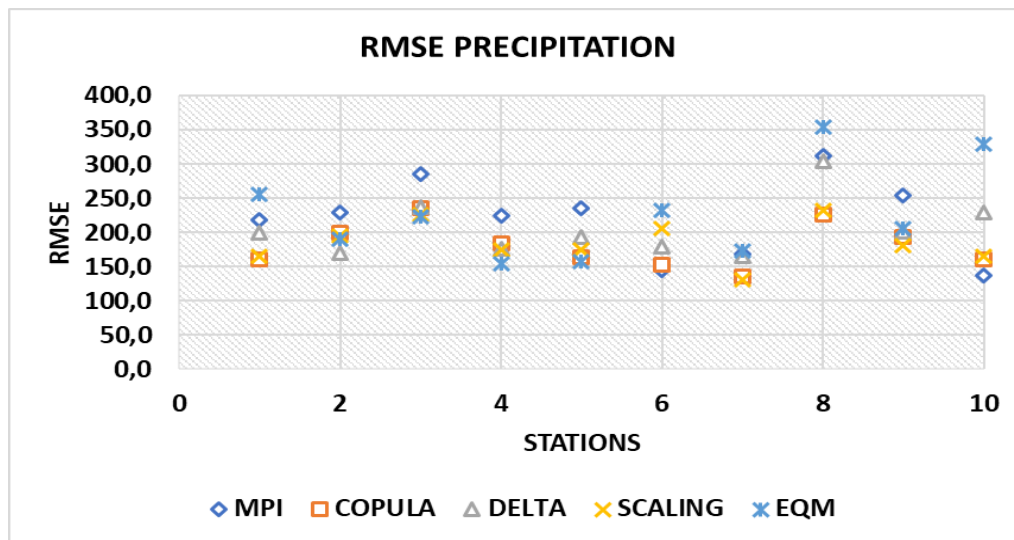
καθώς οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος είναι σχεδόν ίσες με τις αντίστοιχες τιμές των μεθόδων Delta και EQM για τους περισσότερους σταθμούς. Στο σταθμό Nice (8), η τιμή του RMSE μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών και των τιμών των μεθόδων διόρθωσης, με εξαίρεση τη μέθοδο Scaling όπου η τιμή ξεπερνά το 15, είναι χαμηλότερες από πέντε. Τέλος μόνο για το σταθμό Cagliari (6), η TIN-Copula μέθοδος έχει τιμή μέσου τετραγωνικού σφάλματος που είναι υψηλότερος από τις άλλες μεθόδους κατά ένα βαθμό.



Σχήμα 5.12. Διαγράμματα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE για τους 10 σταθμούς και για την παράμετρο της ελάχιστης θερμοκρασίας. (1: Rome, 2: Brindisi, 3: Milan, 4: Millau, 5: Bilbao, 6: Cagliari, 7: Ierapetra, 8: Nice, 9: Split, 10: Thessaloniki)

Τα αποτελέσματα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος για την παράμετρο των ελαχίστων τιμών της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 5.12) είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα των μεγίστων θερμοκρασιών. Στην πλειονότητα των σταθμών, οι τιμές του RMSE των μεθόδων διόρθωσης μεροληπτικών λαθών είναι σχεδόν ίσες, με ορισμένες διαφορές να παρατηρούνται για το σταθμό Milan (3). Πιο συγκεκριμένα, η τιμή του RMSE για το κλιματικό μοντέλο είναι σχεδόν 10, ενώ η αντίστοιχη τιμή για τη μέθοδο Scaling είναι μεγαλύτερη από 19. Επιπρόσθετα, στο σταθμό Millau (4), η TIN-Copula μέθοδος έχει τιμή μέσου τετραγωνικού σφάλματος σχεδόν δύο βαθμούς μεγαλύτερη από τις άλλες μεθόδους. Τέλος και ο σταθμός της Nice (8) παρουσιάζει ορισμένες αξιοσημείωτες τιμές, καθώς η τιμή RMSE για το RegCM4-MPI μοντέλο και τη μέθοδο Scaling είναι υψηλότερη από τις άλλες μεθόδους.

Το Σχήμα 5.13 δείχνει τις τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος για τις ακραίες βροχοπτώσεις. Η τιμή του RMSE για το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI είναι υψηλότερη στους μισούς σταθμούς μελέτης (Brindisi (3), Milan (4), Millau (5), Bilbao (6), Split (10)). Η προτεινόμενη μέθοδος TIN-Copula παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα για όλους τους σταθμούς, καθώς εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές RMSE συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους διόρθωσης μεροληπτικών σφαλμάτων. Αξιοσημείωτο είναι το ότι παρά τις ιδιαίτερα υψηλές τιμές που παρουσίαζε η μέθοδος Scaling για την παράμετρο της θερμοκρασίας (μέγιστη και ελάχιστη), για την παράμετρο της βροχόπτωσης, τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις παρατηρούμενες τιμές και παρουσιάζουν σχεδόν αντίστοιχες τιμές με τη μέθοδο TIN-Copula. Η μέθοδος Delta, στους περισσότερους σταθμούς παρουσιάζει τιμή RMSE σχεδόν ίση με τις άλλες μεθόδους ενώ η τιμή του RMSE της μεθόδου αυτής είναι υψηλή για τους σταθμούς Nice (8) και Thessaloniki (10). Τέλος η μέθοδος EQM έχει τιμή μέσου τετραγωνικού σφάλματος, σχεδόν ίση με τις άλλες μεθόδους σε έξι από τους 10 σταθμούς, ενώ στους υπόλοιπους τέσσερις (Rome (1), Cagliari (6), Nice (8), Thessaloniki (10)) η μέθοδος αυτή παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή.



Σχήμα 5.13. Διαγράμματα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMSE για τους 10 σταθμούς και για την παράμετρο των ακραίων βροχοπτώσεων. (1: Rome, 2: Brindisi, 3: Milan, 4: Millau, 5: Bilbao, 6: Cagliari, 7: Ierapetra, 8: Nice, 9: Split, 10: Thessaloniki)

5.2.4. Επιμέρους συμπεράσματα αξιολόγησης

Η αξιολόγηση της μεθόδου TIN-Corula πραγματοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης των διορθωμένων τιμών του κλιματικού μοντέλου από την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, με τις αντίστοιχες διορθωμένες τιμές από τρεις άλλες ευρύτερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους διόρθωσης, καθώς επίσης και με τις καταγεγραμμένες ακραίες τιμές των σταθμών που γίνεται η διόρθωση.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, αποδείχθηκε ότι προκύπτει ότι η μέθοδος TIN-Corula, είναι ικανή να διορθώσει τις εκτιμήσεις του μοντέλου σε βαθμό ίσο ή πολλές φορές μεγαλύτερο συγκριτικά με τις με τις άλλες μεθόδους διόρθωσης. Επιπρόσθετα, αποδείχθηκε ότι τα αποτελέσματα της κάθε μεθόδου επηρεάζονται από διάφορα στοιχεία, όπως η κλιματική παράμετρος που μελετάται και η θέση των μελετώμενων κόμβων. Για παράδειγμα, η μέθοδος Scaling, παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα για την παράμετρο της βροχοπτώσης συγκριτικά με την θερμοκρασία. Για την πλειονότητα των σταθμών, και των παραμέτρων (μέγιστη και ελάχιστη τιμή των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών και ακραίων βροχοπτώσεων), η προτεινόμενη μέθοδος TIN-Corula, προσεγγίζει ικανοποιητικά τις παρατηρούμενες ακραίες κλιματικές τιμές και παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα, που την καθιστούν ένα σημαντικό εργαλείο για την επιστημονική κοινότητα.

- 1) Αρχικά με τη μέθοδο TIN-Corula, μπορεί να επιτευχθεί διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας ενός κλιματικού μοντέλου, σε οποιοδήποτε κόμβο που περικλείεται από τα σχηματιζόμενα TIN τρίγωνα. Αντίθετα, οι άλλες μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε συγκεκριμένα σημεία στα οποία υπάρχουν πραγματικές παρατηρήσεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως αρχικά δεδομένα για την διόρθωση.
- 2) Η μέθοδος TIN-Corula χρησιμοποιεί τα στοιχεία τριών γειτονικών σημείων για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων και όχι μόνο ένα σημείο, όπως γίνεται με τις άλλες μεθόδους. Γενικότερα, τόσο η TIN-Corula μέθοδος όσο και οι άλλες μέθοδοι, παρουσιάζουν αποτελέσματα τα οποία αποκλίνουν από τα πραγματικά, όταν η κλιματολογία του σταθμού που θεωρείται ως «πιλότος» διαφέρει σημαντικά από την κλιματολογία του κόμβου που διορθώνεται. Ωστόσο, επειδή στην TIN-Corula μέθοδο δεν χρησιμοποιείται ένας αλλά τρεις γειτονικοί σταθμοί, τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν περισσότερο αξιόπιστα.

- 3) Η χρήση δεδομένων από όλη τη διαθέσιμη χρονική περίοδο. Ειδικότερα, για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων του κλιματικού μοντέλου με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες μεθόδους, η περίοδος με τα διαθέσιμα δεδομένα χωριζόταν σε υποπερίόδους έτσι ώστε η μια υποπερίοδος να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της σχέσης και η άλλη για τη διόρθωση των σφαλμάτων. Ωστόσο με τη μέθοδο TIN-Copula, ολόκληρη η χρονική περίοδος με τα παρατηρούμενα δεδομένα χρησιμοποιείται για τη διόρθωση των σφαλμάτων, χωρίς να απαιτείται ο διαχωρισμός και η χρήση περιορισμένων δεδομένων.
- 4) Τέλος, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η μοναδικότητα της μεθόδου TIN-Copula. Αναλυτικότερα, η νέα συνάρτηση σύζευξης εκτιμάται μία φορά και δεν χρειάζεται να επαναυπολογιστεί για διαφορετικές περιόδους, με αποτέλεσμα η διόρθωση να επιτυγχάνεται εύκολα τόσο για διάφορες χρονικές περιόδους (συμπεριλαμβανομένων των μελλοντικών), όσο και για διαφορετικά κλιματικά μοντέλα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω πλεονεκτήματα αλλά και την πολύ υψηλή ακρίβεια με την οποία η μέθοδος TIN-Copula προσεγγίζει τις ακραίες τιμές συμπεραίνεται ότι η μέθοδος αυτή, μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο μελέτης για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων που εντοπίζονται στις τιμές των περιοχικών κλιματικών μοντέλων. Για το λόγο αυτό, η εν λόγω μέθοδος χρησιμοποιείται για τη διόρθωση των σφαλμάτων των ακραίων τιμών του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τις παραμέτρους θερμοκρασίας και βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής περιγράφονται στα επόμενα κεφάλαια.



6. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TIN-COPULA

Τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση των παγκόσμιων και περιοχικών κλιματικών μοντέλων αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών και για τη λήψη αποφάσεων σε διάφορους τομείς (World Modeling Summit for Climate Prediction 2008). Ωστόσο, οι εκτιμήσεις τους παρουσιάζουν συστηματικές αποκλίσεις από τις πραγματικές συνθήκες, ιδιαίτερα όσον αφορά τις ακραίες τιμές (Christensen and Christensen 2007; Mearns et al. 2012; Sillmann et al. 2013). Το γεγονός αυτό πηγάζει από την αδυναμία τους να προσομοιώσουν όλες τις διαδικασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα (Lupo and Kininmonth, 2013). Συνεπώς, η προ-επεξεργασία των εξαγόμενων κλιματικών δεδομένων κρίνεται απαραίτητη (Sharma et al. 2007, Ines Hansen et al. 2006).

Πολλές στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται από πληθώρα επιστημών διαφόρων κλάδων (μετεωρολογία, κλιματολογία, υδρολογία) για την προ-επεξεργασία των τιμών των κλιματικών μοντέλων. Οι Piani et al. (2010) πρότειναν μια στατιστική μέθοδο σύμφωνα με την οποία υποθέτεται ότι η κατανομή τόσο των παρατηρούμενων όσο και των εκτιμώμενων βροχοπτώσεων μπορεί να περιγραφεί από την Γάμμα κατανομή. Μία άλλη μέθοδος η οποία λαμβάνει υπόψη τις αλλαγές της τυπικής απόκλισης, των μέσων τιμών

και του συντελεστή μεταβλητότητας, προτάθηκε το 2012 από τους Watanabe et al. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παραπάνω μεθόδου με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων διόρθωσης συστηματικών σφαλμάτων απέδειξε την αξιοπιστία της μεθόδου. Γίνεται αντιληπτό πως η ανάγκη για διόρθωση των αποκλίσεων που παρατηρούνται μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών και των αντίστοιχων τιμών που εκτιμώνται από τα κλιματικά μοντέλα έχει οδηγήσει στην δημιουργία διαφόρων μεθόδων βελτίωσης των συστηματικών σφαλμάτων. Ορισμένες από αυτές παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και για αυτό είναι και ευρύτερα χρησιμοποιούμενες, ενώ άλλες όχι.

Η μέθοδος των συζεύξεων - copulas έχει χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας των κλιματικών παραμέτρων, κυρίως στο τομέα της υδρολογίας. Για την περιοχή της Γερμανίας, οι Piani et al (2012) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο των συζεύξεων για τη διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας τόσο για την παράμετρο της θερμοκρασίας όσο και για την βροχόπτωση, και τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Μία παρόμοια υδρολογική μελέτη, η οποία όμως αφορά τις μέσες και όχι ακραίες παραμέτρους, πραγματοποιήθηκε για την περιοχή της Γερμανίας από τους Mao et al. (2015), οι οποίοι χρησιμοποίησαν την μέθοδο των συζεύξεων για τη διόρθωση των βροχοπτώσεων του κλιματικού μοντέλου Weather Research and Forecasting (WRF). Το 2019, οι Lazoglou et al, χρησιμοποίησαν τη μέθοδο των συζεύξεων για τη βελτίωση των μεροληπτικών σφαλμάτων στην παράμετρο της βροχόπτωσης, για την περιοχή του Νέστου, καθώς παρουσιάζει ιδιαίτερο υδρολογικό ενδιαφέρον. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής αποδεικνύουν ότι η μέθοδος των συζεύξεων αποτελεί ένα ικανό εργαλείο για τη βελτίωση των ακραίων εκτιμώμενων βροχοπτώσεων και κατά συνέπεια των υπόλοιπων μεγεθών που εξαρτώνται από τη βροχή (πχ απορροή).

Σκοπός του 6^{ου} κεφαλαίου της παρούσας διατριβής, είναι ανάπτυξη μιας νέας μαθηματικής μεθόδου η οποία συνδυάζει την θεωρία των συζεύξεων (Copulas) με αυτήν των Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (Triangular-Irregular-Networks TIN) και ονομάζεται TIN-Copula μέθοδος. Σκοπός της ανάπτυξης αυτής της νέας μεθόδου είναι η αποτελεσματική διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των κλιματικών μοντέλων για τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην περιοχή μελέτης, και κατά συνέπεια η αύξηση της ακρίβειας των προβλέψεών τους. Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία της νέας μεθόδου, τα αποτελέσματά της στη Μεσογειακή

Λεκάνη, καθώς και τα αποτελέσματα της αξιολόγησής της, με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων.

6.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

6.1.1. Δεδομένα

Για την εφαρμογή και την αξιολόγηση της TIN-Corula μεθόδου στην Μεσογειακή Λεκάνη, χρησιμοποιούνται δεδομένα, προερχόμενα από τρεις διαφορετικές πηγές. Αρχικά χρησιμοποιούνται οι ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων για την περίοδο 1981-2000, από σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή της Ευρώπης. Οι σταθμοί με διαθέσιμα θερμοκρασιακά δεδομένα είναι 37, ενώ οι σταθμοί με διαθέσιμα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης είναι 29 (Σχήμα 2.2 και Σχήμα 2.3).

Η δεύτερη πηγή δεδομένων είναι το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI, οι τιμές του οποίου είναι και αυτές που διορθώνονται. Τα δεδομένα του μοντέλου που χρησιμοποιούνται, είναι ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των κόμβων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης (Σχήμα 2.4) και προέρχονται από τη χρονική περίοδο 1981-2000.

Για την αξιολόγηση των διορθωμένων τιμών χρησιμοποιούνται ημερήσια δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis – NCEP) για τις δύο μελετώμενες παραμέτρους, τα οποία καλύπτουν την Μεσογειακή περιοχή με 405 κόμβους (Σχήμα 2.5).

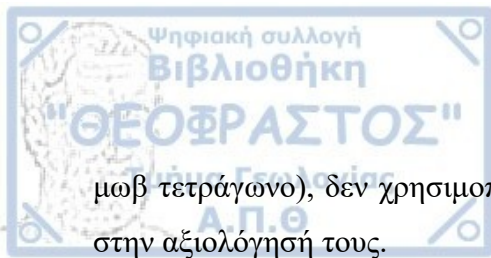
6.1.2. Μεθοδολογία

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας περιλαμβάνει την επεξεργασία των αρχικών ημερήσιων δεδομένων με σκοπό τη δημιουργία της τελικής βάσεως, στην οποία θα εφαρμοστεί η TIN-Corula μέθοδος. Χρησιμοποιώντας τις ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης υπολογίζονται οι μέσες και οι απόλυτα ακραίες μηνιαίες θερμοκρασίες και βροχόπτωσης στους σταθμούς που καλύπτουν την περιοχή μελέτης. Η περίοδος μελέτης περιλαμβάνει τα έτη 1981-2000 και συνεπώς οι μηνιαίες χρονοσειρές (μέσων και ακραίων) αποτελούνται από 240 τιμές. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε τόσο για τα NCEP δεδομένα όσο και για τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI.

Μετά τη δημιουργία της τελικής βάσης δεδομένων (μέσες μηνιαίες και ακραίες τιμές) ακολουθεί ο σχηματισμός των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων (TIN) για τις δύο μελετώμενες παραμέτρους. Για το TIN δίκτυο της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται οι 37 διαθέσιμοι σταθμοί (Σχήμα 6.1), ενώ το αντίστοιχο TIN δίκτυο της βροχόπτωσης σχηματίζεται με βάση τις θέσεις των 29 σταθμών (Σχήμα 6.2).

Για κάθε σταθμό-κορυφή ενός TIN τριγώνου, πραγματοποιούνται δύο βασικοί υπολογισμοί: Αρχικά, μοντελοποιείται η σχέση εξάρτησης των μέσων και ακραίων μηνιαίων τιμών του. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή της καταλληλότερης οικογένειας σύζευξης, η εξίσωση της οποίας περιγράφει την σχέση εξάρτησης με τη μεγαλύτερη ακρίβεια. Για την επιλογή της καταλληλότερης οικογένειας, ελέγχονται οι εξισώσεις περισσότερων από 20 συζεύξεων (Πίνακας 5.1), με την τελική επιλογή να γίνεται χρησιμοποιώντας τα κριτήρια AIC και BIC. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ελεγχόμενες οικογένειες προέρχονται τόσο από την κατηγορία των Αρχιμήδειων όσο και των Ελλειπτικών συζεύξεων. Ο δεύτερος κρίσιμος υπολογισμός που πραγματοποιείται σε κάθε σταθμό – κορυφή των TIN τριγώνων αφορά στην επιλογή της μαθηματικής κατανομής που μπορεί να περιγράψει με τη μεγαλύτερη ακρίβεια την συμπεριφορά των ακραίων θερμοκρασιών ή βροχοπτώσεων του υπό μελέτη σταθμού. Για την εύρεση της κατανομής αυτής ελέγχονται έξι κατανομές (normal, gamma, log-normal, Weibull, GEV και Pareto) με την τελική επιλογή να γίνεται με τη χρήση των κριτηρίων AIC και BIC.

Μετά την ολοκλήρωση των επιλογών της καταλληλότερης οικογένειας σύζευξης και της περιθώριας κατανομής σε κάθε σταθμό, ξεκινά η διαδικασία διόρθωσης των συστηματικών σφαλμάτων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI (bias correction). Για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών (Σχήμα 6.3 - κόκκινα σημεία) της μελετώμενης περιοχής και τα δεδομένα των κόμβων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI στα οποία γίνεται και η διόρθωση (Σχήμα 6.3 -μαύρο x - point). Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζεται ενδεικτικά ένας από τους κόμβους του κλιματικού μοντέλου, ο οποίος αποτελεί και το σημείο x-point. Ένα ακόμα στοιχείο που χρησιμοποιείται στη διαδικασία διόρθωσης είναι οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ του σημείου x-point και των κορυφών του τριγώνου στο οποίο ανήκει (Σχήμα 6.3 -πράσινη διακεκομμένη γραμμή). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα NCEP δεδομένα (Σχήμα 6.3 –



Διόρθωση Σφαλμάτων με TIN-Corula

μωβ τετράγωνο), δεν χρησιμοποιούνται άμεσα στη διόρθωση των ακραίων τιμών, αλλά στην αξιολόγησή τους.

Η διαδικασία διόρθωσης των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου για τις ακραίες τιμές, επαναλαμβάνεται ξεχωριστά για κάθε κόμβο του μελετώμενου μοντέλου που ανήκει σε κάποιο από τα τρίγωνα TIN. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Εντοπίζεται το TIN τρίγωνο στο οποίο περιέχεται ο μελετώμενος κόμβος.
- Υπολογίζεται η απόσταση του σημείου x-point από τις κορυφές του TIN τριγώνου στο οποίο εμπεριέχεται.
- Στο σημείο x δημιουργείται μια νέα οικογένεια σύζευξης – new corula χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις των συζεύξεων που έχουν επιλεγεί σε κάθε σταθμό – κορυφή του TIN τριγώνου. Ο βαθμός συμμετοχής της κάθε σύζευξης εξαρτάται από την απόσταση του x-point από την εκάστοτε κορυφή. Πιο συγκεκριμένα, οι εξισώσεις των συζεύξεων των κορυφών προστίθενται με βαρύτητα αντιστρόφως ανάλογη των αποστάσεών τους από το σημείο x-point. Αυτό επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό ενός συντελεστή W ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$S = (\text{Dist } 1 + \text{Dist } 2 + \text{Dist } 3)$$

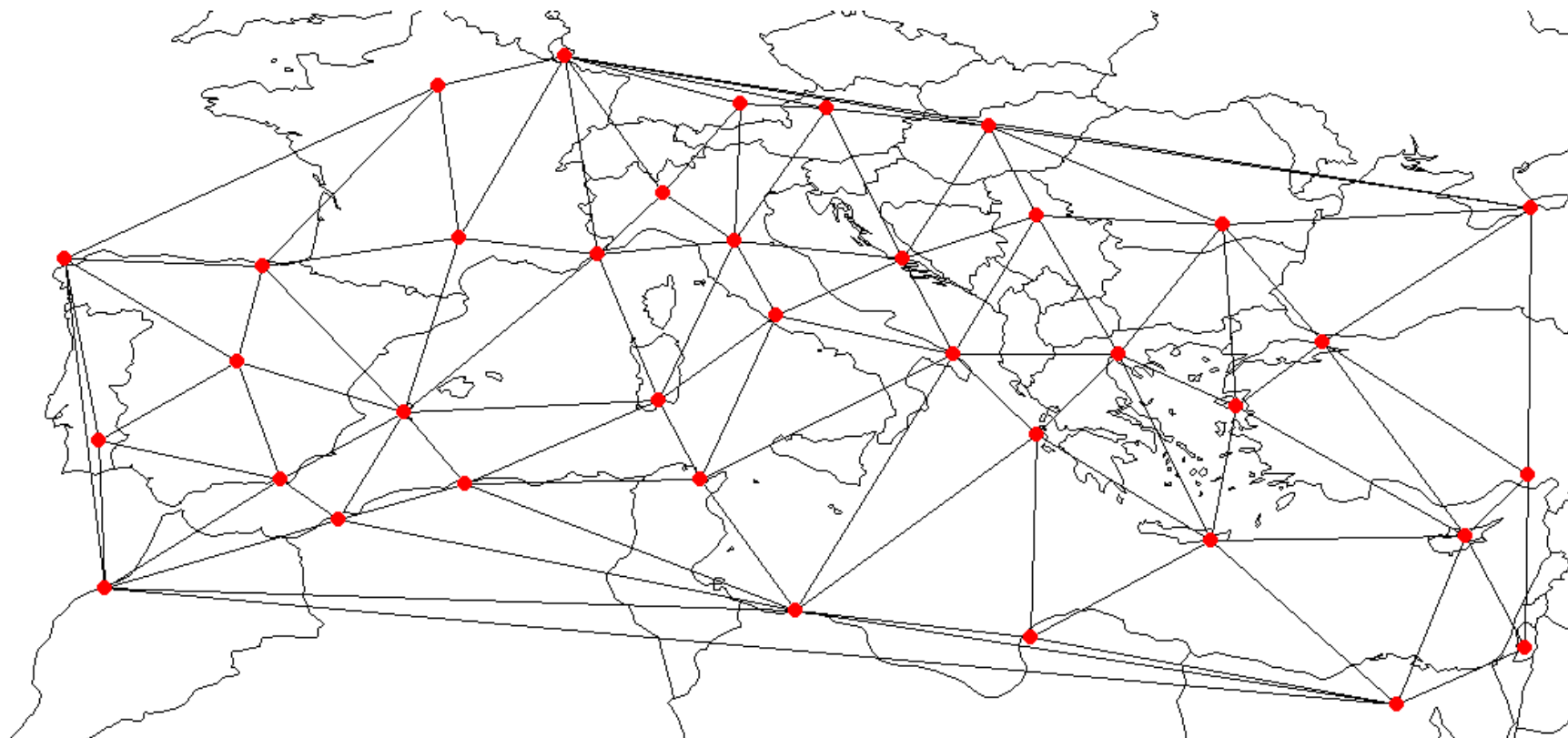
$$W_n = S / (\text{Dist } n * ((S/\text{Dist}1) + (S/\text{Dist}2) + (S/\text{Dist } 3)))$$

όπου Dist 1,2,3 είναι οι αποστάσεις του σημείου x από τις κορυφές – σταθμούς του τριγώνου στο οποίο ανήκει, και n η κορυφή για την οποία υπολογίζεται ο συντελεστής (n= 1,2 ή 3)

Η παραπάνω διαδικασία υπολογισμού της νέας οικογένεια σύζευξης (new-corula) στο σημείο x-point, ακολουθείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και για τον υπολογισμό της νέας περιθώριας συνάρτησης στο σημείο αυτό (new-marginal).

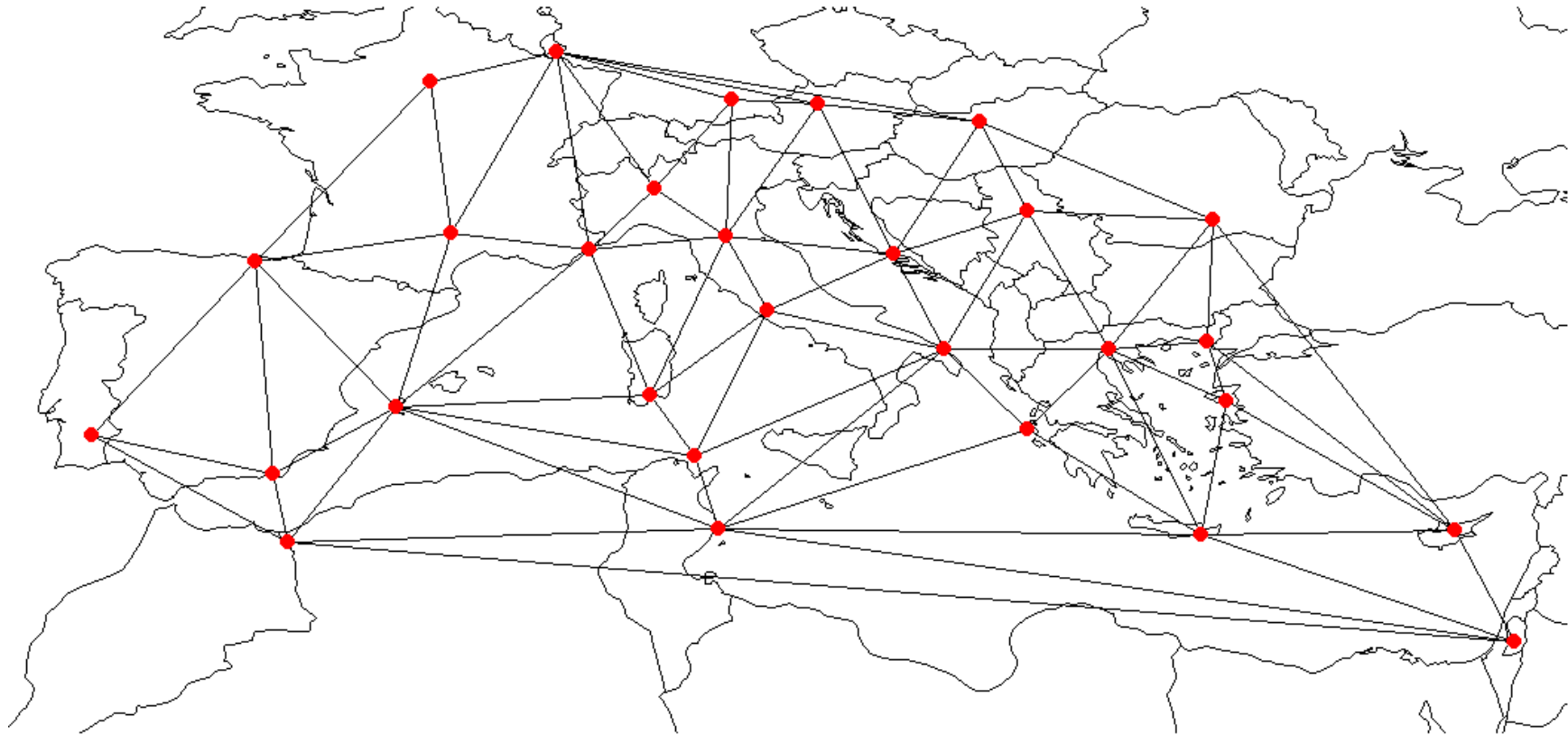


ΤΡΙΓΩΝΙΚΟ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΙΝ) ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ



Σχήμα 6.1.: Το τριγωνικό ακανόνιστο δίκτυο για την παράμετρο της θερμοκρασίας που σχηματίζεται από τους 37 διαθέσιμους σταθμούς

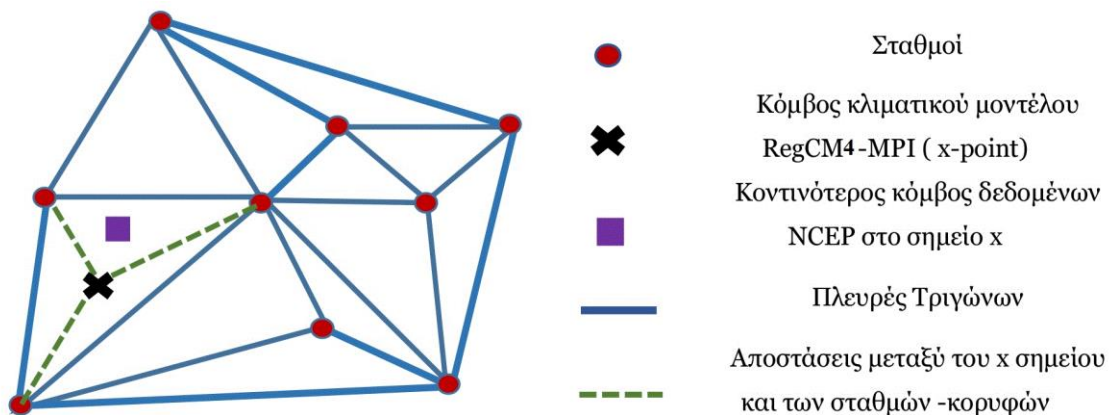
ΤΡΙΓΩΝΙΚΟ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΤΙΝ) ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ



Σχήμα 6.2.: Το τριγωνικό ακανόνιστο δίκτυο για την παράμετρο της βροχόπτωσης που σχηματίζεται από τους 29 διαθέσιμους σταθμούς.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση της νέας σύζευξης (new corula) στο σημείο x-point, καθώς και τη χρονοσειρά των μέσων μηνιαίων τιμών του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI (στον κόμβου x-point) σαν δεδομένα εισόδου, προκύπτει ένα νέο σύνολο κανονικοποιημένων τιμών. Οι τιμές αυτές προσαρμόζονται στην υπολογιζόμενη περιθώρια συνάρτηση (new-marginal), με αποτέλεσμα μια νέα χρονοσειρά η οποία αποτελείται από τις διορθωμένες εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου για τις ακραίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις στο σημείο x-point.

Το τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας περιλαμβάνει την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της TIN-Corula μεθόδου. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει την σύγκριση των διορθωμένων τιμών του σημείου x-point με τις ακραίες τιμές του κοντινότερου κόμβου των NCEP δεδομένων (Σχήμα 6.3 – μωβ τετράγωνο). Στην παρούσα διατριβή, οι συγκρίσεις έχουν πραγματοποιηθεί με διάφορες στατιστικές μεθόδους (π.χ Taylor, diagrams, QQ plots, ROC Curves).



Σχήμα 6.3. Περιγραφή ενός τυχαίου δικτύου TIN. Σε ένα από τα τρίγωνα του δικτύου εμπεριέχεται ο κόμβος του μοντέλου στον οποίο πραγματοποιείται η διόρθωση.

6.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΕΠΙΤΥΧΙΑΣ ΕΚΑΤΟΣΤΗΜΟΡΙΩΝ - HIT RATE OF PERCENTILES (HRP)

Για τη διόρθωση των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI στην περιοχή της Μεσογείου, χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Ποσοστού Επιτυχίας Εκατοστημορίων– Hit Rate of Percentiles (HRP). Με τη χρήση του δείκτη αυτού επιτυγχάνεται η ποσοτική εκτίμηση του βαθμού στον οποίο το κλιματικό μοντέλο είναι ικανό να αναπαράγει τις ακραίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις. Αποτελεί έτσι ένα αντικειμενικό κριτήριο για τη λήψη αμερόληπτης απόφασης σχετικά με το εάν το μελετώμενο σημείο χρίζει διόρθωσης ή όχι. Ο δείκτης αυτός ορίστηκε το 2012 από τον Schoetter (Schoetter et al., 2012) και αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης για τους μέσους όρους των παραμέτρων που μελετώνται. Ο τύπος του δείκτη είναι ο εξής:

$$HRP = \sum_{i=1}^{99} \begin{cases} 1/99 & \text{if } |P_{m,i} - P_{o,i}| \leq U(P_{o,i}) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$P_{m,i}$ = το i -κοστό ποσοστιαίο σημείο της χρονοσειράς και

$U(P_{o,i})$ = το άνω όριο της απόκλισης για το i -κοστό ποσοστιαίο σημείο

Ο παραπάνω δείκτης, όπως περιγράφει και η ονομασία του, υπολογίζει τις διαφορές των παρατηρούμενων και των εκτιμώμενων τιμών για κάθε ένα εκατοστημόριο. Η τελική τιμή του δείκτη υπολογίζεται διαιρώντας το άθροισμα των περιπτώσεων όπου η διαφορά ξεπερνά ένα προκαθορισμένο κατώφλι με τον αριθμό 99. Στην παρούσα μελέτη ως κατώφλι για τις διαφορές των ακραίων τιμών επιλέχθηκε ο 1.5°C για την παράμετρο της θερμοκρασίας και τα 5 mm για την βροχόπτωση. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές, έτσι ώστε η εικόνα του δείκτη να αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Οι τιμές του δείκτη βρίσκονται μεταξύ των τιμών μηδέν και ένα με την ιδανική τιμή να είναι το ένα. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη τόσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση των τιμών του μοντέλου από τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές.

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη σε κάθε ένα σημείο πλέγματος, πραγματοποιήθηκε διόρθωση των ακραίων τιμών στα σημεία όπου ο δείκτης ήταν μικρότερος από 0.5, κάτι που σημαίνει ότι το κλιματικό μοντέλο αναπαριστά τις πραγματικές τιμές με ακρίβεια

Διόρθωση Σφαλμάτων με TIN-Copula μικρότερη από 50%. Στους κόμβους αυτούς, εφαρμόστηκε η νέα προτεινόμενη μέθοδος TIN-Copula για τη διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας. Μετά τη διόρθωση, πραγματοποιήθηκε επανα-υπολογισμός των τιμών του δείκτη έτσι ώστε να γίνει μια πρώτη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης μεθόδου.

Πίνακας 6.1. Το πλήθος (στήλες 1-2) και τα ποσοστά (στήλες 3-4) των κόμβων της περιοχής μελέτης, όπου ο δείκτης HRP για την παράμετρο των μέγιστων θερμοκρασιών είναι μικρότερος από 0.5. Η τελευταία στήλη παρουσιάζει τον αριθμό των κόμβων όπου η τιμή μετά τη διόρθωση ήταν υψηλότερη από την αρχική.

Μέγιστη μέση Θερμοκρασία					
	Τιμή $HRP \leq 0,5$		% Τιμή $HRP \leq 0,5$		Βελτιωμένες Τιμές
	Μοντέλο	TIN-Copula	Μοντέλο	TIN-Copula	
ΕΤΟΣ	149	71	46,6	22,2	124
<i>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</i>	155	122	48,4	38,1	94
<i>ΑΝΟΙΞΗ</i>	161	120	50,3	37,5	94
<i>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</i>	172	131	53,8	40,9	89
<i>ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ</i>	139	86	43,4	26,9	98

Οι πίνακες (Πίνακας 6.1, 6.2 και 6.3) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του δείκτη για τις ακραίες τιμές των τριών μελετώμενων παραμέτρων (Μέγιστη θερμοκρασία, Ελάχιστη Θερμοκρασία και Βροχόπτωση). Η ανάλυση έχει πραγματοποιηθεί σε εποχιακή και ετήσια βάση. Στην πρώτη στήλη παρουσιάζεται ο αριθμός των κόμβων στους οποίους ο δείκτης HRP έχει τιμή μικρότερη από 0.5. Αντίστοιχα στη δεύτερη στήλη παρουσιάζεται ο ίδιος αριθμός, αλλά αυτή τη φορά για τις διορθωμένες τιμές. Επιπρόσθετα, στις στήλες τρία και τέσσερα, οι τιμές αυτές αποτυπώνονται και με τη μορφή ποσοστών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι έχει υπολογιστεί και ο αριθμός των κόμβων στους οποίους η τιμή του δείκτη μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Copula αυξήθηκε, κάτι που σημαίνει ότι υπήρξε βελτίωση, καθώς η διορθωμένη τιμή του μοντέλου προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την τιμή των παρατηρούμενων τιμών. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε για να υπάρχει μια σαφέστερη εικόνα της αλλαγής των τιμών μετά από την εφαρμογή της

προτεινόμενης μεθόδου. Αναλυτικότερα, υπήρχαν περιπτώσεις- κόμβοι στους οποίους η τιμή του δείκτη με τις αρχικές τιμές του μοντέλου ήταν κάτω από 0.5 (πχ 0.2) και παρέμεινε κάτω από 0.5 και μετά τη βελτίωση. Ωστόσο η νέα τιμή του δείκτη είναι υψηλότερη από την προηγούμενη (πχ 0.4) και συνεπώς υπήρξε βελτίωση.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 6.1, στην περιοχή μελέτης το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από τις ετήσιες παρατηρούμενες ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες σε 149 κόμβους, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν το 46,6% των συνολικών τιμών. Μετά την διόρθωση των ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών με την μέθοδο TIN-Corula, το ποσοστό αυτό έχει μειωθεί σχεδόν στο μισό, καθώς οι κόμβοι στους οποίους η τιμή του μοντέλου αποκλίνει σε βαθμό μεγαλύτερο του 1.5°C δεν ξεπερνούν τους 71. Επιπρόσθετα, πέρα από τους 78 κόμβους (149-71) στους οποίους η βελτίωση μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula ήταν τόσο σημαντική ώστε ο δείκτης HRP να ξεπεράσει την τιμή 0.5, καταγράφηκε βελτίωση, δηλαδή αύξηση της τιμής του δείκτη HRP, σε 124 συνολικά κόμβους. Σε εποχιακή βάση, φαίνεται ότι το χειμώνα, οι κόμβοι στους οποίους η τιμή του δείκτη HRP για το μοντέλο RegCM4-MPI είναι μικρότερη από 0.5 είναι 155. Μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου, ο αριθμός αυτός είναι 122, γεγονός που μεταφράζεται σε ποσοστιαία μείωση μεγαλύτερη από 10 μονάδες (48,4% σε 38,1%). Επιπρόσθετα εκτός από τη βελτίωση των κόμβων στους οποίους η τιμή του δείκτη ανέβηκε πάνω από 0.5 βελτίωση, γενικά παρατηρήθηκε βελτίωση στο 1/3 σχεδόν των συνολικών κόμβων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης. Αντίστοιχη βελτίωση παρατηρήθηκε και κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Βέβαια στην περίπτωση αυτή, η τιμή του δείκτη HRP δεν ξεπερνούσε το όριο του 0.5 σε 161 κόμβους, ενώ μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, ο νέος αριθμός ήταν 120. Αυτό σημαίνει ότι πριν τη βελτίωση, στο 50% περίπου την περιοχής, το κλιματικό μοντέλο παρουσίαζε σημαντικές αποκλίσεις από τις ακραία μέγιστες θερμοκρασίες. Μετά τη διόρθωση, το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 37,5%. Το καλοκαίρι αποτελεί την εποχή κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες στην περιοχή μελέτης. Το γεγονός αυτό εξηγεί τον λόγο για τον οποίο οι τιμές του δείκτη HRP δεν ξεπερνούν την τιμή-όριο 0.5 σε 172 κόμβους (53.8%). Η τιμή αυτή είναι η υψηλότερη που καταγράφεται συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, το ποσοστό αυτό

μειώθηκε στο 40,9% ενώ σε 89 κόμβους οι τιμές του μοντέλου μετά τη διόρθωση προσέγγισαν τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές με μεγαλύτερη ακρίβεια. Τέλος κατά τη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου του φθινοπώρου, το 43,4% της μελετώμενης περιοχής χρειαζόταν διόρθωση, καθώς διέφερε από τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές, ενώ μετά τη διόρθωση το ποσοστό αυτό έχει μειωθεί κατά 15 περίπου μονάδες.

Πίνακας 6.2. Το πλήθος (στήλες 1-2) και τα ποσοστά (στήλες 3-4) των κόμβων της περιοχής μελέτης, όπου ο δείκτης HRP για την παράμετρο των ελάχιστων θερμοκρασιών είναι μικρότερος από 0.5. Η τελευταία στήλη παρουσιάζει τον αριθμό των κόμβων όπου η τιμή μετά τη διόρθωση ήταν υψηλότερη από την αρχική.

Ελάχιστη μέση Θερμοκρασία					
	Τιμή $HRP \leq 0,5$		% Τιμή $HRP \leq 0,5$		Βελτιωμένες Τιμές
	Μοντέλο	TIN-Copula	Μοντέλο	TIN-Copula	
ΕΤΟΣ	158	106	49,4	33,1	114
<i>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</i>	194	164	60,6	51,3	77
<i>ΑΝΟΙΞΗ</i>	161	120	50,3	37,5	84
<i>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</i>	140	120	43,8	37,5	75
<i>ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ</i>	174	140	54,4	43,8	109

Στον πίνακα 6.2, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις ακραία ελάχιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών. Σε ετήσια βάση, το 49,4% των κόμβων του κλιματικού μοντέλου παρουσίασε τιμές δείκτη HRP μικρότερες από 0.5. Ωστόσο, μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Copula, το ποσοστό αυτό μειώθηκε σημαντικά (33,1%) ενώ φαίνεται ότι σε 114 κόμβους (περισσότερο το 1/3 της περιοχής) η τιμή του δείκτη HRP αυξήθηκε μετά τη διόρθωση. Όσον αφορά τα εποχιακά αποτελέσματα, ο χειμώνας αποτελεί την εποχή κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφονται σημαντικές αποκλίσεις στο μεγαλύτερο ποσοστό κόμβων συγκριτικά με τις άλλες εποχές. Αυτό γίνεται κατ' αντιστοιχία με το καλοκαίρι και τις ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες (Πίνακας 6.2). Έτσι, πριν την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Copula, 194 σημεία (60,6%) είχαν τιμή δείκτη μικρότερη από 0.5 ενώ μετά

τη διόρθωση ο αριθμός αυτός μειώθηκε σε 164 (51,3%). Κατά τη διάρκεια της μεταβατικής εποχής της άνοιξης, το αρχικό ποσοστό των κόμβων που χρειάζονται διόρθωση είναι σαφώς μικρότερο από το αντίστοιχο του χειμώνα και ισούται με 50,3%. Μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου TIN-Copula, το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 37,5%. Το καλοκαίρι, αποτελεί μία εποχή κατά τη διάρκεια της οποίας ο δείκτης *HRP* είναι μικρότερος από 0,5 σε 140 σημεία. Μετά την διόρθωση η τιμή αυτή έχει μειωθεί κατά 20 σημεία, ενώ σε 75 κόμβους παρατηρήθηκε βελτίωση των ακραίων χαμηλών τιμών. Τέλος, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, το κλιματικό μοντέλο παρουσιάζει αποκλίσεις από τις ακραίες χαμηλές παρατηρούμενες θερμοκρασίες σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%. Ωστόσο, μετά την εφαρμογή της διόρθωσης των μεροληπτικών λαθών το ποσοστό αυτό μειώθηκε κατά 10% περίπου, ενώ στο 1/3 περίπου της περιοχής η τιμή του δείκτη *HRP* αυξήθηκε μετά τη διόρθωση.

Πίνακας 6.3. Το πλήθος (στήλες 1-2) και τα ποσοστά (στήλες 3-4) των κόμβων της περιοχής μελέτης, όπου ο δείκτης *HRP* για την παράμετρο της βροχόπτωσης είναι μικρότερος από 0.5. Η τελευταία στήλη παρουσιάζει τον αριθμό των κόμβων όπου η τιμή μετά τη διόρθωση ήταν υψηλότερη από την αρχική.

Βροχόπτωση					
	Τιμή <i>HRP</i> ≤ 0,5		% Τιμή <i>HRP</i> ≤ 0,5		Βελτιωμένες Τιμές
	Μοντέλο	TIN-Copula	Μοντέλο	TIN-Copula	
ΕΤΟΣ	107	37	48,6	16,8	97
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	117	81	53,2	36,8	80
ΑΝΟΙΞΗ	112	81	50,9	36,8	91
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	80	49	36,4	22,3	52
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	120	57	54,5	25,9	91

Όσον αφορά την παράμετρο των ακραίων βροχοπτώσεων ο πίνακας 6.3 δείχνει ότι τα εκτιμώμενα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Copula είναι σημαντικά βελτιωμένα. Αναλυτικότερα, σε ετήσια βάση, το ποσοστό των κόμβων με τιμή *HRP*

μικρότερη από 0.5 είναι 107 (48,6%), ενώ μετά την διόρθωση ο αριθμός αυτός έχει μειωθεί σημαντικά (μόνο 37 κόμβοι, 16,8%). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το 53,2% των σημείων του κλιματικού μοντέλου αποκλίνει σημαντικά από την προσέγγιση των ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ μετά τη διόρθωση με τη μέθοδο TIN-Corula, τα ποσοστά αυτά έχει μειωθεί κατά ~17%. Παρόμοια ποσοστά παρατηρούνται και για την εποχή της άνοιξης κατά την οποία σε 112 κόμβους του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI η τιμή του *HRP* δεν ξεπερνούσε το όριο του 0.5, ενώ μετά τη διόρθωση ο νέος αριθμός των σημείων που παρουσιάζουν απόκλιση από τις παρατηρούμενες τιμές ανέρχεται σε 81. Σημαντική βελτίωση μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula καταγράφεται κατά την εποχή του καλοκαιριού, όπου το ποσοστό των κόμβων με τιμή *HRP* μικρότερη από 0,5 έχει μειωθεί από 36,4% σε 22,3%. Τέλος, βελτίωση που ξεπερνά το 50% καταγράφεται κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου. Πιο συγκεκριμένα, το 54,5% των σημείων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI παρουσίαζε σημαντικές αποκλίσεις από τις παρατηρούμενες ακραίες τιμές. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, το ποσοστό αυτό μειώθηκε στο 25,9%, ενώ σε περισσότερα από 90 σημεία καταγράφηκε βελτίωση.

6.3. ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΛΑΘΩΝ ΜΕΡΟΛΗΨΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ TIN-COPULA

Θερμοκρασία

Η προτεινόμενη μέθοδος TIN-Corula, χρησιμοποιείται για τη διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τις ακραίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις. Στα Σχήματα 6.4 – 6.6 παρουσιάζονται οι ετήσιοι και οι εποχικοί χάρτες των απόλυτων διαφορών, μεταξύ των τιμών του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI και των αντίστοιχων τιμών των δεδομένων NCEP, καθώς επίσης και των διορθωμένων τιμών με την μέθοδο TIN-Corula και των αντίστοιχων NCEP δεδομένων. Οι διαφορές έχουν υπολογιστεί σε κάθε κόμβο της Μεσογείου και αφορούν τις τρεις μελετώμενες παραμέτρους (μέγιστες, ελάχιστες τιμές μέσω ημερήσιων θερμοκρασιών, ακραία βροχόπτωση).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.4, παρατηρείται σημαντική βελτίωση των εκτιμώμενων ετήσιων ακραίων υψηλών τιμών των μέσω θερμοκρασιών, μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula στο μεγαλύτερο μέρος της

Μεσογειακής Λεκάνης. Στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στο οποίο ανήκουν η Ιβηρική χερσόνησος, η κεντρική και νότια Γαλλία και οι ακτές της ΒΔ-Αφρικής, οι απόλυτες αποκλίσεις του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI από τις τιμές των δεδομένων NCEP κυμαίνονται από 3-5 °C. Μετά τις διορθώσεις των εκτιμήσεων του μοντέλου με την μέθοδο TIN-Corula, οι διαφορές αυτές έχουν μειωθεί σημαντικά, καθώς η πλειονότητα των κόμβων δεν υπερβαίνει τους 2 °C. Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για το μεγαλύτερο μέρος της Κεντρικής Μεσογείου, με εξαίρεση την περιοχή των Άλπεων. Στην περιοχή αυτή, οι αρχικές διαφορές των δύο μελετώμενων συνόλων κυμαίνονται από 4-8°C. Με τη χρήση της TIN-Corula μεθόδου, οι αποκλίσεις βελτιώνονται ελάχιστα. Στο μεγαλύτερο κομμάτι της Βαλκανικής περιοχής και των ακτών της Μικράς Ασίας οι παρατηρούμενες αποκλίσεις κυμαίνονται από 0-2 °C τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου. Ωστόσο, σε ορισμένους κόμβους όπου οι διαφορές αυτές ήταν μεγαλύτερες (πχ. Ακτές Αδριατικής, Ελλάδα) παρατηρείται βελτίωση των εκτιμήσεων. Τέλος, το εσωτερικό μέρος της Τουρκίας αποτελεί τη μοναδική περιοχή στην οποία η εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης δεν βελτιώνει τις εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου, ενώ σε ορισμένους κόμβους αυξάνει τις αποκλίσεις,

Για την εποχή του χειμώνα, η εικόνα που παρουσιάζουν οι χάρτες του Σχήματος 6.4 έχουν πολλές ομοιότητες με τους αντίστοιχους ετήσιους. Πιο συγκεκριμένα, στις περιοχές της Δυτικής και Κεντρικής Μεσογείου, η εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου βελτιώνει σημαντικά τις τιμές του μοντέλου RegCM4-MPI, μειώνοντας τις αποκλίσεις από τις τιμές NCEP, στην πλειοψηφία των κόμβων. Η διαφορά που παρατηρείται στην εποχή αυτή εντοπίζεται στην περιοχή των Βαλκανίων. Ειδικότερα, στο νότιο και δυτικό μέρος της χερσονήσου, οι υπολογιζόμενες αρχικές απόλυτες διαφορές κυμαίνονται από 2-7 °C, ενώ οι τιμές αυτές έχουν ελαττωθεί μετά τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula. Τέλος, στην περιοχή της Τουρκίας οι βελτιώσεις παρατηρούνται μόνο στα παράλια, ενώ στο εσωτερικό της οι διαφορές σε ορισμένους κόμβους παραμένουν σταθερές πριν και μετά τη διόρθωση, ενώ σε άλλους αυξάνονται. Αυτό παρατηρείται εξαιτίας της διαφοράς της κλιματολογίας των σταθμών που δημιουργούν τα τρίγωνα στην περιοχή αυτή (παραθαλάσσιοι) και των κόμβων που εμπεριέχονται και διορθώνονται (ηπειρωτικοί).

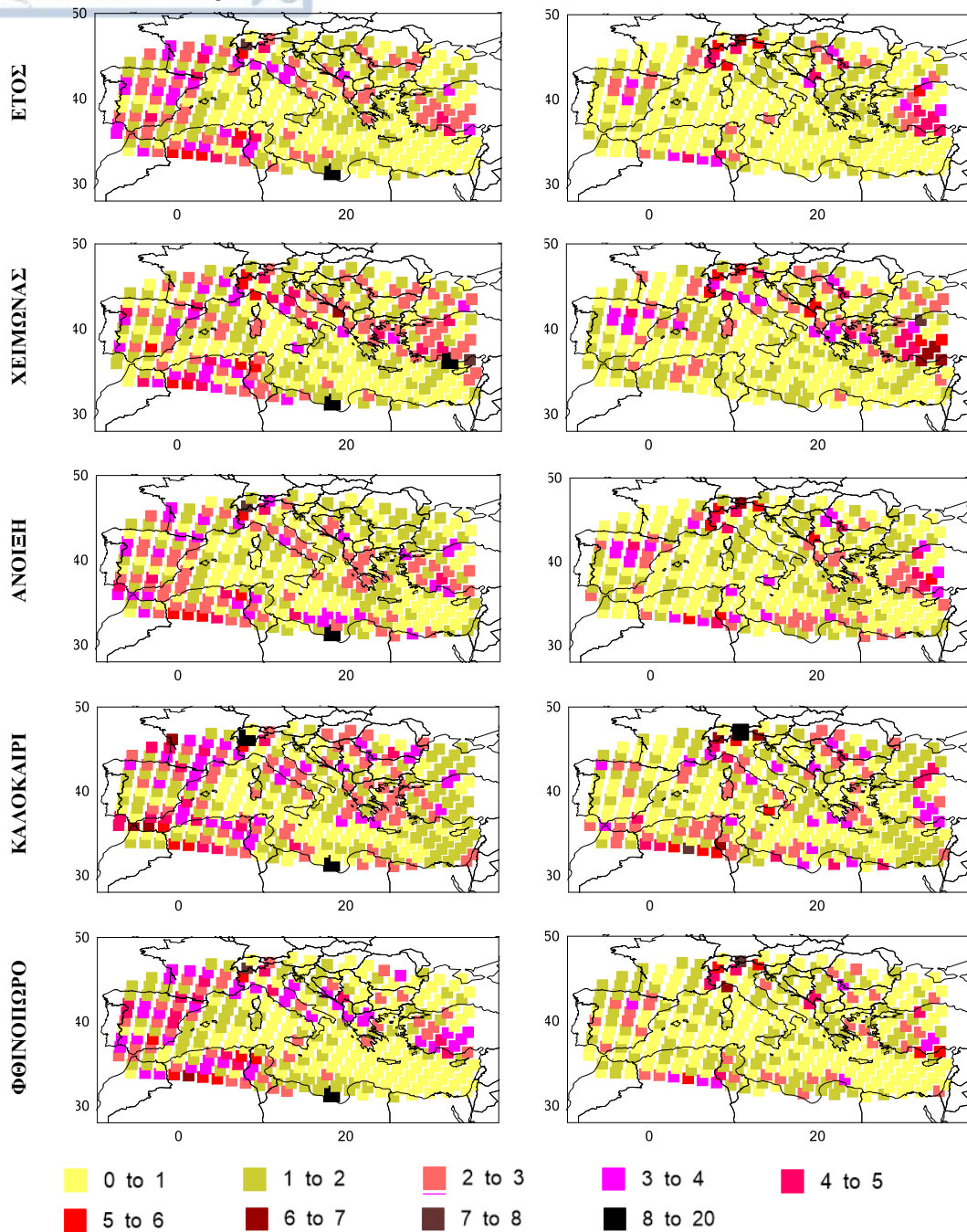
Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, οι μέγιστες θερμοκρασίες που εκτιμώνται από το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI, αποκλίνουν από τις αντίστοιχες των δεδομένων NCEP κατά 3-6 °C σε μεγάλο μέρος της δυτικής Μεσογειακής Λεκάνης. Η διόρθωση των δεδομένων του κλιματικού μοντέλου με τη TIN-Corula μέθοδο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των αποκλίσεων αυτών στην πλειονότητα των κόμβων κατά τουλάχιστον 2-3 °C. Όμοιες μειώσεις (από 3-4 °C σε 0-1 °C) επιτυγχάνονται και στην κεντρική Μεσόγειο με εξαίρεση την περιοχή των Άλπεων. Στην περιοχή αυτή, όπως και στην περιοχή της εσωτερικής Τουρκίας, οι αποκλίσεις παραμένουν υψηλές τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης. Τέλος, στην Βαλκανική χερσόνησο ιδιαίτερα σημαντικές (~2 °C) είναι οι μειώσεις των αποκλίσεων μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula στο νότιο κυρίως μέρος, καθώς επίσης όμοια βελτίωση εντοπίζεται και στα παράλια της Μικράς Ασίας.

Το καλοκαίρι αποτελεί μία ιδιαίτερη εποχή για την παράμετρο μελέτης, καθώς τότε επιτυγχάνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους. Σε αυτήν λοιπόν την εποχή, φαίνεται πως οι τιμές του κλιματικού μοντέλου διαφέρουν σημαντικά από τα δεδομένα NCEP σε όλη την περιοχή μελέτης ενώ μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης, φαίνεται πως οι αποκλίσεις αυτές έχουν μειωθεί σημαντικά. Αναλυτικότερα, στο δυτικό μέρος της Μεσογείου, οι βελτιώσεις των τιμών του μοντέλου φτάνουν τους 5 °C, ενώ κατά μέσο όρο κυμαίνονται από 2-3 °C. Όμοια εικόνα και στην Κεντρική Μεσόγειο, με εξαίρεση ορισμένα σημεία στην περιοχή των Άλπεων και στη Σικελία. Σημαντική βελτίωση των εκτιμώμενων ακραίων θερμοκρασιών παρατηρείται στην περιοχή των Βαλκανίων και ιδιαίτερα στο νοτιότερο τμήμα (Αλβανία-Σκόπια-Βουλγαρία-Ελλάδα), όπου οι διαφορές έχουν μειωθεί κατά 3-4 °C. Τα βορειότερα τμήματα παρουσιάζουν αποκλίσεις της τάξεως των 2-5 °C οι οποίες είτε βελτιώνονται κατά 1-2 °C είτε παραμένουν σταθερές μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου. Τέλος, η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά την εποχή αυτή, καθώς παρατηρείται σημαντική βελτίωση των τιμών του κλιματικού μοντέλου τόσο στα παράλια όσο και σε μεγάλο μέρος του εσωτερικού της Τουρκίας, ενώ και πάλι στους ανατολικότερους κόμβους οι διαφορές παραμένουν σταθερές είτε αυξάνονται.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

RegCM4-MPI - NCEP

TIN-COPULA - NCEP



Σχήμα 6.4. Μέσοι Ετήσιοι και Εποχικοί χάρτες απόλυτων διαφορών των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, μεταξύ των τιμών RegCM4-MPI και NCEP καθώς και των διορθωμένων τιμών TIN-Copula - NCEP.



Διόρθωση Σφαλμάτων με TIN-Corula

Στη μεταβατική εποχή του Φθινοπώρου, η διόρθωση των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI με τη μέθοδο TIN-Corula, επιτυγχάνεται στο μεγαλύτερο μέρος της μελετώμενης περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή της Δυτικής Μεσογείου (Ιβηρικής χερσονήσος, Γαλλίας, ακτές Βόρειο-Δυτικής Αφρικής,) της Κεντρικής Μεσογείου, της Βαλκανικής χερσονήσου και των παραλίων της Μικράς Ασίας, παρατηρείται αύξηση της ακρίβειας προσέγγισης των ακραίων θερμοκρασιών κατά 3-4°C μετά την διόρθωση των τιμών του μοντέλου. Η αύξηση των αποκλίσεων και κυρίως η διατήρησή τους στις ίδιες τιμές παρατηρείται σε περιορισμένους κόμβους στις Άλπεις και στο εσωτερικό της Τουρκίας.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula βελτιώνει σημαντικά τις εκτιμώμενες ακραίες υψηλές θερμοκρασίες που εκτιμά το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI για την λεκάνη της Μεσογείου. Ιδιαίτερα σε κάποιες περιοχές, όπως η Ιβηρική χερσονήσος, ο Ελλαδικός χώρος, οι ακτές της Βόρειο-Δυτικής Αφρικής κ.α., η αύξηση της ακρίβειας είναι πολύ υψηλή σε όλες σχεδόν τις εποχές και κατά συνέπεια και στα ετήσια αποτελέσματα. Αντίθετα υπάρχουν δύο περιοχές - Άλπεις και εσωτερικό Τουρκίας - όπου οι απόλυτες αποκλίσεις παραμένουν σταθερές πριν και μετά την εφαρμογή της TIN-Corula.

Σύμφωνα με τους ετήσιους χάρτες των απόλυτων διαφορών μεταξύ των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI και των ελαχίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών που προκύπτουν από τα NCEP δεδομένα, φαίνεται πως η TIN-Corula μέθοδος βελτιώνει σημαντικά τις τιμές του μοντέλου σε όλη σχεδόν την περιοχή μελέτης (Σχήμα 6.5). Στο δυτικό μέρος της Μεσογείου και πιο συγκεκριμένα στην Ιβηρική χερσονήσο, τη κεντρική και νότια Γαλλία και τις ακτές της ΒΔ Αφρικής, οι αρχικές αποκλίσεις του κλιματικού μοντέλου από τις τιμές των δεδομένων NCEP κυμαίνονται από 0 έως 7°C. Μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου διόρθωσης, στο μεγαλύτερο μέρος της χερσονήσου οι αποκλίσεις δεν ξεπερνούν τους 2°C, ενώ μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται σε ορισμένους μόνο κόμβους (κεντρική Ισπανία). Στην κεντρική Μεσόγειο, η TIN-Corula μέθοδος φαίνεται να βελτιώνει σημαντικά τις αποκλίσεις των εκτιμήσεων των ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών καθώς εντοπίζεται μείωση των διαφορών κατά 3-6 °C (Ιταλία). Ωστόσο, υπάρχουν κόμβοι στην περιοχή των Άλπεων

Διόρθωση Σφαλμάτων με TIN-Corula

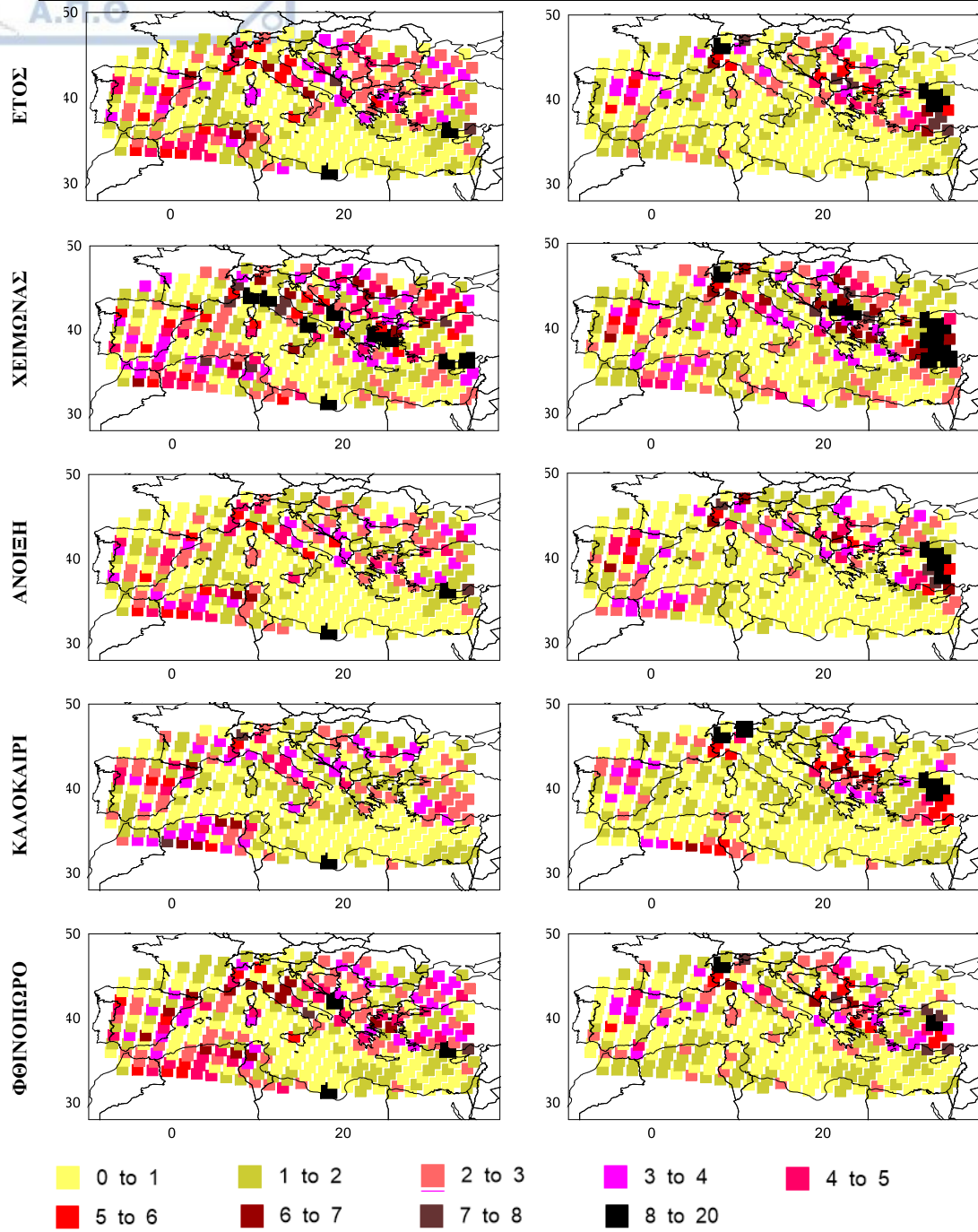
κυρίως όπου οι βελτιώσεις είναι χαμηλότερες. Η περιοχή των Βαλκανίων, αποτελεί μία ιδιαίτερη ζώνη σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χαρτών, καθώς υπάρχουν σημεία στα οποία η διόρθωση ξεπερνά τους 3-4 °C (Δαλματικές Ακτές, Πελοπόννησος), ενώ σε πολύ κοντινούς κόμβους, τα αποτελέσματα μπορεί να παραμένουν σταθερά (πχ Ελλάδα). Στο ανατολικότερο μέρος της μελετώμενης περιοχής και πιο συγκεκριμένα στο εσωτερικό της Τουρκίας παρατηρείται σημαντική αύξηση των αποκλίσεων, γεγονός που παρατηρήθηκε λιγότερο έντονα και για την παράμετρο των μεγίστων θερμοκρασιών.

Όπως είναι γνωστό, στις Μεσογειακές χώρες, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες καταγράφονται την εποχή του χειμώνα. Στους χάρτες της εποχής αυτής εντοπίζονται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις των ελαχίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών, όπως αντίστοιχα παρατηρείται και το καλοκαίρι για τις μέγιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 6.5). Κατά την εποχή του χειμώνα, η εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης στο δυτικό μέρος της Μεσογείου βελτιώνει τις εκτιμήσεις του μοντέλου (περίπου κατά 2-5 °C) σε μεγάλο αριθμό κόμβων, ωστόσο υπάρχει μία περιορισμένη περιοχή όπου οι τιμές των αποκλίσεων αυξάνονται (εσωτερικό Ισπανίας). Στην κεντρική Μεσόγειο και ιδιαίτερα στην περιοχή της Ιταλίας, επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση των τιμών του μοντέλου, καθώς οι αρχικές αποκλίσεις ξεπερνούν τους 8 °C ενώ μετά τη διόρθωση η τιμή αυτή έχει μειωθεί στους 4 °C. Η περιοχή των Βαλκανίων, αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση, λόγω της πολυπλοκότητας της μορφολογίας της και των αντίστοιχων σταθμών που σχηματίζουν τα τρίγωνα TIN-Corula. Σε όλη σχεδόν την έκταση της περιοχής οι αποκλίσεις των εκτιμήσεων των ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών παραμένουν σε υψηλά επίπεδα, τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή της TIN-Corula. Υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι στους οποίους παρατηρείται βελτίωση των εκτιμήσεων (Δαλματικές ακτές, Ελλάδα, Αιγαίο Πέλαγος, Παράλια Μικράς Ασίας), ενώ σε περιορισμένους κόμβους οι αποκλίσεις μεγαλώνουν μετά τη διόρθωση (Σκόπια, Βουλγαρία). Τέλος, στο εσωτερικό της Τουρκίας η χρήση της μεθόδου TIN-Corula δεν βελτιώνει τις εκτιμήσεις, αντίθετα αυξάνει σημαντικά τις διαφορές.

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

RegCM4-MPI - NCEP

TIN-COPULA - NCEP



Σχήμα 6.5. Μέσοι Ετήσιοι και Εποχικοί χάρτες απόλυτων διαφορών των ελάχιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, μεταξύ των τιμών RegCM4-MPI και NCEP καθώς και των διορθωμένων τιμών TIN-Copula - NCEP.

Κατά τη μεταβατική εποχή τις άνοιξης υπάρχει μια σημαντική γενική βελτίωση των εκτιμήσεων των ακραίων ελαχίστων θερμοκρασιών με την χρήση της προτεινόμενης μεθόδου διόρθωσης (Σχήμα 6.5). Στην δυτική Μεσόγειο παρατηρείται γενικά βελτίωση των εκτιμήσεων στην πλειονότητα των κόμβων κατά 3-4 °C, ενώ εξαίρεση αποτελούν ορισμένα σημεία στα οποία παρατηρείται αύξηση των αποκλίσεων (6 κόμβοι-Ισπανία), κυρίως λόγω του ιδιαίτερου αναγλύφου της περιοχής αυτής. Στην κεντρική Μεσόγειο, το μοντέλο RegCM4-MPI αρχικά προσεγγίζει τις ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες με απόκλιση 3-6 °C, ενώ μετά τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula, οι αποκλίσεις σε όλους σχεδόν τους κόμβους έχουν μειωθεί κατά τουλάχιστον 2-3°C. Εξαίρεση αποτελούν τα σημεία των βόρειων συνόρων της Ιταλίας όπου εντοπίζεται αύξηση των αποκλίσεων μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης. Για την περιοχή των Βαλκανίων, το κλιματικό μοντέλο αδυνατεί να προσεγγίσει με ακρίβεια μικρότερη των 2-3 °C τις ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες, στο μεγαλύτερο τμήμα. Αυτό παρατηρείται και μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης, με εξαίρεση ορισμένες περιοχές (Ελλαδικός χώρος). Τέλος, στο αναλυτικότερο μέρος της περιοχής μελέτης, η ακρίβεια των εκτιμήσεων μειώνεται σημαντικά, κάτι που έγινε αντιληπτό και στις άλλες εποχές.

Στην θερμότερη εποχή του έτους, το καλοκαίρι (Σχήμα 6.5), οι βελτιώσεις των ελάχιστων θερμοκρασιών του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI μετά από τη χρήση της TIN-Corula μεθόδου, είναι εμφανείς σε αρκετά τμήματα της υπό μελέτης περιοχής (Ιταλία, Γαλλία, παράλια Τουρκίας). Στην δυτική Μεσόγειο το μοντέλο RegCM4-MPI αρχικά αποκλίνει από τις ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες των NCEP δεδομένων κατά 2-6°C. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, οι αποκλίσεις έχουν μειωθεί κατά 3°C σε όλους τους κόμβους της περιοχής. Η κεντρική Μεσόγειος αποτελεί την περιοχή στην οποία επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη διόρθωση, καθώς οι αρχικές αποκλίσεις των 4-5 °C έχουν ελαχιστοποιηθεί στους 0-1°C. Για την εποχή του καλοκαιριού, η περιοχή των Βαλκανίων αποτελεί μια ζώνη στην οποία δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα βελτίωσης, καθώς υπάρχουν κόμβοι στους οποίους η ακρίβεια προσέγγισης αυξάνεται αλλά και άλλοι στους οποίους μειώνεται. Τέλος, στην ανατολική Μεσόγειο επιτυγχάνεται μείωση των αποκλίσεων από τα παράλια της Μικράς Ασίας μέχρι και ορισμένα χιλιόμετρα προς το

εσωτερικό της Τουρκίας, ενώ στο ανατολικότερο μέρος της μελετώμενης περιοχής, οι αποκλίσεις αυξάνονται σημαντικά μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula.

Οι χάρτες του Φθινοπώρου δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση των εκτιμήσεων των ακραίων χαμηλών τιμών σε όλη την περιοχή μελέτης, μετά τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula. Σε όλο το δυτικό μέρος της Μεσογείου, το οποίο περιλαμβάνει την Ιβηρική χερσόνησο, την κεντρική και νότια Γαλλία και τις βόρειες ακτές της Δυτικής Αφρικής επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των αποκλίσεων που ξεπερνά τους 3-4 °C. Στην κεντρική Μεσόγειο, οι ελάχιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών αρχικά δεν εκτιμώνται ικανοποιητικά, καθώς οι αποκλίσεις ξεπερνούν τους 7°C, ενώ μετά τη διόρθωση, οι εκτιμήσεις έχουν βελτιωθεί σημαντικά (2-3 °C). Στην περιοχή των Βαλκανίων, όπως παρατηρείται και στις άλλες εποχές, υπάρχουν περιοχές όπου με η χρήση της μεθόδου TIN-Corula, επιτυγχάνει σημαντική βελτίωση των προσεγγίσεων των ελαχίστων θερμοκρασιών (Δαλματικές ακτές, Ελλαδικός χώρος, Αιγαίο Πέλαγος), ενώ υπάρχουν άλλες περιοχές στις οποίες οι αποκλίσεις αυξάνονται (π.χ. Βουλγαρία, Σκόπια). Τέλος, στο ανατολικότερο κομμάτι της περιοχής μελέτης, το μοντέλο αδυνατεί να εκτιμήσει τις ελάχιστες ακραίες θερμοκρασίες με ακρίβεια μεγαλύτερη των 3-4 °C, ενώ μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης η ακρίβεια αυτή έχει μειωθεί ακόμη περισσότερο.

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τους χάρτες των ελαχίστων θερμοκρασιών παρουσιάζουν ομοιότητες με τα αντίστοιχα των μεγίστων. Γενικότερα, σε όλες τις εποχές, στη δυτική και κεντρική Μεσογείο επιτυγχάνεται αύξηση της ακρίβειας προσέγγισης των ελαχίστων ακραίων θερμοκρασιών, με εξαίρεση στο εσωτερικό τμήμα της Ισπανίας και την περιοχή των Άλπεων. Η περιοχή των Βαλκανίων αποτελεί μια ιδιαίτερη ζώνη στην οποία καταγράφονται αυξήσεις και μειώσεις του επιπέδου ακρίβειας, ενώ στο ανατολικό μέρος της Μεσογειακής λεκάνης η εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης μειώνει την ακρίβεια.

Βροχόπτωση

Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διόρθωσης των σφαλμάτων μεροληψίας του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τη μέση τιμή της περιόδου μελέτης, των ετήσιων και εποχιακών ακραίων βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου. Σύμφωνα με τους ετήσιους χάρτες, στους οποίους αποτυπώνεται το σύνολο

των απόλυτων διαφορών όλων των εποχών, φαίνεται πως η χρήση της TIN-Corula μεθόδου βελτιώνει σημαντικά τις εκτιμήσεις του μοντέλου σε όλη την περιοχή μελέτης. Στο δυτικότερο μέρος της Μεσογείου (Ιβηρική χερσόνησος, Γαλλία, ΒΔ ακτές Αφρικής) οι αρχικές αποκλίσεις του μοντέλου από τις τιμές NCEP κυμαίνονται από 100-200mm, ενώ μετά την εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου οι διαφορές αυτές δεν ξεπερνούν τα 100mm. Δύο περιοχές στις οποίες η μείωση των αποκλίσεων είναι ιδιαίτερα μεγάλη μετά την χρήση της TIN-Corula μεθόδου είναι η περιοχή των Άλπεων και γενικότερα το Βόρειο μέρος της Ιταλίας, καθώς και το δυτικότερο μέρος της Βαλκανικής χερσονήσου. Στις περιοχές αυτές, οι αρχικές αποκλίσεις κυμαίνονται από 200-500mm ενώ μετά τη διόρθωση, δεν ξεπερνούν τα 100mm. Αξιοσημείωτο μάλιστα είναι ότι υπάρχουν κόμβοι στους οποίους οι διαφορές των διορθωμένων εκτιμήσεων του μοντέλου από τα NCEP δεδομένα έχουν ελαττωθεί στο 1/10 των αρχικών. Στις υπόλοιπες περιοχές (Βαλκάνια, παράλια Μικράς Ασίας), η TIN-Corula μέθοδος αυξάνει σημαντικά την ακρίβεια των εκτιμήσεων, μειώνοντας τις αποκλίσεις των ακραίων βροχοπτώσεων κατά τουλάχιστον 50mm.

Την εποχή του χειμώνα, το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI προσεγγίζει με ακρίβεια τις χειμερινές ακραίες βροχοπτώσεις στο μεγαλύτερο μέρος της μελετώμενης περιοχής. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμένα σημεία στα οποία οι εκτιμήσεις είναι αυξημένες φτάνοντας τα 200mm. Τέτοια σημεία εντοπίζονται στην περιοχή των Άλπεων, των Δυτικών ακτών της Βαλκανικής χερσονήσου καθώς και στα παράλια της Μικράς Ασίας. Μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης, η ακρίβεια προσέγγισης του κλιματικού μοντέλου έχει αυξηθεί σημαντικά, καθώς πλέον δεν υπάρχει κανένας κόμβος στην περιοχή μελέτης, του οποίου οι διαφορές να ξεπερνούν τα 50mm.

Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για την εποχή της Άνοιξης, όπου η εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου βελτιώνει την ακρίβεια του RegCM4-MPI σε όλη την περιοχή μελέτης. Στην δυτική Μεσόγειο οι υπολογιζόμενες διαφορές κυμαίνονται από 25-50mm, ενώ υπάρχουν και σημεία (σύνορα Ισπανίας Γαλλίας) όπου οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες (50-75mm). Αντίστοιχα, και στην κεντρική μεσόγειο, στα Βαλκάνια και στην Τουρκία η πλειονότητα των κόμβων παρουσιάζει αποκλίσεις της τάξεως των 25-50mm, ενώ ο αριθμός των κόμβων με υψηλότερες αποκλίσεις (50-100 mm) δεν είναι αμελητέος

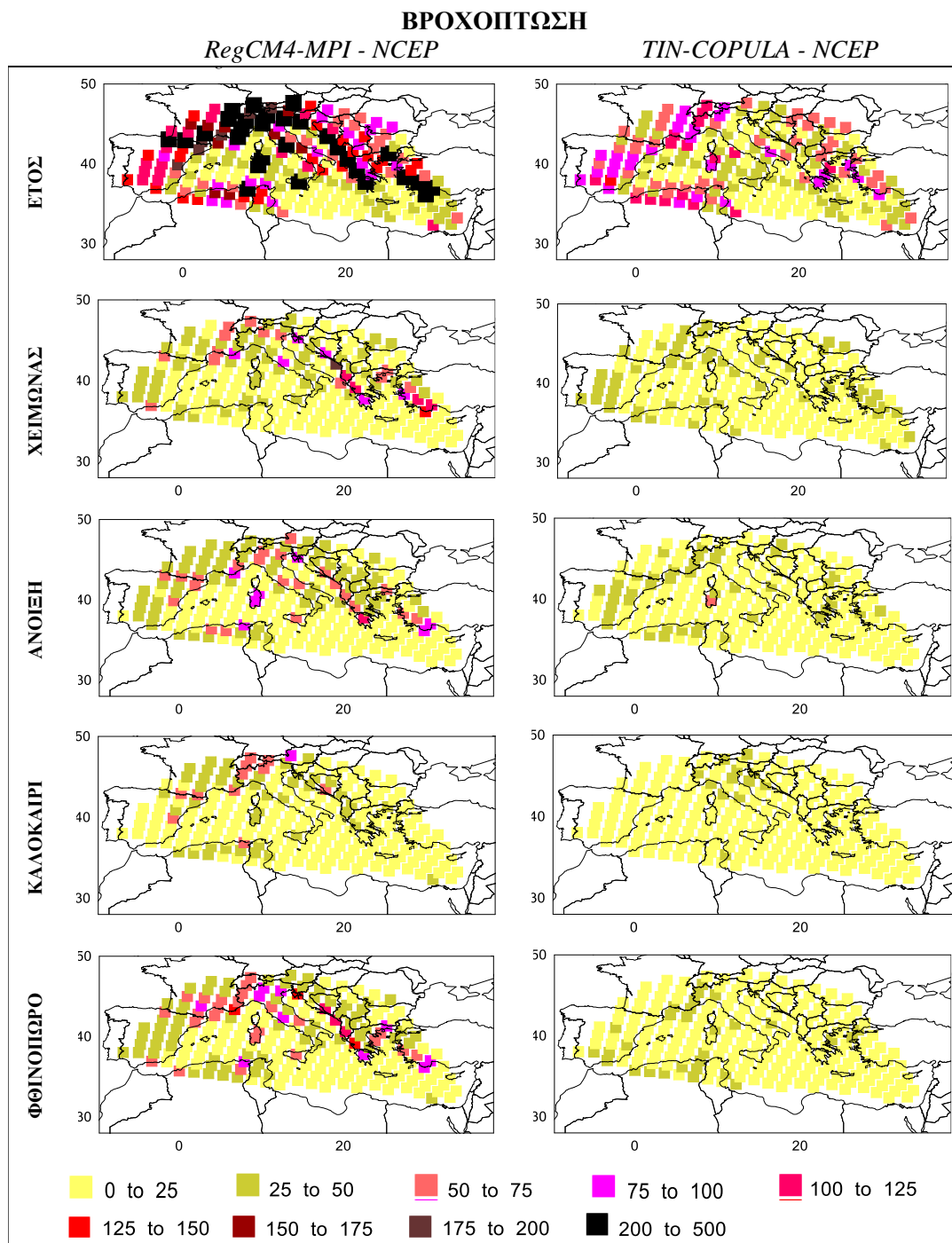
(Δυτικά Βαλκάνια, Β Ιταλία, Ν παράλια Τουρκίας). Σε όλες αυτές τις περιοχές, η TIN-Corula μέθοδος αποδεικνύεται ιδιαίτερα αποτελεσματική, καθώς μειώνει σημαντικά τις αποκλίσεις, με αποτέλεσμα σε όλη σχεδόν την περιοχή μελέτης το RegCM4-MPI να προσεγγίζει τις ακραίες βροχοπτώσεις των δεδομένων NCEP με ακρίβεια 0-25mm.

Το καλοκαίρι αποτελεί μία ιδιαίτερη εποχή για τη Μεσογειακή ζώνη, καθώς είναι η ξηρότερη εποχή του έτους, αλλά ταυτόχρονα υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να πραγματοποιηθούν ακραία επεισόδια βροχής. Ο χάρτης της εποχής αυτής, δείχνει ότι το RegCM4-MPI προσεγγίζει με σημαντική ακρίβεια (0-50mm) τις τιμές των NCEP στο μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου. Ωστόσο, στην περιοχή των Άλπεων, και σε ορισμένα άλλα διάσπαρτα σημεία, η ακρίβεια των εκτιμήσεων είναι χαμηλότερη (50-100mm). Η σημαντική αύξηση της ακρίβειας που επιτυγχάνεται με την TIN-Corula, φαίνεται στο χάρτη των διορθωμένων τιμών, όπου σε όλους σχεδόν τους κόμβους της περιοχής, οι αποκλίσεις δεν ξεπερνούν τα 25mm, ενώ παράλληλα μόνο σε μία περιορισμένη περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου, οι διαφορές των δύο συνόλων (TIN-Corula και NCEP) κυμαίνονται από 25-50mm.

Οι χάρτες του Φθινοπώρου δείχνουν ότι την εποχή αυτή υπάρχει σημαντική βελτίωση των προσεγγίσεων των ακραίων βροχοπτώσεων σε όλη τη Μεσογειακή περιοχή με τη χρήση της TIN-Corula μεθόδου. Στη δυτική Μεσόγειο οι αρχικές αποκλίσεις του μοντέλου κυμαίνονται από 25-50 mm, ενώ υπάρχουν και κόμβοι (Ν Γαλλία) με υψηλότερες τιμές (50-100mm). Στην περιοχή αυτή, μετά τη χρήση της μεθόδου διόρθωσης, σε όλους τους κόμβους έχει επιτευχθεί βελτίωση με τις αποκλίσεις πλέον να μην ξεπερνούν τα 25 mm. Στην κεντρική Μεσόγειο, οι εκτιμήσεις του μοντέλου RegCM4-MPI για τις ακραίες βροχοπτώσεις, φαίνεται πως αρχικά διαφέρουν από τις τιμές των NCEP δεδομένων κατά 50-100mm. Ωστόσο, η TIN-Corula μέθοδος, αυξάνει σημαντικά την ακρίβεια στην περιοχή αυτή, μειώνοντας αυτές τις αποκλίσεις, καθώς μετά ην διόρθωση σε κανέναν κόμβο οι αποκλίσεις δεν υπερβαίνουν τα 25mm. Τέλος, αντίστοιχες βελτιώσεις της τάξεως των 75mm εντοπίζονται στην περιοχή των Βαλκανίων και της Τουρκίας. Αναλυτικότερα, οι αρχικές τιμές των διαφορών που κυμαίνονταν από 25-150mm, μετά τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου, δεν ξεπερνούν τα 25mm.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για την μέση τιμή των ακραίων βροχοπτώσεων της εικοσαετίας 1981-2000, φαίνεται ότι η προτεινόμενη μέθοδος αποτελεί ιδιαίτερα

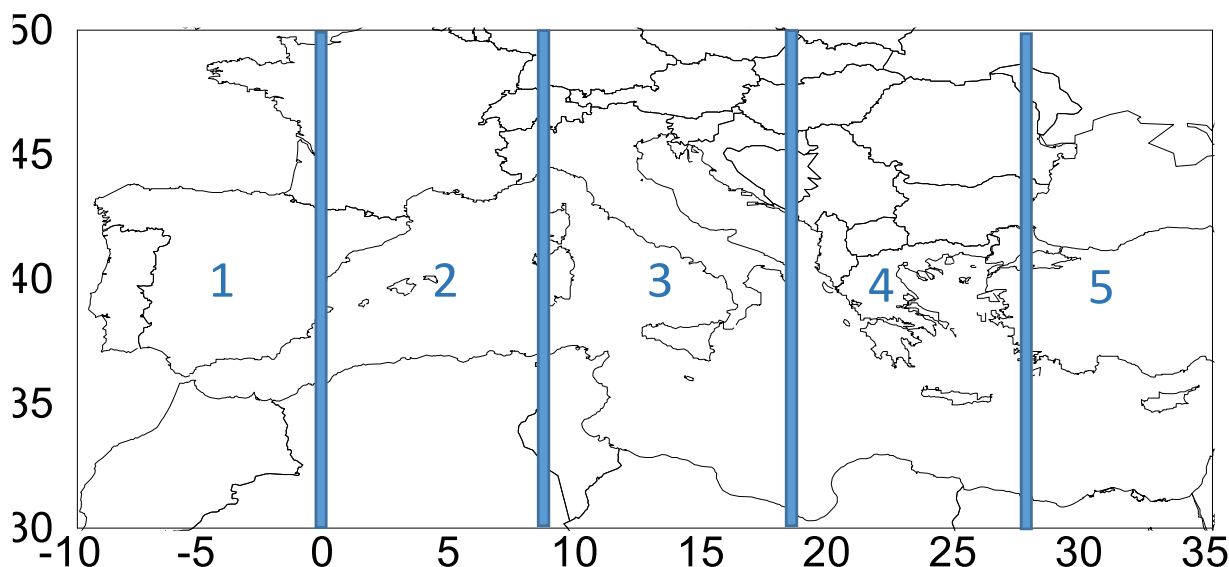
σημαντικό εργαλείο σε εποχιακή και ετήσια βάση για τη διόρθωση των τιμών του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI.



Σχήμα 6.6. Μέσοι Ετήσιοι και Εποχικοί χάρτες απόλυτων διαφορών των ακραίων βροχοπτώσεων, μεταξύ των τιμών RegCM4-MPI και NCEP καθώς και των διορθωμένων τιμών TIN-Copula - NCEP.

6.4.1. Διαχωρισμός της Μεσογείου σε πέντε υποπεριοχές

Εκτός από την χωρική ανάλυση των αποτελεσμάτων, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ετήσιων και εποχιακών χαρτών (Σχήματα 6.4 – 6.6), ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιολόγηση της μεθόδου TIN-Corula περιοχικά. Η ακριβέστερη πρόβλεψη των μέγιστων και ελάχιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών ή των ακραίων βροχοπτώσεων που δέχεται μια περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ιδιαίτερα σε εφαρμοσμένες επιστήμες, όπως αυτή της υδρολογίας και της μηχανικής. Για το λόγο αυτό, η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε πέντε υποπεριοχές για τις οποίες πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των μέσων ακραίων τιμών της (Σχήμα 6.7).



Σχήμα 6.7. Απεικόνιση των πέντε υποκατηγοριών στις οποίες χωρίστηκε η περιοχή μελέτης.

6.4.2. Σύγκριση των μέσων τιμών των πέντε υποκατηγοριών

Θερμοκρασία

Στον πίνακα 6.4 παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία των ακραίων υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών σε κάθε μία από τις πέντε Μεσογειακές υποπεριοχές. Σε κάθε υποπεριοχή παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες τιμές σύμφωνα με τα NCEP δεδομένα, το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI καθώς και οι διορθωμένες τιμές που προκύπτουν μετά την εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου. Στην πρώτη υποπεριοχή, η οποία περιλαμβάνει

Διόρθωση Σφαλμάτων με TIN-Corula

το δυτικότερο τμήμα της Μεσογείου, υπάρχει σημαντική βελτίωση των μέγιστων θερμοκρασιών μετά τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula. Το κλιματικό μοντέλο φαίνεται πως υποεκτιμά την τιμή των NCEP κατά 2°C , ενώ μετά την διόρθωση η απόκλιση έχει μειωθεί στους 0.2°C . Αντίστοιχη βελτίωση εντοπίζεται και στην δεύτερη υποπεριοχή, όπου η αρχική υποεκτίμηση των 2°C μειώθηκε στους 0.2°C , ενώ στην τρίτη υποπεριοχή, η οποία περιλαμβάνει το κεντρικό κομμάτι της Μεσογείου (Ιταλία, Άλπεις κτλ) και τις δυτικές ακτές της Βαλκανικής χερσονήσου, το κλιματικό μοντέλο αρχικά υποεκτιμούσε την τιμή NCEP κατά 1°C ενώ μετά τη διόρθωση η απόκλιση αυτή μειώθηκε στον 0.1°C . Στην τέταρτη υποπεριοχή, στην οποία ανήκει η Βαλκανική χερσόνησος και κατά συνέπεια και η Ελληνική περιοχή, υπάρχει διόρθωση των εκτιμήσεων, μικρότερη όμως συγκριτικά με τις δυτικότερες περιοχές. Αυτό οφείλεται αρχικά στο ότι το μοντέλο προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την τιμή των NCEP δεδομένων, αλλά και στην ιδιαίτερη μορφολογία των Βαλκανίων και κατά συνέπεια η διαφορετική κλιματολογία των σταθμών που σχηματίζουν τα TIN τρίγωνα. Τέλος, στην 5^η υποπεριοχή που περιλαμβάνει το ανατολικότερο μέρος της μελετώμενης περιοχής, η εφαρμογή της TIN-Corula στις τιμές του μοντέλου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απόκλισης από την αντίστοιχη τιμή των NCEP δεδομένων. Η μείωση της ακρίβειας στην υποπεριοχή αυτή οφείλεται στο ότι η κλιματολογία των σταθμών που δημιουργούν τα τρίγωνα TIN-Corula, διαφέρει σημαντικά από την κλιματολογία των κόμβων που εσωκλείονται.

Για την παράμετρο των ελαχίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών φαίνεται ότι η εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula στις τιμές του κλιματικού μοντέλου βελτιώνει την ακρίβεια των εκτιμήσεων σε τρεις από τις πέντε υποπεριοχές (Πίνακας 6.4). Στην 1^η υποπεριοχή, η μέση τιμή των ακραίων ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών σύμφωνα με τα NCEP δεδομένα είναι 11°C . Για την ίδια περιοχή, η αρχική εκτίμηση του κλιματικού μοντέλου είναι 9.5°C , ενώ μετά τη διόρθωση αυξήθηκε στους 12.3°C . Στην δεύτερη υποπεριοχή εντοπίζεται η μεγαλύτερη διόρθωση των τιμών του RegCM4-MPI. Αναλυτικότερα, η αρχική απόκλιση του κλιματικού μοντέλου από τα NCEP είναι 1.5°C , ενώ μετά την χρήση της μεθόδου TIN-Corula, η τιμή αυτή μειώθηκε στους 0.6°C . Στην 3^η υποπεριοχή, οι αρχικές εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου, παρουσιάζουν μικρή βελτίωση μετά τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula, η οποία κυμαίνεται στους 0.6°C . Στις

δύο ανατολικότερες μελετώμενες υποπεριοχές, η χρήση της μεθόδου διόρθωσης επιδρά αρνητικά στα αποτελέσματα, καθώς αυξάνει τις αποκλίσεις του RegCM4-MPI από τις τιμές NCEP. Η αύξηση της απόκλισης στην υποπεριοχή των Βαλκανίων (4^η) ισούται με 0.6 °C, ενώ στην ανατολικότερη υποπεριοχή (5^η) φτάνει τους 0.7 °C.

Πίνακας 6.4 Μέση τιμή των ακραίων υψηλών και χαμηλών μέσων θερμοκρασιών (°C) στις πέντε υποπεριοχές, σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP, το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI και την TIN-Copula μέθοδο (διορθωμένες τιμές)

Παράμετρος Θερμοκρασία (°C)	Περιοχή	NCEP	RegCM4- MPI	TIN-Copula
Μέγιστη	1 ^η	18.8	16.8	19
	2 ^η	19.4	17.4	19.2
	3 ^η	19.5	18.5	19.4
	4 ^η	19.3	18.7	19.6
	5 ^η	18.8	18.6	19.8
Ελάχιστη	1 ^η	11	9.5	12.3
	2 ^η	12.1	10.5	12.7
	3 ^η	13.1	12.2	12.8
	4 ^η	11.5	12.2	12.8
	5 ^η	11.1	12.2	12.9

Βροχόπτωση

Στον πίνακα 6.5 παρουσιάζονται η μέση ετήσια τιμή των ακραίων βροχοπτώσεων για τις πέντε μελετώμενες υποπεριοχές. Από τις τιμές του πίνακα, γίνεται αντιληπτό ότι οι διορθωμένες τιμές με την TIN-Copula μέθοδο προσεγγίζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αντίστοιχες τιμές των δεδομένων NCEP. Στην πρώτη υποπεριοχή, το μοντέλο υπερεκτιμά τις τιμές NCEP κατά ~120mm ,ενώ μετά τη διόρθωση η υπερεκτίμηση αυτή δεν ξεπερνά τα 15mm. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για τις υποπεριοχές 2 και 3, όπου η αρχική υπερεκτίμηση του RegCM4-MPI υπερβαίνει τα 100mm και στις δύο περιπτώσεις. Μετά την εφαρμογή της TIN-Copula μεθόδου οι αποκλίσεις αυτές έχουν μειωθεί κατά

~50mm. Στην τέταρτη υποπεριοχή η οποία περιλαμβάνει την Βαλκανική χερσόνησο το μοντέλο υπερεκτιμά τις τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων κατά 70mm, ενώ η TIN-Copula μέθοδος κατά ~30mm. Τέλος στην πέμπτη υποπεριοχή παρατηρείται η μικρότερη διαφορά μεταξύ των εκτιμήσεων του μοντέλου και των NCEP δεδομένων (~45mm) συγκριτικά με τις υπόλοιπες τέσσεριες υποπεριοχές. Ωστόσο μετά την εφαρμογή της TIN-Copula μεθόδου, η διαφορά αυτή δεν υπερβαίνει τα 15mm.

Πίνακας 6.5 Μέση ετήσια τιμή των ακραίων βροχοπτώσεων (mm) στις πέντε υποπεριοχές, σύμφωνα με τα NCEP δεδομένα, το κλιματικό μοντέλο RegCM4-MPI και την TIN-Copula μέθοδο (διορθωμένες τιμές).

Παράμετρος	Περιοχή	NCEP	RegCM4-MPI	TIN-Copula
Βροχόπτωση (mm)	1 ^η	110.1	226.3	123.6
	2 ^η	111.7	217.9	167.0
	3 ^η	123.2	211.3	156.0
	4 ^η	118.3	191.9	150.0
	5 ^η	111.3	157.7	123.6

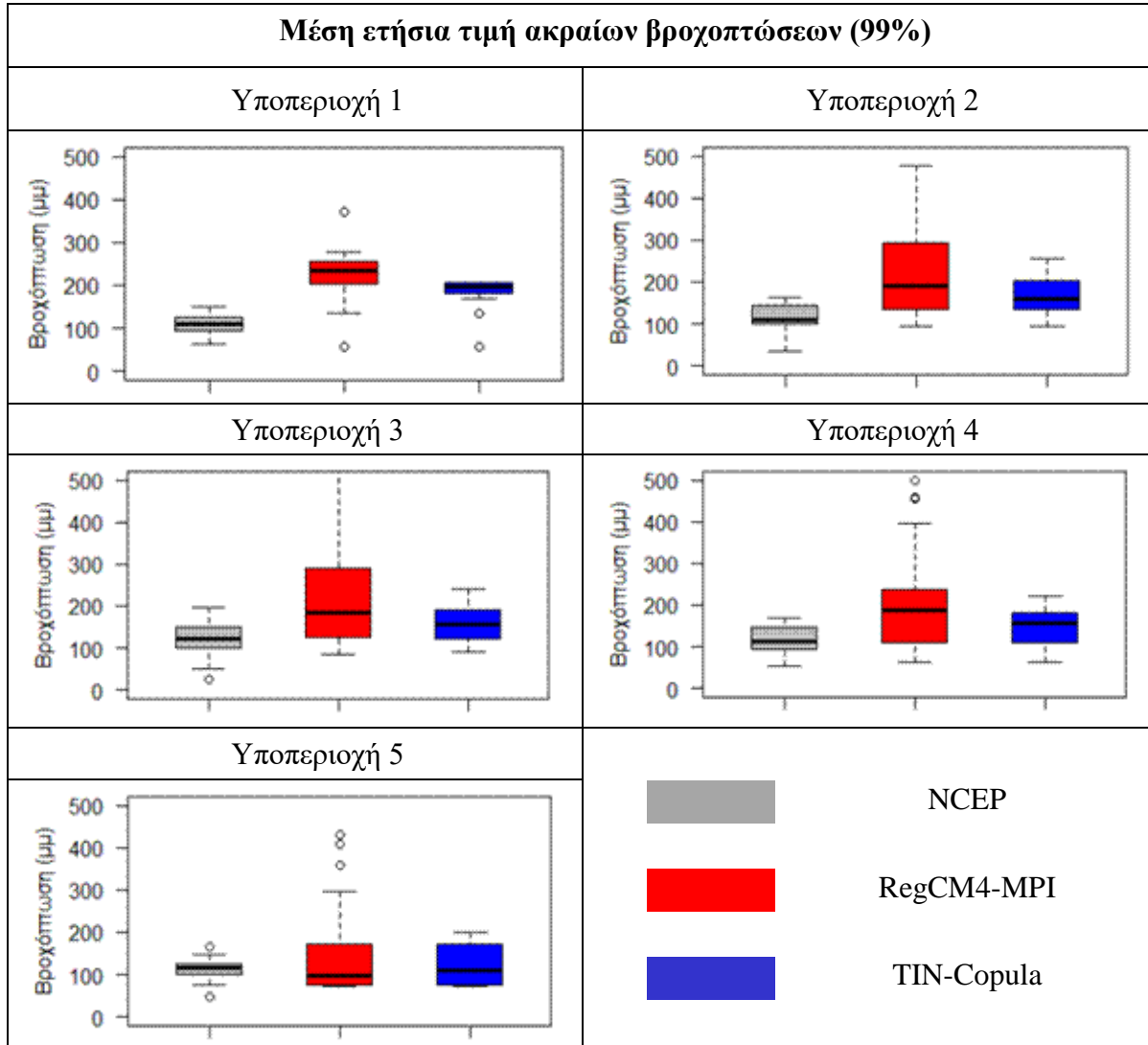
Για την αξιολόγηση των διορθωμένων ακραίων βροχοπτώσεων του κλιματικού μοντέλου με την TIN-Copula μέθοδο κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθούν επιπλέον έλεγχοι. Πιο συγκεκριμένα, οι μεσοποιημένες ακραίες βροχοπτώσεις ανά υποπεριοχή, αποτελούν μια πρώτη εικόνα της βελτίωσης των εκτιμήσεων, ωστόσο για την ακριβέστερη μελέτη των τιμών τους υπολογίστηκαν τα αντίστοιχα θηκογράμματα της κάθε υποπεριοχής (Σχήμα 6.6).

Σύμφωνα με το Σχήμα 6.6, η ακρίβεια των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τις ακραίες βροχοπτώσεις όλων των υποπεριοχών της Μεσογείου, αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση της μεθόδου TIN-Copula. Στο δυτικότερο μέρος της Μεσογειακής λεκάνης (1^η υποπεριοχή) το κλιματικό μοντέλο υπερεκτιμά σημαντικά τις αντίστοιχες τιμές NCEP, ενώ μετά την εφαρμογή της μεθόδου διόρθωσης η απόκλιση έχει μειωθεί σημαντικά, ιδιαίτερα στις μεγάλες τιμές. Επιπρόσθετα, ο υπολογισμός της περιοχικής μέσης τιμής των ακραίων βροχοπτώσεων στην υποπεριοχή 1, δείχνει ότι η υπερεκτίμηση των τιμών του NCEP από το RegCM4-MPI υπερβαίνει τα 100mm, ενώ μετά

την διόρθωση η τιμή αυτή έχει μειωθεί κατά 40mm. Τέλος, όσον αφορά την περιοχή αυτή, αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοπιστία των μεσοποιημένων αποτελεσμάτων είναι χαμηλότερη συγκριτικά με τις επόμενες τρεις υποπεριοχές, καθώς ο αριθμός των κόμβων που ανήκουν είναι σημαντικά μικρότερος σε σχέση με τις υποπεριοχές 2,3 και 4. Στην δεύτερη υποπεριοχή, η χρήση της μεθόδου TIN-Corula βελτιώνει σημαντικά τις εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου για τις μέσες ακραίες βροχοπτώσεις. Όπως φαίνεται και από το αντίστοιχο θηκόγραμμα, η αρχική απόκλιση των μέγιστων τιμών του NCEP, αρχικά ξεπερνά τα 300mm, ενώ μετά την διόρθωση η τιμή αυτή έχει ελαττωθεί σημαντικά. Μία επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων αυτών γίνεται και από τις αντίστοιχες μέσες τιμές της υποπεριοχής. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP, η μέση τιμή των ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων των κόμβων που ανήκουν στη δεύτερη υπο-κατηγορία είναι 112mm. Η αντίστοιχη τιμή που προβλέπει το RegCM4-MPI ξεπερνά τα 217mm, ενώ μετά την διόρθωση η τιμή αυτή είναι 167mm.

Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για την τρίτη υποπεριοχή που περιλαμβάνει την περιοχή της κεντρικής Μεσογείου. Σύμφωνα με το αντίστοιχο θηκόγραμμα, το κλιματικό μοντέλο υπερεκτιμά κατά τουλάχιστον 300mm τις μέγιστες τιμές των μέσων ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ και στις τιμές που βρίσκονται μεταξύ του 1^{ου} και 3^{ου} τεταρτημορίου υπάρχει υπερεκτίμηση, η οποία ωστόσο είναι σημαντικά μικρότερη (~100mm). Στην περιοχή αυτή, η χρήση της TIN-Corula μεθόδου έχει ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα, καθώς το διορθωμένο σύνολο τιμών προσεγγίζει ικανοποιητικά τις ακραίες βροχοπτώσεις των NCEP δεδομένων, σε όλο το εύρος τους. Οι αντίστοιχες μέσες τιμές της υποπεριοχής αυτής, δείχνουν την βελτίωση που αποτυπώνεται και στο θηκόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή των NCEP ισούται με 123mm, η τιμή του MPI είναι 217,9mm ενώ η διορθωμένη τιμή με τη μέθοδο TIN-Corula ισούται με 156mm. Στην τέταρτη υποπεριοχή που περιλαμβάνει τη Βαλκανική χερσόνησο, οι εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου αποκλίνουν σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές των NCEP, ιδιαίτερα στις υψηλότερες τιμές των μέσων ετήσιων ακραίων βροχοπτώσεων (3^ο και 4^ο τεταρτημόριο). Μάλιστα, οι διαφορές των μέγιστων τιμών ξεπερνούν τα 300mm σε ορισμένους κόμβους, ενώ μετά τη διόρθωση, δεν υπάρχει κανένα σημείο στο οποίο η αντίστοιχη διαφορά των συγκρινόμενων συνόλων δεδομένων να ξεπερνά τα 50mm. Όσον αφορά τη μέση τιμή των ακραίων της περιοχής, ενώ τα NCEP δεδομένα προβλέπουν μέση ετήσια ακραία

βροχόπτωση σε κάθε κόμβο ~118mm, το κλιματικό μοντέλο εκτιμά 192mm, ενώ η τιμή αυτή μετά τη διόρθωση ισούται με 150mm.



Σχήμα 6.6. Θηκογράμματα των μέσων ετήσιων ακραίων βροχοπτώσεων στις 5 υποπεριοχές της Μεσογείου

Στην πέμπτη και ανατολικότερη υποκατηγορία, η βελτίωση των αποτελεσμάτων με τη χρήση της μεθόδου TIN-Copula είναι μικρότερη συγκριτικά με τις άλλες υποπεριοχές. Αυτό, οφείλεται αφενός στην ποσότητα των κόμβων που ανήκουν στην περιοχή αυτή και είναι σημαντικά λιγότεροι, αφετέρου, στις διαφορές που εντοπίζονται στις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στους σταθμούς που σχηματίζουν τα TIN-Copula τρίγωνα και

στους κόμβους που εμπεριέχονται σε αυτά. Συνεπώς, τόσο το αντίστοιχο θηκόγραμμα, όσο και οι μέσες τιμές της περιοχής (NCEP:111mm, MPI: 157.7mm, TIN-Corula: 123.6mm) δείχνουν ότι μόνο στις τιμές που ξεπερνούν το 75% του δείγματος (3^ο τεταρτημόριο) παρατηρείται βελτίωση της τάξεως των ~150mm, ενώ στις υπόλοιπες τιμές δεν παρατηρείται σημαντική αλλαγή.

6.4.3. Στατιστική Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Μετά την ολοκλήρωση των συγκρίσεων των μεσοποιημένων τιμών της κάθε υποπεριοχής, πραγματοποιείται μια επιπλέον αξιολόγηση των διορθωμένων χρονοσειρών με τη χρήση τριών στατιστικών εργαλείων: καμπύλες ROC, διαγράμματα Taylor και διαγράμματα ποσοστημορίων (QQ plots).

Οι καμπύλες ROC (Receiving Operating Characteristic curve), η ελληνική ονομασία των οποίων είναι «Καμπύλες λειτουργικού χαρακτηριστικού δείκτη», είναι ένα ιδιαίτερο διαδομένο στατιστικό εργαλείο στην επιστήμη της Ιατρικής, ενώ έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες επιστήμες (πχ Πληροφορική Spackman 1989). Η χρησιμότητά τους εντοπίζεται στην ικανότητα που έχουν να διαχωρίζουν τις μελετώμενες τιμές – επεισόδια σε δύο κατηγορίες, οι οποίες εκφράζονται με «NAI» ή «OXI». Στην παρούσα μελέτη, οι ακραίες τιμές του κλιματικού μοντέλου πριν και μετά την διόρθωση έχουν συγκριθεί με τις τιμές των NCEP δεδομένων. Τα αποτελέσματα ταξινομήθηκαν στην κατηγορία «NAI», εφόσον μετά τη διόρθωση υπήρχε όντως βελτίωση των τιμών, και στην κατηγορία «OXI» εφόσον οι αποκλίσεις μετά τη διόρθωση αυξήθηκαν. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων στηρίζεται σε ένα ιδιαίτερα εύχρηστο μέτρο της διαγνωστικής ακρίβειας του ελέγχου, την περιοχή κάτω από την καμπύλη ROC (Area Under Curve - AUC). Η περιοχή κάτω από την καμπύλη (AUC), αποτελεί ουσιαστικά ένα μέτρο της σωστής ταξινόμησης των τιμών που συνοψίζεται σε μία τιμή. Όσο μεγαλύτερο είναι το εμβαδό κάτω από την καμπύλη και η τιμή της τείνει στο ένα, τόσο αυξάνεται η αξιοπιστία των προσεγγίσεων των μελετώμενων συνόλων. Αντίθετα, όσο πιο κοντά στο 0.5 είναι ο δείκτης της περιοχής κάτω από την καμπύλη τόσο η αξιοπιστία μειώνεται.

Με τα διαγράμματα Taylor επιτυγχάνεται μια γραφική απεικόνιση της σύγκρισης των τιμών δύο ή περισσότερων δειγμάτων. Η σύγκριση, των μελετώμενων τιμών πραγματοποιείται στηριζόμενη σε τρία κρίσιμα στατιστικά μεγέθη, την τυπική απόκλιση

(standard deviation), την συσχέτιση (correlation), και στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (root mean square error RMSE). Σε κάθε διάγραμμα Taylor, οι τιμές των αξόνων, οι οποίοι ενώνονται με νοητά ημικύκλια, αντιστοιχούν στις τιμές της τυπικής απόκλισης, Με ημικύκλια περιγράφονται και οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE), ενώ οι τιμές της συσχέτισης των δειγμάτων περιγράφονται μέσω των ακτινών. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της συσχέτισης και όσο μικρότερη τιμή του RMSE και της τυπικής απόκλισης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια προσέγγισης των μελετώμενων δειγμάτων.

Τέλος, τα διαγράμματα ποσοστημορίων αποτελούν έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο τρόπο να ελεγχθεί το κατά πόσο οι τιμές ενός δείγματος (μοντέλο) προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις τιμές ή την κατανομή ενός άλλου (παρατηρήσεις). Όταν η καμπύλη του μελετώμενου δείγματος ακολουθεί τη γραμμή της διαγωνίου χωρίς αποκλίσεις, τότε η ακρίβεια προσέγγισης είναι μεγάλη.

Θερμοκρασίες

Η αξιολόγηση των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τις ακραίες μέγιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών, καθώς και η αξιολόγηση των αντίστοιχων διορθωμένων τιμών από τη μέθοδο TIN-Corula παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.7. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται για κάθε μία από τις 5 υποπεριοχές της Μεσογείου με τη χρήση τριών μαθηματικών εργαλείων (καμπύλες ROC, διαγράμματα Taylor και διαγράμματα ποσοστημορίων). Στην πρώτη υποπεριοχή φαίνεται ότι η χρήση της μεθόδου TIN-Corula βελτιώνει σημαντικά τις εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου. Αυτό γίνεται αντιληπτό τόσο από τις καμπύλες ROC, όπου μετά την διόρθωση η περιοχή κάτω από την καμπύλη είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με την αντίστοιχη του RegCM4-MPI, όσο και από το διάγραμμα QQ, όπου η καμπύλη των διορθωμένων τιμών δεν αποκλίνει σημαντικά από την καμπύλη της διαγωνίου. Το διάγραμμα Taylor δείχνει ότι η συσχέτιση των τιμών του μοντέλου με τις αντίστοιχες τιμές NCEP κυμαίνεται στο 0.8 τόσο πριν όσο και μετά τη διόρθωση, ενώ σημαντική αλλαγή δεν παρατηρείται ούτε στην τυπική απόκλιση ούτε στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για την περιοχή αυτή. Στην δεύτερη υποπεριοχή φαίνεται ότι η αρχική εκτίμηση του κλιματικού μοντέλου βελτιώνεται με τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula. Η καμπύλη ROC δείχνει ότι η περιοχή κάτω από τη καμπύλη έχει αυξηθεί

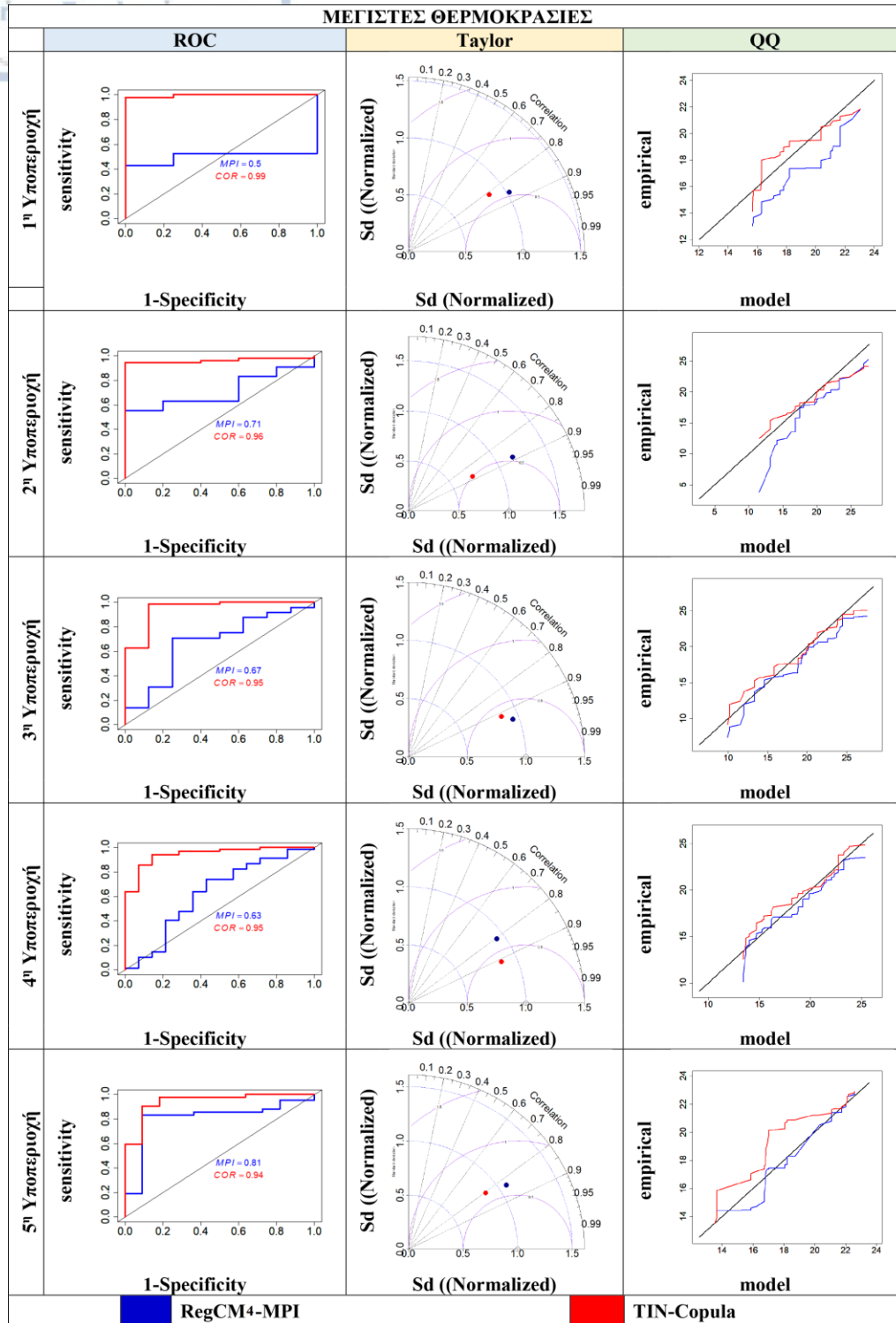
από 0.71 σε 0.96, ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα Taylor, τόσο η συσχέτιση όσο και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα πριν και μετά την διόρθωση παραμένουν σταθερά. Επιπρόσθετα, μετά τη διόρθωση παρατηρείται μείωση της τυπικής απόκλισης των ακραίων θερμοκρασιών, ενώ η βασική διόρθωση εντοπίζεται στις χαμηλότερες ακραίες (κάτω ουρά) θερμοκρασίες. Στην τρίτη υποπεριοχή, οι συστηματικές αποκλίσεις του κλιματικού μοντέλου μειώνονται με τη χρήση της TIN-Corula μεθόδου, αυξάνοντας την περιοχή κάτω από την καμπύλη από 0,67 σε 0,95. Το διάγραμμα Taylor δείχνει ότι μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, υπάρχει μια μικρή μείωση της συσχέτισης και μια μικρή αύξηση της τυπικής απόκλισης και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Το διάγραμμα ποσοστημορίων δείχνει ότι και οι δύο καμπύλες προσεγγίζουν ικανοποιητικά τη διαγώνιο. Στην τέταρτη υποπεριοχή που περιλαμβάνει τα Βαλκάνια, η καμπύλες ROC δείχνουν ότι σε όλους σχεδόν τους κόμβους της περιοχής υπάρχει βελτίωση μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου. Από το αντίστοιχο διάγραμμα Taylor φαίνεται η αύξηση της συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων του μοντέλου και των τιμών NCEP και η μείωση του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος. Το διάγραμμα ποσοστημορίων της περιοχής αυτής δείχνει ότι οι εκτιμήσεις του μοντέλου τόσο πριν όσο και μετά τη διόρθωση προσεγγίζουν με ακρίβεια τις αντίστοιχες τιμές των NCEP δεδομένων. Ένα ερώτημα που δημιουργείται από τα διαγράμματα της τρίτης και τέταρτης υποπεριοχής είναι η διαφορά που υπάρχει μεταξύ του επιπέδου διόρθωσης που απεικονίζεται στο διάγραμμα των καμπυλών ROC και του αντίστοιχου στο διάγραμμα QQ plots. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι για τις καμπύλες ROC χρησιμοποιούνται οι διαφορές ανάμεσα στα ελεγχόμενα δεδομένα και στα δεδομένα NCEP, πιο συγκεκριμένα ο αριθμός των κόμβων στους οποίους η διαφορά αυτή έχει μειωθεί. Αντίθετα, στα διαγράμματα ποσοστημορίων χρησιμοποιείται η αρχική μορφή των δεδομένων. Στα διαγράμματα της πέμπτης υποπεριοχής φαίνεται η μικρή διόρθωση που υπάρχει στην περιοχή αυτή. Αναλυτικότερα οι καμπύλες ROC δείχνουν ότι οι διαφορές των δεδομένων του κλιματικού μοντέλου πριν και μετά τη διόρθωση από τις αντίστοιχες ακραίες τιμές των NCEP είναι σχεδόν σταθερές. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τη συσχέτιση, την τυπική απόκλιση και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των συγκρινόμενων δεδομένων. Τέλος σύμφωνα με το διάγραμμα ποσοστημορίων, μικρή βελτίωση επιτυγχάνεται με τη μέθοδο TIN-Corula στην κάτω ουρά και τις μέσες τιμές των μελετώμενων παραμέτρων.

Το Σχήμα 6.8 παρουσιάζει την αξιολόγηση της μεθόδου διόρθωσης για τις ελάχιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών και για τις πέντε υποπεριοχές. Όπως φαίνεται από το σύνολο των διαγραμμάτων, η TIN-Corula μέθοδος έχει βελτιώσει σημαντικά τις εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου, ωστόσο υπάρχουν υποπεριοχές όπου οι αποκλίσεις συνεχίζουν να είναι σημαντικές. Στην πρώτη υποπεριοχή φαίνεται ότι οι διαφορές μεταξύ των τιμών του κλιματικού μοντέλου και των NCEP δεδομένων έχουν μειωθεί σημαντικά μετά την εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου, αυξάνοντας την περιοχή που βρίσκεται κάτω από την αντίστοιχη καμπύλη ROC. Όσον αφορά τα στατιστικά των συνόλων δεδομένων, μετά τη διόρθωση παρατηρείται μικρή αύξηση της συσχέτισης και μείωση της τυπικής απόκλισης και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Αναλύοντας το διάγραμμα ποσοστημορίων, αντικατοπτρίζεται η διόρθωση που επιτυγχάνεται σε ορισμένα μέρη του, ωστόσο φαίνεται ότι η απόκλιση των εκτιμώμενων ελάχιστων τιμών τόσο πριν όσο και μετά την διόρθωση είναι σημαντική. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για την δεύτερη υποπεριοχή στην οποία ωστόσο οι αρχικές εκτιμήσεις του μοντέλου παρουσιάζουν μικρότερη απόκλιση από τις τιμές NCEP. Η τρίτη υποπεριοχή στην οποία ανήκει η κεντρική Μεσόγειος το μοντέλο εκτιμά ικανοποιητικά τις ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες σύμφωνα με τα διαγράμματα της περιοχής. Με την εφαρμογή της TIN-Corula, η ακρίβεια των προσεγγίσεων έχει αυξηθεί, γεγονός που γίνεται αντιληπτό τόσο από τις καμπύλες ROC όσο και από τα διάγραμμα Taylor. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των κόμβων στους οποίους η μελετώμενη απόκλιση μειώνεται μετά την διόρθωση ξεπερνά το 95% ενώ αύξηση παρατηρείται και στην συσχέτιση των συνόλων δεδομένων. Οι καμπύλες των τιμών του μοντέλου πριν και μετά τη διόρθωση, ακολουθούν την γραμμή της διαγωνίου με μικρές αποκλίσεις. Η τέταρτη υποπεριοχή περιλαμβάνει την περιοχή των Βαλκανίων στην οποία σύμφωνα με τις καμπύλες ROC επιτυγχάνεται μείωση των διαφορών σε μεγάλο ποσοστό κόμβων. Για την ίδια περιοχή, η συσχέτιση μεταξύ των τιμών του μοντέλου και των αντίστοιχων NCEP έχει αυξηθεί μετά τη διόρθωση ενώ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και η τυπική απόκλιση έχουν μειωθεί. Η βελτίωση που φαίνεται στο διάγραμμα Taylor και στις καμπύλες ROC απεικονίζεται και στο διάγραμμα ποσοστημορίων όπου η μεγαλύτερη διόρθωση επιτυγχάνεται στο κέντρο του διαγράμματος, δηλαδή στις τιμές που καλύπτουν το 25-75% του μελετώμενου συνόλου.

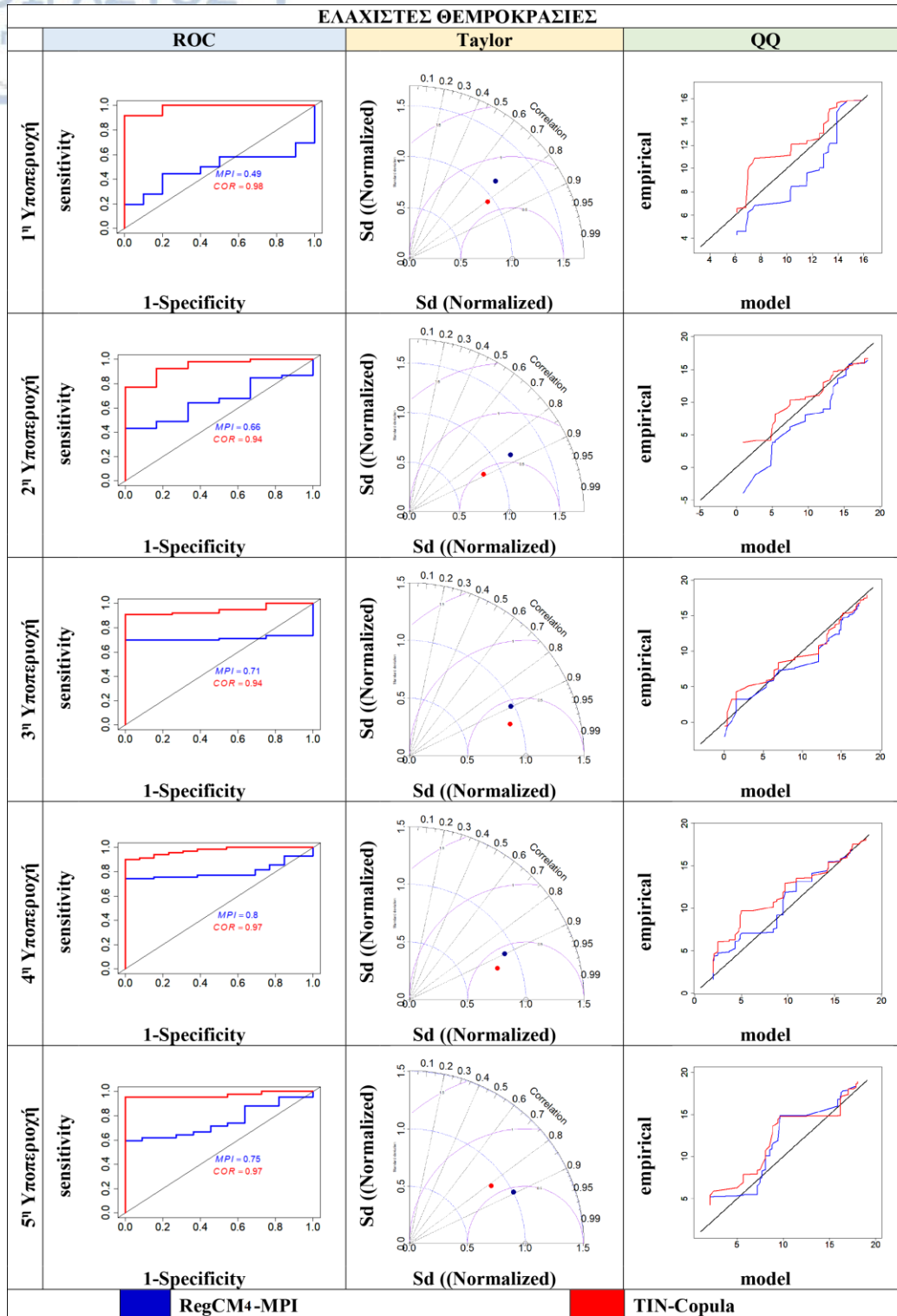
Για την ανατολικότερη υποπεριοχή μελέτης τα διαγράμματα του Σχήματος 17 επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα των αντίστοιχων χαρτών. Σύμφωνα με τις καμπύλες ROC η εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου αυξάνει την ακρίβεια των προσεγγίσεων, ωστόσο και οι διορθωμένες τιμές αποκλίνουν σημαντικά από τις αντίστοιχες των δεδομένων NCEP.

Βροχοπτώσεις

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου TIN-Corula για την βελτίωση των εκτιμήσεων του κλιματικού μοντέλου RegCM4-MPI για τις ακραίες βροχοπτώσεις παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.9. Σύμφωνα με τις καμπύλες ROC, τα διαγράμματα Taylor και τα διαγράμματα QQ η ακρίβεια των προσεγγίσεων του κλιματικού μοντέλου αυξάνεται σημαντικά μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula. Στην πρώτη υποπεριοχή φαίνεται ότι σε όλους τους κόμβους που καλύπτουν την δυτική Μεσόγειο, οι τιμές του κλιματικού μοντέλου εκτιμούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις ακραίες βροχοπτώσεις των NCEP δεδομένων μετά τη χρήση της μεθόδου διόρθωσης. Στην περιοχή αυτή μάλιστα η διόρθωση είναι ιδιαίτερα μεγάλη καθώς η περιοχή κάτω από την καμπύλη αυξάνεται από το 0.53 στο απόλυτο ένα που αποτελεί και την ιδανικότερη κατάσταση. Στο αντίστοιχο διάγραμμα Taylor φαίνεται ότι μετά τη διόρθωση των μεροληπτικών λαθών του μοντέλου, η συσχέτιση με τις τιμές NCEP μειώθηκε κατά 0.2 βαθμούς, κάτι που ωστόσο παρατηρείται και στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα και στην τυπική απόκλιση. Η σημαντική βελτίωση που δείχνουν οι καμπύλες ROC, αποτυπώνεται και στο διάγραμμα ποσοστημορίων στο οποίο πριν και μετά τη διόρθωση οι τιμές αποκλίνουν στο κάτω άκρο αλλά βελτιώνονται σημαντικά στην άνω ουρά του – υψηλότερες ακραίες βροχοπτώσεις.




Σχήμα 6.7. Καμπύλες ROC, Διαγράμματα Taylor και QQ plots, των μέγιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών του μοντέλου RegCM4-MPI και των διορθωμένων τιμών με την TIN-Copula μέθοδο.



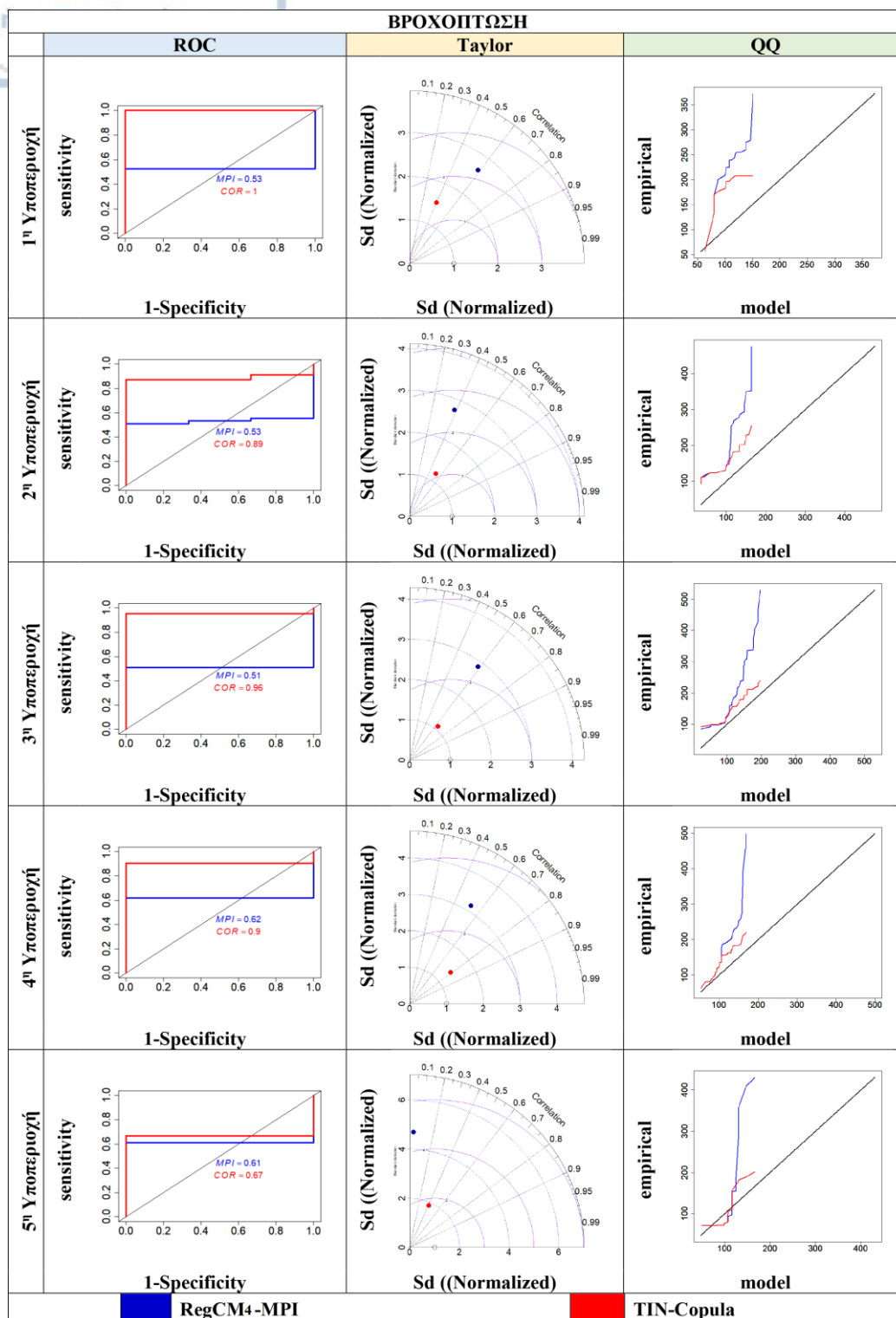
Σχήμα 6.8. Καμπύλες ROC, Διαγράμματα Taylor και QQ plots, των ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών του μοντέλου RegCM4-MPI και των διορθωμένων τιμών με την TIN-Copula μέθοδο

Τα συμπεράσματα της δεύτερης υποπεριοχής, παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με αυτά της πρώτης. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τις καμπύλες ROC, η διαφορά ανάμεσα στις εκτιμώμενες ακραίες βροχοπτώσεις του μοντέλου και των αντίστοιχων NCEP, έχει ελαττωθεί σε όλους σχεδόν τους κόμβους, μετά από την εφαρμογή της TIN-Corula μεθόδου. Επιπρόσθετα στην περιοχή αυτή η συσχέτιση των μελετώμενων συνόλων έχει αυξηθεί κατά 0,1 περίπου βαθμό, ενώ αξιοσημείωτη είναι η μείωση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Τέλος, οι καμπύλες ποσοστημορίων τόσο πριν όσο και μετά τη διόρθωση αποκλίνουν από την γραμμή αναφοράς-διαγώνιο αλλά η απόκλιση του κλιματικού μοντέλου πριν τη διόρθωση είναι ιδιαίτερα μεγάλη, κυρίως στην άνω ουρά του διαγράμματος. Η τρίτη υποπεριοχή μελέτης περιλαμβάνει την κεντρική Μεσόγειο, στην οποία φαίνεται ότι η χρήση της TIN-Corula μεθόδου βελτιώνει σημαντικά τις εκτιμήσεις του κλιματικού μοντέλου. Σύμφωνα με τις καμπύλες ROC, η αύξηση της ακρίβειας των εκτιμήσεων για τις ακραίες βροχοπτώσεις έχει επιτευχθεί σε κάθε κόμβο της υποπεριοχής, αυξάνοντας την περιοχή κάτω από την καμπύλη από το 0.51 στο απόλυτο 1. Τα συμπεράσματα αυτά επιβεβαιώνονται τόσο από το διάγραμμα Taylor που φαίνεται η σημαντική μείωση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, όσο και από το διάγραμμα ποσοστημορίων στο οποίο η διορθωμένη καμπύλη αποκλίνει πολύ λιγότερο από την διαγώνιο. Η συσχέτιση των τιμών του μοντέλου με τις αντίστοιχες τιμές του NCEP παραμένει σταθερή τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή της TIN -Corula, ενώ τυπική απόκλιση μειώθηκε από 2 σε 0.9. Η εκτίμηση των ακραίων βροχοπτώσεων στην Βαλκανική χερσόνησο και γενικότερα στην τέταρτη υποπεριοχή γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια μετά τη χρήση της μεθόδου TIN-Corula, παρά το γεγονός ότι στην περιοχή αυτή δεν επιτυγχάνεται το απόλυτο 1. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι υπάρχουν σημεία-κόμβοι στους οποίους η διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων του μοντέλου δεν έχει δώσει ακριβέστερα αποτελέσματα από τα αρχικά. Όπως παρατηρήθηκε και στα υπόλοιπα διαγράμματα των μελετώμενων υποπεριοχών, με την διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων του μοντέλου μειώνεται σημαντικά η τυπική απόκλιση, ενώ στην περιοχή αυτή, αυξάνεται και η συσχέτιση κατά 0,25 βαθμούς. Η τυπική απόκλιση παραμένει σχεδόν σταθερή. Το διάγραμμα ποσοστημορίων δείχνει ότι η αρχικές εκτιμήσεις του μοντέλου αποκλίνουν σημαντικά από την γραμμή αναφοράς, με την απόκλιση να ξεπερνά



Διόρθωση Σφαλμάτων με TIN-Corula

τα 300 mm στις τιμές που βρίσκονται στην άνω ουρά του διαγράμματος. Η προσέγγιση έχει βελτιωθεί σημαντικά μετά την εφαρμογή της TIN-Corula, σε όλο το εύρος του διαγράμματος. Στα διαγράμματα της ανατολικότερης υποπεριοχής παρατηρούνται ορισμένες διαφορές συγκριτικά με τα αντίστοιχα των υπολοίπων τεσσάρων. Πιο συγκεκριμένα, οι καμπύλες ROC δείχνουν ότι υπάρχει μια βελτίωση των εκτιμήσεων του μοντέλου μετά την εφαρμογή της μεθόδου TIN-Corula, οι οποίες ωστόσο επιτυγχάνονται σε μικρό αριθμό κόμβων. Επιπρόσθετα, στο διάγραμμα Taylor φαίνεται ότι οι διορθωμένες τιμές έχουν μικρή αύξηση στην τυπική τους απόκλιση, σημαντική αύξηση στην συσχέτιση (από 0.1 σε 0.3) και μεγάλη μείωση στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Τέλος από το διάγραμμα ποσοστημορίων γίνεται αντιληπτό ότι η μικρή διόρθωση στις καμπύλες ROC οφείλεται στο γεγονός ότι ένα σημαντικό ποσοστό κόμβων παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά στις εκτιμήσεις τόσο πριν όσο και μετά τη διόρθωση, ενώ σημαντική αλλαγή και βελτίωση επιτυγχάνεται στους κόμβους όπου καταγράφονται οι πιο ακραίες τιμές.



Σχήμα 6.9. Καμπύλες ROC, Διαγράμματα Taylor και QQ plots, των ακραίων βροχοπτώσεων του μοντέλου RegCM4-MPI και των διορθωμένων τιμών με την TIN-Copula μέθοδο.



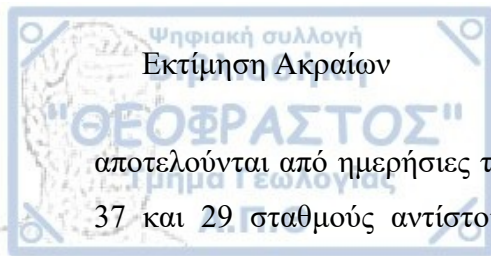
7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ TIN-COPULA.

Στα κεφάλαια 5 και 6, πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση της TIN-Copula μεθόδου, σχετικά με την ικανότητά της να βελτιώνει τις εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων για τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, διορθώνοντας τα σφάλματα μεροληψίας τους. Λαμβάνοντας υπόψη τα θετικά αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου, προτείνεται η χρήση της μεθόδου αυτής για την εκτίμηση των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης σε σημεία όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Αναλυτικότερα, στόχος του 7^{ου} κεφαλαίου, είναι η εκτίμηση των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην Μεσόγειο, χρησιμοποιώντας μόνο πραγματικά κλιματικά δεδομένα σταθμών.

7.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

7.1.1. Δεδομένα

Στο κεφάλαιο 7, πραγματοποιείται η εκτίμηση των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, χρησιμοποιώντας μόνο παρατηρήσεις γειτονικών σταθμών. Συνεπώς, τα δεδομένα του κεφαλαίου αυτού,



αποτελούνται από ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, προερχόμενα από 37 και 29 σταθμούς αντίστοιχα, οι οποίοι καλύπτουν ομοιόμορφα την περιοχή της Μεσογείου. Οι σταθμοί είναι οι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια (Σχήμα 2.2 και Σχήμα 2.3) και η χρονική περίοδος μελέτης ξεκινά από το 1981 έως το 2000 (20έτη). Επιπρόσθετα, στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιούνται και ημερήσια δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis – NCEP) για τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Τα δεδομένα αυτά, καλύπτουν την Μεσογειακή Λεκάνη, και αφορούν την περίοδο 1981-2000. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα NCEP δεδομένα, χρησιμοποιούνται μόνο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της TIN-Corula μεθόδου και όχι για την εκτίμηση των ακραίων τιμών.

7.1.2. Μεθοδολογία

Η διαδικασία εκτίμησης των ακραίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, παρουσιάζει αρκετά κοινά στοιχεία με τη διαδικασία διόρθωσης των σφαλμάτων μεροληψίας των κλιματικών μοντέλων. Η βασική διαφορά εντοπίζεται στα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σαν είσοδος στο τελικό μοντέλο διόρθωσης. Πιο συγκεκριμένα, για τη διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας των ακραίων τιμών των κλιματικών μοντέλων (κεφάλαια 5 και 6), τα δεδομένα εισόδου στην τελική εξίσωση είναι οι μέσες τιμές του κλιματικού μοντέλου. Αντίθετα, για την εκτίμηση των ακραίων σε σημεία χωρίς δεδομένα, η χρονοσειρά εισόδου στο τελικό μοντέλο αποτελείται από τις μεσοποιημένες μέσες τιμές των γειτονικών σταθμών, λαμβάνοντας υπόψη και τις αποστάσεις τους από το μελετώμενο σημείο. Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

Η επεξεργασία των αρχικών ημερήσιων δεδομένων έχει ως στόχο τη δημιουργία της τελικής βάσης δεδομένων, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τη εκτίμηση των ακραίων, και θα αποτελεί το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας. Συνεπώς, χρησιμοποιώντας τις ημερήσιες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις των 37 και 29 αντίστοιχα διαθέσιμων σταθμών, υπολογίζονται οι μηνιαίες χρονοσειρές των μέσων και ακραίων τιμών. Οι τελικές χρονοσειρές αποτελούνται από 240 τιμές, καθώς η περίοδος μελέτης περιλαμβάνει 20έτη. Οι υπολογισμοί αυτοί έχουν πραγματοποιηθεί τόσο για τα δεδομένα των σταθμών όσο και για κάθε κόμβο των δεδομένων NCEP.

Το επόμενο βήμα της μεθοδολογίας περιλαμβάνει τη δημιουργία του δικτύου ακανόνιστων τριγώνων (TIN), το οποίο σχεδιάζεται βασισμένο στις θέσεις των σταθμών της μελέτης – 38 για τη θερμοκρασία και 29 για τη βροχόπτωση (Σχήμα 6.2 και Σχήμα 6.3).

Σε καθέναν από τους σταθμούς της μελέτης πραγματοποιείται έλεγχος για την εύρεση της οικογένειας σύζευξης που μπορεί να περιγράψει τη σχέση εξάρτησης των μέσων και ακραίων χρονοσειρών με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Η επιλογή γίνεται ανάμεσα σε διάφορες οικογένειες (Πίνακας 5.1), οι οποίες προέρχονται τόσο από την κατηγορία των Ελλειπτικών όσο και των Αρχιμήδειων συζεύξεων. Επιπρόσθετα, για καθένα σταθμό, ελέγχονται οι μαθηματικές κατανομές normal, gamma, log-normal, Weibull, GEV και Pareto, με στόχο την επιλογή της καταλληλότερης για τη περιγραφή της συμπεριφοράς των ακραίων τιμών. Τόσο η επιλογή της κατάλληλης οικογένεια σύζευξης όσο και η επιλογή της περιθώριας συνάρτησης, γίνεται με τη χρήση των κριτηρίων AIC και BIC.

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω απαραίτητων υπολογισμών, ξεκινά η διαδικασία εκτίμησης των ακραίων κλιματικών τιμών. Αυτό επιτυγχάνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Ορίζεται η γεωγραφική θέση του σημείου (x-point) στο οποίο θα γίνει η εκτίμηση των ακραίων.
- Εντοπίζεται το TIN τρίγωνο στο οποίο εμπεριέχεται το σημείο μελέτης - x-point.
- Υπολογίζονται οι αποστάσεις του σημείου x-point από τις τρεις κορυφές του TIN τριγώνου στο οποίο ανήκει.
- Στο σημείο x-point υπολογίζεται μια νέα χρονοσειρά χρησιμοποιώντας τις μέσες χρονοσειρές των σταθμών που σχηματίζουν το μελετώμενο TIN τρίγωνο καθώς και την απόστασή τους από το σημείο μελέτης (x-point). Αναλυτικότερα, αρχικά υπολογίζεται ένας συντελεστής W, ο οποίος αποτελεί το συντελεστή βαρύτητας της συμμετοχής των τιμών της κάθε κορυφής στην τελική χρονοσειρά.

$$S = (\text{Dist } 1 + \text{Dist } 2 + \text{Dist } 3)$$

$$W_n = S / (\text{Dist } n * ((S/\text{Dist}1) + (S/\text{Dist}2) + (S/\text{Dist } 3)))$$



Dist 1,2,3 είναι οι αποστάσεις του σημείου x-point από τις κορυφές – σταθμούς του τριγώνου στο οποίο ανήκει, και n η κορυφή για την οποία υπολογίζεται ο συντελεστής ($n= 1,2$ ή 3).

Στη συνέχεια, υπολογίζεται η νέα χρονοσειρά των μεσοποιημένων τιμών με τον εξής τρόπο:

$$X_{(1...240)} = W1 * X1_{(1...240)} + W2 * X2_{(1...240)} + W3 * X3_{(1...240)}$$

Όπου $X_{(1...240)}$ είναι η χρονοσειρά (240 τιμές) που εκτιμάται στο σημείο x-point, Wn είναι ο συντελεστής βαρύτητας της κάθε κορυφής ($n= 1,2$ ή 3 – κορυφή) και $Xn_{(1...240)}$ η χρονοσειρά των μέσων τιμών της κάθε κορυφής ($n= 1,2$ ή 3 – κορυφή).

- Στο σημείο x-point δημιουργείται μια νέα οικογένεια σύζευξης – new copula χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις των συζεύξεων που έχουν επιλεχθεί σε κάθε σταθμό – κορυφή του TIN τριγώνου. Ο βαθμός συμμετοχής της κάθε σύζευξης εξαρτάται από την απόσταση του x-point από την εκάστοτε κορυφή. Πιο συγκεκριμένα, οι εξισώσεις των συζεύξεων των κορυφών προστίθενται με βαρύτητα αντιστρόφως ανάλογη των αποστάσεών τους από το σημείο x-point, χρησιμοποιώντας τον συντελεστή W που έχει υπολογιστεί. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τον υπολογισμό μιας νέας κατανομής – περιθώριας συνάρτησης στο σημείο x-point.
- Η χρονοσειρά των μεσοποιημένων τιμών στο σημείο x-point ($X_{1...240}$) χρησιμοποιείται σαν δεδομένο εισόδου στην εξίσωση της νέας οικογένειας σύζευξης που έχει υπολογιστεί στο σημείο αυτό. Το αποτέλεσμα είναι μια νέα χρονοσειρά κανονικοποιημένων τιμών.
- Η χρονοσειρά των κανονικοποιημένων τιμών, προσαρμόζεται στην περιθώρια συνάρτηση που έχει εκτιμηθεί στο σημείο x-point. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μία νέα χρονοσειρά, η οποία αποτελεί τις εκτιμώμενες ακραίες τιμές του σημείου x-point, σύμφωνα με την TIN-Copula μέθοδο.

Το τελικό βήμα της μεθοδολογίας αποτελείται από την διαδικασία αξιολόγησης των εκτιμώμενων τιμών. Αυτό πραγματοποιείται με τη σύγκριση των τιμών της TIN-Copula μεθόδου, με τις αντίστοιχες ακραίες τιμές που εκτιμώνται από τα NCEP δεδομένα. Στην παρούσα μελέτη, τα σημεία x-point στα οποία έχουν εκτιμηθεί οι χρονοσειρές των ακραίων, ταυτίζονται με τις θέσεις των κόμβων των NCEP δεδομένων, έτσι ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η αξιολόγησή τους με ακρίβεια.

7.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΙΜΑ Η ΜΕΘΟΔΟΣ TIN-COPULA

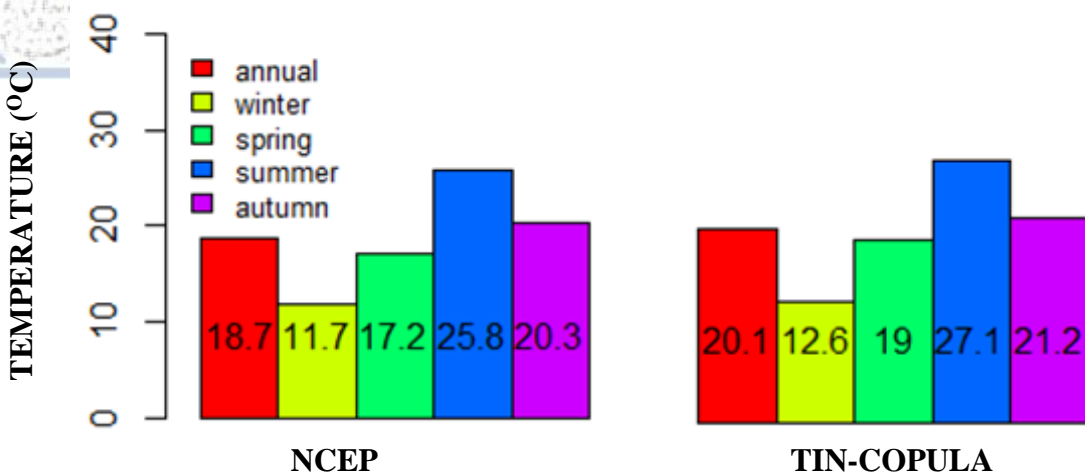
7.2.1 Στατιστική Αξιολόγηση (Ραβδόγραμμα, Θηκόγραμμα)

Θερμοκρασίες

Στα Σχήματα 7.1 και 7.2, παρουσιάζεται μια γενική ετήσια και εποχική σύγκριση των εκτιμώμενων ακραίων τιμών των μέσων θερμοκρασιών για όλη την περιοχή μελέτης με τη χρήση Ραβδογραμμάτων και Θηκογραμμάτων αντίστοιχα.

Το Σχήμα 7.1 παρουσιάζει την ετήσια και την εποχιακή εκτίμηση των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για την περιοχή της Μεσογείου, σύμφωνα με τα NCEP δεδομένα και την TIN-Copula μέθοδο. Οι τιμές του γραφήματος αποδεικνύουν ότι οι εκτιμήσεις των δύο συνόλων είναι πολύ κοντά σε όλες τις εποχές. Για την εποχή του χειμώνα και του φθινοπώρου η εκτίμηση της προτεινόμενης μεθόδου για τις μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών για ολόκληρη τη περιοχή της Μεσογείου είναι κατά 0.9°C υψηλότερη από την αντίστοιχη των NCEP, ενώ διπλάσια (1.8°C) είναι η υπερεκτίμηση για τη μεταβατική εποχή της άνοιξης. Για την εποχή του καλοκαιριού, όπου καταγράφονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες του έτους, οι τιμές των NCEP εκτιμούν ως μέση τιμή της ακραίας μέγιστης θερμοκρασίας τους 25.8°C ενώ η TIN-Copula μέθοδος δίνει τους 27.1°C . Οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρούνται σε κάθε εποχή, αποτυπώνονται και στις ετήσιες θερμοκρασίες, με την εκτίμηση της TIN-Copula μεθόδου να υπερεκτιμά κατά 1.4°C τη μέση ακραία μέγιστη θερμοκρασία.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

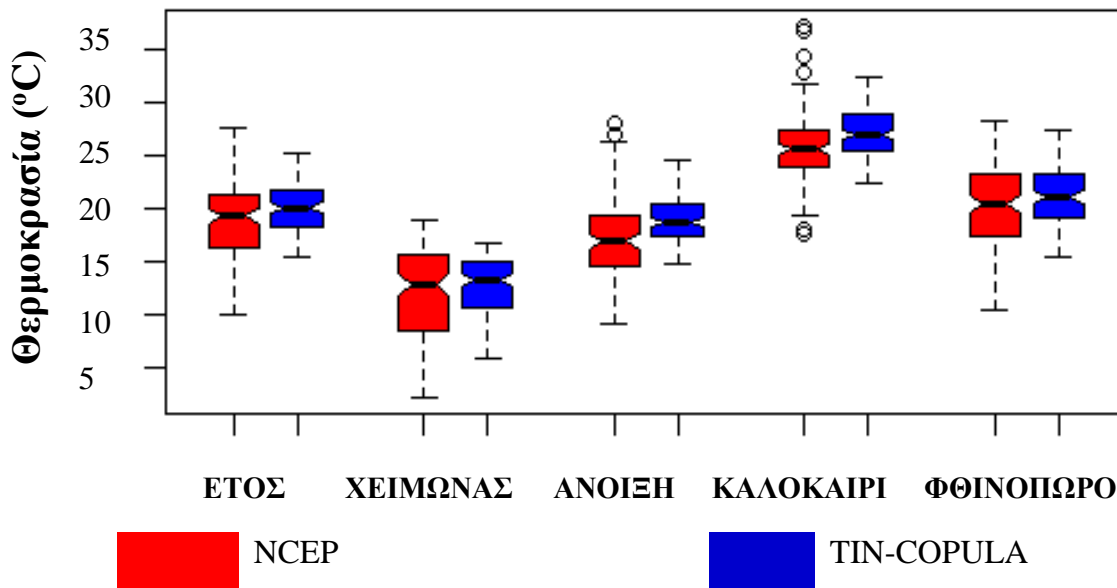


Σχήμα 7.1: Ραβδόγραμμα της ετήσιας και των εποχιακών εκτιμήσεων της TIN-Copula μεθόδου και των δεδομένων του NCEP, για τις μέγιστες θερμοκρασίες της Μεσογείου.

Το Σχήμα 7.2 παρουσιάζει το αντίστοιχο θηκόγραμμα της ετήσιας και των εποχιακών εκτιμήσεων της μεθόδου TIN-Copula για τις μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών της Μεσογείου, και τις αντίστοιχες τιμές των δεδομένων του NCEP. Τα αποτελέσματα του Σχήματος 7.2 έρχονται σε απόλυτη συμφωνία με τα συμπεράσματα των ραβδογραμμάτων (Σχήμα 7.1) NCEP. Αναλυτικότερα, στο θηκόγραμμα του χειμώνα φαίνεται ότι οι NCEP τιμές παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος (8-16°C) ενώ το εύρος των τιμών της TIN-Copula είναι από 10 έως 15°C. Επίσης, όσον αφορά στις ακραίες τιμές, η TIN-Copula μέθοδος φαίνεται να τις υποεκτιμά. Στην εποχή της άνοιξης η προτεινόμενη μέθοδος υπερεκτιμά τις τιμές των NCEP σε όλα τα τεταρτημόρια εκτός από το τέταρτο. Έτσι η προτεινόμενη μέθοδος εκτιμά ότι το εύρος των μέγιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών κυμαίνεται από 17 °C έως 20 °C ενώ σύμφωνα με τα NCEP δεδομένα, οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 15 °C έως 19 °C. Στο θηκόγραμμα του καλοκαιριού φαίνεται πως η TIN-Copula μέθοδος υπερεκτιμά τις τιμές του NCEP σε όλα τα τεταρτημόρια, ωστόσο η υπερεκτίμηση αυτή δεν ξεπερνά ποθενά τους 3°C. Για την εποχή του Φθινοπώρου, φαίνεται πως οι εκτιμήσεις των μέγιστων θερμοκρασιών από τα δύο συγκρινόμενα σύνολα είναι πολύ κοντά. Συγκεκριμένα, οι τιμές που ανήκουν στο τρίτο και τέταρτο τεταρτημόριο είναι σχεδόν ίσες και στα δύο θηκογράμματα (20-27 °C), ενώ οι τιμές των άλλων δύο τεταρτημορίων (2^ο και 1^ο) υπερεκτιμώνται από την TIN-Copula μεθόδου κατά 2 και 5 °C αντίστοιχα. Μια πιο γενική εικόνα παρουσιάζεται στα ετήσια

θηκογράμματα. Από αυτά γίνεται αντιληπτή η πολύ καλή προσέγγιση των τιμών των δύο εξεταζόμενων συνόλων, για τις τιμές (18-22 °C) που καλύπτουν το τρίτο τεταρτημόριο (50-75%). Ωστόσο, για τις ακραίες τιμές του θηκογράμματος, η TIN-Corula μέθοδος υποεκτιμά την υψηλότερη τιμή που προβλέπει το NCEP (27 °C) κατά 2 °C και υπερεκτιμά τη χαμηλότερη (10°C) κατά 5 °C.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

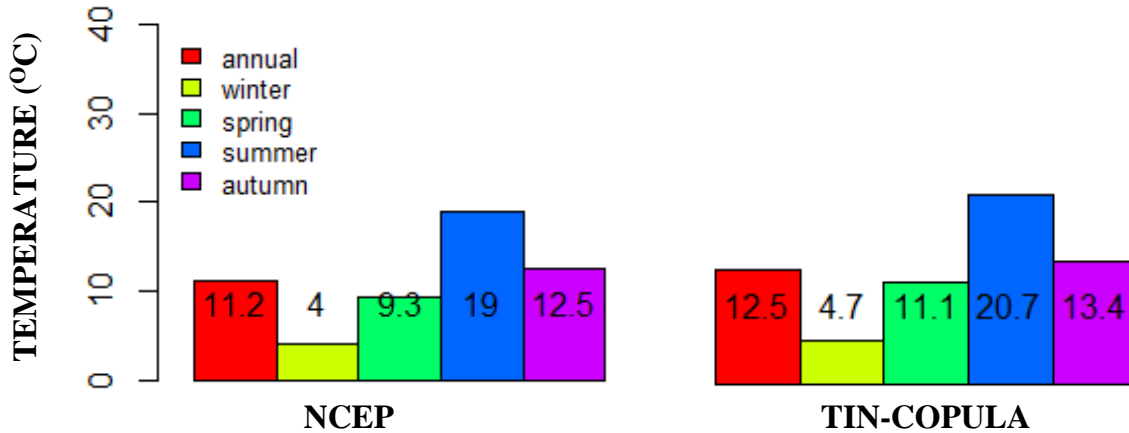


Σχήμα 7.2: Θηκογράμματα των ετήσιων και των εποχιακών εκτιμήσεων της TIN-Corula μεθόδου και των δεδομένων NCEP, για τις μέγιστες θερμοκρασίες της Μεσογείου κατά την περίοδο 1981-2000

Το Σχήμα 7.3 παρουσιάζει το ραβδόγραμμα των ετήσιων και των εποχιακών εκτιμήσεων των ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών στην περιοχή της Μεσογείου, σύμφωνα με τα δεδομένα NCEP και την TIN-Corula μέθοδο. Η εκτιμώμενη ελάχιστη θερμοκρασία της Μεσογείου σύμφωνα με την TIN-Corula μέθοδο για την εποχή του χειμώνα υπερεκτιμά την αντίστοιχη τιμή των NCEP δεδομένων κατά 0,7 °C. Στις εποχές της Άνοιξης και του Καλοκαιριού (11.1 °C και 20.7 °C αντίστοιχα) οι υπερεκτιμήσεις της προτεινόμενης μεθόδου είναι ελαφρώς μεγαλύτερες αλλά δεν ξεπερνούν τους 2 °C. Τέλος για την εποχή του Φθινοπώρου η τιμή των NCEP (12.5 °C) υποεκτιμάται κατά 0.9 °C από την μέθοδο TIN-Corula. Οι παρατηρούμενες υπερεκτιμήσεις της νέας μεθόδου στις

τέσσερις εποχές, αποτυπώνονται και σε ετήσια βάση. Το NCEP εκτιμά ως ελάχιστη θερμοκρασία της υπό-μελέτης περιοχής τους 11,2 °C ενώ η TIN-Copula μέθοδος τους 12,5 °C.

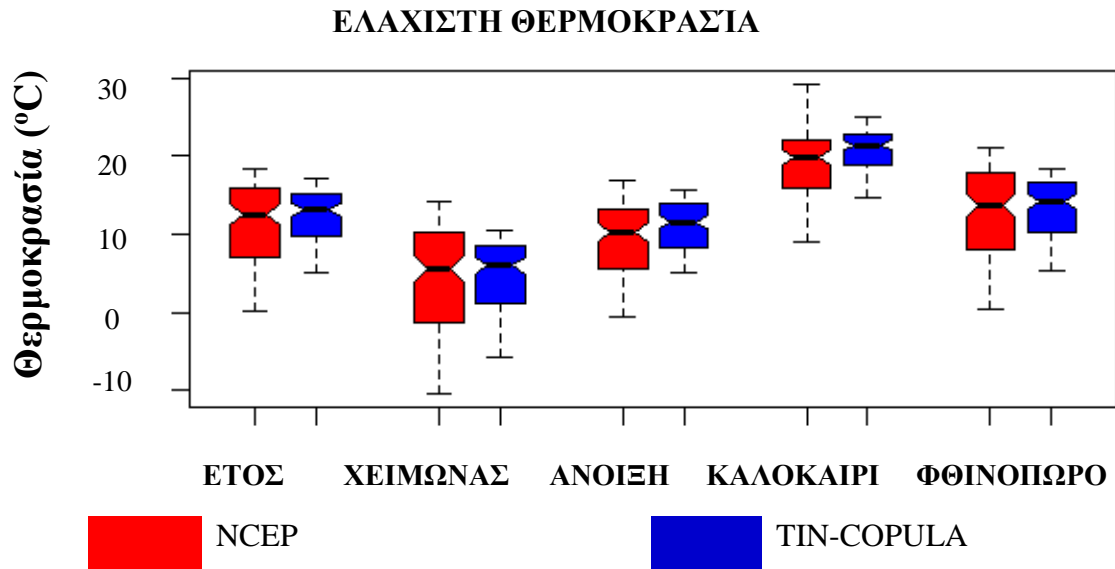
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Σχήμα 7.3: Ραβδόγραμμα της ετήσιας και των εποχιακών εκτιμήσεων της TIN-Copula μεθόδου και των δεδομένων του NCEP, για τις ελάχιστες θερμοκρασίες της Μεσογείου κατά την περίοδο 1981-2000

Στο Σχήμα 7.4 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα των ελαχίστων μέσων θερμοκρασιών της Μεσογείου όπως αυτές εκτιμώνται από τη μέθοδο TIN-Copula και από τα NCEP δεδομένα. Κατά την εποχή του χειμώνα, οι τιμές του εύρους των συγκρινόμενων συνόλων είναι σχεδόν ίσες, καθώς παρατηρείται μια μικρή απόκλιση που δεν υπερβαίνει τον 1 °C. Μία μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται στις μέγιστες και ελάχιστες τιμές της εποχής αυτής τις οποίες η TIN-Copula μέθοδος τις υποεκτιμά και τις υπερεκτιμά αντίστοιχα κατά ~5°C. Σημαντική ομοιότητα παρατηρείται στα θηκογράμματα της Άνοιξης μεταξύ των τιμών των δύο συνόλων που καλύπτουν το τρίτο και τέταρτο τεταρτημόριο (10-17 °C), ενώ όσον αφορά τις υπόλοιπες τιμές η TIN-Copula μέθοδος υπερεκτιμά τις αντίστοιχες τιμές NCEP κατά 3-5°C. Τα θηκογράμματα του καλοκαιριού παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά συγκριτικά με αυτά των άλλων εποχών. Αναλυτικότερα, οι εκτιμώμενες τιμές της TIN-Copula μεθόδου που βρίσκονται στο 2^ο και 3^ο τεταρτημόριο προσεγγίζουν με σημαντική ακρίβεια (1-3°C) τις αντίστοιχες NCEP τιμές, ενώ στις ακραίες τιμές παρατηρούνται αποκλίσεις που κυμαίνονται στους ~5 °C. Στην εποχή του Φθινοπώρου, τα θηκογράμματα των συγκρινόμενων συνόλων

παρουσιάζουν μικρές διαφορές ($\sim 2^\circ\text{C}$) στις παρατηρήσεις που κυμαίνονται από $9-19^\circ\text{C}$ (2° και 3° τεταρτημόριο) ενώ όπως και στις άλλες εποχές στις τιμές του πρώτου και τέταρτου τεταρτημορίου οι διαφορές αυτές κυμαίνονται από $3-5^\circ\text{C}$.



Σχήμα 7.4: Θηκόγραμμα των ετήσιων και των εποχιακών εκτιμήσεων της TIN-Corula μεθόδου και των δεδομένων του NCEP, για τις ελάχιστες θερμοκρασίες της Μεσογείου κατά την περίοδο 1981-2000

Στο ετήσιο θηκόγραμμα αποτυπώνεται μια γενικότερη εικόνα των εκτιμώμενων ελάχιστων θερμοκρασιών. Οι προσεγγίσεις της TIN-Corula μεθόδου για τις τιμές που βρίσκονται πάνω από τη διάμεσο 50 % είναι ιδιαίτερα ακριβείς καθώς και τα δύο σύνολα εκτιμούν ελάχιστες θερμοκρασίες που κυμαίνονται από $12-18^\circ\text{C}$. Στις υπόλοιπες τιμές παρατηρείται μια απόκλιση $\sim 5^\circ\text{C}$ η οποία προκύπτει από υπερεκτίμηση σε σχέση με τα NCEP δεδομένα.

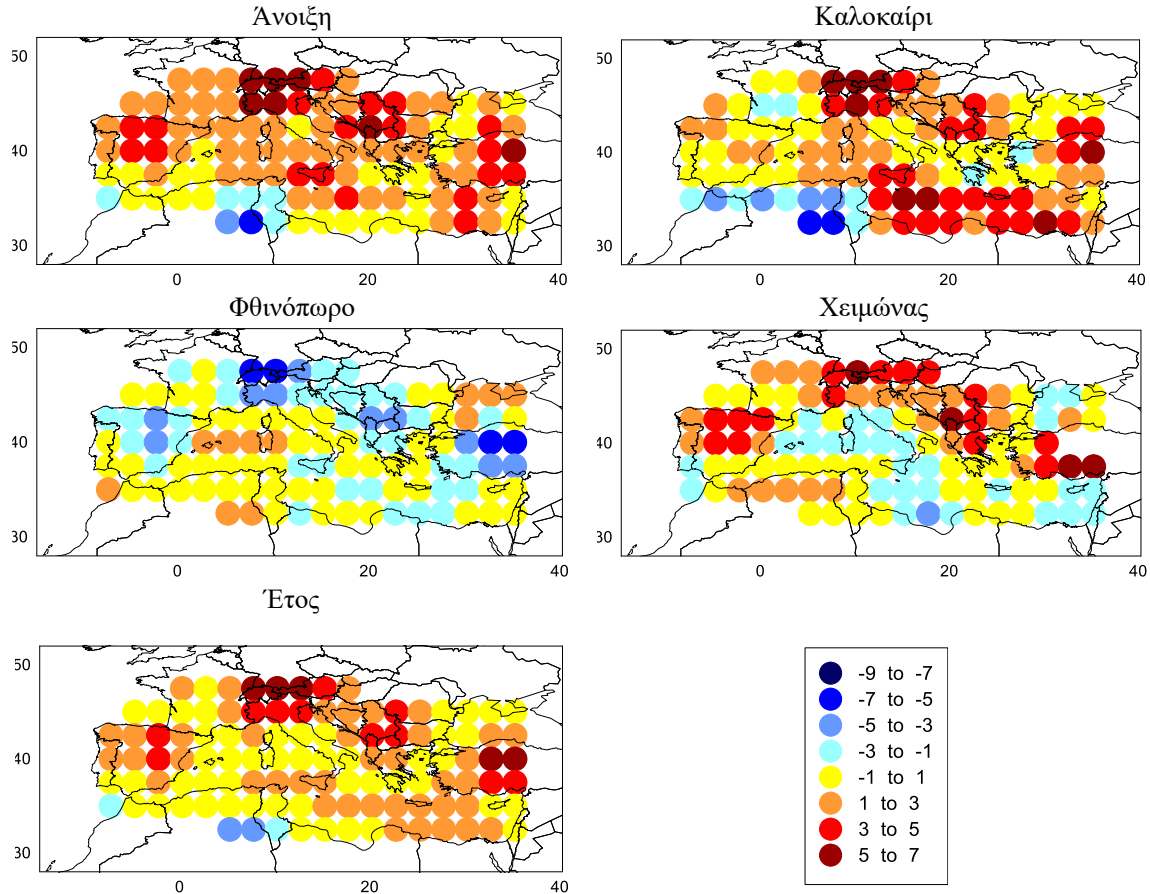
7.2.2. Περιοχική Αξιολόγηση

Θερμοκρασία

Συμπληρωματικά με την στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Σχήμα 7.1 και 7.2), πραγματοποιήθηκε και η περιοχική ανάλυση των διαφορών που παρατηρούνται στις μέγιστες ακραίες τιμές των μέσων θερμοκρασιών που εκτιμά τη TIN-Corula μέθοδος, και στις αντίστοιχες τιμές που υπολογίζονται από τα NCEP δεδομένα (Σχήμα 7.5). Οι διαφορές

αρχικά υπολογίστηκαν σε ημερήσια βάση, και στη συνέχεια οργανώθηκαν σε εποχιακές και ετήσιες.

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



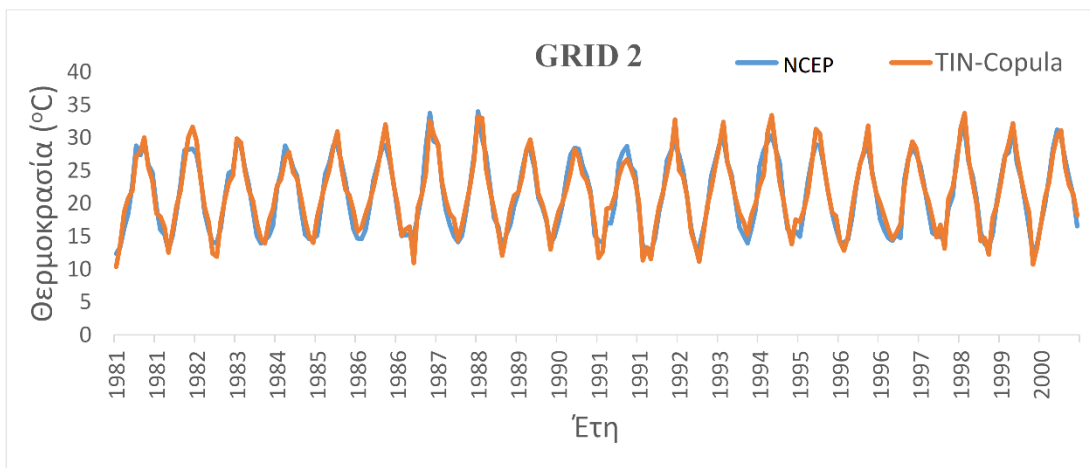
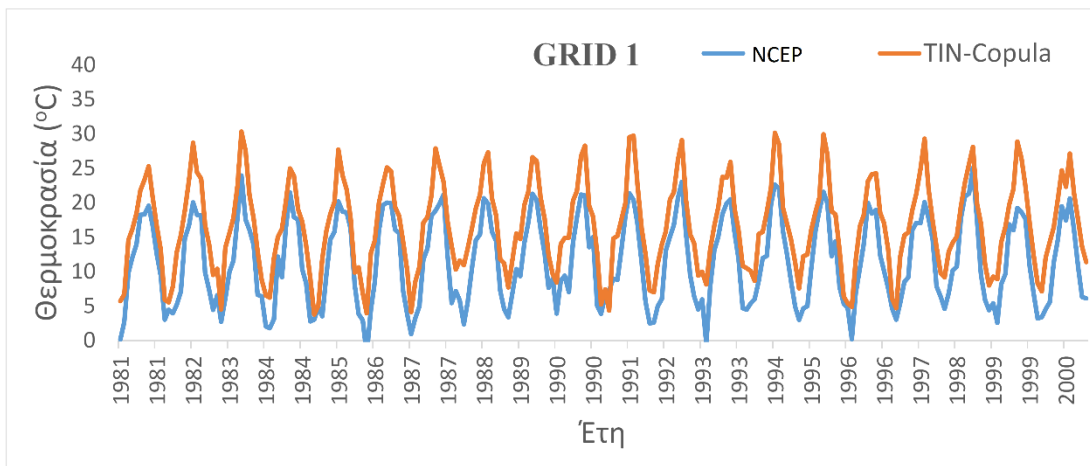
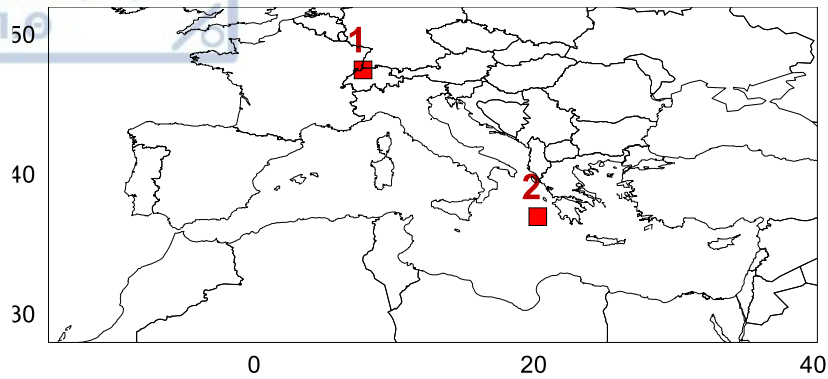
Σχήμα 7.5: Ετήσιες και εποχιακές θερμοκρασιακές διαφορές μέγιστων θερμοκρασιών ανάμεσα στις εκτιμώμενες τιμές της TIN-Corula μεθόδου και των αντίστοιχων NCEP δεδομένων.

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.5, κατά τη χειμερινή εποχή, μόνο το 20% των κόμβων εμφανίζουν διαφορές μεγαλύτερες από 3 βαθμούς κατ' απόλυτη τιμή. Οι θαλάσσιες περιοχές γύρω από τη Βαλκανική, καθώς και οι παράκτιες περιοχές στη βορειοδυτική Αφρική, εμφανίζουν διαφορές μεταξύ -1°C και 1°C , (περίπου 35% επί του συνόλου των κόμβων). Οι διαφορές που ξεπερνούν τους 5°C εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο (Άλπεις, Βαλκάνια, εσωτερικό Τουρκίας). Την Άνοιξη στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης της Μεσογείου παρατηρείται μια υπερεκτίμηση των τιμών των ακραίων μεγίστων μέσων θερμοκρασιών από την TIN-Corula μέθοδο κατά $1-3^{\circ}\text{C}$. Υποεκτίμηση

των ακραίων θερμοκρασιών που προβλέπει η TIN-Corula παρατηρείται μόνο σε μία περιορισμένη περιοχή της Βόρειας Αφρικής. Τα σημεία όπου η υπερεκτίμηση ξεπερνά τους 5 °C αλλά όχι τους 7°C βρίσκονται στην περιοχή των Άλπεων και στην Βόρεια Βαλκανική. Η μικρότερη απόλυτη διαφορά μεταξύ των συγκρινόμενων συνόλων παρατηρείται στις ακτές της Βόρειας Αφρικής, στη νότια Ελλάδα και στην περιοχή της Μαύρης θάλασσας (1 °C). Την εποχή του καλοκαιριού, κατά τη διάρκεια της οποίας σημειώνονται και οι μεγαλύτερες ακραίες θερμοκρασίες, οι διαφορές ανάμεσα στις δύο χρονοσειρές είναι μεγαλύτερες. Σχεδόν το 33% των κόμβων έδωσε διαφορές που κυμαίνονται από 3°C έως 7°C κατ' απόλυτη τιμή. Σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα εμφανίζονται στις τρεις χερσονήσους της Μεσογείου (Ιβηρική, Ιταλική και Βαλκανική) όπου οι διαφορές δεν ξεπερνούν τον 1°C. Γενικά, η δυτική Μεσόγειος εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την Ανατολική Μεσόγειο, με τη νοτιοανατολική να εμφανίζει τις μεγαλύτερες θετικές διαφορές. Τα αποτελέσματα του Φθινοπώρου, δείχνουν ότι κατά την μεταβατική αυτή εποχή, οι διαφορές των μελετώμενων συνόλων είναι σημαντικά μικρότερες συγκριτικά με τις υπόλοιπες εποχές. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου ανήκει στην κατηγορία όπου η διαφορά δεν ξεπερνά τον 1 °C (47% των κόμβων), ενώ για το υπόλοιπο 40% των κόμβων οι απόλυτες διαφορές δεν ξεπερνούν τους 3 °C.

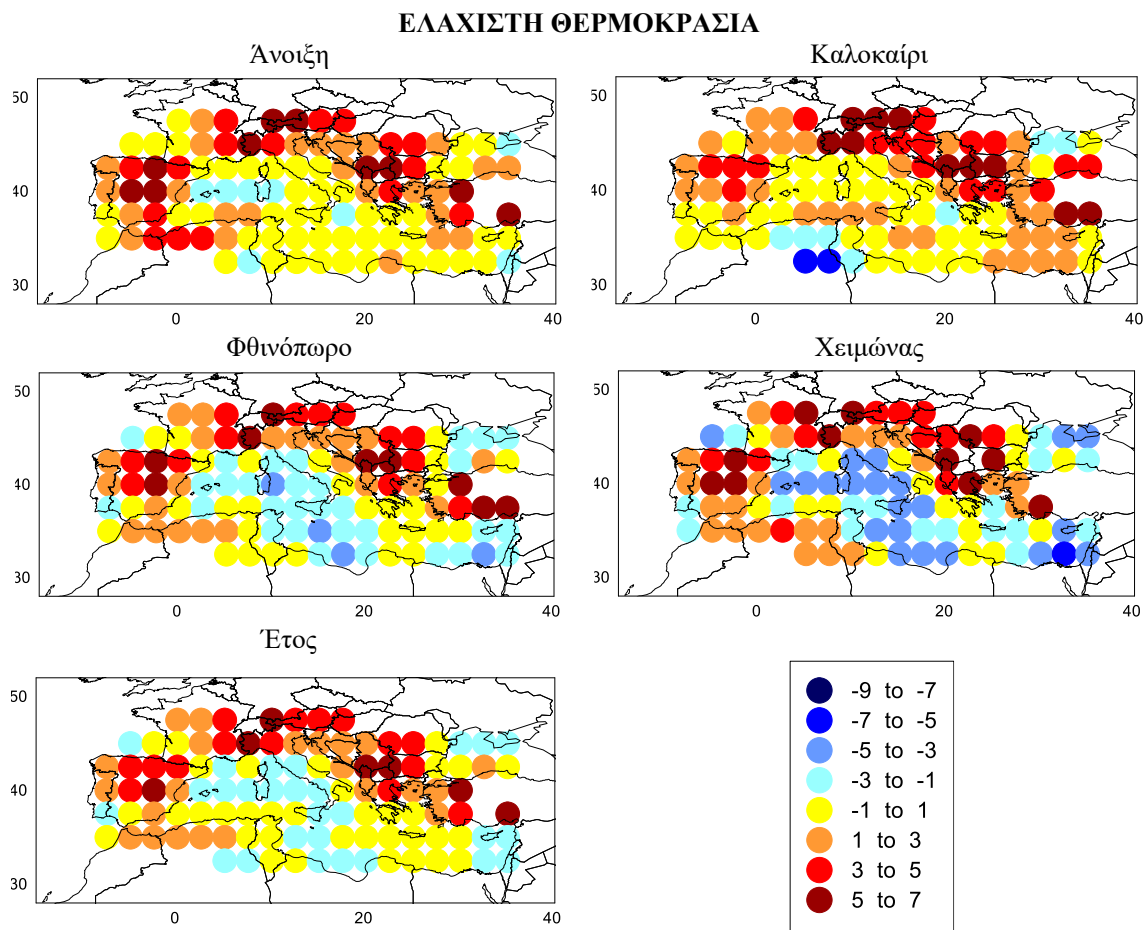
Τέλος, μόνο το 13% των κόμβων εμφανίζουν υψηλότερες αποκλίσεις, οι οποίες και πάλι εντοπίζονται στην περιοχή των Άλπεων, στα Βαλκάνια και στο εσωτερικό τμήμα της Τουρκίας. Μία μεσοποίηση των αποτελεσμάτων των τεσσάρων εποχών, φαίνεται στον ετήσιο χάρτη του Σχήματος 7.5. Σύμφωνα με αυτόν, στο μεγαλύτερο μέρος της Μεσογειακής Λεκάνης, οι εκτιμήσεις της TIN-Corula μεθόδου δεν αποκλίνουν από τις αντίστοιχες τιμές του NCEP περισσότερο από 3 °C. Στην περιοχή των Άλπεων, στο εσωτερικό της Τουρκίας και σε ορισμένους κόμβους της Βαλκανικής χερσονήσου, η TIN-Corula μέθοδος υπερεκτιμά τις ακραία υψηλές θερμοκρασίες του NCEP κατά 3-7°C (ποσοστό μόλις 14%).

ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Σχήμα 7.6 Ο χάρτης με τις γεωγραφικές θέσεις των κόμβων που εξετάζονται και οι εκτιμώμενες μηνιαίες μέγιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών στους επιλεγμένους κόμβους σύμφωνα με την TIN-Copula μέθοδο και τα δεδομένα NCEP.

Στο Σχήμα 7.6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ακραίων μέγιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών για δύο επιλεγμένους κόμβους της περιοχής μελέτης. Η επιλογή των δύο επιλεγμένων κόμβων έχει βασιστεί σε δύο κριτήρια. Αρχικά, κρίθηκε σωστό να παρουσιαστούν τα διαγράμματα ενός θαλάσσιου και ενός ηπειρωτικού κόμβου, ενώ τουλάχιστον ένας από αυτούς τους κόμβους θα πρέπει να ανήκει στην κατηγορία με τις μεγαλύτερες διαφορές σύμφωνα με τον ετήσιο χάρτη του Σχήματος 7.5.



Σχήμα 7.7: Ετήσιες και εποχιακές θερμοκρασιακές διαφορές ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών ανάμεσα στις εκτιμώμενες τιμές της TIN-Corula μεθόδου και των αντίστοιχων NCEP δεδομένων.

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.6 το πρώτο σημείο μελέτης βρίσκεται στην περιοχή των Άλπεων. Είναι φανερό ότι η προτεινόμενη μέθοδος εντοπίζει πολύ ικανοποιητικά τη διακύμανση των ακραίων μεγίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών, αλλά υπερεκτιμά τις

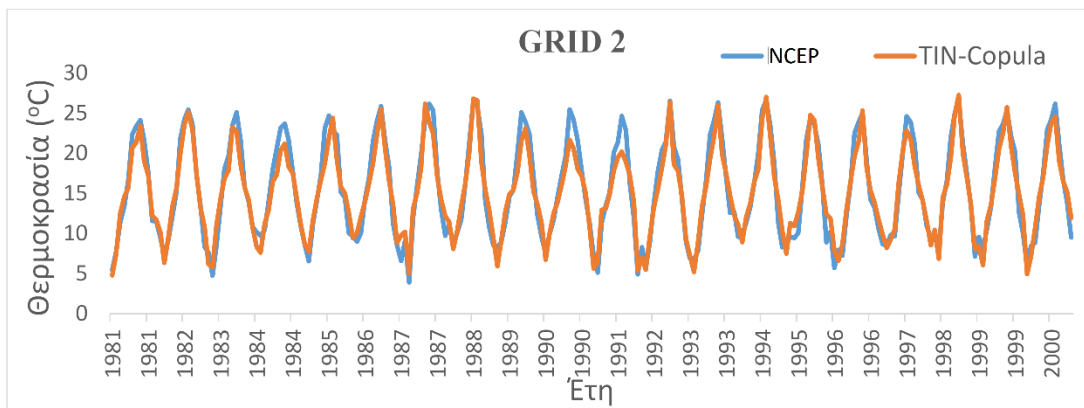
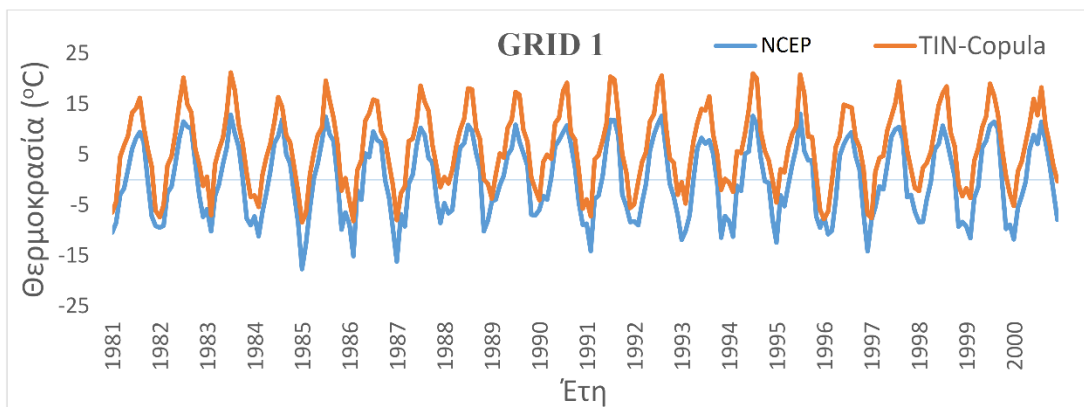
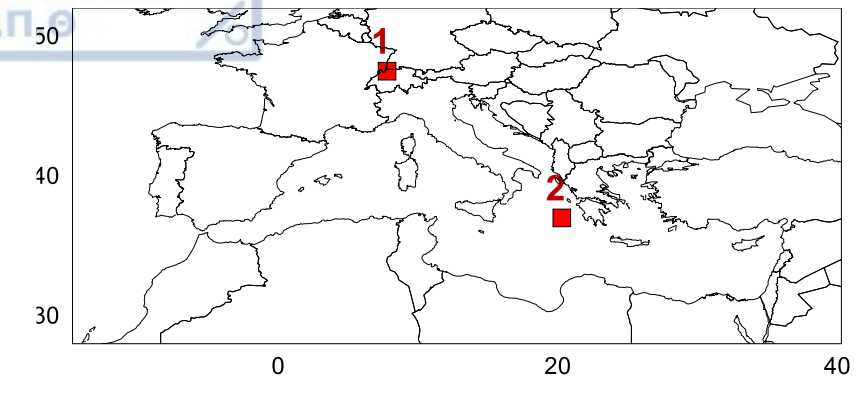
τιμές κατά τη διάρκεια όλης της περιόδου μελέτης (20 έτη). Επιπρόσθετα, η υπερεκτίμηση αυτή φαίνεται ότι είναι μεγαλύτερη (5°C) τους καλοκαιρινούς μήνες. Όσον αφορά τις χαμηλότερες τιμές του διαγράμματος, και πάλι η TIN-Corula μέθοδος εκτιμά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τις αντίστοιχες των NCEP δεδομένων, ωστόσο η υπερεκτίμηση αυτή είναι μικρότερη συγκριτικά με τους μήνες του καλοκαιριού. Το δεύτερο σημείο το οποίο μελετάται είναι θαλάσσιο σημείο και βρίσκεται δυτικά της Ελληνικής περιοχής. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα του κόμβου αυτού, οι καμπύλες των δύο συνόλων εμφανίζουν την ίδια διακύμανση και σχεδόν ταυτίζονται σε όλη σχεδόν τη διάρκεια μελέτης, ενώ η απόκλιση που εντοπίζεται σε λίγους μήνες δεν ξεπερνά τον 1°C .

Στο Σχήμα 7.7 παρουσιάζονται οι περιοχικές διαφορές των ακραίων ελαχίστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών στην περιοχή της Μεσογείου, που εκτιμώνται από την TIN-Corula μέθοδο και τα δεδομένα NCEP. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.7, κατά την Άνοιξη, στο 42% των κόμβων οι διαφορές των δύο συνόλων δεν υπερβαίνουν τον 1°C , με την πλειονότητα των κόμβων αυτών να βρίσκονται στη θαλάσσια περιοχή. Αντίθετα, στο μεγαλύτερο μέρος της χερσαίας περιοχής, η TIN-Corula μέθοδος υπερεκτιμά τις τιμές των NCEP δεδομένων κατά $1-7^{\circ}\text{C}$, με τις υψηλότερες τιμές να εντοπίζονται στο 10% των μελετώμενων κόμβων, οι οποίοι καλύπτουν κυρίως τις ορεινές περιοχές της Μεσογείου (Άλπεις, Βόρεια Βαλκανική, Εσωτερικό Τουρκίας). Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα για τη θερμότερη εποχή του έτους. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι διαφορές στο μεγαλύτερο μέρος της θαλάσσιας περιοχή διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα (-1 έως 1°C) σε αντίθεση με το ηπειρωτικό μέρος στο οποίο εντοπίζονται υπερεκτιμήσεις που κυμαίνονται από $1-7^{\circ}\text{C}$. Αναλυτικότερα στο 12% της περιοχής μελέτης (Άλπεις, Βόρεια Βαλκάνια, Εσωτερικό Τουρκίας) παρατηρείται υπερεκτίμηση η οποία φτάνει τους 7°C , ενώ σε ένα σημαντικό ποσοστό (28%) οι τιμή αυτή δεν ξεπερνά τους 3°C . Τα αποτελέσματα του Φθινοπώρου παρουσιάζουν μια διαφορετική εικόνα συγκριτικά με αυτή των δύο προηγούμενων εποχών. Στο 23% των συνολικών μελετώμενων κόμβων, οι οποίοι βρίσκονται στη θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου, η TIN-Corula μέθοδος υποεκτιμά κατά $1-3^{\circ}\text{C}$ τις ελάχιστες θερμοκρασίες των NCEP δεδομένων. Στο χερσαίο μέρος της Μεσογείου, παρατηρούνται υπερεκτιμήσεις των ελαχίστων θερμοκρασιών από $1-7^{\circ}\text{C}$ με τις υψηλότερες ($5-7^{\circ}\text{C}$) να εντοπίζονται και πάλι σε ορεινές κυρίως περιοχές (10%). Κατά το χειμώνα όπου καταγράφονται και οι χαμηλότερες ακραίες τιμές του έτους φαίνεται ότι

υπάρχει μία γενική εικόνα υποεκτίμησης στο θαλάσσιο μέρος και υπερεκτίμησης στο ηπειρωτικό. Αναλυτικότερα, στο 16% των μελετώμενων κόμβων (θαλάσσιοι) η TIN-Corula μέθοδος εκτιμά ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των NCEP δεδομένων κατά 3-5 °C. Αντίθετα, σε αντίστοιχο ποσοστό χερσαίων κόμβων (16%), η μέθοδος υπερεκτιμά τις τιμές των NCEP κατά 5-7 °C. Στις υπόλοιπες περιοχές οι καταγραφόμενες αποκλίσεις είναι μικρότερες. Η μεσοποίηση των αποτελεσμάτων των τεσσάρων εποχών παρουσιάζεται στον ετήσιο χάρτη. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 7.7, οι χειμερινές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν στο θαλάσσιο μέρος της Μεσογείου ήταν σημαντικές ώστε να εντοπιστούν και σε ετήσια βάση. Έτσι στο 16% της θαλάσσιας περιοχής, η TIN-Corula υποεκτιμά τις ελάχιστες θερμοκρασίες κατά 1-3 °C ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι διαφορές δεν ξεπερνούν τον 1 °C. Στο ηπειρωτικό μέρος, όπως έγινε αντιληπτό σε όλες σχεδόν τις εποχές, οι διαφορές κυμαίνονται από 1-7 °C με τις υψηλότερες να εντοπίζονται σε ορεινά τμήματα (10% - Άλπεις, Βόρεια Βαλκάνια, Εσωτερικό Τουρκίας).

Στο Σχήμα 7.8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα των ακραίων ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών δύο κόμβων που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης καθώς και η γεωγραφική τους θέση. Τα σημεία που επιλέχθηκαν είναι τα ίδια με αυτά των μέγιστων θερμοκρασιών καθώς και τα δύο κριτήρια επιλογής ικανοποιούνται (θαλάσσιος και ηπειρωτικός σταθμός, ο ένας να ανήκει στην κατηγορία με τις μεγαλύτερες διαφορές στη Σχήμα 7.7). Το πρώτο σημείο που επιλέχθηκε βρίσκεται στην περιοχή των Άλπεων, γεγονός που δικαιολογεί και τις ιδιαίτερα χαμηλές ελάχιστες θερμοκρασίες (-10 °C) που καταγράφονται. Στον κόμβο αυτό φαίνεται ότι οι τιμές της TIN-Corula μεθόδου, ακολουθούν την διακύμανση των τιμών των NCEP δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης (1981-2000). Ωστόσο, η TIN-Corula μέθοδος υπερεκτιμά τις ελάχιστες θερμοκρασίες των NCEP δεδομένων κατά μέσο όρο κατά 7 °C με τις μεγαλύτερες τιμές να καταγράφονται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών και χειμερινών μηνών. Όσον αφορά το δεύτερο σημείο μελέτης - θαλάσσιο, φαίνεται ότι η TIN-Corula μέθοδος ακολουθεί την διακύμανση των δεδομένων NCEP με πολύ μεγάλη ακρίβεια και ταυτόχρονα, οι εκτιμήσεις των ελαχίστων θερμοκρασιών από τα δύο συγκρινόμενα σύνολα είναι ίσες σε όλη σχεδόν την περίοδο μελέτης (20 έτη).

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ



Σχήμα 7.8 Ο χάρτης με τις γεωγραφικές θέσεις των κόμβων που εξετάζονται και οι εκτιμώμενες μηνιαίες ελάχιστες τιμές των μέσων θερμοκρασιών στους επιλεγμένους κόμβους σύμφωνα με την TIN-Copula μέθοδο και τα δεδομένα NCEP

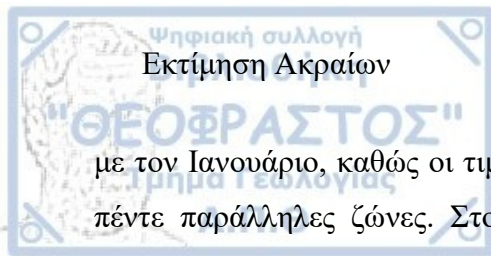
7.3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΙΜΑ Η ΜΕΘΟΔΟΣ TIN-CORULA

Στην παρακάτω ενότητα, παρουσιάζονται και αξιολογούνται οι εκτιμήσεις της TIN-Corula μεθόδου για τις ακραίες βροχοπτώσεις της Μεσογειακής Λεκάνης. Καθώς η βροχόπτωση αποτελεί μια παράμετρο με διαφορετική συμπεριφορά από αυτήν της θερμοκρασίας, η αξιολόγησή της γίνεται πιο λεπτομερής. Ειδικότερα, οι εκτιμήσεις της TIN-Corula μεθόδου για τις ακραίες βροχοπτώσεις συγκρίνονται με τις αντίστοιχες του NCEP, σε μηνιαία και όχι σε εποχιακή βάση. Έτσι αρχικά παρουσιάζονται οι μηνιαίες εκτιμώμενες τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων στη Μεσογειακή Λεκάνη σύμφωνα με την TIN-Corula μέθοδο (Σχήματα 7.9 και 7.10), ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διαφορές των εκτιμήσεων αυτών από τις αντίστοιχες τιμές των δεδομένων NCEP (Σχήματα 7.11 και 7.12).

7.3.1 Εκτίμηση Ακραίων Βροχοπτώσεων με την TIN-Corula Μέθοδο

Στα Σχήματα 7.9 και 7.10 παρουσιάζονται τα ποσά των ακραίων βροχοπτώσεων ανά μήνα, όπως αυτά εκτιμώνται από την TIN-Corula μέθοδο. Η παρουσίαση των εκτιμήσεων γίνεται σε μηνιαία βάση και αφορά τα έτη 1981-2000. Όπως γίνεται κατανοητό από τους χάρτες των σχημάτων αυτών, η τιμή των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων φαίνεται να επηρεάζεται τόσο από τη γεωγραφία της περιοχής όσο και από το μήνα εμφάνισης. Περιοχές με έντονο ανάγλυφο και περιοχές κυκλογένεσης φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές ακραίων βροχοπτώσεων. Επίσης, οι ακραίες βροχοπτώσεις του καλοκαιριού παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές, ενώ οι αντίστοιχες του φθινοπώρου τις μεγαλύτερες.

Κατά τον Ιανουάριο, στο 30% των κόμβων της Μεσογειακής περιοχής, οι ακραίες βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 40-50mm, ενώ στο 48% τα εκτιμώμενα ποσά είναι μικρότερα (30-40mm ή 20-30mm). Ειδικότερα, οι χαμηλότερες τιμές ακραίων βροχοπτώσεων εντοπίζονται στη Βαλκανική, σε ένα μέρος της Ιταλικής χερσονήσου, και για το δυτικό θαλάσσιο τμήμα της Μεσογειακής λεκάνης. Αντίθετα, οι υψηλότερες τιμές οι οποίες φτάνουν τα 70mm παρατηρούνται στην Ιβηρική χερσόνησο, τις Άλπεις και στην περιοχή της Τουρκίας. Ο Φεβρουάριος παρουσιάζει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα συγκριτικά

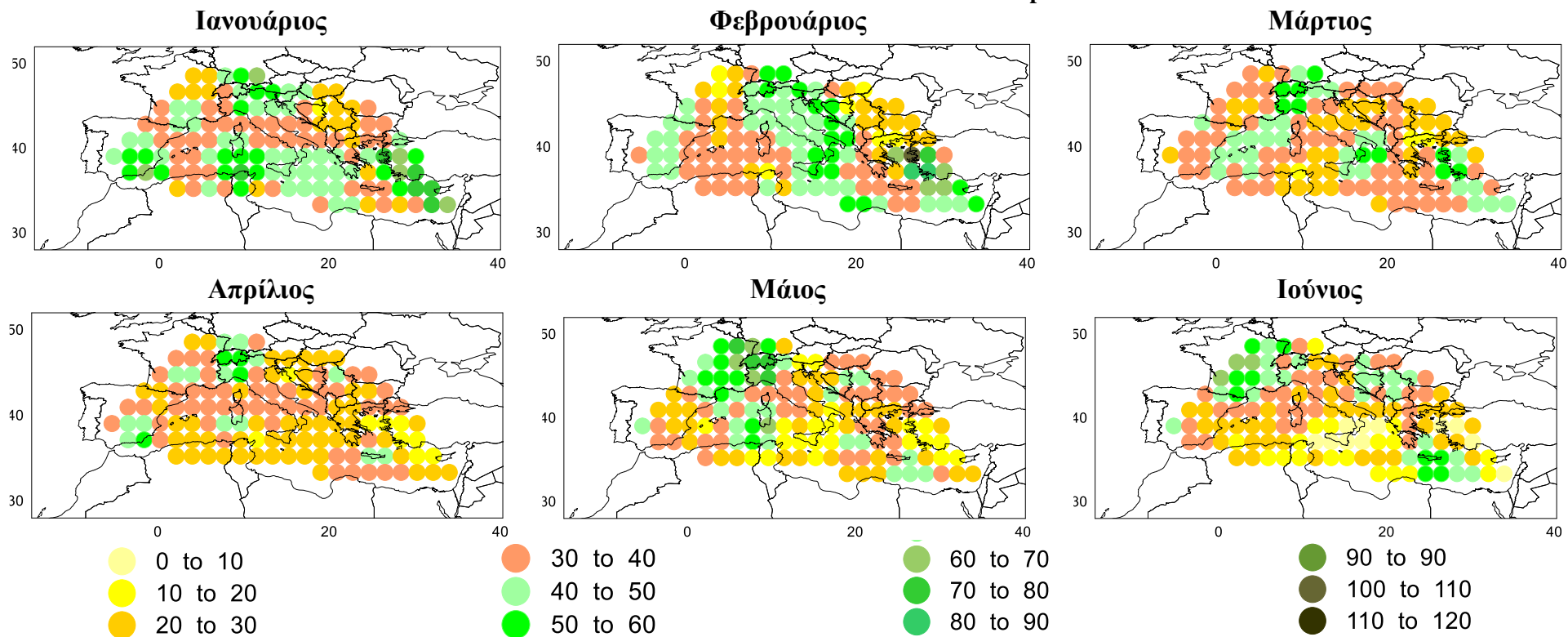


με τον Ιανουάριο, καθώς οι τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων φαίνεται να σχηματίζουν πέντε παράλληλες ζώνες. Στο δυτικότερο μέρος (Ισπανία) τα εκτιμώμενα ποσά των ακραίων βροχοπτώσεων κυμαίνονται από 40-50 mm, ενώ στην περιοχή της Γαλλίας και στο δυτικό θαλάσσιο μέρος της Μεσογείου (28% των κόμβων) τα χιλιοστά είναι σημαντικά χαμηλότερα (10mm - 40mm). Στην Κεντρική Μεσόγειο, η πλειονότητα των κόμβων ανήκει στην κατηγορία 40-50mm, ενώ στην Βαλκανική χερσόνησο τα ποσά αυτά ξεκινούν από 20 και δεν ξεπερνούν τα 40mm. Τέλος, στην ανατολικότερη ζώνη της περιοχής μελέτης (παράλια μικράς Ασίας) καταγράφονται τα υψηλότερα ποσά ακραίων βροχοπτώσεων, τα οποία υπερβαίνουν τα 60mm σε ποσοστό 6,5% των συνολικών κόμβων. Ο Μάρτης αποτελεί έναν μήνα όπου σε όλη σχεδόν την περιοχή μελέτης, (θαλάσσια και ηπειρωτική), οι εκτιμώμενες ακραίες βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 20-30mm (24% των συνολικών κόμβων) και από 30-40mm (45% των συνολικών κόμβων). Υπάρχουν ωστόσο και ορισμένες περιοχές, (ακτές Ισπανίας, Γαλλίας, Άλπεις) στις οποίες οι τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων είναι υψηλότερες κατά 30-40mm. Τον Απρίλιο φαίνεται ότι τα ποσά των ακραίων βροχοπτώσεων είναι χαμηλότερα από τα αντίστοιχα των άλλων μηνών, καθώς η πλειονότητα των κόμβων ανήκει στις κατηγορίες ακραίων βροχοπτώσεων με 20-30mm (40%) και 30-40mm (37%). Μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται σε περιορισμένες μόνο περιοχές (Άλπεις, Νότιο-Δυτικές ακτές Ισπανίας), ενώ στο μήνα αυτό συναντώνται και κόμβοι όπου η εκτιμώμενη τιμή ακραίων βροχοπτώσεων δεν ξεπερνά τα 20mm (παράλια Μικράς Ασίας). Ο Μάιος αποτελεί ένα μήνα με ιδιαίτερη συμπεριφορά, καθώς στο 70% των μελετώμενων κόμβων οι ακραίες βροχοπτώσεις δεν υπερβαίνουν τα 40mm, ενώ στους υπόλοιπους μήνες, οι αντίστοιχες τιμές είναι σημαντικά υψηλότερες. Πιο συγκεκριμένα, στην Ιβηρική, την Ιταλική και την Βαλκανική χερσόνησο οι εκτιμώμενες τιμές βροχής κυμαίνονται από 20-40mm, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται στην περιοχή των Άλπεων, με τιμές σε ορισμένους κόμβους φτάνουν τα 90mm (3%). Τον πρώτο μήνα του καλοκαιριού οι τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμά η TIN-Corula μέθοδος για την μισή περιοχή μελέτης (50%), δεν ξεπερνούν τα 30mm. Οι υψηλότερες εκτιμήσεις της νέας μεθόδου εντοπίζονται στην περιοχή της Γαλλίας, όπου οι τιμές φτάνουν τα 90mm, ενώ στο υπόλοιπο μέρος τα εκτιμώμενα ποσά ακραίων κυμαίνονται από 20-40mm.

Σύμφωνα με το Σχήμα 7.10, οι εκτιμώμενες ακραίες βροχοπτώσεις των μηνών Ιουλίου και Αυγούστου παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες. Αναλυτικότερα η TIN-Corula μέθοδος εκτιμά ακραίες βροχοπτώσεις που δεν ξεπερνούν τα 20mm για όλους σχεδόν τους θαλάσσιους κόμβους (~55% των συνολικών). Στο ηπειρωτικό κομμάτι, κατά τον μήνα Ιούλιο, οι τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ιβηρική και την Ιταλική χερσόνησο κυμαίνονται από 10-30mm ενώ στην περιοχή των Βαλκανίων από 30-50mm. Η βασική διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των χαρτών Ιουλίου και Αυγούστου εντοπίζεται στην Ισπανία, όπου τον Αύγουστο οι εκτιμώμενες τιμές είναι σημαντικά υψηλότερες και φτάνουν τα 80mm. Κατά τον Σεπτέμβριο, οι εκτιμώμενες τιμές για τις ακραίες βροχοπτώσεις, ξεκινούν από 20mm και φτάνουν μέχρι και 100mm (5% των συνολικών κόμβων). Οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στη δυτική Μεσόγειο, στην Ανατολική περιοχή των Βαλκανίων και νότια της Ιταλίας (20-40mm), ενώ σε όλη την υπόλοιπη περιοχή, τα εκτιμώμενα ποσά κυμαίνονται από 40-60mm. Οι ακραίες τιμές βροχής σύμφωνα με την TIN-Corula μέθοδο για τον μήνα Οκτώβριο φαίνεται να ξεπερνούν τα 50mm στο μεγαλύτερο τμήμα της Μεσογείου (63%), με τις υψηλότερες (70-80mm) να εντοπίζονται στην περιοχή της Κορσικής. Οι δύο τελευταίοι μήνες του έτους φαίνεται να είναι και αυτοί με τις υψηλότερες τιμές ακραίων βροχοπτώσεων. Εξαίρεση και στους δύο μήνες αποτελεί η περιοχή των Βαλκανίων (10% των συνολικών κόμβων), όπου οι τιμές των εκτιμήσεων είναι χαμηλότερες από τις υπόλοιπες περιοχές και δεν ξεπερνούν τα 40mm. Τέλος, μια σημαντική διαφορά μεταξύ των εκτιμήσεων για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο είναι η περιοχή όπου εκτιμώνται οι υψηλότερες τιμές ακραίων βροχοπτώσεων. Κατά τον Νοέμβριο, η περιοχή αυτή βρίσκεται στην Κορσική με ποσά 90-100mm ενώ το Δεκέμβριο βρίσκεται στο Νότιο Αιγαίο με τιμές 100-110mm.

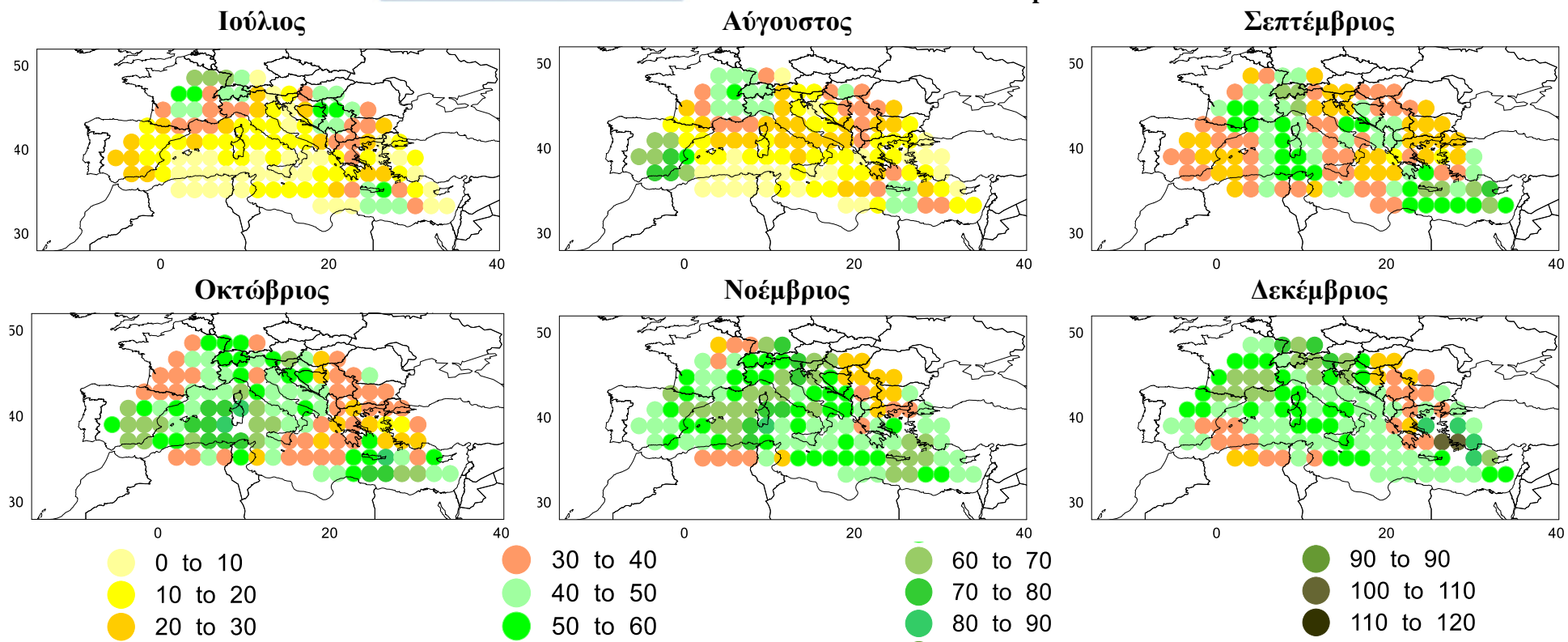


ΧΑΡΤΕΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ - TIN-Copula



Σχήμα 7.9: Μηνιαίοι (Ιανουάριος-Ιούνιος) χάρτες των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων σύμφωνα με την TIN-Copula μέθοδο.

ΧΑΡΤΕΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ -TIN-Copula

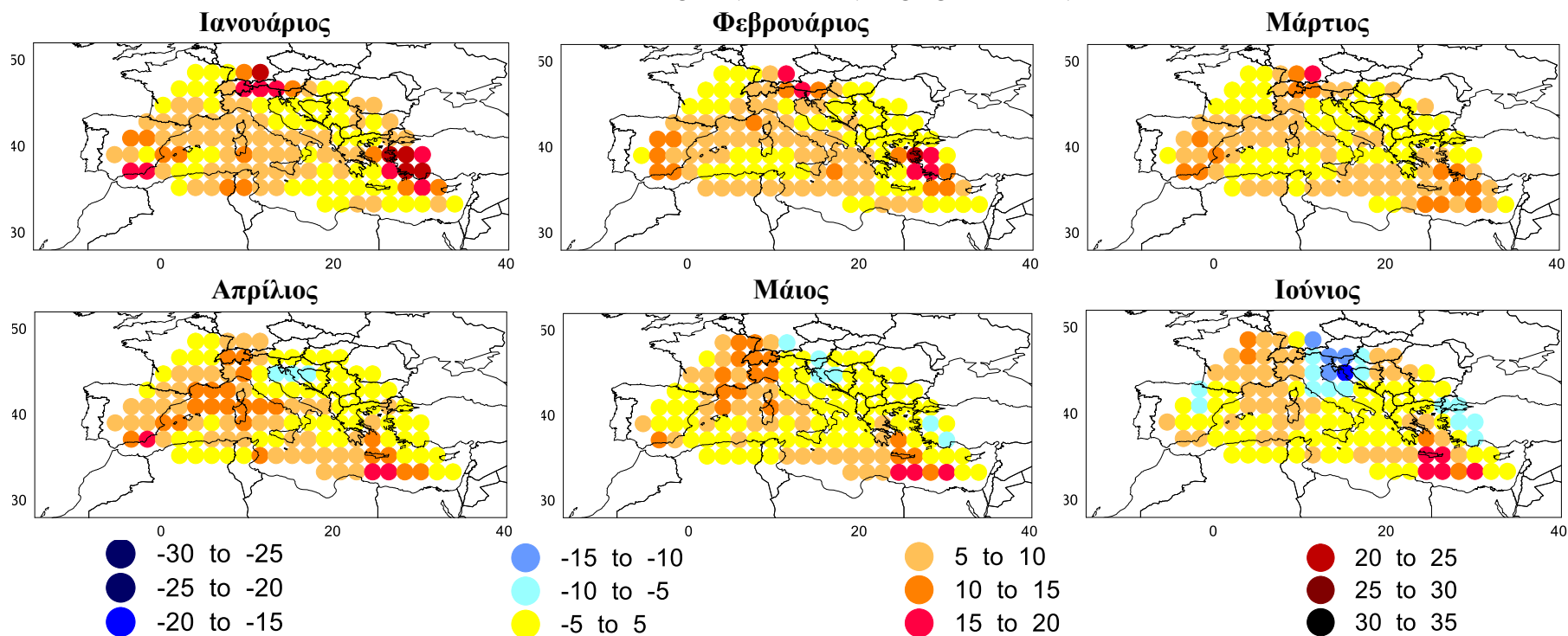


Σχήμα 7.10: Μηνιαίοι (Ιούλιος-Δεκέμβριος) χάρτες των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων σύμφωνα με την TIN-Copula μέθοδο.

7.3.2 Χωρική Αξιολόγηση των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων

Στα Σχήματα 7.11 και 7.12 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των διαφορών ανάμεσα στις ακραίες βροχοπτώσεις που εκτιμά η TIN-Corula μέθοδος και σε αυτές που υπολογίζονται από τα δεδομένα NCEP. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Ιανουαρίου στο 37% των μελετώμενων κόμβων, οι παρατηρούμενες αποκλίσεις δεν ξεπερνούν τα 5mm κατ' απόλυτη τιμή, ενώ στους υπόλοιπους κόμβους παρατηρείται μια γενική εικόνα υπερεκτίμησης. Στη Δυτική Μεσόγειο και στο θαλάσσιο μέρος δυτικά της Ιταλίας, οι υπερεκτιμήσεις κυμαίνονται από 5-10mm, ενώ οι κόμβοι με τις υψηλότερες αποκλίσεις (15-25mm), εντοπίζονται στις Άλπεις, στην περιοχή της Τουρκίας και του Αιγαίου. Πολύ καλύτερη εικόνα εμφανίζουν τα αποτελέσματα για το μήνα Φεβρουάριο. Αναλυτικότερα, μόνο το 14% των μελετώμενων κόμβων (Άλπεις, Τουρκία, Ισπανία) εμφανίζουν υπερεκτιμήσεις που κυμαίνονται από 10 έως 20mm, ενώ στους υπόλοιπους κόμβους οι διαφορές είναι μικρότερες από 10mm. Το Μάρτιο σε όλη τη Μεσογειακή λεκάνη οι εκτιμήσεις της TIN-Corula μεθόδου είναι πολύ κοντά στις ακραίες βροχοπτώσεις των NCEP δεδομένων, καθώς στο 88% της περιοχής, οι απόλυτες διαφορές των δύο συνόλων (TIN-Corula – NCEP) κυμαίνονται από 0-10mm. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή των Άλπεων, όπου η ακραία βροχόπτωση υπερεκτιμάται κατά 15-20mm. Τον Απρίλιο, παρατηρείται υπερεκτίμηση των τιμών της ακραίας βροχόπτωσης από την TIN-Corula τόσο στο δυτικό όσο και στο κεντρικό μέρος της Μεσογείου (5-15 και 5-10mm αντίστοιχα). Στην ανατολική Μεσόγειο οι υπερεκτιμήσεις είναι μεγαλύτερες και σε ορισμένα σημεία φτάνουν τα 15-20mm (ποσοστό 2% των κόμβων). Στο ηπειρωτικό κομμάτι, κατά το μήνα αυτό οι αποκλίσεις δεν ξεπερνούν τα 5mm στα Βαλκάνια, την Τουρκία την Γαλλία και την κεντρική Ιταλία, ενώ κατά 5mm υψηλότερες είναι στις υπόλοιπες περιοχές. Στο τελευταίο μήνα της άνοιξης, φαίνεται ότι η TIN-Corula μέθοδος εκτιμά με σημαντική ακρίβεια τις ακραίες βροχοπτώσεις των NCEP δεδομένων, καθώς σε μεγάλο τμήμα της λεκάνης οι διαφορές των τιμών των δύο συνόλων δεν υπερβαίνουν τα 5mm (Βαλκάνια, Ιταλία, Ισπανία, θαλάσσια περιοχή νότια της Ιταλίας). Τέλος, υποεκτίμηση της ακραίας βροχόπτωσης από -10 έως -5mm παρατηρείται μόνο στο 4% των κόμβων, οι οποίοι βρίσκονται στις προσήνεμες πλευρές των βορείων Βαλκανίων και της Τουρκίας.

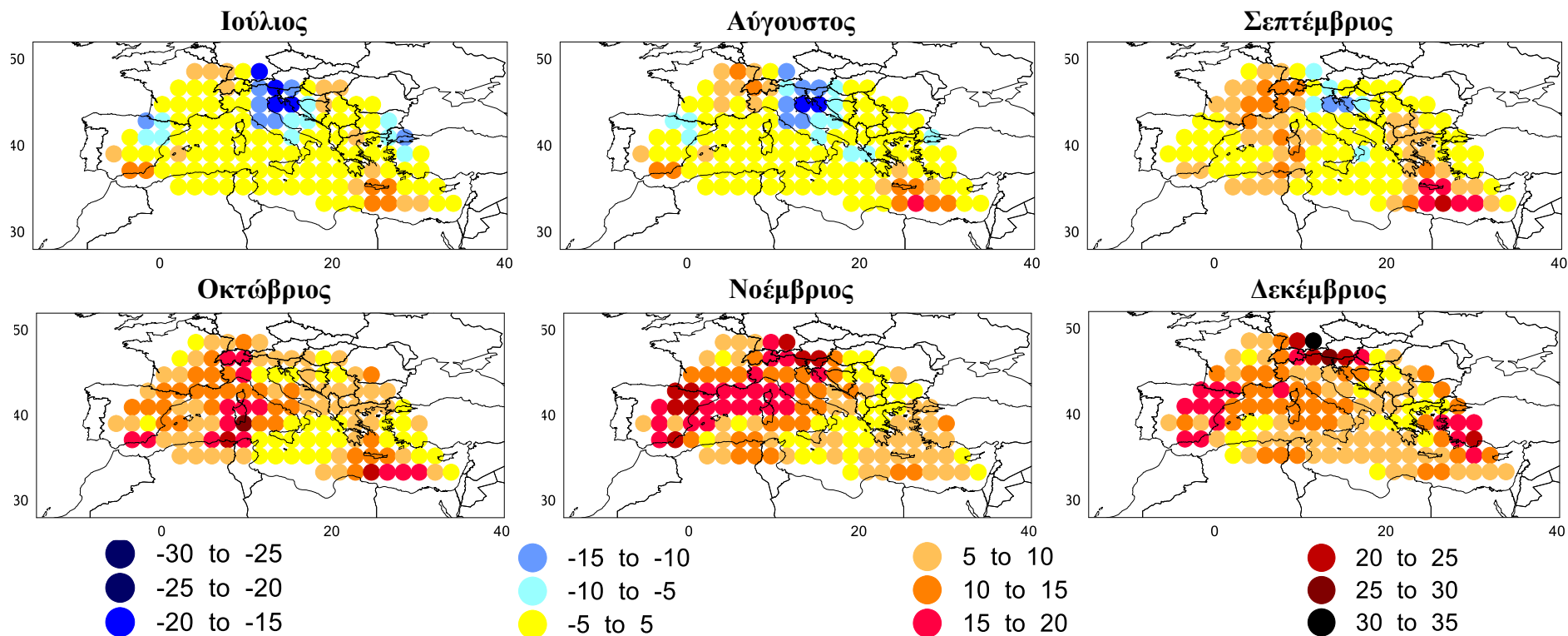
ΧΑΡΤΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ



Σχήμα 7.11: Μηνιαίοι (Ιανουάριος - Ιούνιος) χάρτες διαφορών μεταξύ των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμά η TIN-Corula μέθοδος και των τιμών του NCEP.



ΧΑΡΤΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ



Σχήμα 7.12: Μηνιαίοι (Ιούλιος - Δεκέμβριος) χάρτες διαφορών μεταξύ των εκτιμώμενων ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμά η TIN-Corula μέθοδος και των τιμών του NCEP.

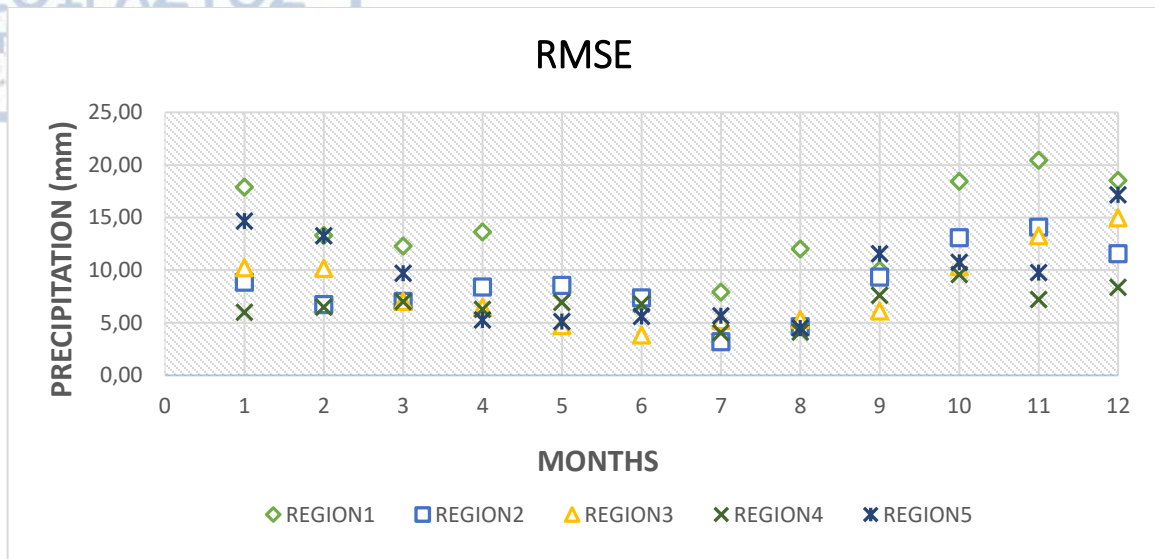
Στην εποχή του καλοκαιριού (Σχήμα 7.12), η εικόνα των διαφορών είναι πιο σαφής. Στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης της Μεσογείου οι διαφορές των ακραίων βροχοπτώσεων δεν ξεπερνούν τα 5mm κατά απόλυτη τιμή. Ένας πόλος αρνητικών διαφορών οργανώνεται στη ευρύτερη περιοχή της βόρειας Αδριατικής και ένας πόλος θετικών ανωμαλιών εμφανίζεται στα νότιο-ανατολικά της λεκάνης. Ειδικότερα, για το μήνα Ιούνιο, η TIN-Corula μέθοδος υπερεκτιμά τις ακραίες βροχοπτώσεις κατά 5-10mm στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Μεσογείου, ενώ κατά τη διάρκεια του μήνα αυτού, εντοπίζονται δύο εκτεταμένες περιοχές στις οποίες η TIN-Corula μέθοδος υποεκτιμά τις βροχοπτώσεις σε σχέση με τις NCEP τιμές. Η πρώτη περιλαμβάνει την κεντρική -βόρεια Ιταλία και τις βόρειες ακτές της Αδριατικής θάλασσας (-5 έως -20mm), και η δεύτερη τις ακτές της Μικράς Ασίας (-5 έως -10mm). Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, (Σχήμα 7.12) αποτελούν δύο μήνες όπου γενικά οι τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμά η TIN-Corula μέθοδος βρίσκονται πολύ κοντά σε εκείνες που υπολογίζονται από τα δεδομένα NCEP. Στην πλειονότητα των κόμβων, οι διαφορές των τιμών των δύο συνόλων δεν ξεπερνούν τα 5mm (68%). Ο πόλος των αρνητικών διαφορών παραμένει καλά οργανωμένος πάνω από την Αδριατική, με ποσοστό της τάξης των 10% να εμφανίζει διαφορές από -5 έως -20mm. Ο πόλος των θετικών ανωμαλιών έχει εξασθενήσει, καθώς τον Ιούλιο μόνο το 3% των κόμβων εμφανίζει διαφορές που κυμαίνονται από 10-15mm, ενώ τον Αύγουστο το 5% εμφανίζει διαφορές μεγαλύτερες από 10mm.

Για τον μήνα Σεπτέμβριο, ο χάρτης διαφορών παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με αυτή των καλοκαιρινών μηνών με τη διαφορά ότι εξασθενεί ο πόλος των αρνητικών τιμών και ενισχύεται ο θετικός πόλος στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου. Ειδικότερα, η TIN-Corula μέθοδος υπερεκτιμά τις τιμές της ακραίας βροχόπτωσης σε δύο εκτεταμένες περιοχές. Η πρώτη περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή της Γαλλίας όπου οι αποκλίσεις κυμαίνονται από 5-15mm (15% των κόμβων). Η δεύτερη περιοχή, στην οποία οι υπερεκτιμήσεις είναι υψηλότερες, περιλαμβάνει την ευρύτερη Ελληνική περιοχή (13%). Από τον μήνα Οκτώβριο και μετά, η εικόνα των διαφορών αλλάζει καθώς οι δύο πόλοι (αρνητικών και θετικών τιμών) εξασθενούν και οι ακραίες βροχοπτώσεις σε όλη την περιοχή υπερεκτιμούνται από την TIN-Corula μέθοδο. Τα αποτελέσματα της δυτικής Μεσογείου φαίνεται ότι δεν είναι τόσο ικανοποιητικά σε σύγκριση με την ανατολική Ο

μήνας με τις μεγαλύτερες διαφορές είναι ο Νοέμβριος, με ποσοστό 23% των κόμβων να εμφανίζει διαφορές μεγαλύτερες από 15mm, ενώ στη περιοχή των Βαλκανίων και ειδικότερα στην Ελλάδα οι διαφορές δεν ξεπερνούν τα 5mm κατά απόλυτη τιμή. Ο χάρτης διαφορών για το μήνα Δεκέμβριο παρουσιάζει τρεις πόλους μεγάλων (15 έως 35mm) διαφορών των ακραιών βροχοπτώσεων. Αναλυτικότερα, οι υψηλότερες τιμές υπερεκτιμήσεων (>15mm) εντοπίζονται στην Ιβηρική χερσόνησο, στην περιοχή των Άλπεων και στη Νότια Τουρκία, και περιγράφουν το 18% της συνολική περιοχής.

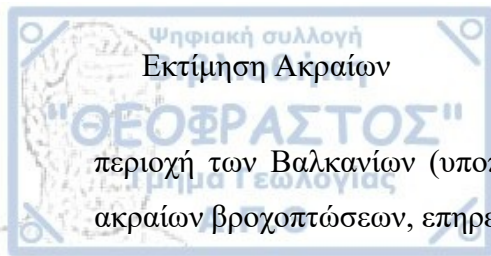
Για την ακριβέστερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error - RMSE) και του Accuracy Index εκφρασμένο σε ποσοστό (Mariani et al. 2008), για τις μηνιαίες τιμές των ακραιών βροχοπτώσεων για τις πέντε επιλεγμένες υποπεριοχές της Μεσογειακής Λεκάνης (Σχήμα 7,13).

Σύμφωνα με τις τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, οι χειμερινοί μήνες είναι αυτοί με τις υψηλότερες τιμές, ενώ για τους μήνες Μάρτιο-Αύγουστο οι τιμές του RMSE δεν ξεπερνούν τα 10mm. Εξαιρέση αποτελεί η πρώτη υποπεριοχή, η οποία καλύπτει το δυτικότερο μέρος της Μεσογείου και στην οποία καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές RMSE σε σχέση με αυτά των άλλων υποπεριοχών, σε εννέα από τους 12 μήνες του έτους. Αντίστοιχα, οι τιμές σφάλματος της ανατολικότερης περιοχής μελέτης (υποπεριοχή 5) είναι κοντά σε αυτές της πρώτης κατά τη διάρκεια τεσσάρων μηνών του έτους (Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Σεπτέμβριος, Δεκέμβριος), και αποδεικνύουν ότι οι υποπεριοχές που βρίσκονται στα περιθώρια της υπο μελέτης περιοχής, εξαιτίας του σημαντικά μικρότερου αριθμού κόμβων που δημιουργούνται, προσεγγίζουν τις ακραίες βροχοπτώσεις πιο δύσκολα σε σχέση με το κεντρικό και ταυτόχρονα μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Συνεπώς, στις υποπεριοχές δύο, τρία και τέσσερα, στις οποίες ανήκει η πλειονότητα των κόμβων μελέτης, οι προσεγγίσεις των ακραιών βροχοπτώσεων γίνονται με μεγάλη ακρίβεια, καθώς οι τιμές του RMSE κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα, κυρίως κατά τη διάρκεια των μηνών της άνοιξης και του καλοκαιριού (~5mm).



Σχήμα 7.13: Μηνιαίες τιμές του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (RMSE) των ακραίων βροχοπτώσεων για τις 5 υποπεριοχές μελέτης.

Ο δείκτης ακριβείας εκφράζει το ποσοστό των περιπτώσεων, στις οποίες η απόλυτη διαφορά των ακραίων τιμών που εκτιμά η TIN-Copula μέθοδος από τις αντίστοιχες τιμές των NCEP δεδομένων δεν υπερβαίνει το 20^ο ποσοστημόριο των μηνιαίων ακραίων βροχοπτώσεων της εκάστοτε υποπεριοχής. Μία τιμή κοντά στο 100% περιγράφει μία κατάσταση στην οποία όλες οι μελετώμενες τιμές ικανοποιούν το κριτήριο που έχει οριστεί και τις θεωρεί ως «σωστές», ενώ αντίστοιχα μία χαμηλή τιμή περιγράφει μία κατάσταση όπου ένας σημαντικός αριθμός παρατηρήσεων θεωρείται «λάθος». Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.1, φαίνεται ότι στην δυτικότερη υποπεριοχή, τα εκτιμώμενα ποσά ακρίβειας για την πλειοψηφία των μηνών, είναι μικρότερα συγκριτικά με τις άλλες υποπεριοχές, γεγονός που αποτυπώθηκε και στις τιμές του RMSE (Σχήμα 7.13). Στην δεύτερη μελετώμενη υποπεριοχή, οι εκτιμήσεις της TIN-Copula μεθόδου φαίνεται να προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια τις τιμές αντίστοιχες NCEP ακραίες τιμές, καθώς τα ποσοστά ακρίβειας ξεκινούν από το 65% και φτάνουν το 95%, κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Αντίστοιχα, υψηλές τιμές επιτυγχάνονται και στην τέταρτη υποπεριοχή μελέτης, στην οποία η χαμηλότερη τιμή του δείκτη (60%) παρατηρείται τον Σεπτέμβριο, ενώ η υψηλότερη που φτάνει το 100% τον Νοέμβριο. Αιτία αυτής της πολύ υψηλής τιμής, είναι η τιμή των ακραίων βροχοπτώσεων κατά το μήνα Νοέμβριο στην



περιοχή των Βαλκανίων (υποπεριοχή 4). Αναλυτικότερα, τα συνεχή υψηλά ποσά των ακραίων βροχοπτώσεων, επηρεάζουν την τιμές των ορίων που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των περιπτώσεων σε «σωστές» ή «λάθος», με αποτέλεσμα οι διαφορές των μελετώμενων συνόλων να είναι μικρότερες από το 20% των ακραίων βροχοπτώσεων της περιοχής αυτής. Αντίστοιχα, στις περιοχές τρία και πέντε, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, φαίνεται η ακρίβεια των προσεγγίσεων να είναι μειωμένη, πρέπει όμως να τονιστεί ότι σε αυτές τις περιπτώσεις, μία τιμή θεωρείται «λάθος», εάν η τιμή της από την αντίστοιχη των NCEP αποκλίνει κατά ~2mm. Τέλος ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τον πίνακα και συμφωνεί απόλυτα με το διάγραμμα του RMSE (Σχήμα 7.13) είναι ότι εκτός από τις δύο ακριανές υποπεριοχές, που αποτελούνται από τους λιγότερους κόμβους, στις υπόλοιπες, τόσο η τιμή του δείκτη ακρίβειας όσο και η τιμή του RMSE δείχνουν ότι υπάρχει μία καλή προσέγγιση των ακραίων βροχοπτώσεων σε όλους τους μήνες του έτους.

Πίνακας 7.1 Δείκτης Ακρίβειας των ακραίων βροχοπτώσεων των πέντε υποπεριοχών μελέτης.

MONTH	REGION1	REGION2	REGION3	REGION4	REGIONS5
1	45%	65%	50%	95%	75%
2	60%	80%	65%	95%	60%
3	65%	80%	70%	90%	80%
4	65%	80%	95%	95%	90%
5	70%	90%	95%	80%	75%
6	75%	95%	70%	80%	40%
7	45%	95%	15%	90%	10%
8	65%	90%	30%	75%	55%
9	35%	70%	75%	60%	50%
10	55%	75%	90%	70%	70%
11	65%	70%	90%	100%	95%
12	50%	85%	75%	90%	75%

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε με στόχο, τη μοντελοποίηση και την εκτίμηση των ακραίων κλιματικών επεισοδίων στην περιοχή της Μεσογείου. Αυτό επιτεύχθηκε αρχικά με τη μελέτη και την αξιολόγηση ορισμένων ευρύτερα γνωστών στατιστικών κατανομών, σχετικά με το επίπεδο ακρίβειας με το οποίο μπορούν να περιγράψουν την συμπεριφορά των ακραίων κλιματικών επεισοδίων στην περιοχή μελέτης. Ο βασικός αντικειμενικός στόχος της διατριβής, ο οποίος είναι η μοντελοποίηση των ακραίων τιμών, επιτεύχθηκε με την ανάπτυξη μιας καινοτόμου στατιστικής μεθόδου της TIN-Copula, το μαθηματικό υπόβαθρο της οποίας στηρίζεται στο συνδυασμό δύο βασικών μαθηματικών θεωριών: της θεωρίας των συζεύξεων και των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων. Η καινοτόμος μέθοδος, χρησιμοποιήθηκε για την διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων για την περιγραφή των ακραίων κλιματικών επεισοδίων στη Μεσόγειο, καθώς επίσης και την εκτίμηση των ακραίων κλιματικών τιμών σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων επιλέχθηκαν δύο τύποι δεδομένων, μία κλιματική παράμετρος που δεν παρουσιάζει άνω και κάτω όριο (η θερμοκρασία) και μία κλιματική παράμετρος που είναι κάτω φραγμένη (η βροχόπτωση). Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων που καλύπτουν ομοιόμορφα την περιοχή μελέτης. Η τελική βάση δεδομένων δημιουργήθηκε από τιμές που έχουν παρατηρηθεί σε μετεωρολογικούς σταθμούς, εκτιμήσεις κλιματικών μοντέλων

αλλά και τιμές από δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε όλη τη διαδικασία υπολογισμών της διατριβής, τόσο για την παραγωγή αποτελεσμάτων όσο και για την αξιολόγησή τους. Τέλος, τα δεδομένα καλύπτουν διαφορετικές περιόδους ανάλογα με τον επιμέρους στόχο που ικανοποιούν. Πιο συγκεκριμένα, η αξιολόγηση των στατιστικών κατανομών πραγματοποιήθηκε με δεδομένα 60 ετών, ενώ για τους υπολογισμούς της TIN-Copula μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 20ετίας, προερχόμενα και από τις τρεις πηγές (παρατηρήσεις, κλιματικό μοντέλο, δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης).

Στο πρώτο μέρος της παρούσας διατριβής παρουσιάστηκε η αξιολόγηση των διαφόρων στατιστικών κατανομών, με στόχο την επιλογή αυτής που μπορεί να περιγράψει τις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης της Μεσογείου με την μεγαλύτερη ακρίβεια. Η αξιολόγηση έχει στηριχθεί σε δεδομένα 60 ετών, αφού πρώτα έχει αποδειχθεί ότι τα αποτελέσματα αυτά έχουν την ίδια αξιοπιστία με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από μία χρονοσειρά 100 ετών. Η αρχική επιλογή των ακραίων τιμών έχει πραγματοποιηθεί με δύο τεχνικές: την τεχνική των μεγίστων ανά περίοδο (block maxima) και την τεχνική των τιμών που υπερβαίνουν ένα κατώφλι (peaks over threshold). Η επιλογή της κατανομής που περιγράφει ακριβέστερα το σύνολο των ακραίων, αλλά και η μέθοδος υπολογισμού των παραμέτρων της καθεμίας αποτέλεσαν μία ιδιαίτερα κρίσιμη διαδικασία για την ερμηνεία των τελικών αποτελεσμάτων και για αυτό το λόγο, στην συγκεκριμένη μελέτη η τελική επιλογή-πρόταση προέκυψε από μία διαδικασία συνεχών ελέγχων με διάφορα μαθηματικά κριτήρια.

Όπως απέδειξε μία σειρά ελέγχων, η κανονική και η ομοιόμορφη κατανομή είναι ακατάλληλες για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων στην Μεσογειακή λεκάνη. Το συμπέρασμα αυτό υποστήριξαν και οι Lipton et al. (1995), οι οποίοι προσάρμοσαν ένα τυχαίο δείγμα ακραίων τιμών στις κατανομές αυτές, και παρατήρησαν ότι οι αποκλίσεις ξεπερνούν το 34%. Συνεπώς, οι κατανομές οι οποίες προτείνονται ως καταλληλότερες για τη περιγραφή των ακραίων, τόσο από τη παρούσα διατριβή όσο και από πολλούς ακόμα ερευνητές (Kyselý 2010, Anagnostopoulou and Tolika 2012, Dyrddal et al. 2015, Roth et al. 2014) είναι η Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων τιμών (GEV) και η Γενικευμένη Κατανομή Pareto (GPD). Παρά το ότι και οι δυο αυτές περιγράφουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά των ακραίων, μία σειρά ελέγχων (AD,KS, X^2) απέδειξε ότι σε πολλές

περιπτώσεις, η ακρίβεια προσέγγισης από τη GPD κατανομή είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό, ενισχύει τους ισχυρισμούς του Coles (2001), ο οποίος θεωρεί ότι η POT μέθοδος και κατά συνέπεια η GPD κατανομή που περιγράφει τις τιμές της μεθόδου αυτής (Katz et al. 2002), πρέπει να προτιμάται από την Block Maxima μέθοδο και κατά συνέπεια από την GEV κατανομή που περιγράφει τις τιμές της. (Kharin & Zwiers 2000, Katz et al. 2002, García et al. 2007, Kotz & Nadarajah 1999). Αντίστοιχα, η POT μέθοδος και η GPD κατανομή προτείνονται ως καταλληλότερες για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων και από τους Acero et al. (2011) και Roth et al. (2014).

Εκτός από την επιλογή της καταλληλότερης κατανομής, μία σειρά ελέγχων απέδειξε ότι η μέθοδος υπολογισμού των κρίσιμων παραμέτρων τους επηρεάζει σημαντικά τις τελικές εκτιμήσεις, γεγονός που τονίζεται και από τους El Aldouni et al. (2007). Για παράδειγμα, σε μία μελέτη των Martins and Stedinger (2000) φαίνεται ότι η GEV-M μέθοδος δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την GEV-L μέθοδο για την προσέγγιση των δεδομένων πλημμυρών. Για το λόγο αυτό, μία σειρά ελέγχων πραγματοποιήθηκε για τρεις μαθηματικές μεθόδους (MLE, L-moments και Bayesian). Τα αποτελέσματα, έδειξαν ότι η GPD κατανομή μπορεί να αποδώσει ικανοποιητικά τις χαμηλότερες και μέσες τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων στη Μεσόγειο, ανεξάρτητα από τη μέθοδο υπολογισμού των παραμέτρων της, ενώ οι υψηλότερες τιμές των μέγιστων βροχοπτώσεων, αποδίδονται με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις κατανομές GEV-B και GPD-B, καθώς η Μπευζιανή μέθοδος ως πιο πολύπλοκη λαμβάνει υπόψη περισσότερους παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα τα αποτελέσματα αυτά δεν εξαρτώνται από τις αρχικές παραδοχές- υποθέσεις (Coles 2001). Επιπρόσθετα, το σύνολο των ελέγχων που πραγματοποιήθηκε αποδεικνύει ότι η GEV-L κατανομή είναι η πιο ακατάλληλη για την περιγραφή των ακραίων βροχοπτώσεων, παρά το ότι σε ορισμένες μελέτες έχει χρησιμοποιηθεί, χωρίς όμως κάποιο περαιτέρω έλεγχο (Kyselý 2010; Lee and Maeng 2003).

Μία σημαντική ανάλυση η οποία πραγματοποιήθηκε για την κάθε παράμετρο είναι η εκτίμηση των επιπέδων επανάλιψης των ακραίων τιμών για τρεις μελλοντικές περιόδους (50,150 και 300έτη). Η ανάλυση αυτή για την παράμετρο της βροχόπτωσης αποδεικνύει ότι οι σταθμοί στους οποίους προβλέπεται ότι θα σημειωθούν τα πιο ακραία επεισόδια βροχής είναι οι ίδιοι στους οποίους καταγράφονται τα υψηλότερα ποσά μέσων

βροχοπτώσεων. Οι περισσότεροι από αυτούς τους σταθμούς (π.χ. Bastia and Malaga) βρίσκονται στη δυτική Μεσόγειο, κοντά σε σημεία που ευνοείται η κυκλογένεση ή είναι περιοχές με μεγάλη συχνότητα διέλευσης υφεσιακών συστημάτων, όπως για παράδειγμα ο κόλπος της Γένοβας (Trigo et al. 1999; Maheras et al. 2001). Για ορισμένους σταθμούς (π.χ. Malaga) τα υψηλά εκτιμώμενα επίπεδα ακραίων βροχοπτώσεων αποδίδονται στην θέση τους, καθώς βρίσκονται κατά μήκος των τροχιών των υφέσεων που κινούνται από τον Ατλαντικό προς τη Μεσόγειο (Trigo et al. 1999). Η κατεύθυνση της κίνησης των υφέσεων αυτών (N, ΝΔ, ΝΑ) δικαιολογεί και τα τελικά εκτιμώμενα ποσά ακραίων βροχοπτώσεων που δίνουν, καθώς η πορεία περιλαμβάνει το πέρασμα πάνω από θαλάσσιες περιοχές αλλά και περιοχές με ιδιαίτερο ανάγλυφο (Άλπεις, Πυρηναία) (Boudevillain et al. 2009). Όσον αφορά τις ανατολικότερες περιοχές (Αδριατικής, Βαλκάνια), τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι ενώ στις προαναφερθείσες περιοχές καταγράφονται τα υψηλότερα ποσά μέσω ετήσιων βροχοπτώσεων, τα ακραία επεισόδια δεν είναι τόσο έντονα όσο στη Δυτική Μεσόγειο. Μία αιτία του γεγονότος αυτού είναι το ότι η δυτική Μεσόγειος επηρεάζεται από την εντατικοποίηση των καταιγίδων των μεσαίων γεωγραφικών πλατών που εντοπίζονται πάνω από την κεντρική και τη δυτική Ευρώπη. (Lionello and Giorgi 2007). Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τους Maheras et al. (2000), η αύξηση της συχνότητας των συστημάτων υψηλών πιέσεων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των βροχοπτώσεων στα βόρεια Βαλκάνια. Τα εκτιμώμενα χαμηλότερα ποσά ακραίων βροχοπτώσεων στην Ανατολική Μεσόγειο, επιβεβαιώνουν την μελέτη των Flato et al. (2013) που προέβλεψε μείωση στη συχνότητα των καταιγίδων πάνω από την ανατολική Μεσόγειο. Επιπρόσθετα, οι Lionello and Giorgi (2007), μελετώντας την βροχόπτωση της Μεσογείου για τη χειμερινή περίοδο, απέδειξαν ότι η μείωση της υφεσιακής δραστηριότητας στην περιοχή, θα έχει αντίκτυπο στη μείωση των ποσών βροχής που θα παρατηρούνται στη νότια και ανατολική Μεσόγειο.

Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων των επιπέδων επανάληψης δείχνουν ότι οι GEV-M και GEV-L κατανομές εκτιμούν σχεδόν ίσα επίπεδα επαναφοράς ακραίων βροχοπτώσεων σε όλους σχεδόν τους σταθμούς. Αντίθετα, η GEV-B κατανομή, η οποία χρησιμοποιήθηκε και από τους Dyrddal et al. (2015) για τις ακραίες βροχοπτώσεις στη Νορβηγία, εκτιμά υψηλότερα επίπεδα συγκριτικά με τις άλλες δύο κατανομές (GEV-M and GEV-L). Τέλος, η GPD-B κατανομή η οποία χρησιμοποιήθηκε και από τους Cooley et al. (2007), εκτιμά τα



υψηλότερα επίπεδα επανάληψης ακραίων βροχοπτώσεων σε όλους τους σταθμούς της μελέτης.

Όσον αφορά την παράμετρο της θερμοκρασίας, πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει τα ακραία επεισόδια υψηλών θερμοκρασιών – καυσώνων, ενώ οι μελέτες για τις ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες είναι σημαντικά πιο περιορισμένες. Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιείται ανάλυση τόσο των ακραίων μέγιστων όσο και ελάχιστων τιμών των μέσων θερμοκρασιών, με την ίδια διαδικασία να ακολουθείται και στην παράμετρο των βροχοπτώσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τόσο η κανονική όσο και η ομοιόμορφη κατανομή είναι ακατάλληλες για την περιγραφή των ακραίων θερμοκρασιών, ενώ οι κατανομές GEV και GPD προσεγγίζουν το σύνολο των ακραίων με μεγάλη ακρίβεια. Ένας μεγάλος αριθμός ερευνητών χρησιμοποιεί τις κατανομές αυτές για τη μελέτη των ακραίων θερμοκρασιακών επεισοδίων. Για παράδειγμα, οι Laurent and Parey (2007), χρησιμοποιούν τις τεχνικές Block maxima και POT για την επιλογή των ακραίων θερμοκρασιών και κατά συνέπεια την ανάλυση αυτών με τις κατανομές GEV και GPD. Επιπρόσθετα, η GPD κατανομή χρησιμοποιείται από τους Nogaj et al. (2006) για την ανάλυση των ακραίων υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών στη περιοχή του Β. Ατλαντικού, ενώ οι Goubanova and Li (2007) προτιμούν την GEV κατανομή για τη μελέτη των πιθανών μελλοντικών αλλαγών των ακραίων θερμοκρασιών στην περιοχή της Μεσογείου. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι και οι δύο κατανομές μπορούν να προσεγγίσουν τις ακραίες θερμοκρασίες, με τις εκτιμήσεις ωστόσο της GPD κατανομής να παρουσιάζουν υψηλότερη ακρίβεια.

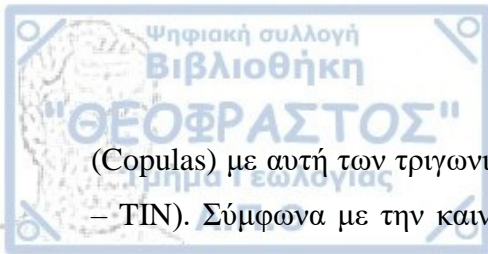
Όσον αφορά τα αποτελέσματα των μεθόδων υπολογισμού των παραμέτρων των κατανομών, φαίνεται ότι η GPD-M προσεγγίζει ικανοποιητικά τις μικρότερο και το μέσο τμήμα του συνόλου των μέγιστων τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, ενώ οι GPD-B και η GEV-B εκτιμούν καλύτερα τις πιο υψηλές τιμές του συνόλου αυτού. Ο Debusho (2016) χρησιμοποίησε την GPD-B μέθοδο για την ανάλυση των ακραίων θερμοκρασιών στην Βόρεια Αφρική, ενώ ο Coles (2001) επισημαίνει ότι σε αντίθεση με τη μέθοδο μέγιστης πιθανοφάνειας, η Μπευζιανή ανάλυση των ακραίων τιμών, δεν εξαρτάται από την κανονικότητα των παραδοχών που απαιτούνται από την ασυμπτωτική θεωρία της μέγιστης πιθανοφάνειας. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν για τις ακραία ελάχιστες τιμές, είναι σχεδόν τα ίδια με τις μέγιστες, δείχνοντάς ότι η GPD-L μέθοδος

μπορεί να θεωρηθεί ως η λιγότερο κατάλληλη, παρά το ότι η μέθοδος των L-ροπών, παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με την απλή μέθοδο των ροπών, καθώς οι ασυμπτωτικές υποθέσεις στις δειγματικές κατανομές, είναι καλύτερες για τη μέθοδο των L-ροπών, συγκριτικά με αυτή των απλών ροπών (Hosking, 1990).

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ταξινόμηση των σταθμών σε κατηγορίες ανάλογα με τα επίπεδα επανάληψης ακραίων θερμοκρασιών, δείχνουν ότι ο σταθμός του Gospic παρουσιάζει τα χαμηλότερα επίπεδα επανάληψης μέγιστων θερμοκρασιών, σε αντίθεση με τις πόλεις Malaga και Athens που παρουσιάζουν τα υψηλότερα. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι στη μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς οι δύο σταθμοί της θερμότερης κατηγορίας ακολουθούν διαφορετικές συμπεριφορές, με το σταθμό Athens να παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερες τιμές. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τους Hertig et al. (2010), οι οποίοι απέδειξαν ότι οι ακραίες θερμοκρασίες έχουν μία ελαφρώς αρνητική τάση πάνω από την Ιβηρική χερσόνησο, σε αντίθεση με τη Νότιο- Ανατολική Μεσόγειο όπου παρουσιάζουν αυξητική τάση. Για την ταξινόμηση των σταθμών σύμφωνα με τα επίπεδα επανάληψης των ακραίων χαμηλών τιμών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών τους, το Gospic παραμένει στην κατηγορία με τις χαμηλότερες τιμές, ενώ η Malaga, Bastia, Cagliari και Nice στην κατηγορία με τις υψηλότερες.

Όσον αφορά τα εκτιμώμενα επίπεδα επανάληψης φαίνεται ότι η τιμή τους επηρεάζεται σημαντικά από την επιλεγόμενη μέθοδο υπολογισμού των παραμέτρων των μελετώμενων κατανομών (El Aldouni et al. 2007). Αναλυτικότερα, οι GEV-L και GEV-B κατανομές εκτιμούν τα υψηλότερα επίπεδα επανάληψης για τις μέγιστες τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, όλων σχεδόν των σταθμών της μελέτης. Αντίθετα τα χαμηλότερα επίπεδα εκτιμώνται από την GPD-L κατανομή, ενώ τα επίπεδα επανάληψης των κατανομών GPD-M and GPD-B, οι οποίες επίσης συγκρίθηκαν από τους Debusho (2016), παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές. Τέλος, τα επίπεδα επανάληψης των ακραίων χαμηλών μέσων θερμοκρασιών δεν παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα με τις υψηλές θερμοκρασίες ή τις βροχοπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η GPD-L κατανομή παρουσιάζει τα υψηλότερα επίπεδα ελάχιστων θερμοκρασιών, διαφέροντας σημαντικά από τις εκτιμήσεις των άλλων κατανομών.

Για την επίτευξη του βασικού στόχου της διατριβής αναπτύχθηκε μία νέα στατιστική μέθοδος η TIN-Corula, η οποία αποτελεί ένα συνδυασμό της θεωρίας των συζεύξεων



(Copulas) με αυτή των τριγωνικών ακανόνιστων δικτύων (Triangular Irregular Networks – TIN). Σύμφωνα με την καινοτόμο στατιστική μέθοδο TIN-Copula, ακολουθείται μία διαδικασία με την οποία αναπτύσσεται μία μαθηματική σχέση, ικανή να μοντελοποιήσει την εξάρτηση μεταξύ δύο μελετώμενων συνόλων.

Η αρχική φάση της μεθόδου απαιτεί την κάλυψη της μελετώμενης περιοχής με ακανόνιστου μεγέθους μη αλληλο-επικαλυπτόμενα τρίγωνα – τη δημιουργία δηλαδή του τριγωνικού ακανόνιστου δικτύου (TIN). Η δημιουργία των τριγώνων στηρίζεται στην τριγωνοποίηση Delaunay (1934) και χρησιμοποιεί τις γεωγραφικές θέσεις των σημείων με τα διαθέσιμα δεδομένα (σημεία σταθμών). Η επόμενη φάση της μεθοδολογίας περιλαμβάνει τον εντοπισμό της γεωγραφικής θέσης του σημείου μελέτης, την εύρεση του τριγώνου στο οποίο ανήκει και τον υπολογισμό των αποστάσεων του από τις κορυφές του τριγώνου αυτού. Στην τελευταία φάση της μεθοδολογίας, στην οποία γίνεται χρήση της θεωρίας των συζεύξεων, μοντελοποιείται η σχέση των μελετώμενων συνόλων στις κορυφές του εκάστοτε τριγώνου. Συνδυάζοντας τις σχέσεις αυτές με την απόσταση της κάθε κορυφής από το σημείο μελέτης, επιτυγχάνεται η μοντελοποίηση της σχέσης εξάρτησης στο σημείο μελέτης. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο TIN-Copula, επιτυγχάνεται η διόρθωση των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων για τις ακραίες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην Μεσογειακή λεκάνη, καθώς επίσης και η εκτίμηση των χρονοσειρών αυτών σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.

Για την εισαγωγή-πρόταση μίας νέας μεθόδου σε κάθε επιστήμη απαιτείται η αξιολόγησή της (π.χ. McGinnis 2015, Johnson & Sharma 2012, Piani & Haerter 2012). Έτσι, στην παρούσα διατριβή παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της TIN-Copula μεθόδου, αποδεικνύοντας ότι η νέα μέθοδος μπορεί με μεγάλη σχετικά ακρίβεια να εκτιμήσει τη συμπεριφορά των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στη Μεσόγειο. Ένας αξιόπιστος τρόπος για την αξιολόγηση μίας νέας μεθόδου είναι η σύγκριση με άλλες μεθόδους οι οποίες είναι ευρύτερα αποδεκτές. Μία τέτοια αξιολόγηση πραγματοποίησαν το 2013 οι Lafon et al, οι οποίοι συνέκριναν τέσσερις στατιστικές μεθόδους σχετικά με την ικανότητά τους για διόρθωση των εκτιμήσεων των ημερήσιων βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μ. Βρετανίας.

Στην παρούσα διατριβή, τα αποτελέσματα της TIN-Copula μεθόδου για τη διόρθωση των εκτιμήσεων των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των κλιματικών

μοντέλων, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές των μεθόδων: “delta”, “scaling” και “empirical quantile mapping”. Και οι τρεις αυτές μέθοδοι είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων στους τομείς του περιβάλλοντος (Rätty et al 2014, Cannon et al 2015, Fang 2015). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τόσο οι τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, όσο και η TIN-Corula μέθοδος η οποία αξιολογήθηκε, παρουσίασαν παρόμοια ικανότητα βελτίωσης των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην πλειονότητα των σταθμών μελέτης, ενώ σε πολλές περιπτώσεις τα αποτελέσματα της TIN-Corula μεθόδου προσέγγιζαν τα πραγματικά αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρά την ομοιότητα των αποτελεσμάτων των μεθόδων, η καινοτόμος μέθοδος έχει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα.

- Ένα βασικό πλεονέκτημα της TIN-Corula μεθόδου, είναι η ευελιξία εφαρμογής της σε οποιοδήποτε σημείο μελέτης, με την μόνη απαίτηση το σημείο αυτό να ανήκει σε κάποιο από τα τρίγωνα του δικτύου TIN. Αυτό καθιστά τη μέθοδο ως ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο, καθώς οι άλλες μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε σημεία που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.
- Επιπρόσθετα, η αξιοπιστία της μεθόδου είναι μεγάλη, καθώς οι τελικές εκτιμήσεις βασίζονται σε δεδομένα τριών και όχι ενός σταθμού, ενώ
- ένα ακόμα στοιχείο που ενισχύει την αξιοπιστία της νέας μεθόδου είναι η δυνατότητα εκτίμησης των τελικών τιμών, με τη χρήση όλων των διαθέσιμων δεδομένων και όχι με δεδομένα μιας υποπεριόδου, όπως συμβαίνει στις άλλες μεθόδους διόρθωσης των μεροληπτικών αποκλίσεων.
- Τέλος ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου TIN-Corula, είναι η δυνατότητα χρήσης της για μελλοντικές περιόδους. Πιο συγκεκριμένα, μετά τον υπολογισμό των εξισώσεων εξάρτησης των μελετώμενων μεταβλητών, μπορεί να γίνει η χρήση των ίδιων αυτών μοντέλων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, χωρίς την ανάγκη επιπρόσθετων υπολογισμών και διαθέσιμων δεδομένων. Συνεπώς χρησιμοποιώντας τη σταθερή συνάρτηση που έχει υπολογιστεί στο εκάστοτε σημείο μελέτης και τις μελλοντικές εκτιμήσεις του μοντέλου για μια αξιόπιστη μεταβλητή – παράμετρο, είναι εφικτό να

διορθωθούν οι εκτιμήσεις για μια παράμετρο (ακραίες τιμές) που παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματικότητα.

Η ανάγκη της διόρθωσης των σφαλμάτων μεροληψίας των εκτιμήσεων των κλιματικών μοντέλων και η απαιτούμενη προ-επεξεργασία των δεδομένων τους πριν τη τελική τους χρήση έχει επισημανθεί από πολλούς ερευνητές (Sharma et al., 2007; Ines Hansen et al., 2006). Η TIN-Corpus αποτελεί μία μέθοδο ικανή να διορθώσει τις μεροληπτικές αποκλίσεις των κλιματικών μοντέλων για τις παραμέτρους των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στη Μεσογειακή Λεκάνη. Γενικά, στην περιοχή της Μεσογείου, λόγω του ιδιαίτερου ανάγλυφου της (Lionello 2016) και της επίδρασης αυτού στα κλιματικά χαρακτηριστικά της (Ruti 2016), τα κλιματικά μοντέλα χρειάζονται ιδιαίτερα υψηλή περιοχική ανάλυση για να προσομοιώσουν με περισσότερη ακρίβεια τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν (Önol 2009). Για το λόγο αυτό, αρκετοί είναι οι ερευνητές οι οποίοι έχουν προσπαθήσει να διορθώσουν τις εκτιμήσεις διαφόρων κλιματικών παραμέτρων για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου ή υποπεριοχές αυτής (Christensen et al. 2008, Ruffault 2014, Macias 2018)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διόρθωσης των ακραίων τιμών (μέγιστες και ελάχιστες) των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, φαίνεται ότι η TIN-Corpus μέθοδος αυξάνει σημαντικά την ακρίβεια προσέγγισης των ετήσιων ακραίων θερμοκρασιών, μειώνοντας σημαντικά τις παρατηρούμενες αποκλίσεις. Η μείωση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς όπως προβλέπεται από τους Boberg, και Christensen (2012) οι υπερεκτιμήσεις των θερμοκρασιών στη Μεσόγειο προβλέπεται να αυξηθούν μελλοντικά, ενώ και οι Jacob et al. (2007) και Christensen et al. (2007b) τονίζουν την υπερεκτίμηση των θερμοκρασιών στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Με τη χρήση της TIN-Corpus μεθόδου, η αύξηση της ακρίβειας των εκτιμήσεων μετά τη διόρθωση είναι ιδιαίτερα υψηλή στις τρεις χερσονήσους της Μεσογείου (Ιβηρική, Ιταλική, Βαλκανική). Αντίθετα η μικρότερη διόρθωση, η οποία σε ορισμένες περιοχές μπορεί να είναι και μηδενική, παρατηρείται στην οροσειρά των Άλπεων και στο εσωτερικό της Τουρκίας. Το ιδιαίτερο ανάγλυφο της περιοχής των Άλπεων αποτελεί το βασικό αίτιο των παρατηρούμενων σημαντικών αποκλίσεων, καθώς όπως επισημαίνεται και από τους Martin et al.(1996) στην περιοχή αυτή η ιδιαίτερη τοπογραφία δημιουργεί κρίσιμες αλλαγές στις τιμές των κλιματικών παραμέτρων, ακόμα και μεταξύ περιοχών που δεν

απέχουν περισσότερο από 50 km. Τα βασικότερα αίτια της μειωμένης βελτίωσης που παρατηρείται στις περιοχές αυτές είναι δύο. Αρχικά, η διαφορετικότητα των κλιματικών συνθηκών που παρατηρείται μεταξύ των σταθμών που σχηματίζουν το τρίγωνο TIN-Corula και των κόμβων που περιέχονται σε αυτά, και δεύτερον το ιδιαίτερο ανάγλυφο των περιοχών αυτών. Σύμφωνα με τους Lazoglou et al. (2018), ιδιαίτερα μεγάλη σημασία για ακρίβεια των αποτελεσμάτων της TIN-Corula μεθόδου, έχει το μέγεθος του τριγώνου που εσωκλείει μια περιοχή, καθώς και η συσχέτιση των κλιματικών συνθηκών των σταθμών που σχηματίζουν το τρίγωνο με αυτούς που περιέχονται σε αυτό. Η συγκεκριμένη περιοχή – εσωτερικό Τουρκίας – είναι μια ηπειρωτική περιοχή η οποία όμως εμπεριέχεται σε δύο τρίγωνα σχηματιζόμενα από παραθαλάσσιους σταθμούς. Κατά συνέπεια, η διαφορά αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη βελτίωση των αποτελεσμάτων στη περιοχή αυτή. Η διαφορά των ακραίων επεισοδίων μεταξύ των εποχών του χειμώνα και του καλοκαιριού εντοπίζεται στην περιοχή της Μεσογείου και από τους Sánchez, et al. (2004), οι οποίοι μελετούν τα ακραία επεισόδια με τη χρήση κατάλληλων δεικτών.

Οι εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων για τις τιμές των βροχοπτώσεων συχνά αποκλίνουν από την πραγματικότητα. Αυτό επιβεβαιώνεται από την παρούσα διατριβή αλλά και από διάφορες ακόμα μελέτες, όπως για παράδειγμα των Jacob et al. (2007) ή των Christensen et al., (2007b) στις οποίες επισημαίνεται ότι τα εκτιμώμενα ποσά βροχής που δέχονται κατά το χειμώνα οι περιοχές της Μεσογείου, υπερεκτιμούν τα πραγματικά. Επιπρόσθετα, αρκετές μελέτες τονίζουν την ανάγκη βελτίωσης των εκτιμώμενων τιμών βροχής, πριν τη χρήση τους σε διάφορες επιστήμες όπως η υδρολογία (Sharma 2007, Feddersen and Andersen 2005). Από την παρούσα διατριβή προκύπτει ότι η TIN-Corula μέθοδος, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διόρθωση των εκτιμήσεων των ακραίων κλιματικών τιμών των κλιματικών μοντέλων, τόσο σε εποχιακή όσο και σε ετήσια βάση. Τα θετικά αυτά παρατηρούμενα αποτελέσματα της TIN-Corula μεθόδου, αποτελούν μία συνέχιση των διορθώσεων που έχουν επιτευχθεί στις μέσες βροχοπτώσεις από τους Piani et al (2010), με τη χρήση μόνο της θεωρίας των συζεύξεων. Η θεωρία των συζεύξεων μπορεί να θεωρηθεί ως ο «πρόδρομος» της TIN-Corula μεθόδου, καθώς αποτελεί και μία από τις δύο βασικές θεωρίες ανάπτυξης της καινοτόμου αυτής μεθόδου. Το 2015 οι Mao et al., χρησιμοποίησαν τη μέθοδο των συζεύξεων για τη διόρθωση των μεροληπτικών σφαλμάτων του WRF μοντέλου, σχετικά με τις εκτιμήσεις τους στην περιοχή της

Γερμανίας. Ακολουθώντας τους Mao et al. (2015), η θεωρία αυτή χρησιμοποιήθηκε από τους Lazoglou et al. (2019b) για τη διόρθωση των μέσων εκτιμήσεων της βροχής σε μηνιαία βάση και για μία μικρής έκτασης περιοχή στην Ελλάδα. Η περιοχή αυτή είναι η περιοχή του ποταμού Νέστου και έχει ιδιαίτερο υδρολογικό ενδιαφέρον. Για το λόγο αυτό, και άλλες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την περιοχή αυτή, από τις οποίες μία μόνο χρησιμοποιεί τη θεωρία των συζεύξεων (Lazoglou et al. 2018). Πρέπει ωστόσο να αναφερθεί ότι η ικανότητα της TIN-Corula μεθόδου για τη διόρθωση των ακραίων βροχοπτώσεων σε ετήσια βάση είναι ιδιαίτερα υψηλή σε όλη σχεδόν την περιοχή μελέτης, με εξαίρεση ορισμένους περιορισμένους κόμβους στην Ιβηρική χερσόνησο και στις βορειοδυτικές ακτές της Αφρικής, όπου η διόρθωση είναι ελαφρώς χαμηλότερη. Πιθανή αιτία αυτών των αποκλίσεων αποτελεί η μεγάλη μεταβλητότητα που παρουσιάζουν οι ακραίες τιμές στη περιοχή αυτή. Αναλυτικότερα, μία μελέτη των Hidalgo-Muñoz et al. (2011) αποκαλύπτει πως οι ακραίες βροχοπτώσεις του χειμώνα στην κεντρική και δυτική Ανδαλουσία- μία μικρή περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου, παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά από τις αντίστοιχες ακραίες βροχοπτώσεις στο βορειοανατολικό κομμάτι της. Επιπρόσθετα, όπως επισημαίνεται από αρκετούς ερευνητές, οι ακραίες βροχοπτώσεις στην περιοχή αυτή, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις φάσεις διαφόρων δεικτών τηλεσυσχέτισης, όπως για παράδειγμα του NAO (Gallego et al. 2005, Vicente-Serrano 2011).

Η ανάλυση των ακραίων επεισοδίων με τη χρήση ενός περιορισμένου αριθμού διαθέσιμων δεδομένων αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα των κλιματικών και όχι μόνο μελετών. Όπως τονίζεται από τους Mitchell και Jones (2005), υπάρχει μία ξεκάθαρη ανάγκη για βελτίωση της χωροχρονικής διαθεσιμότητας και ποιότητας των κλιματικών δεδομένων, έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν ακριβέστερες μελέτες για τα ακραία. Γενικότερα, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, αυτό επιχειρείται από τα κλιματικά μοντέλα τα οποία ωστόσο εμπεριέχουν σημαντικά σφάλματα που προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, όπως το ανάγλυφο (Lupo and Kininmoth, 2013). Ένας τρόπος που χρησιμοποιείται από μελετητές για την εκτίμηση τιμών σε περιοχές χωρίς δεδομένα είναι η μέθοδος περιοχικής παρεμβολής, στην οποία χρησιμοποιούνται δεδομένα γειτονικών σημείων (Willmot and Robeson, 1995, Hulme et al., 1996). Η μέθοδος του kriging αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους του είδους της (Hammond and Yarie, 1996). Επιπρόσθετα, ένα ακόμη εργαλείο των ερευνητών για εκτίμηση νέων δεδομένων

είναι ο στατιστικός υποβιβασμός κλίμακας (statistical downscaling), ο οποίος χρησιμοποιείται τόσο για τις μέσες όσο και για τις ακραίες τιμές των κλιματικών παραμέτρων (Goodess et al. 2007). Ωστόσο, όπως έχει αποδειχθεί, και οι δύο αυτές τεχνικές παρουσιάζουν μεγάλη αδυναμία στο να προσεγγίσουν με ακρίβεια ακραίες καταστάσεις (Kurtzman and Kadmon 1999, Goodess et al. 2007), και καθιστούν απαραίτητη την ανάπτυξη νέων τεχνικών για το σκοπό αυτό. Συνεπώς, η TIN-Copula αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση των ακραίων κλιματικών τιμών σε περιοχές χωρίς δεδομένα, καθώς όπως συμπεραίνεται από τα αποτελέσματά και την αξιολόγηση της παρούσας έρευνας, οι προσεγγίσεις είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές. Οι Lazoglou et al (2019), χρησιμοποίησαν την TIN-Copula μέθοδος, με στόχο την εκτίμηση ακραίων θερμοκρασιών στον Ελληνικό χώρο. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρα, καθώς οι εκτιμώμενες ακραίες τιμές παρουσιάζουν 90% συσχέτιση με τις αντίστοιχες πραγματικές.

Οι εκτιμήσεις της TIN-Copula μεθόδου για τις ακραίες υψηλές και χαμηλές τιμές των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις πραγματικές τιμές. Γενικά, ένας μέσος όρος των αποκλίσεων των ακραίων υψηλών τιμών στη περιοχή μελέτης δεν ξεπερνά τους 3°C τόσο σε εποχική όσο και σε ετήσια βάση. Από την περιοχική ανάλυση των εκτιμώμενων αποκλίσεων των ακραίων θερμοκρασιών φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στην περιοχή των Άλπεων, της Βαλκανικής χερσονήσου και του εσωτερικού της Τουρκίας (>5°C). Αυτό το συμπέρασμα, είναι σε συμφωνία με τη μελέτη των Flaounas et al (2013), οι οποίοι ανίχνευσαν σημαντική απόκλιση μεταξύ των δυναμικά υποβιβασμένων ακραίων χαμηλών τιμών του μοντέλου WRF και των δεδομένων ERA-INTERIM για την περιοχή της Βαλκανικής και της Τουρκίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο οι αποκλίσεις αυτές ήταν σημαντικά μεγαλύτερες. Αντίστοιχα, σημαντικές αποκλίσεις των εκτιμήσεων των ακραίων θερμοκρασιών στις περιοχές των Άλπεων, της Ιβηρικής Χερσονήσου και της Ανατολικής Μεσογείου επισημαίνονται και από τους Dasari et al. (2014), οι οποίοι ανίχνευσαν μία ξεκάθαρη υποεκτίμηση στις καλοκαιρινές μέγιστες θερμοκρασίες και μία υπερεκτίμηση των ακραίων χαμηλών χειμερινών θερμοκρασιών. Η περιοχή των Άλπεων αποτελεί μία ιδιαίτερη περιοχή λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συνεχών ορεινών όγκων και της γενικότερης ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Montesarchio et al, 2014) με αποτέλεσμα

σε όλες σχεδόν τις μελέτες οι εκτιμώμενες τιμές να παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τις πραγματικές (Becker and Bugmann, 1997, Brunetti et al., 2009). Επιπρόσθετα, στις μέγιστες θερμοκρασίες, η μόνη περιοχή όπου παρατηρείται υποεκτίμηση είναι η βορειοδυτική Αφρική κατά το καλοκαίρι, και κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, καθώς επίσης και στη Βαλκανική και Ιβηρική χερσόνησο όπου οι ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες υποεκτιμώνται ελαφρώς. Αντίθετα στις υπόλοιπες περιοχές οι εκτιμώμενες ακραίες τιμές φαίνεται να παρουσιάζουν μία μικρή υπερεκτίμηση ($<3^{\circ}\text{C}$), η οποία ωστόσο έρχεται σε αντίθεση με τις τιμές που εκτιμώνται στη μελέτη των Hanson et al (2007), στην οποία υπάρχει μία γενική τάση υποεκτίμησης των ακραίων τιμών από το μελετώμενο μοντέλο.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής για τις ακραίες βροχοπτώσεις στην περιοχή της Μεσογείου φαίνεται να παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις από τις αντίστοιχες τιμές με τις οποίες συγκρίνονται. Επομένως, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από άλλες μελέτες οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η TIN-Corula μέθοδος είναι ικανή να προσεγγίσει με ακρίβεια τις ακραίες βροχοπτώσεις στη Λεκάνη της Μεσογείου. Αναλυτικότερα, για την περιοχή της Ισπανίας η TIN-Corula μέθοδος εκτιμά ακραίες βροχοπτώσεις που κυμαίνονται από 20-40 mm (το καλοκαίρι 10-30 mm) με τις υψηλότερες να εντοπίζονται στα σύνορα με τη Γαλλία. Τα εκτιμώμενα αυτά ποσά έρχονται σε πλήρη συμφωνία με τους Garcia et al. (2007), στη μελέτη των οποίων η μέση ακραία βροχόπτωση κυμαίνεται από 20-40mm για όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι που είναι μικρότερη, ενώ χωρικά οι νότιο-νότιοδυτικές ακτές και η περιοχή των Πυρηναίων εμφανίζουν τις μεγαλύτερες ακραίες τιμές βροχόπτωσης. Επιπρόσθετα, ορισμένες από τις υψηλότερες τιμές ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμά η TIN-Corula, μέθοδος εντοπίζονται στην περιοχή νότια των Άλπεων, γεγονός που συμφωνεί με τις μελέτες των Maheras et al. (2001) και Lionello et al.(2002), σύμφωνα με τις οποίες η περιοχή των Άλπεων αποτελεί μία από τις Μεσογειακές περιοχές κυκλογένεσης, με αποτέλεσμα στην περιοχή αυτή το κατώφλι των ακραίων βροχοπτώσεων να είναι υψηλό (>45 mm). Επιπρόσθετα, και στην εργασία των Anagnostopoulou and Tolika (2012) το υψηλότερο κατώφλι ακραίων βροχοπτώσεων στην Ευρώπη ανήκε σε σταθμό της περιοχής των Άλπεων. Επιπλέον, μία σημαντική περιοχή ενδιαφέροντος στην Μεσογειακή λεκάνη αποτελεί η Ιταλική χερσόνησος για την οποία η TIN-Corula μέθοδος εκτιμά τα χαμηλότερα ποσά ακραίων βροχοπτώσεων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και τα

υψηλότερα κατά τη διάρκεια φθινοπωρινών μηνών (Νοέμβριος). Μάλιστα, για την ίδια αυτή εποχή οι Toreti et al. (2016) εκτιμούν τα υψηλότερα επίπεδα επανάληψης ακραίων βροχοπτώσεων στη νότια Ιταλία, ενώ για την άλλη μεταβατική εποχή (Άνοιξη) οι εκτιμώμενες τιμές παρουσιάζουν χαμηλή μεταβλητότητα. Αυτό παρατηρείται και στις εκτιμήσεις της TIN-Corula μεθόδου σύμφωνα με τις οποίες κατά τη διάρκεια των μηνών της άνοιξης οι ακραίες βροχοπτώσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές. Όσον αφορά την εποχή του χειμώνα, οι 5ετείς τιμές επαναφοράς ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμήθηκαν (Torenti et al, 2010) κυμαίνονταν από 50-70 mm, ελαφρώς υψηλότερες από τις ακραίες βροχοπτώσεις που εκτιμώνται για το χειμώνα στην παρούσα διατριβή (40-60 mm). Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον υπάρχει από την επιστημονική κοινότητα για τις ακραίες βροχοπτώσεις στην Ανατολική Μεσόγειο. Η TIN-Corula μέθοδος φαίνεται να εκτιμά διαφορετική συμπεριφορά μεταξύ των ακραίων βροχοπτώσεων στο δυτικό μέρος της Ανατολικής Μεσογείου (Ιταλία) συγκριτικά με την αντίστοιχη των ανατολικότερων περιοχών, όπου τα εκτιμώμενα ποσά είναι χαμηλότερα. Η εκτιμώμενη αυτή διαφορετικότητα φαίνεται να ενισχύεται από τη μελέτη των Kostoroulou and Jones (2005), στην οποία οι Ιταλικοί σταθμοί μελέτης παρουσιάζουν σημαντική θετική τάση στην εμφάνιση των ακραίων επεισοδίων βροχής, σε αντίθεση με τους ανατολικότερους όπου φαίνεται ότι η ξηρασία θα ενταθεί. Επιπρόσθετα, στα νότια Βαλκάνια και πιο συγκεκριμένα στην Ελληνική περιοχή, παρατηρείται μία ταύτιση της χωρικής κατανομής των μέσων εποχιακών ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμώνται από την TIN-Corula μέθοδο με αυτήν που επισημαίνεται από αρκετές μελέτες για την εποχή του χειμώνα, καθώς οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στη δυτική Ελλάδα και στο νότιο-ανατολικό Αιγαίο (Kutiel et al., 1996).

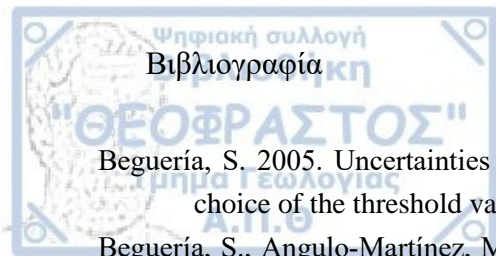
Συμπερασματικά, η παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνει μία νέα στατιστική μέθοδο, την TIN-Corula μέθοδο για την μελέτη των βροχοπτώσεων. Τα συνοπτικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση και την εφαρμογή της καινοτόμου μεθόδου στις παραμέτρους των θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων είναι τα εξής:

- Η TIN-Corula μέθοδος είναι ικανή να βελτιώσει τα σφάλματα μεροληψίας των περιοχικών κλιματικών μοντέλων για την περιοχή της Μεσογείου και για τις παραμέτρους των ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων.

- Ο βαθμός βελτίωσης είναι ίδιος και σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερος από την αντίστοιχη βελτίωση που επιτυγχάνεται σε σύγκριση με τρεις ευρύτερα διαδεδομένες μεθόδους διόρθωσης μεροληπτικών σφαλμάτων.
- Η TIN-Corula μέθοδος παρουσιάζει ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες μεθόδους διόρθωσης σφαλμάτων μεροληψίας των ακραίων, που αφορούν τη χρονική και χωρική ικανότητα εφαρμογής της και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της.
- Η διόρθωση των σφαλμάτων μεροληψίας από την TIN-Corula μέθοδο είναι μεγαλύτερη για την παράμετρο των ακραίων βροχοπτώσεων και των μέγιστων θερμοκρασιών συγκριτικά με τις τιμές των ελαχίστων.
- Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται σε περιοχές με ιδιαίτερο ανάγλυφο ή σε περιοχές όπου η κλιματολογία των σταθμών που δημιουργούν το τρίγωνο TIN διαφέρουν σημαντικά από την κλιματολογία της περιοχής που διορθώνεται.
- Η TIN-Corula μέθοδος παρουσιάζει ιδιαίτερη ικανότητα στην εκτίμηση ακραίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν δεδομένα, χρησιμοποιώντας μόνο παρατηρήσεις γειτονικών σταθμών.

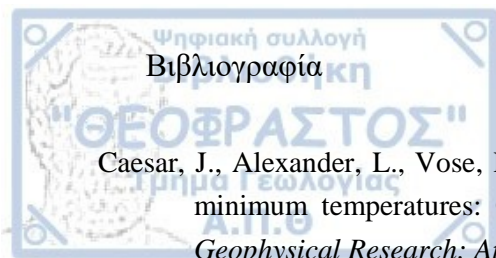


- Aceró, F. J., García, J. A., Gallego, M. C. 2011. Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula. *J Clim*, 24(4),1089–1105
- Akaike, H. 1973 Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In B. N. Petrov & B. F. Csaki (Eds.), *Second International Symposium on Information Theory 1973* (pp. 267–281). Academiai Kiado: Budapest
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., ..., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre, J. L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research* 111, D05109. DOI: 10.1029/2005JD006290.
- Allen, M. R. and Ingram, W. J. 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature* 419, 224–232.
- Alpert, P., Neeman, B. U., Shay-El, Y. 1990a: Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data, *Tellus*, 42A, 65– 77.
- Amin, M. T., Rizwan, M., Alazba, A. A. 2015. Comparison of mixed distribution with EV1 and GEV components for analyzing hydrologic data containing outlier. *Environmental earth sciences*, 73(3), 1369-1375.
- Anagnostopoulou C, Tolika K. 2012. Extreme precipitation in Europe: statistical threshold selection based on climatological criteria. *Theor. Appl Climatol*, 107(3–4), 479–489. DOI: [10.1007/s00704-011-0487-8](https://doi.org/10.1007/s00704-011-0487-8)
- Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Lazoglou, G., & Maheras, P. 2017. The exceptionally cold January of 2017 over the Balkan Peninsula: A climatological and synoptic analysis. *Atmosphere*, 8(12), 252.
- Ban, N., Schmidli, J. and Schär, C. 2015. Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster? *Geophysical Research Letters*, 42, 1165–1172.
- Barros, V. R., Field, C. B., Dokke, D. J., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E.,..., Girma B. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability-Part B: Regional Aspects-Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press, 688 pp.
- Bartzokas, A., (1989). Annual variation of pressure over the Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*, 40(3), 135-146.
- Batool, Z. 2016. Flood frequency analysis of stream flow in Pakistan using L-moments and TL-moments.
- Becker, A., and H. Bugmann 1997, Predicting global change impacts on mountain hydrology and ecology: Integrated catchment hydrology/altitudinal gradient studies,IGBP Report 43, Stockholm.



- Beguiería, S. 2005. Uncertainties in partial duration series modelling of extremes related to the choice of the threshold value. *J Hydrol* 303, 215–2309.
- Beguiería, S., Angulo-Martínez, M., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., & El-Kenawy, A. 2011. Assessing trends in extreme precipitation events intensity and magnitude using non-stationary peaks-over-threshold analysis: a case study in northeast Spain from 1930 to 2006. *International Journal of Climatology*, 31(14), 2102-2114.
- Bhattacharyya, M., and Ritolia, G. 2008. Conditional VaR using EVT–Towards a planned margin scheme. *International Review of Financial Analysis*, 17(2), 382-395.
- Boberg, F., and Christensen, J. H. 2012. Overestimation of Mediterranean summer temperature projections due to model deficiencies. *Nature Climate Change*, 2(6), 433.
- Bolle, H. J. 2003. Climate, climate variability, and impacts in the Mediterranean climate, chapter 2, Mediterranean Climate-Variability and trends, 349.
- Boudevillain, B., Argence, S., Claud, C., Ducrocq, V., Joly, B. et al 2009. Projet Cyprim, partie I: Cyclogenèses et précipitations intenses en région méditerranéenne: origines et caractéristiques (in French). *La Météorologie* 66: 18–28
- Brunetti, M., G. Lentini, M. Maugeri, T. Nanni, I. Auer, and B. Reinhard, 2009, Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis, *Int. J. Climatol.*, 2225, 2197–2225, doi:10.1002/joc.1857.
- Bryson, R. A., and Dittberner, G. J. 1976. A non-equilibrium model of hemispheric mean surface temperature. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33(11), 2094-2106.
- Buishand, T. A. 1989. Statistics of extremes in climatology. *Statistica Neerlandica*, 43, 1-30.
- Caesar, J., Alexander, L., Vose, R. 2006. Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111: D05101. doi:10.1029/2005JD006280
- Caires, S. and Sterl, A., 2005. 100-year return value estimates for ocean wind speed and significant wave height from the ERA-40 Data. *Journal of Climate*, 18(7), 1032-1048.
- Calderón-Vega, F., Mösso, C., García-Soto, A. D., Delgadillo-Ruiz, E. 2019. Single Site Extreme Wave Analysis in the Pacific Ocean Comparing Stationary and Non-stationary GEV Models. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 1-12.
- Cannon, A. J. 2016. Multivariate Bias Correction of Climate Model Output: Matching Marginal Distributions and Intervariable Dependence Structure. *Journal of Climate*, 29(19), 7045-7064.
- Cannon, A. J., 2015 An intercomparison of regional and at-site rainfall extreme value analyses in southern British Columbia, Canada. *Can. J. Civ. Eng.*, 42, 107–119, doi:10.1139/cjce-2014-0361.
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q. 2015. Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?. *Journal of Climate*, 28(17), 6938-6959.

- Carreau, J., Naveau, P., Neppel, L. 2017. Partitioning into hazard subregions for regional peaks-over-threshold modeling of heavy precipitation. *Water Resources Research*, 53(5), 4407-4426.
- Carter, D. J. T. and Challenor, P. G. 1981. Estimating return values of environmental parameters. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107, 259-266.
- Casella, G., and Berger, J. O., 2001. *Statistical Inference*, Duxbury
- Cassalho, F., Beskow, S., Vargas, M. M., Moura, M. M. D., Ávila, L. F., & Mello, C. R. D. 2017. Hydrological regionalization of maximum stream flows using an approach based on L-moments. *RBRH*, 22.
- Castillo, E., 1988. *Extreme Value Theory in Engineering*. Academic Press, San Diego, 385.
- Chang, C. S., Matsushima, T., Lee, X. 2003. Heterogeneous strain and bonded granular structure change in triaxial specimen studied by computer tomography. *J. Engng Mech. ASCE* 129, No. 11, 1295–1307.
- Chen, J., F. P. Brissette, D. Chaumont, and M. Braun. Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America. 2013. *Water Resources Research*, 49,(7), 4187-4205.
- Christensen, J. H. and Christensen. O. B. 2003. Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, 805–806.
- Christensen, J. H., Boberg, F., Christensen, O. B., & Lucas-Picher, P. 2008. On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophysical Research Letters*, 35(20).
- Christensen, J. H., Christensen, O. B. 2007. A summary of the prudence model projections of changes in European climate by the end of this century. *Clim Change* 81:7–30
- Christensen, J. H., et al. (2007b), 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*, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K
- Christidis, N., Stott, P., Brown, S., Hegerl, G., Caesar, J., 2005. Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*, 32, L20716.
- Clayton, D. G. 1978. A model for association in bivariate life tables and its application in epidemiological studies in familial tendency in chronic disease incidence. *Biometrika*, 65:141–151.
- Climate Change Science Program CCSP. 2008. *Weather and Climate Extremes in a Changing Climate Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands*. U.S. Governments CCSP
- Coelho, C. A. S., Ferro, C. A. T., Stephenson, D. B., Steinskog, D. J. 2007. Methods for exploring spatial and temporal variability of extreme events in climate data. *J Clim*, 21, 2072–2092.



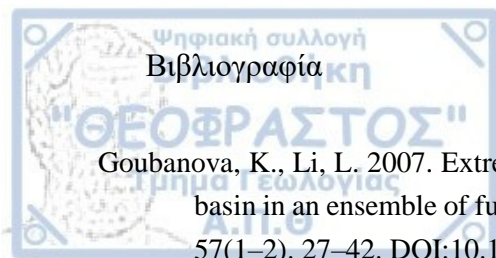
- Caesar, J., Alexander, L., Vose, R. 2006. Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111(D05101). DOI:10.1029/2005JD006280.
- Coles, S. 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values. *Springer Series in Statistics*, London.
- Coles, S. G. and Tawn, J. A., 1996. A Bayesian analysis of extreme rainfall data. *Applied Statistics*, 45(4), 463-478.
- Coles, S. G., and Pericchi, L. R., 2003. Anticipating catastrophes through extreme value modelling. *Applied Statistics*, 52, 405-16.
- Coles, S., Dixon, M.J., 1999. Likelihood-based inference for extreme value models. *Extremes*, 2(1), 5-23.
- Conti, F. L., Hsu, K. L., Noto, L. V., & Sorooshian, S. 2014. Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. *Atmospheric Research*, 138, 189-204.
- Cooley, D., Nychka, D., Naveau, P. 2007. Bayesian Spatial Modeling of Extreme Precipitation Return Levels. *Journal of the American Statistical Association* 102(479),824-840. DOI:10.1198/016214506000000780
- Core Team, R. (2018) R: a language and environment for statistical computing. In: R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Coumou, D. and Rahmstorf, S. 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2(7), 491-496. <https://doi.org/10.1038/nclimate1452>.
- Cullen, A. C., Frey, H. C., Frey, C. H. 1999. Probabilistic techniques in exposure assessment: a handbook for dealing with variability and uncertainty in models and inputs. *Springer Science & Business Media*.
- Dasari, H. P., Salgado, R., Perdigao, J., Challa, V. S. 2014. A regional climate simulation study using WRF-ARW model over Europe and evaluation for extreme temperature weather events. *International Journal of Atmospheric Sciences*, 2014.
- De Valk, C., 1993. Estimation of marginals from measurements and hindcast data. WL|Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands, Report H1700.
- Debuso, L. K. 2016. Bayesian modelling of summer daily maximum temperature data. *Proceedings of the 4th International Conference on Mathematical, Computational and Statistical Sciences (MCSS '16)*, Barcelona: 126-133. ISBN: 978-1-61804-367-2
- Deheuvels, P. 1978. Caractérisation complète des lois extrêmes multivariées et de la convergence des types extrêmes, *Publications de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris*, 23, 1-36
- Delaunay, B., 1934. Sur la sphère vide. A la mémoire de Georges Voronoi. *Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS, Classe des sciences mathématiques et naturelles*. 6,793-800
- Delrieu, G., Nicol, J., Yates, E., Kirstetter, P. E., Creutin, J. D., Anquetin, S., Obled, C., Saulnier, G. M., Ducrocq, V., Gaume, E., Payrastre, O., Andrieu, H., Ayral, P. A., Bouvier, C.,

- Neppel, L., Livet, M., Lang, M., Parent du-Châtelet, J., Walpersdorf, A., and Wobrock, W. 2005. The catastrophic flash-flood event of 8–9 September 2002 in the Gard Region, France: A first case study for the Cevennes–Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory, *J. Hydrometeor.*, 6, 34–52.
- Dickinson, R.E., Errico, R. M., Giorgi, F., Bates, G.T. 1989. A regional climate model for the western United States. *Clim Chang* 15:383–422
- Diebolt, J., Guillou, A., Naveau, P. Ribereau, P., 2008. Improving probability-weighted moment methods for the Generalized Extreme Value distribution. *REVSTAT-Statistical Journal*, 6(1), 33-50.
- Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E. I., Spyrou, N. I., Gogou, M. E., Deligiannakis, G., ... & Tsaprouni, K. 2019. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 33, 290-309.
- Dyrddal, A. V., Lenkoski, A., Thorarinsdottir, T. L., Stordal, F. 2015. Bayesian hierarchical modeling of extreme hourly precipitation in Norway. *Environmetrics*, 26(2): 89–106. DOI:10.1002/env.2301
- Eisner S, Voss F, Kynast E (2012). Statistical bias correction of global climate projections—consequences for large scale modeling of flood flows. *Advances in Geosciences* 31:75-82
- El Adlouni, S., Ouarda T. B. M. J., Zhang, X., Roy, R., Bobée, B. 2007. Generalized maximum likelihood estimators for the nonstationary generalized extreme value model. *Water Resour Res*, 43(3)
- Embrechts, P., Klüppelburg, C., and Mikosch, T., 1998. *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance*. Springer, New York.
- Fang, G., Yang, J., Chen, Y. N., & Zammit, C. 2015. Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2547-2559.
- Feddersen, H., Andersen, U. 2005. A method for statistical downscaling of seasonal ensemble predictions. *Tellus* 57A:398–408
- Feldstein, S. and Dayan, U. 2008. Circumglobal teleconnections and wave packets associated with Eastern Mediterranean precipitation, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 134, 455–467.
- Fisher, N. I. and Sen, P. K., editors 1994. *The collected works of Wassily Hoeffding* Springer, New York.
- Fisher, R. A., and Tippett, L. H. C. 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest and smallest member of a sample, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 24, 180–190.
- Fitzgerald, D. L., 1989. Single station and regional analysis of daily rainfall extremes. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 3, 281-292.
- Flaounas, E., Drobinski, P., Vrac, M., Bastin, S., Lebeaupin-Brossier, C., Stéfanon, M., ... & Calvet, J. C. (2013). Precipitation and temperature space–time variability and extremes in the

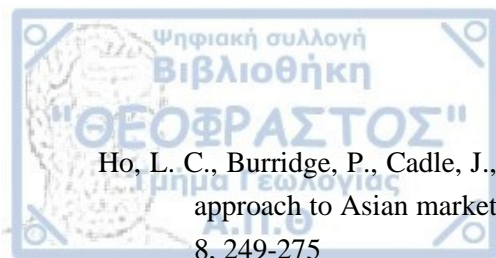


- Mediterranean region: evaluation of dynamical and statistical downscaling methods. *Climate dynamics*, 40(11-12), 2687-2705.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W. J., ... Forest C. 2013. Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. *Climate Change 2013*, 5:741-866
- Flocas, H. A., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Patrikas, I., Maheras, P., & Vafiadis, M. 2005. Evaluation of maximum and minimum temperature of NCEP-NCAR reanalysis data over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 80(1), 49-65.
- Fonseca, D., Carvalho, M. J., Marta-Almeida, M., Melo-Gonçalves, P., Rocha, A. 2016. Recent trends of extreme temperature indices for the Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, 66-76.
- Fréchet, M. 1951. Sur les tableaux de corrélation dont les marges sont données. *Ann. Univ. Lyon, Sect. A*, 9, 53-77.
- Francis, D., Hengeveld, D. 1998. Extreme weather and climate change. Canada Minister of Supply and Services, *Climate and Water Productions Division*, Ottawa.
- Frank, M. J. 1979. On the Simultaneous Associativity of $F(x, y)$ and $x + y - F(x, y)$. *Aequationes Mathematicae*, 19, 194-226.
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., Vidale, P. L. 2006. Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D6).
- Frich P, Alexander LV, Della-Marta P, Gleason B, Haylock M, Tank AMGK, Peterson T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate research*, 19, 193-212.
- Frigessi, A., Haug, O., and Rue, H. 2002. A dynamic mixture model for unsupervised tail estimation without threshold selection. *Extremes*, 5(3), 219-235.
- Furió, D. and Meneu, V. (2011) Analysis of extreme temperatures for four sites across peninsular Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 104(1-2), 83-99. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0324-5>.
- Galambos, J., 1987. The asymptotic theory of extreme order statistics. Malabar, Kreiger Publishing Co.
- Galambos, J., 1995. The development of the mathematical theory of extremes in the past half-century. *Theory of Probability and its Applications*, 39, 234-248.
- Gallego, M. C., García, J. A., & Vaquero, J. M. 2005. The NAO signal in daily rainfall series over the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 29(2), 103-109.
- Gao, X., Pal, J. S., Giorgi, F. 2006. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophysical Research Letters*, 33(3)

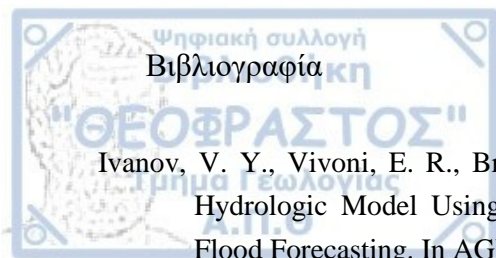
- García, J. A., Serrano, A., Gallego, M. C. 2002. A spectral analysis of Iberian Peninsula monthly rainfall. *Theoretical Applied Climatology*, 71,77–95.
- García, J., Gallego, M. C., Serrano, A., and Vaquero, J. 2007. Trends in block-seasonal extreme rainfall over the Iberian Peninsula in the second half of the twentieth century. *Journal of climate*, 20(1), 113-130.
- Genest, C. and Favre, A.-C. 2007. Everything you always wanted to know about copula modeling but were afraid to ask, *Journal of Hydrologic Engineering*, 12, 347–368, DOI:10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:4(347)
- Gilli, M., Këllezi, E., 2006. An Application of Extreme Value Theory for Measuring Financial Risk. *Computational Economics*, 27, 1, 1–23.
- Giorgi, F. 1990. Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model, *J.Climate*, 3, 941–963.
- Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophys Res Lett* 33(8):L08707. DOI: 10.1029/2006GL025734.
- Giorgi, F., and L. O. Mearns. 1999. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited, *J. Geophys. Res.*, 104, 6335–6352, 1999.
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L. and others. 2012. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim Res* 52:7–29.
- Giorgi, F., Jones, C., and Asrar, G. R. 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. World Meteorological Organization (WMO) *Bulletin*, 58(3), 175.
- Giorgi, F., M. R. Marinucci, G. T. Bates, and G. DeCanio. 1993c, Development of a second generation regional climate model (regcm2) ii: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2814–2832,
- Giorgi, F., M. R. Marinucci, and G. T. Bates. 1993b. Development of a second generation regional climate model (regcm2)i: Boundary layer and radiative transfer processes, *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2794–2813.
- GLOBAL CLIMATE CHANGE, Vital Signs of the Planet, NASA, <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Gomes, M. I., and Pestana, D. A., 2007. A study reduced bias extreme quantily (VaR) estimator. *Journal of the American Statistical Association*, 102(477), 280-292.
- Goodess, C. M., Anagnostopoulou, C., Bárdossy, A., Frei, C., Harpham, C., Haylock MR, ... Schmith, T. 2007. An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions—assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events. *Climatic Change*.
- Goodess, C. M., Jones, P. D. 2002. Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology*, 22, 1593–1615.
- Goodrich, D. C., Woolhiser, D. A., Keefer, T. O. 1991. Kinematic routing using finite elements on a triangular irregular network. *Water Resources Research*, 27(6), 995-1003.



- Goubanova, K., Li, L. 2007. Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. *Global and Planetary Change* 57(1–2). 27–42. DOI:10.1016/j.gloplacha.2006.11.012
- Gräler, B. (2014) Modelling skewed spatial random fields through the spatial vine copula. *Spatial Statistics*, 10, 87–102. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2014.01.001>.
- Griner, P. F., Mayewski, R. J., Mushlin, A. I. & Greenland, P. 1981. Selection and interpretation of diagnostic tests and procedures. *Annals of International Medicine*, 94, 553-600.
- Groisman, P. Ya., and Coauthors, 1999: Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climatic Change*, 42, 243–283.
- Gumbel, E. J. 1958. *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York
- Gumbel, E. J. 1960. Bivariate Exponential Distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 55, 698–707.
- Hadjinicolaou P, Giannakopoulos C, Zerefos C, Lange MA, Pashiardis S, Lelieveld J. 2011. Mid-21st century climate and weather extremes in Cyprus as projected by six regional climate models. *Reg Env Change* 11(3):441–457. DOI: 10.1007/s10113-010-0153-1
- Hammond, T., and Yarie, J. 1996. Spatial prediction of climatic state factor regions in Alaska. *Ecoscience*, 3(4), 490-501.
- Hanson, C., and Coauthors, 2007: Modelling the impact of climatic extremes: An overview of MICE project. *Climatic Change*, 81,
- Hawkins E, Osborne TM, Ho CK, Challinor AJ (2013) Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealised case study over Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170:19-31
- Hegerl, G., Zwiers, F., Stott, P., Kharin, V. 2004. Detectability of Anthropogenic Changes in Annual Temperature and Precipitation Extremes. *Journal of Climate*, 17, 3683–3700.
- Heikkilä, U., Sandvik, A., Sorteberg, A. 2011. Dynamical downscaling of ERA-40 in complex terrain using the WRF regional climate model. *Clim Dyn*, 37(7–8), 1551–1564. DOI: 10.1007/s00382-010-0928-6.
- Hertig, E., Seubert, S., Jacobeit, J. 2010. Temperature extremes in the Mediterranean area: trends in the past and assessments for the future. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(10): 2039–2050. DOI:10.5194/nhess-10-2039-2010
- Hidalgo-Muñoz, J. M., Argüeso, D., Gámiz-Fortis, S. R., Esteban-Parra, M. J., & Castro-Díez, Y. 2011. Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, 409(1-2), 497-511.
- Higgins, R. W., Leetmaa, A., Kousky, V. E. 2002. Relationships between climate variability and winter temperature extremes in the United States. *Journal of Climate*, 15(13), 1555-1572.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978.

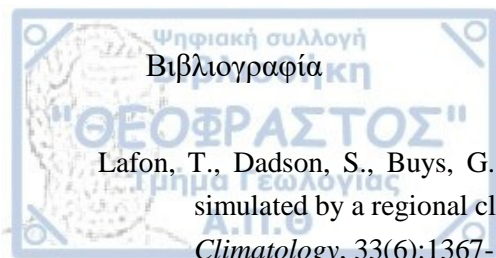


- Ho, L. C., Burridge, P., Cadle, J., Theobald, M., 2000. Value-at-risk: applying the extreme value approach to Asian markets in the recent financial turmoil. *Pacific Basin Finance Journal*, 8, 249-275
- Hofert M, Kojadinovic I, Maechler M, Yan J. 2018. copula: Multivariate Dependence with Copulas. R package version 0.999-19 URL <https://CRAN.R-project.org/package=copula>
- Hosking, J. R. 1984. Testing whether the shape parameter is zero in the generalized extreme-value distribution. *Biometrika*, 71(2), 367-374.
- Hosking, J. R. M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 52: 105-124
- Hosking, J. R. M., Wallis, J.R., 1997. Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments. Cambridge University Press: New York.
- Hulme, M., Conway, D., Joyce, A., Mulenga, H. 1996. A 1961-90 climatology for Africa 380 south of the equator and a comparison of potential evapotranspiration estimates. South 381 *African Journal of Science* 92(7): 334-343. ISSN 0038-2353
- Ines AVM, Hansen JW (2006) Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agric. For. Meteorol.* 138: 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.009>
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 582 pp.
- IPCC, 2018. Summary for policymakers. In: Masson-Delmotte V, et al, editors. Global warming of 1.5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization; 2018. p. 32 Available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_High_Res.pdf. This report is part of the sixth assessment cycle of the IPCC report, which specifically focus on the impacts of global warming of 1.5°C and is the basis of this publication
- Ivanov, V. Y., Vivoni, E. R., Bras, R. L., Entekhabi, D. 2004. Preserving high-resolution surface and rainfall data in operational-scale basin hydrology: a fully-distributed physically-based approach. *Journal of Hydrology*, 298(1-4), 80-111.

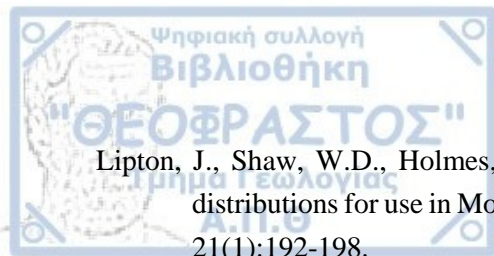


- Ivanov, V. Y., Vivoni, E. R., Bras, R. L., Entekhabi, D. 2001. Development of a Distributed Hydrologic Model Using Triangulated Irregular Networks for Continuous, Real-Time Flood Forecasting. In AGU Spring Meeting Abstracts.
- Irannezhad, M., Moradkhani, H., Kløve, B. 2019. Corrigendum to “Spatio-temporal Variability and Trends in Extreme Temperature Events in Finland over the Recent Decades: Influence of Northern Hemisphere Teleconnection Patterns”. *Advances in Meteorology*, 2019.
- Jacob, D., Bärring, L., Christensen, O. B., Christensen, J. H., De Castro, M., Deque, M., ... Kjellström, E. 2007. An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic change* 81(1), 31-52. DOI 10.1007/s10584-006-9213-4
- Jenkinson, A. F., 1955: The frequency distribution of the annual maximum (minimum) values of meteorological elements. *Quart. J. Roy Meteor. Soc.*, 18, 158–171.
- Jiang, S., and Kang, L. 2019. Flood frequency analysis for annual maximum streamflow using a non-stationary GEV model. In E3S Web of Conferences (Vol. 79, p. 03022). EDP Sciences.
- Johnson, F., and Sharma, A. 2012. A nesting model for bias correction of variability at multiple time scales in general circulation model precipitation simulations. *Water Resources Research*, 48(1).
- Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin, S., Rigor, I. G., 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37: 173–199.
- Joshi, S., Garbrecht, J., & Brown, D., 2019. Observed Spatiotemporal Trends in Intense Precipitation Events across United States: Applications for Stochastic Weather Generation. *Climate*, 7(3), 36.
- Kalnay et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470.
- Katz, R. W., Parlange, M. B., Naveau, P. 2002. Statistics of extremes in hydrology. *Advances in water resources*, 25, 1287–1304
- Kay, A. L., Jones, R. G., Reynard, N. S. 2006. RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of hydrology*, 318(1-4), 163-172.
- Kendrew, W. G., 1953: The climates of the Continents. Oxford: Oxford Univ. Press, 473 pp.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W. 2000. Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *J Clim* 13, 3760–3788.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., Wehner, M. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic change*, 119(2), 345-357.
- Kharin, V.V. and Zwiers, F.W., 2005: Estimating extremes in transient climate change simulations, *J. Climate* 18:1156–1173.
- Kioutsoukakis, I., Melas, D., Zerefos, C. 2010. Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002). *International Journal of Climatology*, 30(11), 1723-1737.

- Klein Tank, A. M. G. and Können, G. P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *Journal of climate*, 16(22), 3665-3680.
- Klein Tank, A.M.G. and Coauthors, 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. of Climatol.*, 22, 1441-1453. Data and metadata available at <http://www.ecad.eu>
- Köppen, W., 1936. Das geographische System der Klimate. In: Köppen W, Geiger R (eds) *Handbuch der Klimato - logie*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1–44.
- Kostopoulou, E., Jones, P. D. 2005. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89(1), 69-85.
- Kotroni, V., Lagouvardos, K., Defer, E. Dietrich, S. Porcu, F. Medaglia, C. M., Demirtas, M. 2006. The Antalya 5 December 2002 storm: Observations and model analysis, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 45, 576–590.
- Kotz, S., Nadarajah S 1999 Extreme values distribution, theory and applications. Imperial College Press, London
- Kovats, R. et al 2014. Europe. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.
- Kretschmer, M., Coumou, D., Agel, L., Barlow, M., Tziperman, E., Cohen, J. 2018. More-persistent weak stratospheric polar vortex states linked to cold extremes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(1), 49-60.
- Kretschmer, M., Coumou, D., Donges, J. F., Runge, J. 2016. Using causal effect networks to analyze different Arctic drivers of midlatitude winter circulation. *Journal of Climate*, 29(11), 4069-4081.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkeş, M., Luterbacher, J. 2010. Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37(4), L04802. DOI: 10.1029/ 2009GL041841.
- Kumler, M. 1994. An intensive comparison of triangulated irregular networks (TINs) and digital elevation models (DEMs). *Cartographica*, 31(2), 1.
- Kurtzman, D., Kadmon, R. 1999. Mapping of temperature variables in Israel: sa 451 comparison of different interpolation methods. *Climate Research* 13(1), 33-43. DOI: 452 10.3354/cr013033
- Kutiel H., Maheras P., Guika S., 1996. Circulation and extreme rainfall conditions in the eastern Mediterranean during the last century, *Int J Climatol*, 16, 73-92.
- Kysel, J. 2002. Comparison of extremes in GCM-simulated, downscaled and observed central-European temperature series. *Climate Research*, 20(3), 211-222.
- Kyselý, J., Picek, J., & Beranová, R. 2010. Estimating extremes in climate change simulations using the peaks-over-threshold method with a non-stationary threshold. *Global and Planetary Change*, 72(1-2), 55-68.



- Lafon, T., Dadson, S., Buys, G., Prudhomme, C. 2013. Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: a comparison of methods. *International Journal of Climatology*, 33(6):1367-1381.
- Laio, F. 2004. Cramer–von Mises and Anderson-Darling goodness of fit tests for extreme value distributions with unknown parameters. *Water Resources Research*, 40(9).
- Laurent, C., Parey, S. 2007. Estimation of 100-year-return-period temperatures in France in a non-stationary climate: Results from observations and IPCC scenarios. *Global and Planetary Change* 57(1–2), 177–188. DOI:10.1016/j.gloplacha.2006.11.008
- Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C., Skoulikaris, C., & Tolika, K. 2019. Bias Correction of Climate Model's Precipitation Using the Copula Method and Its Application in River Basin Simulation. *Water*, 11(3), 600.
- Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C., Skoulikaris, C., Tolika, K. 2018. Copula Bias Correction for Extreme Precipitation in Reanalysis Data over a Greek Catchment. *In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 7(1), 4.
- Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C., Tolika, K., Kolyva-Machera, F. 2019a. A review of statistical methods to analyze extreme precipitation and temperature events in the Mediterranean region. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(1-2), 99-117.
- Lazoglou, G., and Anagnostopoulou, C. 2017. An Overview of Statistical Methods for Studying the Extreme Rainfalls in Mediterranean. *In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings (Vol. 1, No. 5, p. 681)*.
- Leadbetter, M. R., Lindgren, G., Rootzen, H., 1983. *Extremes and Related Properties of Random Sequences and Series*. Springer Verlag, New York.
- Lee, S. H., Maeng, S. J. 2003. Frequency analysis of extreme rainfall using L-moment. *Irrigation and Drainage* 52(3), 219–230. DOI:10.1002/ird.090
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou P., Kostopoulou, E., Giannakopoulos, C., Tanarhte, M., Tyrllis, E. 2013. Model projected heat extremes and air pollution in the eastern Mediterranean and Middle East in the twenty-first century. *Reg Env Change*. DOI: 10.1007/s10113-013-0444-4.
- Li, Z., Zhu, C., and Gold, C. 2004. *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.
- Lima, C. H., Lall, U., Troy, T., Devineni, N. 2016. A hierarchical Bayesian GEV model for improving local and regional flood quantile estimates. *Journal of hydrology*, 541, 816-823.
- Lionello, P., Dalan, F., Elvini, E. 2002. Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled CO2 climate scenarios. *Clim Res* 22:147–159
- Lionello, P., et al., 2006. The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.), *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1–26.
- Lionello, P., Giorgi, F. 2007. Winter precipitation and cyclones in the Mediterranean region: future climate scenarios in a regional simulation. *Advances in Geosciences* 12,153-158.

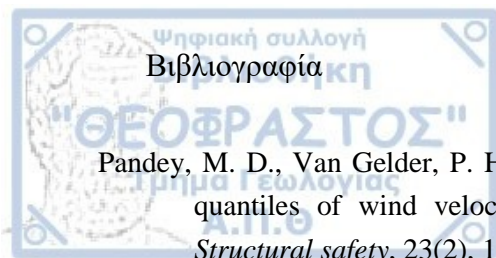


- Lipton, J., Shaw, W.D., Holmes, J., Patterson, A. 1995. Short communication: selecting input distributions for use in Monte Carlo simulations. *Regulatory toxicology and pharmacology*, 21(1):192-198.
- Liu, M., K. Rajagopalan, S. Chung, X. Jiang, J. Harrison, T. Nergui, A. Guenther, C. Miller, J. Reyes, and C. Tague. 2014. What is the importance of climate model bias when projecting the impacts of climate change on land surface processes? *Biogeosciences*, 11(10), 2601-2622.
- López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Kenawy, A., Beniston, M. 2011. Effects of the North Atlantic Oscillation (NAO) on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: observed relationships and projections for the 21st century. *Global and Planetary Change*, 77(1), 62-76.
- Lupo, A., Kininmonth, W. 2013. Global climate models and their limitations. *Climate change reconsidered II: Physical science*, 9-148.
- Lusted, Lee B. 1971. Signal detectability and medical decision-making. *Science* 171.3977 (1971): 1217-1219.
- Macias, D., Garcia-Gorritz, E., Dosio, A., Stips, A., & Keuler, K. 2018. Obtaining the correct sea surface temperature: bias correction of regional climate model data for the Mediterranean Sea. *Climate dynamics*, 51(3), 1095-1117.
- MacQuarrie, C. J., Cooke, B., & St-Amant, R. 2019. The predicted effect of the polar vortex of 2019 on winter survival of emerald ash borer and mountain pine beetle. *Canadian Journal of Forest Research*, (ja).
- Maharaj, E. A., Alonso, A. M., and D'Urso, P. 2015. Clustering seasonal time series using extreme value analysis: An application to Spanish temperature time series. *Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications*, 1(4), 175-191.
- Maheras, P., Flocas, A. H., Patrikas, I., Anagnostopoulou, C. 2001. A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution. *International Journal of Climatology*, 21, 109–130
- Maheras, P., Patrikas, I., Karacostas, T., Anagnostopoulou, C. 2000. Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theoretical and Applied Climatology* 67(3-4), 205-223
- Mao, G., Vogl, S., Laux, P., Wagner, S., Kunstmann, H. 2015. Stochastic bias correction of dynamically downscaled precipitation fields for Germany through Copula-based integration of gridded observation data. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(4),1787-1806
- Maraun, D. 2013. When will trends in European mean and heavy daily precipitation emerge? *Environmental Research Letters*, 8, 014004
- Maraun, D., and M. Widmann. 2015. The representation of location by a regional climate model in complex terrain. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19(8), 3449-3456.



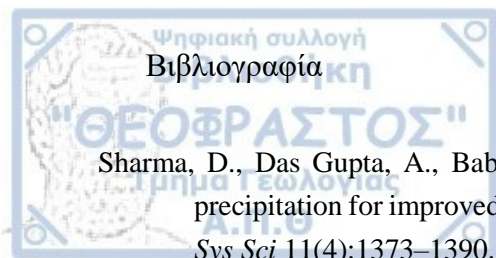
- Marcos, R., Llasat, M. C., Quintana-Seguí, P., Turco, M. 2018. Use of bias correction techniques to improve seasonal forecasts for reservoirs—A case-study in northwestern Mediterranean. *Science of the total environment*, 610, 64-74.
- Mariani, Stefano, Marco Casaioli, and Michela Calza. Forecast verification: a summary of common approaches, and examples of application. Univ. degli Studi di Trento, *Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale*, 2008
- Martin, E., Timbal, B., Brun, E. 1996. Downscaling of general circulation model outputs: simulation of the snow climatology of the French Alps and sensitivity to climate change. *Climate Dynamics*, 13(1), 45-56.
- Martins, E. S., and Stedinger, J. R. 2000. Generalized maximum-likelihood generalized extreme-value quantile estimators for hydrologic data. *Water Resources Research*, 36(3), 737-744.
- McGinnis, S., Nychka, D., Mearns, L.O. 2015. A New Distribution Mapping Technique for Climate Model Bias Correction. In Lakshmanan V., Gilleland E., McGovern A., Tingley M. (eds) *Machine Learning and Data Mining Approaches to Climate Science*. Springer, Cham
- McInnes, K. L., Hubbert, G. D. 1996. Extreme events and the impact of climate change on Victoria's coastline: report to EPA and Melbourne Water. Publication 488, Environment Protection Authority, Melbourne
- Mearns, L. O., Arritt, R., Biner, S., Bukovsky, M. S., McGinnis, S., ..., and Snyder, M. 2012: The North American Regional Climate Change Assessment Program: Overview of Phase I Results, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 1337–1362.
- Meehl GA, Stocker TF, Collins WD, ... Zhao ZC (2007) Global climate projections. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) *Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Meehl, G. A., J. M. Arblaster, and C. Tebaldi, 2005: Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18719, DOI:10.1029/2005GL023680.
- Metz, C. E. 1978, October. Basic principles of ROC analysis. In *Seminars in nuclear medicine*, WB Saunders, 8(4), 283-298.
- Min, S. K., Zhang, X., Zwiers, F. W., Hegerl, G. C. 2011. Human contribution to more intense precipitation extremes. *Nature* 470,378–381.
- Mitchell, J. F. B., Manabe, S., Meleshko, V., Tokioka, T. 1990. Equilibrium climate change and its implications for the future. In: Houghton, JL, Jenkins GJ, Ephraums JJ. (eds.) *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Contribution of Working Group 1 to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge: 137–164

- Mitchell, T. D., and Jones, P. D. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(6), 693-712.
- Montesarchio, M., Zollo, A. L., Bucchignani, E., Mercogliano, P., & Castellari, S. (2014). Performance evaluation of high-resolution regional climate simulations in the Alpine space and analysis of extreme events. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(6), 3222-3237.
- Nastos, P. T., Matzarakis, A. 2012. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(3-4), 591-599.
- Navarro-Racines CE, Tarapues-Montenegro JE, Ramírez-Villegas JA (2015) Bias-correction in the CCAFS-Climate. Portal: A description of methodologies. Decision and Policy Analysis (DAPA) Research Area. International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Cali, Colombia.
- Naveau, P., Guillou, A., Cooley, D., Diebolt, J., 2009. Modelling pairwise dependence of maxima in space. *Biometrika*, 96, 1–17.
- Nelsen, R. 1999. An Introduction to Copulas. New York: Springer.
- NCEP, National Center For Environmental Information, 2010, <https://www.ncdc.NCEP.gov/sotc/global/201002>.
- Nogaj, M., Yiou, P., Parey, S., Malek, F., Naveau, P. 2006. Amplitude and frequency of temperature extremes over the North Atlantic region. *Geophysical Research Letters* 33(10), 2–5. DOI: 10.1029/2005GL024251
- Oikonomou, C., Flocas, H. A., Hatzaki, M., Asimakopoulos, D. N., Giannakopoulos, C. 2008. Future changes in the occurrence of extreme precipitation events in eastern Mediterranean. *Global NEST Journal*, 10(2), 255-262.
- Olsson J, Berggren K, Olofsson M, Viklander M (2009) Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. *Atmospheric Research*, 92(3):364-375
- ÖnoI, B., & H.M. Semazzi, F. 2009. Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 22(8), 1944-1961.
- Pachauri, R. K., Reisinger A. Eds (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report, , Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC 104.
- Pal, J. S., E. E. Small, and E. A. B. Eltahir, 2000. Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM, *J. Geophys. Res.-Atmospheres*, 105(D24), 29,579– 29,594.
- Pal, J., Giorgi, F., Bi, X. 2004. Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections. *Geophysical Research Letters*, 31(13),4. doi: 10.1029/2004GL019836.



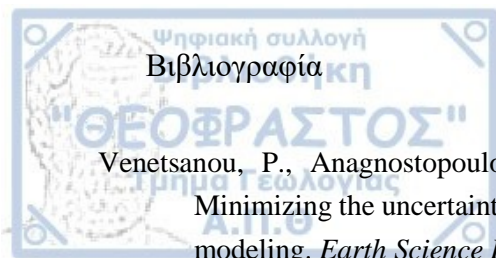
- Pandey, M. D., Van Gelder, P. H. A. J. M., & Vrijling, J. K. 2001. The estimation of extreme quantiles of wind velocity using L-moments in the peaks-over-threshold approach. *Structural safety*, 23(2), 179-192.
- Parey, S., Malek, F., Laurent, C., Dacunha-Castelle, D. 2007. Trends and climate evolution: statistical approach for very high temperatures in France. *Climatic Change*, 81(3-4), 331-352.
- Peckham, R. J., and Jordan, G. 2007. Digital terrain modelling: Development and applications in a policy support environment. Berlin: Springer
- Peterson, W. W. T. G., Birdsall, T., Fox, W. 1954. The theory of signal detectability. Transactions of the IRE professional group on information theory, 4(4), 171-212.
- Peucker, T.K. 1969. Some thoughts on optimal mapping and coding of surfaces. *Geography and the Properties of Surfaces*, Harvard Papers in Theoretical Geography, Number, 34, 1–11.
- Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., Mark, D. M. 1978. The triangulated irregular network. Proceedings of the digital terrain models (DTM) symposium, 516-540. (a severely abridged version of this paper, with the same title, appeared in the proceedings of auto carto IV 1979: 96-103.)
- Peucker, T. K., Fowler, R. J., Little, J. J., Mark, D. M. 1976. Digital representation of three-dimensional surfaces by triangulated irregular networks (TIN). In: Technical Report #10. Office of Naval Research (ONR) Geography: Programs. 63 p.
- Piani, C., and Haerter, J. O. 2012. Two dimensional bias correction of temperature and precipitation copulas in climate models. *Geophysical Research Letters*, 39(20).
- Piani, C., Haerter, J. O., Coppola, E. 2010. Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), 187-192.
- Pickands, J. 1975, "Statistical Inference Using Extreme Order Statistics,". *The Annals of Statistics*, 3, 119-131
- Rajczak, J., Pall, P. and Schär, C. 2013. Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 3610–3626.
- Ramírez J; Jarvis A. 2008. High-Resolution Statistically Downscaled Future Climate Surfaces. International Center for Tropical Agriculture (CIAT); CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Cali, Colombia.
- Räty, O., Räisänen, J., & Ylhäisi, J. S. 2014. Evaluation of delta change and bias correction methods for future daily precipitation: intermodel cross-validation using ENSEMBLES simulations. *Climate dynamics*, 42(9-10), 2287-2303.
- Reiss, R.-D., and Thomas, M., 2001. Statistical analysis of extreme values with applications to insurance, finance, hydrology and other fields, 2nd ed. Birkhäuser, Basel.
- Resnick, S. I., 1987. Extreme values, point processes and regular variation. Springer, Berlin.

- Rinaldi, A., Krajcinovic, D., Mastilovic, S. 2007. Statistical damage mechanics and extreme value theory. *International Journal of Damage Mechanics*, 16(1), 57-76.
- Rocco, M. 2014. Extreme value theory in finance: A survey. *Journal of Economic Surveys*, 28(1), 82-108.
- Roth M, Buishand TA, Jongbloed G, Klein Tank AMG, van Zanten JH (2014) Projections of precipitation extremes based on a regional, non-stationary peaks-over-threshold approach: A case study for the Netherlands and north-western Germany. *Weather and Climate Extremes* 4: 1–10. doi:10.1016/j.wace.2014.01.001
- Rowinski, P.M., Strupczewski, W.G., Singh, V.P., 2001. A note on the applicability of log-Gumbel and log-logistic probability distributions in hydrological analyses. *Hydrological Sciences Journal*, 47(1),101-122.
- Rueda, A., Vitousek, S., Camus, P., Tomás, A., Espejo, A., Losada, I. J., ... Mendez, F. J. 2017. A global classification of coastal flood hazard climates associated with large-scale oceanographic forcing. *Scientific reports*, 7(1), 5038.
- Ruffault, J., Martin-StPaul, N. K., Duffet, C., Goge, F., & Mouillot, F. (2014). Projecting future drought in Mediterranean forests: bias correction of climate models matters!. *Theoretical and applied climatology*, 117(1-2), 113-122.
- Ruti, P. M., Somot, S., Giorgi, F., Dubois, C., Flaounas, E., Obermann, A., ... Ahrens, B. 2016. MED-CORDEX initiative for Mediterranean climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(7), 1187-1208.
- Sánchez, E., Gallardo, C., Gaertner, M. A., Arribas, A., and Castro, M. (2004). Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. *Global and Planetary Change*, 44(1-4), 163-180.
- Scarsini, M. 1984. On measures of concordance, *Stochastica*, 8(3), 201– 218.
- Schär, C., Jendritzky, G. 2004. Climate change: hot news from summer 2003. *Nature*. 432(7017), 559–560. doi: 10.1038/432559a
- Schepsmeier U, Stoeber J, Brechmann EC, Graeler B, Nagler T, Erhardt T. 2018. VineCopula: Statistical Inference of Vine Copulas. R package version 2.1.8. <https://CRAN.R-project.org/package=VineCopula>
- Schoetter, R., Hoffmann, P., Rechid, D., & Schlünzen, K. H. 2012. Evaluation and bias correction of regional climate model results using model evaluation measures. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(9), 1670-1684.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics* 1978, 6(2), 461-464
- Scoccimarro E, Gualdi S, Bellucci A, Zampieri M, Navarra A. 2014. Heavy precipitation events over the Euro-Mediterranean region in a warmer climate: results from CMIP5 models. *Reg Environ Change* 16(3):595–602
- Scoccimarro, E. et al. Projected changes in intense precipitation over Europe at the daily and sub-daily time scales. 2015. *Journal of Climate* 28, 6193–6203 (2015).



- Sharma, D., Das Gupta, A., Babel, M. S. 2007 Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping river basin, Thailand. *Hydrol Earth Sys Sci* 11(4):1373–1390.
- Shrestha M (2015) Data analysis relied on linear scaling bias correction (V.1.0) Microsoft Excel file. 10.13140/RG.2.1.3365.8967.
- Shrestha M, Acharya SC, Shrestha PK (2017) Bias correction of climate models for hydrological modelling—are simple methods still useful? *Meteorological Applications*, 24(3): 531-539
- Sillmann, J., Kharin, V. V., Zhang, X., Zwiers, F. W., & Bronaugh, D. 2013. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(4), 1716-1733.
- Sklar, A. 1959. Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. *Publ. Inst. Statist. Univ., Paris* 8, 229–231.
- Smith, R. L., 1991. Max-stable processes and spatial extremes. Technical Report, University of North Carolina, USA. <http://www.stat.unc.edu/postscript/rs/spatex.pdf>.
- Smith, R. L., and Naylor, J. C., 1987. A comparison of Maximum Likelihood and Bayesian estimators for the three-parameter Weibull Distribution. *Applied Statistics*, 36, 358-369.
- Smitha, P. S., Narasimhan, B., Sudheer, K. P., Annamalai, H. 2018. An improved bias correction method of daily rainfall data using a sliding window technique for climate change impact assessment. *Journal of Hydrology*, 556, 100-118.
- Spackman, K. A. 1989. Signal detection theory: Valuable tools for evaluating inductive learning. In *Proceedings of the sixth international workshop on Machine learning* (pp. 160-163). Morgan Kaufmann.
- Stephenson, A., and Tawn, J., 2004. Bayesian inference for extremes: Accounting for the Three Extremal Types. *Extremes*, 7(4), 291-307.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J. et al. 2013. 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.
- Tabor K, Williams JW (2010) Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change. *Ecological Applications* 20(2):554–565. <http://ccr.aos.wisc.edu/publications/pdfs/globaldownscale.pdf>
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P., Lelieveld, J. 2015. Heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and Middle East using extreme value theory. *Climate Research*, 63(2), 99-113
- Taylor, K. E. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183-7192.
- Teutschbein, C., and J. Seibert. 2012. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456, 12-29. The Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), <http://www.knmi.nl/cms/content/79165>.

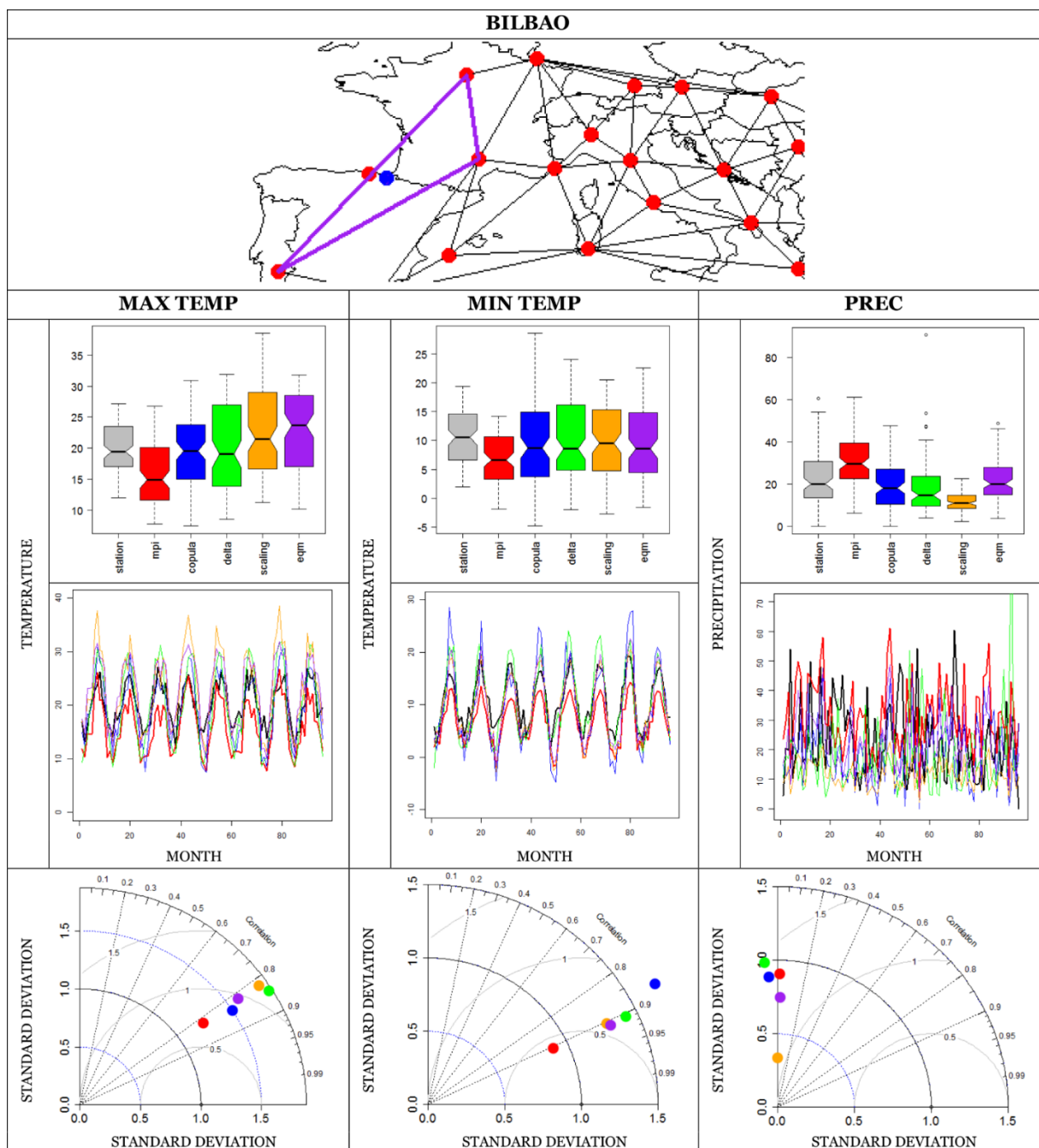
- Themel J. M., Gobiet A, Leuprecht A 2011. Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. *International Journal of Climatology*, 31(10):1530-1544
- Thrasher B, Maurer EP, Duffy PB, McKellar C (2012) Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth Systems Science* 16: 3309–3314. [https://doi.org/ 10.5194/hess-16-3309-2012](https://doi.org/10.5194/hess-16-3309-2012)
- Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Maheras, P., Kutiel, H. 2007. Extreme precipitation related to circulation types for four case studies over the Eastern Mediterranean, *Adv. Geosci.*, 12, 87–93. doi:10.5194/adgeo-12-87-2007.
- Tolika, K., Maheras, P., Pytharoulis, I., Anagnostopoulou, C. 2013. The anomalous low and high temperatures of 2012 over Greece: an explanation from a meteorological and climatological perspective. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*. 1(5), 4871-4890.
- Tolika, K., Zanis, P. and Anagnostopoulou, C. 2012. Regional climate change scenarios for Greece: future temperature and precipitation projections from ensembles of RCMs. *Global NEST Journal*, 14(4), 407–421.
- Tompkins, H. 2002. Climate change and extreme weather events—is there a connection? *Cicerone* 3, 1–5, available at www.cicero.uio.no/media/1862.pdf
- Toreti, A., Giannakaki, P., & Martius, O. (2016). Precipitation extremes in the Mediterranean region and associated upper-level synoptic-scale flow structures. *Climate dynamics*, 47(5-6), 1925-1941.
- Toreti, A., Xoplaki, E., Maraun, D., Kuglitsch, F. G, Wanner H, Luterbacher J. 2010. Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1037 – 1050.
- Trenberth, K. 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change* 42, 327–339.
- Trigo, I., Davies, T., Bigg, G. 1999. Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *Journal of Climate* 12,1685–1696.
- Tucker, G. E., Lancaster, S. T., Gasparini, N. M., Bras, R. L., Rybarczyk, S. M. 2001. An object-oriented framework for distributed hydrologic and geomorphic modeling using triangulated irregular networks. *Computers & Geosciences*, 27(8), 959-973.
- Vallebona, C., Pellegrino, E., Frumento, P., Bonari, E. 2015. Temporal trends in extreme rainfall intensity and erosivity in the Mediterranean region: a case study in southern Tuscany, Italy. *Climatic Change*, 128(1-2), 139-151.
- Van den Brink, H. W., Können, G. P., Opsteegh, J. D., 2005. Uncertainties in extreme surge level estimates from observational records. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363(1831), 1377–1386.



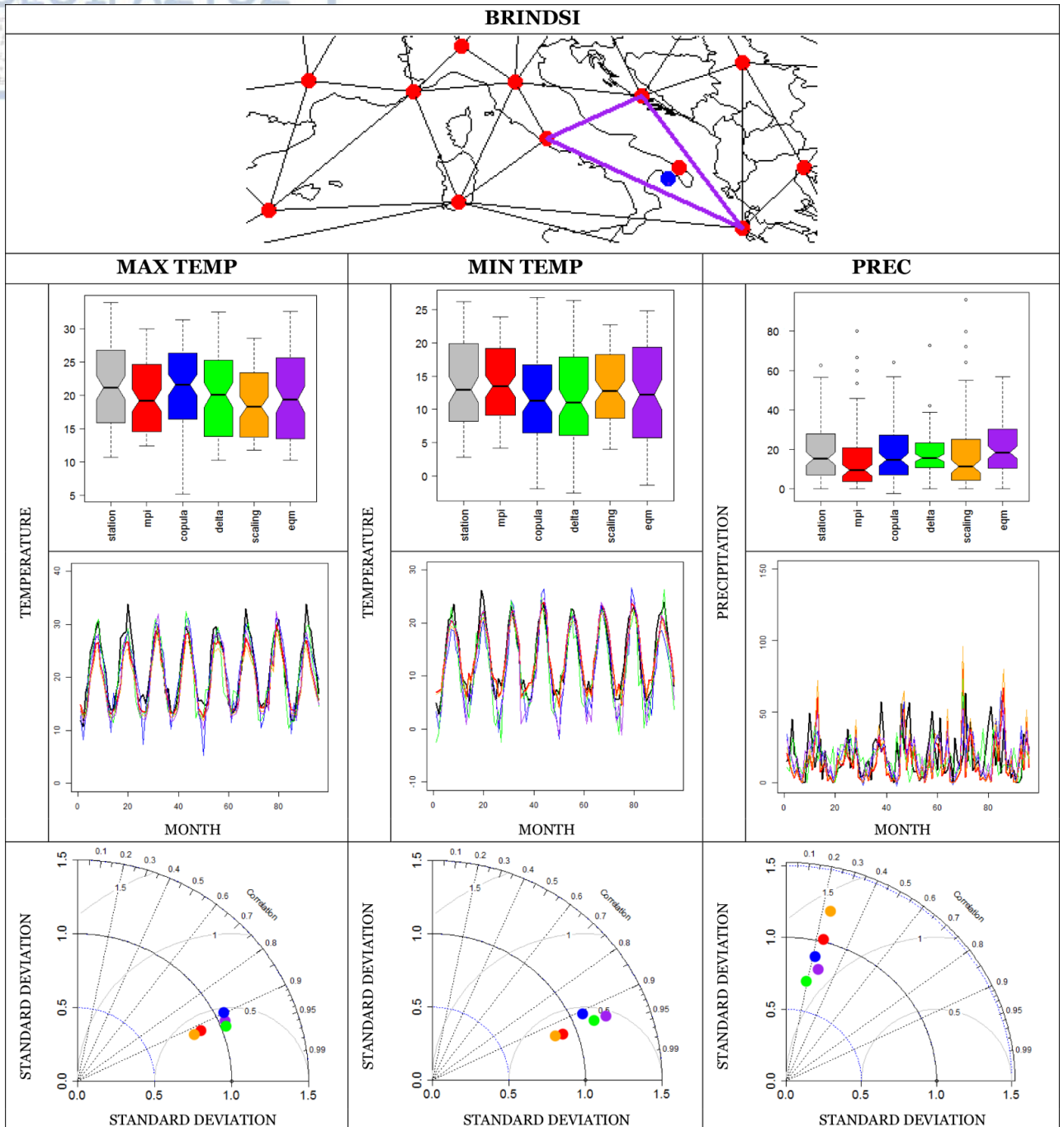
- Venetsanou, P., Anagnostopoulou, C., Loukas, A., Lazoglou, G., & Voudouris, K. 2019. Minimizing the uncertainties of RCMs climate data by using spatio-temporal geostatistical modeling. *Earth Science Informatics*, 12(2), 183-196.
- Vicente-Serrano, S. M., Trigo, R. M., López-Moreno, J. I., Liberato, M. L., Lorenzo-Lacruz, J., Beguería, S., ... & El Kenawy, A. 2011. Extreme winter precipitation in the Iberian Peninsula in 2010: anomalies, driving mechanisms and future projections. *Climate Research*, 46(1), 51-65.
- von Mises, R. 1954. La distribution de la plus grande de n valeurs. In Selected Papers, Volume II, pages 271–294. *American Mathematical Society*, Providence, RI.
- Vrac, M., and P. Friederichs. 2015. Multivariate—Intervariable, Spatial, and Temporal—Bias Correction. *Journal of Climate*, 28(1), 218-237.
- Walshaw, D., 1994. Getting the most from your extreme wind data: A step by step guide. *Journal of Research, National Institute of Standards and Technology*, 99, 399-411.
- Walshaw, D., 2000. Modeling extreme wind speeds in regions prone to hurricanes. *Applied Statistics*, 49, 51-62.
- Watanabe, S., Kanae, S., Seto, S., Yeh, P. J. F., Hirabayashi, Y., Oki, T. 2012 Intercomparison of bias-correction methods for monthly temperature and precipitation simulated by multiple climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D23).
- Wettstein, J. J., and Mearns, L. O. 2002. The influence of the North Atlantic–Arctic Oscillation on mean, variance, and extremes of temperature in the northeastern United States and Canada. *Journal of Climate*, 15(24), 3586-3600.
- Wilby, R. L., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TG CIA, 27. <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>
- Willmott, C. J., Robeson, S. M. 1995. Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *International Journal of Climatology*, 15(2): 221-229. DOI: 10.1002/joc.3370150207
- World Climate Research Program (WCRP), Weather and Climate Extremes, <https://www.wcrp-climate.org/gc-extreme-events>
- World Modeling Summit for Climate Prediction, 2008; http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/Workshops/ModellingSummit/Documents/FinalSummitStat_6_6.pdf
- Wu, B., & Wang, J. 2002. Winter Arctic oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon. *Geophysical Research Letters*, 29(19).
- Xu, Y. P., Zhang, X., Tian, Y. 2012. Impact of climate change on 24-h design rainfall depth estimation in Qiantang River Basin, East China. *Hydrological Processes*, 26(26), 4067-4077.

- Yuanchao Xu (2018). hyfo: Hydrology and Climate Forecasting. R package version 1.4.0. <https://CRAN.R-project.org/package=hyfo>
- Zhang, X., L. Alexander, G. C. Hegerl, P. Jones, A. K. Tank, T. C. Peterson, B. Trewin, and F. W. Zwiers. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, Vol. 2, No. 6, 2011, pp. 851-870.
- Zhang, Z., and Shinki, K. 2007. Extreme co-movements and extreme impacts in high frequency data in finance. *Journal of Banking & Finance*, 31(5), 1399-1415.
- Zhou, C., 2009. Existence and consistency of the Maximum Likelihood Estimator for the extreme value index. *Journal of Multivariate Analysis*, 100(4), 794-815.
- Zweig, M. H. and Campbell, G. 1993 Receiver operating characteristic (ROC) plots: A fundamental evaluation tool in clinical medicine, *Clinical Chemistry*, 39, 561±577.
- Zwiers, F. W., and Kharin, V. V. 1998. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO2 doubling. *Journal of Climate*, 11(9), 2200-2222.
- ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, για νέους, Κλιματική Αλλαγή, National Geographic, <https://www.inedivim.gr/images/ng-egkykpolaideia/ng-egkykpolaideia-perivalon-2-klimatiki-allagi.pdf>
- ΕΚΘΕΣΗ 2010-2011, ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (Ε.Υ.Ε.Π.), <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=LifXChvCP24%3D&tabid=367&language=el-GR>
- Μαχαίρας, Π. και Μπαλαφούτης, Χ., 1985. Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με στοιχεία Βιοκλιματολογίας. Θεσσαλονίκη: Γιαχούδη-Γιαπούλη.
- Φλόκα, Αθ. Αποστόλου καθηγητή Α.Π.Θ., 1997, «ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ», Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη

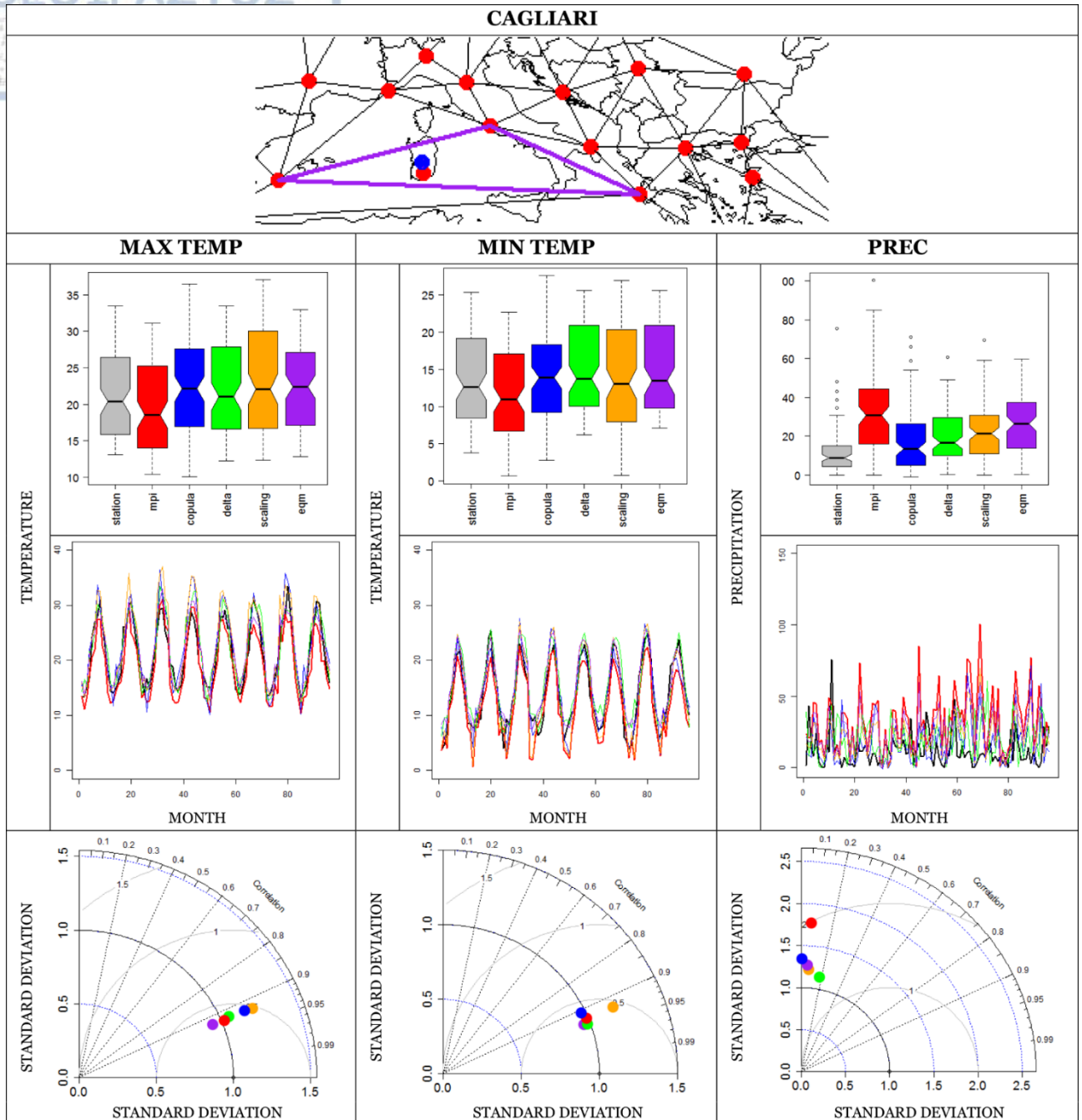




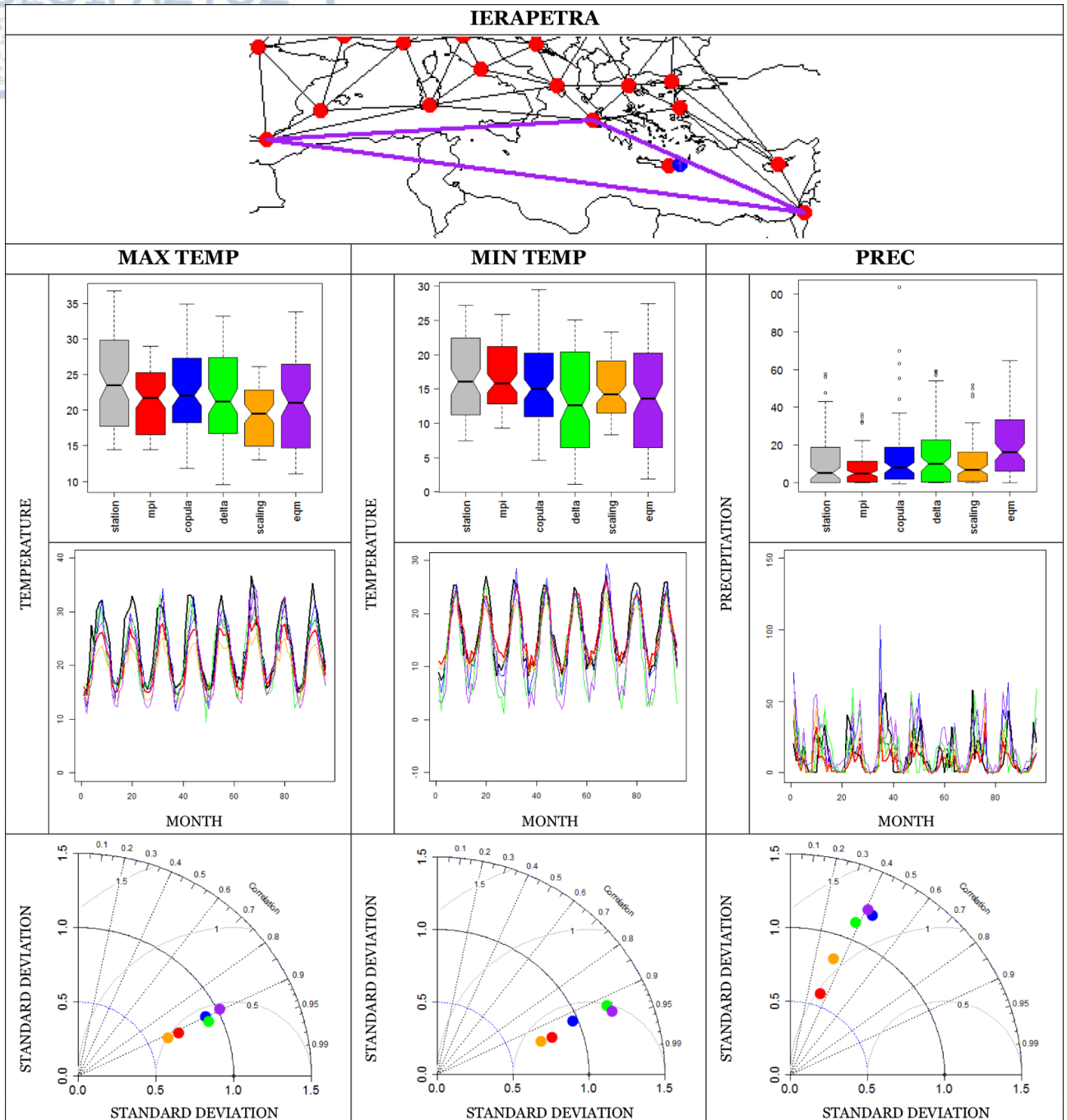
Σχήμα Π.1 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Bilbao. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Corpus, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



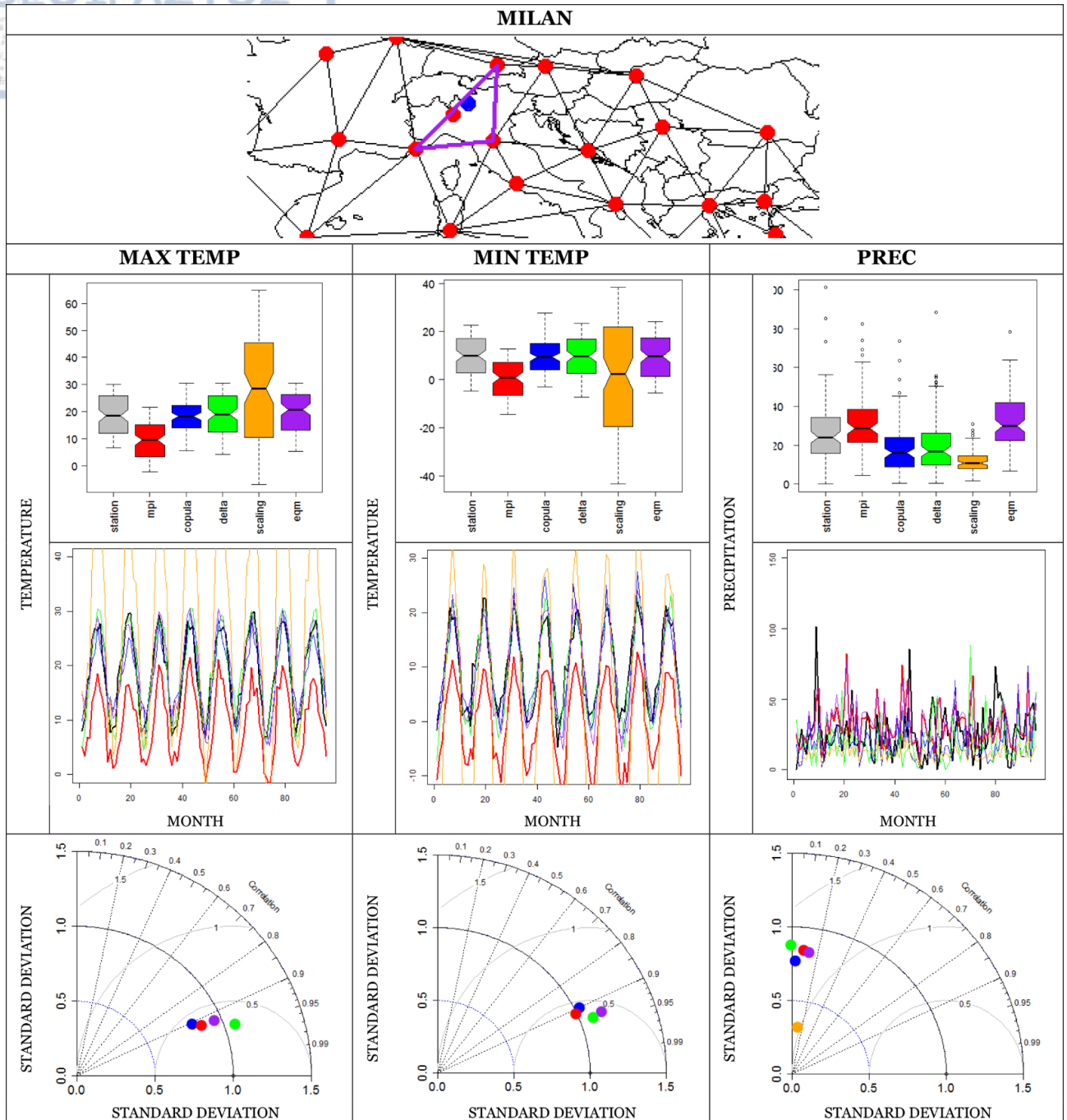
Σχήμα Π.2 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Brindisi. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



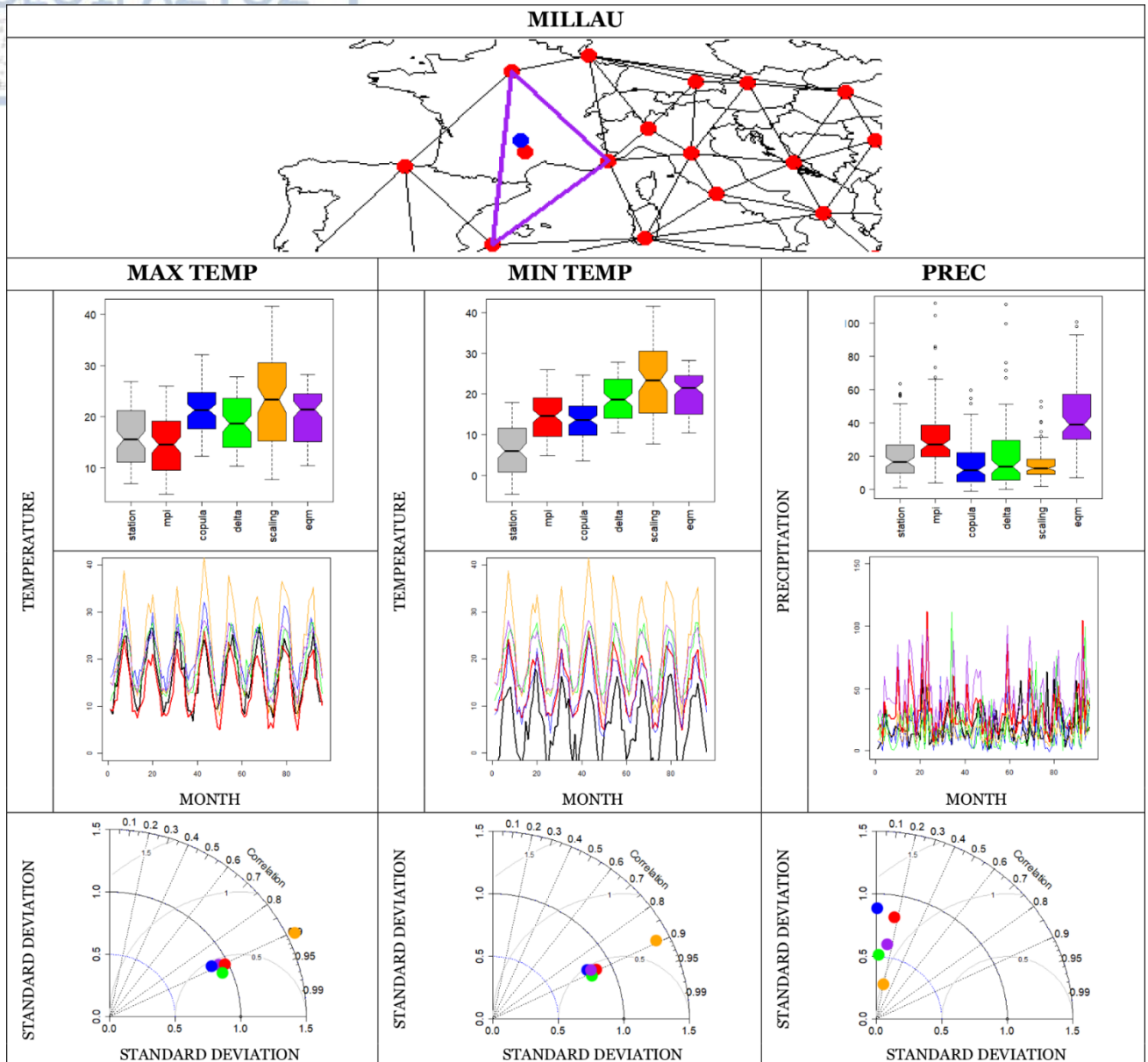
Σχήμα Π.3 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Cagliari. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Corula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



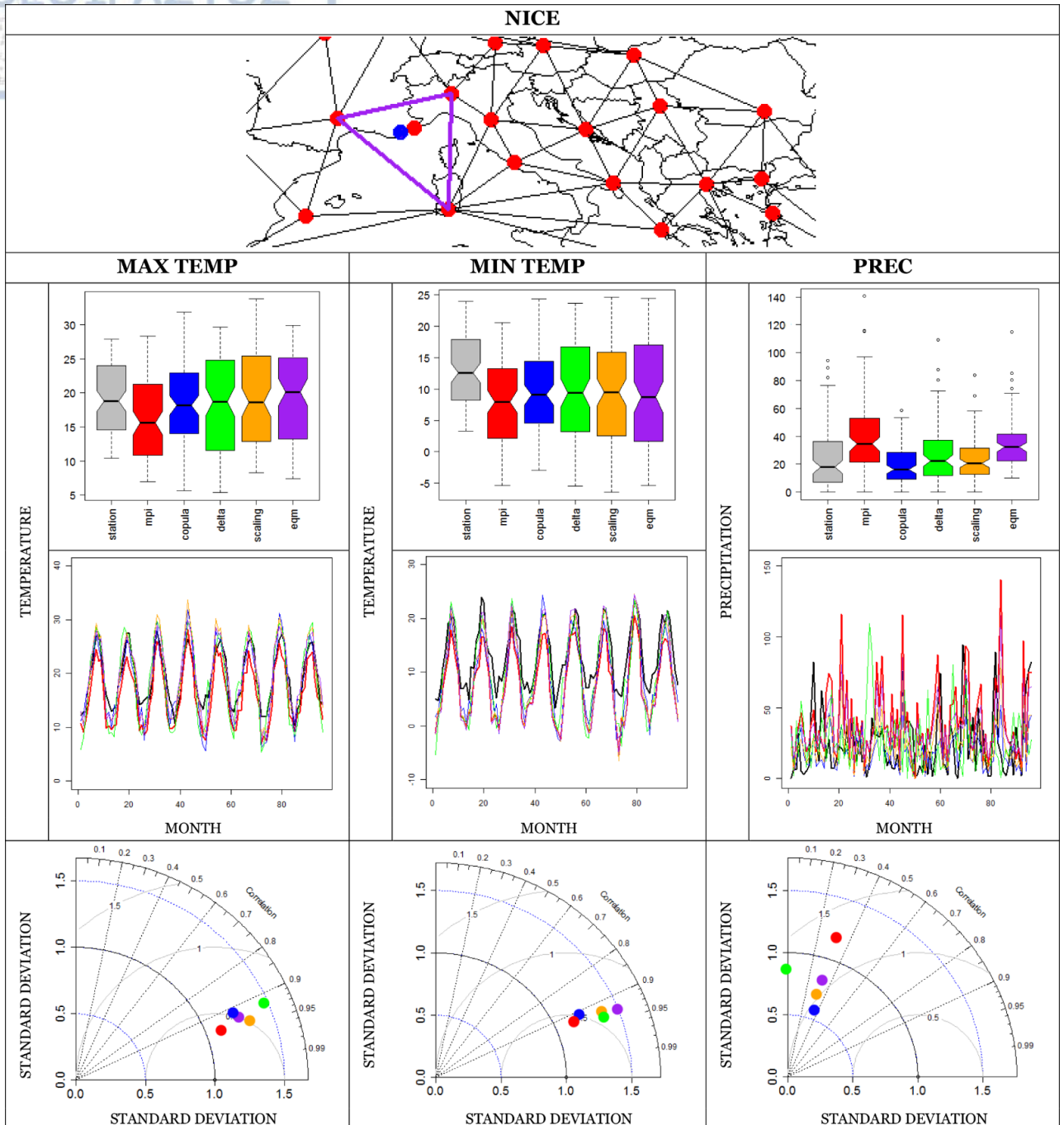
Σχήμα Π.4 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Ιεραιπετρα. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



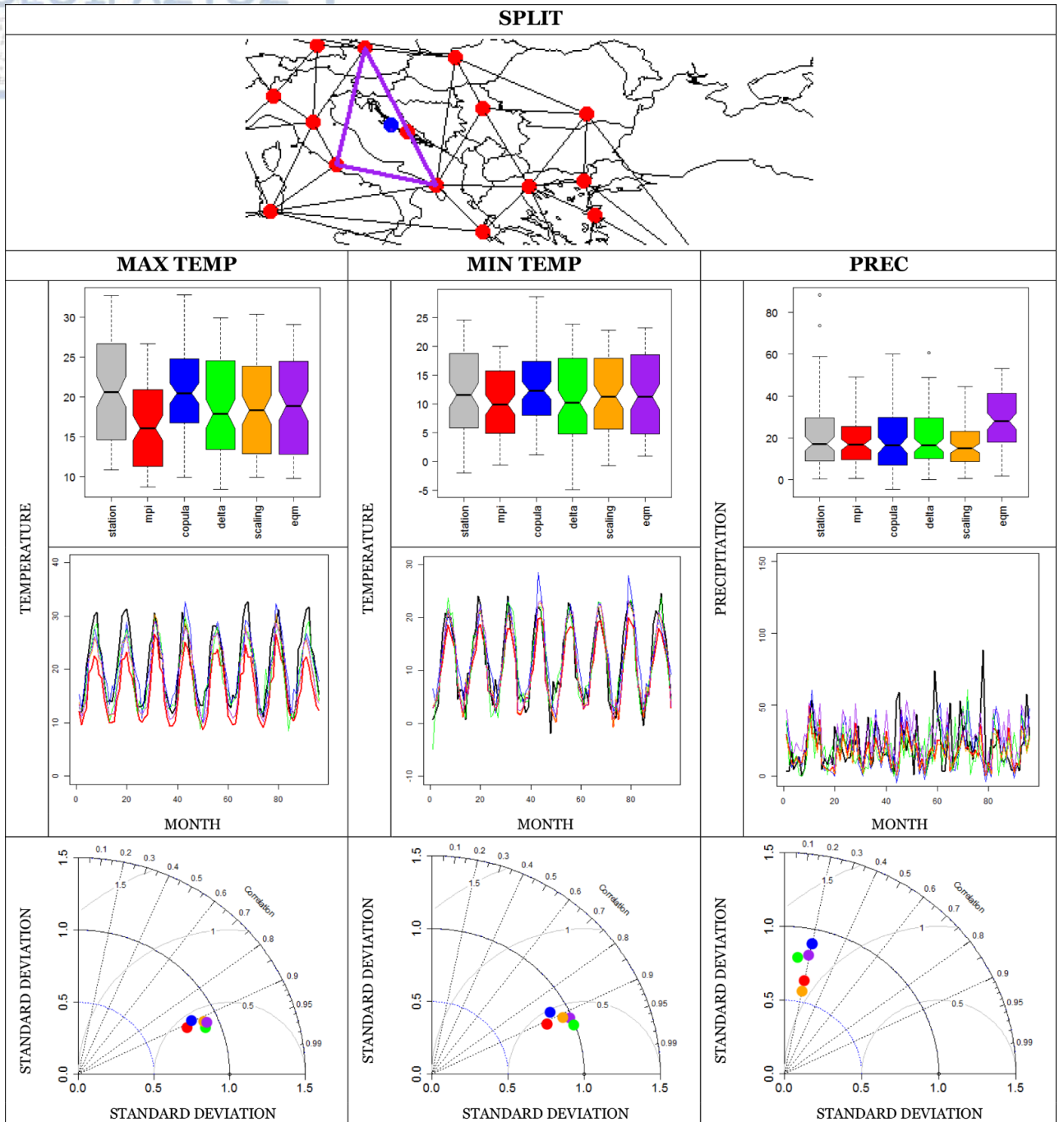
Σχήμα Π.5 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Milan. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



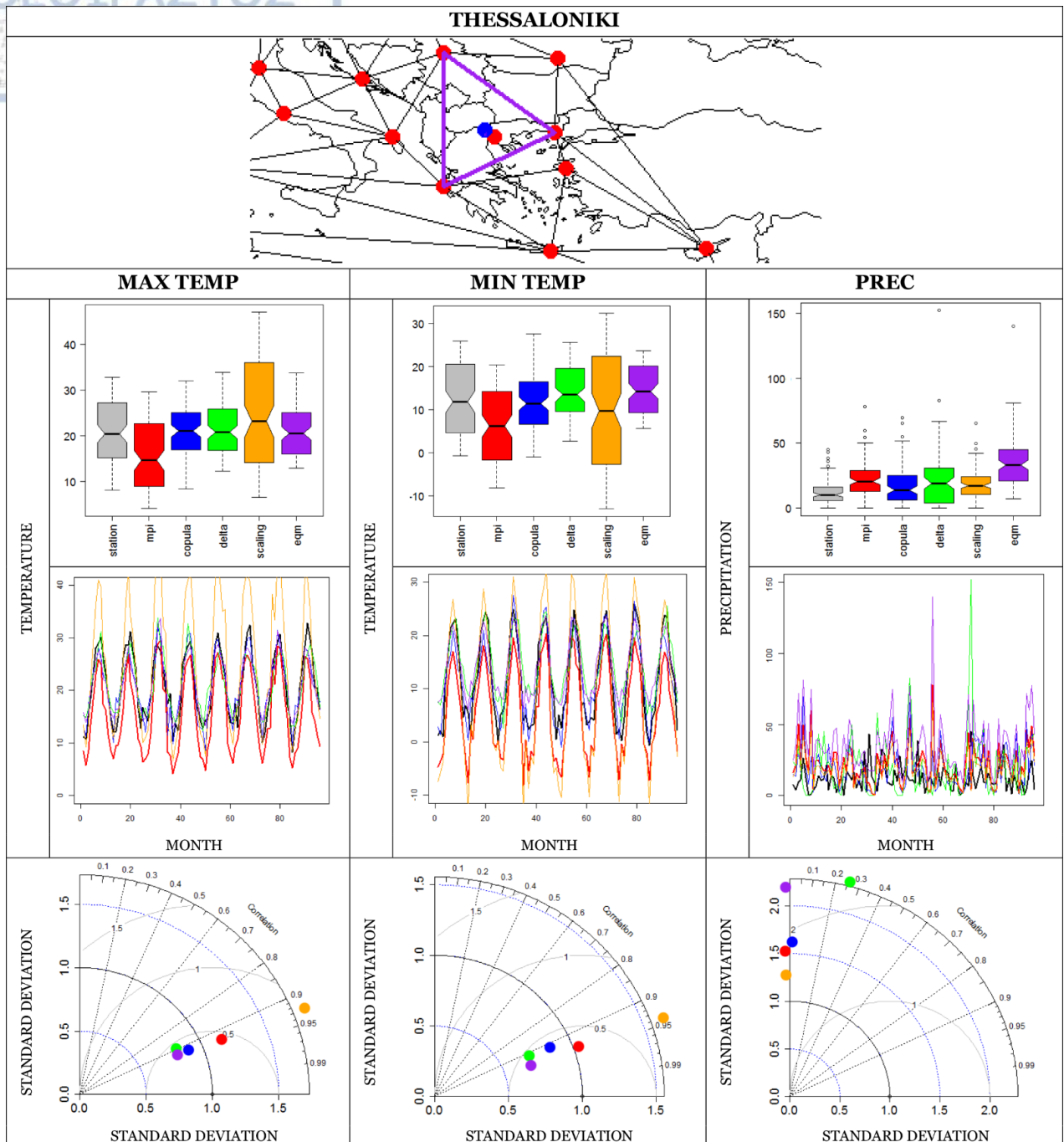
Σχήμα Π.6 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Millau. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



Σχήμα Π.7 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Nice. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



Σχήμα Π.8 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Split. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.



Σχήμα Π.9 Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για τον σταθμό Thessaloniki. Ο χάρτης παρουσιάζει τη θέση του σταθμού που αξιολογείται (κόκκινο σημείο), τον κοντινότερο κόμβο του μοντέλου RegCM4-MPI (μπλε σημείο) και το TIN τρίγωνο στο οποίο ανήκουν (μωβ τρίγωνο). Στα υπόλοιπα γραφήματα, κάθε μέθοδος περιγράφεται από ένα χρώμα: κόκκινο = RegCM4-MPI, μπλέ= TIN-Copula, πράσινο=Delta, πορτοκαλί = Scaling, μωβ=EQM.