

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση
ακραίων βροχοπτώσεων και παροχών
σε δείγμα 400 λεκανών απορροής των
ΗΠΑ από τη βάση δεδομένων MOPEX

Μαρία Νέζη

Επιβλέπων καθηγητής: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Δρ.
Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΙΠ ΕΜΠ
Υπεύθυνος καθηγητής: Μαμάσης Νίκος, Αν. Καθηγητής

Αθήνα Νοέμβριος 2018

Copyright © Μαρία Νέζη, 2018.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. 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 τον συγγραφέα.

What we observe is not nature itself,
but nature exposed to our method of questioning

Werner Heisenberg

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας αυτές τις γραμμές, φτάνει στο τέλος της η διπλωματική μου εργασία και ταυτόχρονα ολοκληρώνονται τα χρόνια φοίτησης μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Μέσα σε ένα κυκεώνα συναισθημάτων συνειδητοποιώ πως κλείνει το σημαντικότερο ως τώρα κεφάλαιο της ζωής μου. Αναλογιζόμενη, τον εαυτό μου ως μαθήτρια πριν έξι χρόνια και ως απόφοιτο μηχανικό σήμερα, αντιλαμβάνομαι το πόσο διαφορετική με έπλασε και με διαμόρφωσε αυτή η σχολή και κρίνω απαραίτητο να αναφερθώ στους ανθρώπους που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανέλιξη μου αυτή.

Αρχικώς, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, ΕΔΙΠ ΕΜΠ, για την ιδέα και ανάθεση αυτής της διπλωματικής. Χωρίς τη συνεχή καθοδήγηση αλλά και την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε, η ολοκλήρωση της οποίας θα ήταν αδύνατη. Το ακαδημαϊκό και προσωπικό του ήθος και η αγάπη του για τους φοιτητές τον καθιστά πρότυπο καθηγητή.

Εν συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω το πρώην κοσμήτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ και καθηγητή μου, και να εκφράσω τον θαυμασμό μου τόσο για το επιστημονικό του έργο όσο και για την διδακτική του προσφορά, κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη. Μέσα από την καθοδήγηση και προτροπή του, είχα την ευκαιρία να συμμετάσχω στο πρώτο μου συνέδριο το 2018 στην EGU με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα πάνω στην στοχαστική ανάλυση. Η συμμετοχή αυτή, μου έδωσε την δυνατότητα να αποκτήσω μια σφαιρικότερη αντίληψη πάνω έρευνες επιστημονικού περιεχομένου και αποτελεί μια από της σημαντικότερες εμπειρίες του κύκλου φοίτησης μου.

Ακόμα, αξίζει να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Μαμάση, αναπληρωτή καθηγητή ΕΜΠ για την ειλικρινή και εμπειρική τοποθέτηση του σε θέματα εκτός και εντός σχολής.

Στα πλαίσια της εργασίας σημαντικό ρόλο, είχε ο Γιάννης Τσουκαλάς (Υ.Δ.) που ήταν πάντα εκεί για τις απορίες μου και πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει.

Θα ήθελα ακόμα, να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Παναγιώτη Δημητριάδη για την αμέριστη συμβολή του στην παρουσίαση της μελέτης που παρουσιάστηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Στοχαστικές Μέθοδοι» στην EGU φέτος. Αποτελεί υπόδειγμα ανθρώπου και επιστήμονα για την άοκνη συμμετοχή του και συμβουλευτική του παρουσία τόσο σε θέματα εντός όσο και εκτός σχολής. Είναι πάντα εκεί για να ακούσει της απορίες και τις ανησυχίες των φοιτητών του, γεμάτος καινούριες ιδέες και όρεξη. Η παρουσία και ακαδημαϊκή προσφορά του συμβάλουν στην ανάδειξη της ποιότητας αυτού του ιδρύματος.

Σε προσωπικό επίπεδο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου σε όλα τα χρόνια της φοιτητικής μου πορείας, στα δύσκολα και ευκολά και που χωρίς εκείνους όλο αυτό το ταξίδι θα ήταν φτωχότερο, Γιάννη Τυπτιρή, Γεωργία Νικολακάκου και Γιώργο Πολλάκη. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω, τον καλό μου φίλο Χαράλαμπο Ντιγκάκη, για την αμέριστη συμπαράσταση και ανοχή που επέδειξε στις ιδιοτροπίες μου τα δύο τελευταία χρόνια. Θα ήθελα, ακόμα, να ευχαριστήσω τον Γιώργο Πουλιάση για την συνεχή έμπνευση που μου πρόσφερε και για την στήριξη του στις στιγμές απογοήτευσης και ανησυχίας που πέρασα.

Τέλος, το πιο μεγάλο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου, στον πατέρα μου Παναγιώτη, την μητέρα μου Γεωργία και τον αδερφό μου Γιώργο για την αγάπη, την υπομονή και την πίστη που μου έδειξαν και που χωρίς εκείνους τίποτα από όλο αυτά δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί. Η στάση ζωής και φιλοσοφίας τους αποτέλεσε κίνητρο και πρότυπο για εμένα, που μου έδωσε τη απαραίτητη δύναμη που χρειαζόμουν για να συνεχίσω. Τους ευχαριστώ για όλα.

Μαρία Νέζη

Αθήνα, 2018

Περίληψη

Η ανάλυση των ακραίων βροχοπτώσεων απαιτεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση με υψηλά επίπεδα αβεβαιότητας. Η πιο διαδεδομένη πιθανοτική κατανομή που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις ετήσιες μέγιστες τιμές βροχόπτωσης είναι η Γενικευμένη Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ). Βασισμένη στην θεωρία ακραίων τιμών, η ΓΚΜ κατανομή, συμπτύσσει τρεις οικογένειες ασυμπτωτικών κατανομών, (α) την κατανομή Gumbel Τύπου I, (β) την κατανομή Fréchet Τύπου II και (γ) την κατανομή Weibull Τύπου III.

Η διάταξη των ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων επηρεάζεται από πληθώρα παραγόντων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εξετάζουμε την επιρροή που έχει η εδαφική υγρασία, εκφρασμένη σε συσσωρευμένη βροχόπτωση πριν από την εκδήλωση των ετήσιων ακραίων τιμών βροχής και απορροής. Αυτή η στατιστική ανάλυση εφαρμόζεται σε 400 λεκάνες απορροής στην Αμερική και χρησιμοποιεί την Γενικευμένη Ακραίων Τιμών προσαρμοσμένη από την μέθοδο L-ροπών, σε μια προσπάθεια εκτίμησης των στατιστικών παραμέτρων των δειγμάτων των μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων, απορροών και συναθροισμένων βροχοπτώσεων.

Στην στατιστική μελέτη, το χρονικό βήμα προηγούμενης ημερήσιας βροχόπτωσης εκτιμάται σε ποικίλα χρονικά βήματα, ξεκινώντας από πέντε έως τριάντα ημέρες πριν των ακραία παρατήρηση. Αυτή η ανάλυση επικεντρώνεται στην αναζήτηση συσχετίσεων μεταξύ των δειγμάτων και στην αναζήτηση εκείνης της συναθροισμένης χρονοσειράς βροχόπτωσης με την μεγαλύτερη στατιστικά επίπτωση πάνω στις ετήσιες τιμές μέγιστης βροχόπτωσης και απορροής.

Επιπλέον, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των L-ροπών, η έρευνα εξάγει την Γενικευμένη Ακραίων Τιμών για τα παραπάνω δείγματα, έχοντας ως στόχο την καλύτερη ερμηνεία της στατιστική τους συσχέτισης και των στατιστικών τους συμπεριφορών. Επικεντρωνόμαστε στην συμπεριφορά της παραμέτρου σχήματος της κατανομής ΓΑΤ, για να ανιχνεύσουμε ποια από τις τρεις οικογένειες ασυμπτωτικών κατανομών ταιριάζει καλύτερα στα δείγματα των μεταβλητών μας. Φαίνεται πως τα δείγματα μας προσεγγίζονται καλύτερα από την κατανομή Fréchet (ΓΑΤ Τύπου II).

Τέλος, ερευνάται η επιρροή των ιδιαίτερων υδροκλιματικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής πάνω στις στατιστικές παράμετρος της ΓΑΤ κατανομής και του συντελεστή συσχέτισης. Μέσω της δημιουργίας χωρικών πιθανοτικών χαρτών, επιδιώκουμε να παρατηρήσουμε και αναλύσουμε με έναν πιο σφαιρικό τρόπο την μεταβλητότητα αυτών των στατιστικών παραμέτρων.

Abstract

The analysis of extreme rainfalls requires a multidimensional approach with a high level of uncertainty. The most commonly used probabilistic distribution for describing the annual maxima of daily rainfall is the Generalized Extreme Value (GEV) distribution. Based on the extreme value theory, the GEV distribution combines the three limiting types family distribution (a) Gumbel Type I, (b) Fréchet Type II and (g) Weibull Type III.

The regime of the annual maximum rainfall variable is effected by myriad of factors. In this diploma thesis we investigate the influence of soil moisture, as it is expressed by the observed accumulative daily rainfall before the extreme rainfall and streamflow scenarios occurred. This analysis is performed in 400 catchments in USA and uses the Generalized extreme value distribution fitted by the methods of L-moments, in an attempt to calculate the statistical parameters of the extreme annual rainfall, cumulative rainfall and extreme annual streamflow time series.

In this statistical study, the temporal range of previous daily rainfall data is initially estimated in various time steps, starting from five until thirty days before the extreme observation. The analysis focuses on the correlation coefficient between the time series and which of the accumulated rainfall has the strongest statistical impact upon the maximum annual rainfall and streamflow time series.

Additionally, by using the L-moment method, the study extracts the generalized extreme distribution for these time series, aiming to better understand the statistical correlation between them and their statistical behavior. We focus on the behavior of the shape parameter of the GEV distribution for detecting which of the previous extreme value distributions fits better to the specific sample of variables. Its seems that our samples are better approached by the Fréchet distribution.

In the end, we research the effectiveness of the catchment's hydroclimatic and geographical characteristics upon the statistical parameters of the GEV distribution and correlation coefficient. By creating spatial probabilistic maps, we observe the vulnerability of the statistical parameters in a more spherical way.

Περιεχόμενα

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Εισαγωγή..... | 15 |
| 1.1 | Γενικές πληροφορίες | 15 |
| 1.2 | Αντικείμενο της εργασίας..... | 15 |
| 1.3 | Διάρθρωση της εργασίας | 16 |
| 2 | Θεωρητικό υπόβαθρο..... | 18 |
| 2.1 | Θεωρία ακραίων τιμών..... | 18 |
| 2.2 | Θεμελιώδες θεώρημα των Fisher-Tippett..... | 19 |
| 2.3 | Γενικευμένη εξίσωση μεγίστων – GEV | 21 |
| 2.4 | L-ροπές..... | 23 |
| 2.5 | Προσαρμογή γενικευμένης κατανομής μεγίστων με μέθοδο L-ροπών . | 26 |
| 3 | Υπολογιστικά εργαλεία..... | 29 |
| 3.1.1 | Λογισμικό «Υδρογνώμων» | 29 |
| 3.1.2 | R Software..... | 30 |
| 3.1.3 | R Studio | 31 |
| 4 | Βάση δεδομένων MOPEX | 33 |
| 4.1 | Συλλογή δεδομένων | 33 |
| 4.2 | Πηγή δεδομένων MOPEX | 33 |
| 4.2.1 | Γενικές Πληροφορίες..... | 33 |
| 4.2.2 | Δεδομένα | 34 |
| 4.3 | Διόρθωση και επεξεργασία δεδομένων..... | 36 |
| 4.4 | Τελική επιλογή λεκανών απορροής | 39 |
| 4.4.1 | Υδροκλιματικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής | 39 |
| 4.4.2 | Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά | 42 |
| 5 | Μεθοδολογία..... | 43 |
| 5.1 | Υπολογιστική διαδικασία..... | 43 |
| 5.2 | Παράδειγμα ανάλυσης δειγμάτων λεκάνης απορροής..... | 45 |
| 5.2.1 | Κατανομή μέγιστων βροχοπτώσεων | 46 |
| 5.2.2 | Κατανομές αθροιστικών βροχοπτώσεων για τις ετήσιες ακραίες βροχοπτώσεις | 48 |
| 5.2.3 | Κατανομή ακραίων απορροών..... | 50 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.4 | Κατανομές αθροιστικών βροχοπτώσεων για τις ετήσιες ακραίες απορροές | 51 |
| 5.2.5 | Συσχέτιση ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων με τις αθροιστικές χρονοσειρές Δt προηγούμενων ημερών βροχής | 53 |
| 5.2.6 | Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με τις αθροιστικές χρονοσειρές Δt προηγούμενων ημερών βροχής | 54 |
| 6 | Συγκεντρωτικά αποτελέσματα | 56 |
| 6.1 | Σύνοψη αναλύσεων | 56 |
| 6.2 | Κατανομές μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων | 57 |
| 6.3 | Κατανομές μέγιστων ετήσιων απορροών | 59 |
| 6.4 | Κατανομές αθροιστικής βροχόπτωσης | 61 |
| 6.5 | Ανάλυση χρονικού εύρους αθροιστικής βροχόπτωσης | 62 |
| 6.5.1 | Περίπτωση ακραίας ετήσιας βροχόπτωσης | 62 |
| 6.5.2 | Περίπτωση ακραίας ετήσιας απορροής | 64 |
| 6.6 | Χωρικές αναλύσεις | 67 |
| 6.6.1 | Χάρτες χωρικής κατανομής | 68 |
| 6.6.2 | Επιρροή της θερμοκρασίας | 71 |
| 6.6.3 | Επιρροή γεωγραφικού πλάτους | 74 |
| 7 | Συμπεράσματα | 77 |
| 7.1 | Σύνοψη εργασίας | 77 |
| 7.2 | Συμπεράσματα | 77 |
| 7.3 | Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα | 79 |
| 8 | Βιβλιογραφία | 81 |
| 8.1 | Ιστοσελίδες | 85 |
| 9 | Παράρτημα 1 ^ο : Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν | 86 |

Πίνακας Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 2.1: Γενικευμένη κατανομή μεγίστων με αρνητική τιμή της παραμέτρου σχήματος γ | 27 |
| Εικόνα 2.2: Γενικευμένη κατανομή μεγίστων με διορθωμένη τιμή της παραμέτρου σχήματος γ | 28 |
| Εικόνα 3.1: Περιβάλλον λογισμικού "Υδρογνώμων" | 30 |
| Εικόνα 3.2: Περιβάλλον εργασίας R studio | 32 |
| Εικόνα 4.1 Γεωγραφική κατανομή των λεκανών απορροής σύμφωνα με την MOPEX (Πηγή: https://mygeodata.cloud/) | 36 |
| Εικόνα 4.2: Γεωγραφική κατανομή τελικού δείγματος λεκανών απορροής (Πηγή: https://mygeodata.cloud/) | 38 |
| Εικόνα 4.3: Μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση (mm) για το σύνολο των 423 λεκανών απορροής | 40 |
| Εικόνα 4.4: Μέση ετήσια απορροή (mm) για το σύνολο των 299 λεκανών απορροής | 40 |
| Εικόνα 4.5: Συντελεστής απορροής για τις 299 λεκάνες τις βάσης MOPEX..... | 41 |
| Εικόνα 4.6: Χάρτης γεωγραφικής μεταβλητότητας μέσης ετήσιας θερμοκρασίας | 41 |
| Εικόνα 4.7: : Γεωμορφολογικός χάρτης Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής | 42 |
| Εικόνα 5.1: Γεωγραφικά σύνορα λεκάνης με κωδική ονομασία 10301500 (Πηγή: https://mygeodata.cloud/) | 45 |
| Εικόνα 5.2: Γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής με κωδική ονομασία 10301500 (Πηγή: https://mygeodata.cloud/) | 46 |
| Εικόνα 5.3: Προσαρμογή κατανομής GEV στις ακραίες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής 10301500..... | 47 |
| Εικόνα 5.4: Προσαρμογή κατανομής GEV στις ακραίες ετήσιες τιμές απορροής της λεκάνης 10301500..... | 50 |
| Εικόνα 6.1: Μεταβολή μέσης τιμής της παραμέτρου σχήματος της GEV κατανομής για διαφορετικά δείγματα χρονοσειρών (Πηγή: Papalexiou and Koutsoyiannis, 2013)..... | 57 |
| Εικόνα 6.2: Ιστόγραμμα διορθωμένης παραμέτρου σχήματος γ της GEV κατανομής για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 423 λεκανών απορροής. 58 | |
| Εικόνα 6.3: Ιστόγραμμα παραμέτρου θέσης της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 423 λεκανών απορροής..... | 59 |
| Εικόνα 6.4: Ιστόγραμμα παραμέτρου κλίμακας της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 423 λεκανών απορροής..... | 59 |
| Εικόνα 6.5: Ιστογράμματα συσχέτισης μέγιστης ετήσιας απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση | 66 |
| Εικόνα 6.6: Ιστογράμματα συσχέτισης μέγιστης ετήσιας απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση | 67 |
| Εικόνα 6.7: Χωρική κατανομή της παραμέτρου θέσης της GEV κατανομής ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων | 74 |

Πίνακας Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 4.1: Κωδικοί λεκανών που δεν ελήφθησαν υπόψη στην ανάλυση των ακραίων τιμών βροχόπτωσης..... | 37 |
| Πίνακας 4.2: Κωδικοί λεκανών με ελλείψεις στις καταγραφές των ημερήσιων απορροών | 38 |
| Πίνακας 4.3: Κωδικοί λεκανών με ελλείψεις στην καταγραφή της έκτασης των λεκανών απορροής | 38 |
| Πίνακας 5.1: Στατιστικές παράμετροι κατανομής GEV | 47 |
| Πίνακας 5.2: Διορθωμένες τιμές στατιστικών παραμέτρων κατανομής GEV | 47 |
| Πίνακας 5.3: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων | 47 |
| Πίνακας 5.4: Στατιστικές παράμετροι κατανομής GEV για τις 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης | 49 |
| Πίνακας 5.5: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος των 6 χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης | 49 |
| Πίνακας 5.6: Στατιστικές παράμετροι κατανομής GEV για το δείγμα των μέγιστων ετήσιων απορροών | 51 |
| Πίνακας 5.7: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος μέγιστων ετήσιων απορροών | 51 |
| Πίνακας 5.8: Στατιστικοί παράμετροι κατανομής GEV για τις 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης συμπεριλαμβανομένης την ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της ετήσιας απορροής | 51 |
| Πίνακας 5.9: Στατιστικοί παράμετροι κατανομής GEV για τις 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης μη συμπεριλαμβανομένης την ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της ετήσιας απορροής | 51 |
| Πίνακας 5.10: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος των 6 χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης συμπεριλαμβανομένης της ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της απορροής..... | 52 |
| Πίνακας 5.11: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος των 6 χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης μη συμπεριλαμβανομένης της ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της απορροής..... | 52 |
| Πίνακας 5.12: Συντελεστής συσχέτισης Pearson για την μέγιστη ετήσια βροχόπτωση και τις αθροιστικές χρονοσειρές βροχόπτωσης | 53 |
| Πίνακας 5.13: Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με τις Δt προηγούμενες ημέρες βροχόπτωσης | 54 |
| Πίνακας 5.14: Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με την αθροιστική χρονοσειράς βροχόπτωσης συμπεριλαμβανομένης την ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή | 54 |
| Πίνακας 5.15: Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με την αθροιστική χρονοσειράς βροχόπτωσης με εξαίρεση της ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Πίνακας 6.1: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των στατιστικών παραμέτρων της κατανομής GEV για τις χρονοσειρές αθροιστικών βροχοπτώσεων | 62 |
| Πίνακας 6.2: Μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης ακραίων ετήσιων απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων ημερών σε σχέση με το ποσοστό ψυχρότητας της λεκάνης | 72 |

Πίνακας Διαγραμμάτων

| | |
|--|----|
| Διάγραμμα 6.1: Συσχέτιση μέγιστων συσχετίσεων πλημμυρικής απορροής και Δt προηγούμενων ημερών πριν με το ποσοστού ψυχρών ημερών των λεκανών απορροής | 72 |
| Διάγραμμα 6.2: Συσχέτιση της παραμέτρου κλίμακας με το ποσοστού ψυχρών ημερών των λεκανών απορροής | 73 |
| Διάγραμμα 6.3: Συσχέτιση της παραμέτρου θέσης με το ποσοστού ψυχρών ημερών των λεκανών απορροής | 73 |
| Διάγραμμα 6.4: Συσχέτιση στατιστικών παραμέτρων κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις: (αριστερά) παράμετρος θέσης, (δεξιά) παράμετρος κλίμακας..... | 74 |
| Διάγραμμα 6.5: Συσχέτιση παραμέτρου θέσης κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις με το γεωγραφικό πλάτος των λεκανών απορροής | 75 |
| Διάγραμμα 6.6: Συσχέτιση παραμέτρου κλίμακας κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις με το γεωγραφικό πλάτος των λεκανών απορροής | 75 |
| Διάγραμμα 6.7: Συσχέτιση των στατιστικών παραμέτρων θέσης και κλίμακας της κατανομής GEV των ακραίων ετήσιων απορροών με το γεωγραφικό πλάτος των λεκανών απορροής | 76 |

1. Εισαγωγή

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικές πληροφορίες

Αποτελεί γενική ομολογία πως ο σύγχρονος κόσμος έρχεται αντιμέτωπος καθημερινά με ακραία και απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα. Παρόλα τα πολυπληθή πλεονεκτήματα της σύγχρονης τεχνολογικής έξαρσης και της συνεχής οικονομικής, κοινωνικής και τεχνολογικής ευημερίας των κοινωνιών μας, ακόμα κρινόμαστε αδύναμοι μπροστά στην πιθανότητα εκδήλωσης κάποιου ακραίου φαινομένου.

Η αύξηση στην πυκνότητα και συχνότητα των ακραίων καιρικών συνθηκών αποφέρουν καταστροφικές επιπτώσεις όχι μόνο στην ανθρώπινη κοινότητα αλλά και στο ίδιο το οικοσύστημα που την περιβάλλει. Κυρίαρχη θέση στην πληθώρα των καιρικών αυτών συμβάντων διεκδικεί το φαινόμενο της πλημμύρας. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με το γραφείο μείωσης του κινδύνου καταστροφών των Ηνωμένων Πολιτειών (United Nations Office for Disaster Risk Reduction 2015), τα πλημμυρικά επεισόδια από το 1995 είναι υπεύθυνα για τον θάνατο 157 000 ανθρώπων, και έχουν επηρεάσει περίπου στα 2.3 δισεκατομμύρια κατοίκους. Ακόμα, σε οικονομικό επίπεδο, έχουν αποφέρει τεράστιες οικονομικές απώλειες της τάξεως των 2.3 δισεκατομμυρίων αμερικανικών δολαρίων οφειλόμενες σε καταστροφές σπιτιών, περιουσιών και καταστροφές του ίδιου του περιβάλλοντος. (Moustakis, 2017).

Κρίνεται εξαιρετικά σημαντικό και αποτέλεσε προτροπή για την υλοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας η προσπάθεια για καλύτερη κατανόηση και ερμηνείας της φύσης αυτών των καταστροφικών φαινομένων. Η φύση των αιτιών και συνθηκών κάτω από τις οποίες υλοποιούνται αυτές οι υδρολογικές διεργασίες, έχουν πολυδιάστατο χαρακτήρα, με σημαντικές αβεβαιότητες και απαιτούν την εφαρμογή πολυκριτηριακής επιστημονικής ανάλυσης για την εξαγωγή αξιόπιστων και ποιοτικών αποτελεσμάτων.

Η προσπάθεια για την κατανόηση και διερεύνηση των υδρολογικών χαρακτηριστικών παίρνει μορφή στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας μέσω της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης των ακραίων βροχοπτώσεων και απορροών, σε ένα δείγμα τετρακοσίων λεκανών απορροής ευρισκόμενων στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι, μεταξύ άλλων, η εκτίμηση και επιρροή της εδαφικής υγρασίας στα ακραία φαινόμενα κατακρήμνισης και πλημμυρικής απορροής. Η επιρροή της εδαφικής υγρασίας λαμβάνεται υπόψιν με την μορφή μια αθροιστικής χρονοσειράς βροχής για ένα χρονικό εύρος Δt που συνέβη πριν την καταγραφή της ακραίας ετήσιας τιμής της. Οι χρονοσειρές

1. Εισαγωγή

που επεξεργάζονται και αναλύονται για την επίτευξη του παραπάνω στόχου αντιστοιχούν σε δεδομένα παρατηρήσεων βροχής και ποτάμια απορροής σε λεκάνες απορροής που ανήκουν στην εδαφική επικράτεια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.

Η μεθοδολογία της στατιστικής ανάλυσης εν συντομία μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις επιμέρους ενότητες. Η πρώτη αφορά την συλλογή, επεξεργασία και διόρθωση των χρονοσειρών βροχής και απορροής από την πηγή δεδομένων MOPEX και η εκλογή του επιθυμητού μήκους χρονοσειράς για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Η δεύτερη ενότητα αφορά στην ανάλυση των στατιστικών χαρακτηριστικών, των δομών συσχέτισης καθώς και την προσαρμογή της γενικευμένης κατανομής μεγίστων μέσω της μέθοδο των L-ροπών στις εξαχθέντες χρονοσειρές ακραίων βροχοπτώσεων, απορροών και αθροιστικών βροχοπτώσεων.

Η τελευταία ενότητα αφορά στην καθολική εφαρμογή της διαδικασίας για το σύνολο των λεκανών απορροής της βάσης δεδομένων MOPEX και την εξαγωγή των συγκεντρωτικών συνοπτικών πινάκων και διαγραμμάτων με τις στατιστικές παραμέτρους των δειγμάτων που εξετάζονται. Ακόμα, διερευνάται η επιρροή των υδροκλιματικών και γεωμορφολογικών ιδιοτεροτήτων της κάθε λεκάνης στα τελικά αποτελέσματα μέσω της δημιουργίας χαρτών χωρικής κατανομής διαφόρων υδροκλιματικών και στατιστικών μεγεθών.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κεντρικός στόχος της παρούσας έρευνας είναι η λεπτομερής διερεύνηση της επιρροής της εδαφικής υγρασίας στις εμφάνιση των ακραίων πλημμυρικών απορροών και βροχοπτώσεων. Η στατιστική διερεύνηση των παραπάνω διαμορφώνεται και αναλύεται στην παρούσα διπλωματική εργασία στο διάστημα των 7 κεφαλαίων και ενός Παραρτήματος των οποίων δίνεται μια συνοπτική αιτιολογική οριοθέτηση ως εξής:

Με τον παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο επιδιώκεται μια σύντομη απεικόνιση της σύγχρονων κλιματολογικών συνθηκών μέσα από παραδείγματα και ιστορικές παρατηρήσεις που οδηγούν στο τελικό κίνητρο αλλά και αρχική παρότρυνση σύλληψης της παρούσας διπλωματικής θέσης.

Στο Κεφάλαιο 2, ανατέμνεται το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης που εφαρμόστηκε. Παραδίδονται παραδείγματα και ορισμοί με σκοπό την εναργή κατανόηση και ερμηνεία της μεθοδολογίας και των συμπερασμάτων που θα παρατεθούν στη συνέχεια.

Στο Κεφάλαιο 3, αναπτύσσονται τα υπολογιστικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν. Η ανάγκη εφαρμογής της προαναφερθείσας στατιστικής ανάλυσης σε μια πληθώρα δειγμάτων κατέστησε θεμελιώδη την ανάγκη

1. Εισαγωγή

εξοικείωσης και χρήσης ενός προγραμματιστικού περιβάλλοντος. Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε η επιλογή του προγραμματιστικού περιβάλλοντος της R Software, κυρίως λόγω της ευκολίας εξάσκησης της και των υπεράφθων δυνατοτήτων της σε επίπεδο στατιστικής ανάλυσης.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των δεδομένων που αναλύθηκαν. Περιγράφεται η πηγή προέλευσης των δεδομένων και οι δυσκολίες που ανέκυψαν κατά την διαδικασία διαλογής τους. Τελικώς, παρουσιάζονται οι τελικές λεκάνες απορροής που επιλέχθηκαν, με κριτήριο την ποιότητα και αξιοπιστία των χρονοσειρών τους και εκτίθενται τα ιδιαίτερα υδροκλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους, με την μορφή χαρτών.

Στο Κεφάλαιο 5, εισάγονται τα αρχικά στάδια ανάπτυξης της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Αναλυτικότερα, παρουσιάζεται με την μορφή βημάτων η διαδικασία που εφαρμόστηκε όπως αυτή οριοθετείται στα πλαίσια δημιουργίας κώδικα στην γλώσσα προγραμματισμού R. Στη συνέχεια, η μεθοδολογία αυτή εφαρμόζεται πιλοτικά για μία λεκάνη απορροής, για την οποία δίνονται πλήρη αποτελέσματα των αναλύσεων. Ειδικότερα, γίνεται η περιγραφή των χρονοσειρών μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων, απορροών και αθροιστικών βροχοπτώσεων που επιλέχθηκαν, και παρατίθενται χάρτες, ιστογράμματα και πίνακες που δίνουν μια πρώιμη εικόνα των στατιστικών παραμέτρων και κατανομών των χρονοσειρών για την δεδομένη λεκάνη απορροής.

Στο Κεφάλαιο 6, η προαναφερθείσα μεθοδολογία εφαρμόζεται καθολικά, μέσω της χρήσης κώδικα στο περιβάλλον της R Software για όλο το δείγμα των επιλεγθέντων λεκανών απορροής. Παρουσιάζονται οι τελικοί συνοπτικοί πίνακες και χάρτες με τις στατιστικές παραμέτρους των λεκανών και προκύπτουν κάποια αρχικά συμπεράσματα για το σύνολο των δειγμάτων.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης των λεκανών απορροής, εξετάζεται η επιρροή των ιδιαίτερων υδροκλιματικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών πάνω στα τελικά μεγέθη, και διατυπώνονται προτάσεις για τη μετεξέλιξη της έρευνας.

Τέλος, στο Παράρτημα 1 παρατίθενται όλοι οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη με την κωδική τους ονομασία και την γεωγραφική τους θέση.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Θεωρία ακραίων τιμών

Οι ακραίες τιμές σε μία κατανομή πιθανότητας εκφράζουν είτε εξαιρετικά υψηλές τιμές της κατανομής είτε εξαιρετικά ελάχιστες. Αυτά τα ακρότατα αποτυπώνονται στις «ουρές» των πιθανοτικών κατανομών που αντιμετωπίζονται μαθηματικά μέσω της θεωρίας ακραίων τιμών.

Η θεωρία των ακραίων τιμών ή αλλιώς ανάλυση της ακραίας τιμής (Extreme value analysis - EVA) είναι ένας κλάδος της στατιστικής που ασχολείται με τις ακραίες αποκλίσεις από των μέσο όρο των κατανομών πιθανότητας. Ο βασικός στόχος της θεωρίας ακραίων τιμών είναι η επιδίωξη της πρόβλεψης από ένα δείγμα τυχαίων μεταβλητών της πιθανότητας να εμφανιστούν εκείνες οι τιμές του δειγμάτων με τις πιο ακραίες τιμές από οποιαδήποτε άλλη παρατηρούμενη τιμή του δείγματος. (Κοκαλάκης κ.ά., 2009)

Σε πιο απλοποιημένη διατύπωση, στοχεύει στον προσδιορισμό του ρίσκου εμφάνισης αυτών των ακροτάτων και στην αποτύπωσή του με την μορφή πιθανότητας. Η θεωρία αυτή των ακραίων τιμών μπορεί να διαιρεθεί σε δύο μέρη: (α) το πιθανοθεωρητικό μέρος που αφορά τη μελέτη της στοχαστικής συμπεριφοράς ακραίων παρατηρήσεων και (β) στο στατιστικό μέρος που αποτελείται από μοντέλα ερμηνείας, εκτιμήσεων και προβλέψεων ακραίων συμβάντων με βάση πραγματικά δεδομένα.

Η πρώτη προσέγγιση της θεωρίας των ακραίων τιμών έγινε από τον Leonard Tippett (1902-1985) στην προσπάθειά του να βελτιώσει την ανθεκτικότητα του βαμβακιού κάνοντας τις ίνες τους ισχυρότερες για χάρη του British Cotton Industry Research Association. Κατά την διάρκεια της ερευνάς του συνειδητοποίησε πως η αντοχή του νήματος εξαρτάται από την αντοχή που έχουν οι πιο αδύναμες ίνες του. Με την βοήθεια του R. A. Fisher, ο Tippett πήρε τρία ασυμπτωτικά όρια που περιέγραφαν την κατανομή των ακραίων υποθέτοντας πως οι μεταβλητές που χρησιμοποίησε ήταν εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Αργότερα το 1958, ο Emil Julius Gumbel κωδικοποίησε αυτή τη θεωρία στο βιβλίο του «Statistics of Extremes», όπου και συμπεριέλαβε την κατανομή Gumbel, η οποία έφερε το όνομα του.

Η ανάλυση της ακραίας αξίας βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς κλάδους, όπως στη μηχανική, στην οικονομία, την αστρονομία, στις γεωλογικές επιστήμες κτλ. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν την μοντελοποίηση και μακροπρόθεσμη πρόβλεψη εμφανίσεων ακραίων συμβάντων όπως τυφώνες, έντονες χιονοπτώσεις, μεγάλες πλημμύρες, πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά επίπεδα στάθμης των υδάτων σε ποτάμια ή λίμνες είτε ακόμα και εξαιρετικά μεγάλες ζημιές και αποζημιώσεις σε

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

επίπεδο χρηματοοικονομικών. Πιο συγκεκριμένα, στο πεδίο της Υδρολογίας χρησιμοποιείται στην προσπάθεια εκτίμησης της πιθανότητας ενός εξαιρετικά σπάνιου γεγονότος, όπως για παράδειγμα την πλημμύρα περιόδου επαναφοράς 1000 ετών.

2.2 Θεμελιώδες θεώρημα των Fisher-Tippett

Έστω X_1, X_2, \dots, X_n όπου $n \in \mathbb{Z}$, μια ακολουθία από ανεξάρτητες και ομοιόμορφα κατανομημένες παρατηρήσεις που ακολουθούν μια άγνωστη κατανομή F . Επειδή δεν είναι γνωστή η κατανομή F των παρατηρήσεων θα επικεντρωθούμε στην οριακή κατανομή G της μέγιστης παρατήρησης των X_1, X_2, \dots, X_n η οποία δεν εξαρτάται από την άγνωστη F .

Εν προκειμένω, εκλέγονται τα ακραία $M_j (j = 1, \dots, n)$, τα οποία αναφέρονται είτε στις μέγιστες είτε στις ελάχιστες τιμές που παίρνει η μεταβλητή μας X_n σε κάθε μια από τις m διαδοχικές, μη-αλληλοκαλυπτόμενες, περιόδους με μήκος n παρατηρήσεων. Ειδικότερα, στην περίπτωση των μεγίστων ισχύει:

$$M_j = \max\{X_1, X_2, \dots, X_n\} \quad (2.1)$$

η οποία συγκλίνει (για $n \rightarrow \infty$) στο x_F (δεξιό άκρο του στηρίγματος της F).

Για να αποφευχθεί αυτό το εκφυλισμένο όριο τα M_j κανονικοποιούνται χρησιμοποιώντας το κεντρικό οριακό θεώρημα και εν συνέχεια δημιουργείται η μεταβλητή Y ως εξής:

$$Y_j = \frac{M_j - \mu}{\sigma} \quad (2.2)$$

Τα σύμβολα μ και σ αναπαριστούν τις παραμέτρους θέσης (μέσος) και κλίμακας (τυπική απόκλιση) της κατανομής των M_j (1^ο Θεώρημα Fisher και Tippett).

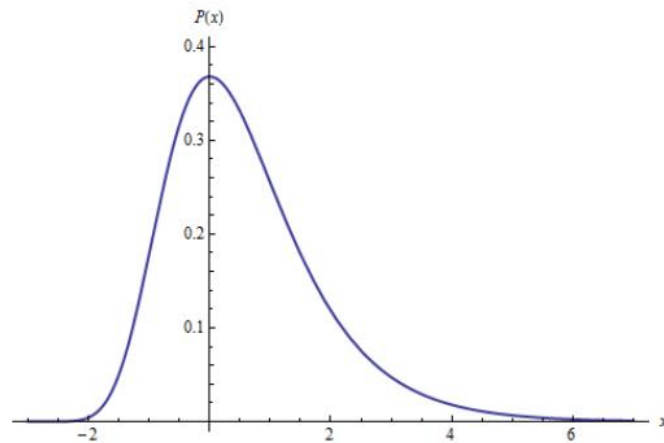
Οι Fisher and Tippett (1928) απέδειξαν πως η ασυμπτωτική κατανομή μιας σειράς μεγίστων (η ελάχιστων) M_j μοντελοποιείται και κάτω από συγκεκριμένους όρους η κατανομή του τυποποιημένου μεγίστου της σειράς συγκλίνει σε συγκεκριμένες κατανομές. Οι κατανομές αυτές είναι η Gumbel, η Fréchet και η Weibull.

Πιο συγκεκριμένα, απέδειξαν ότι όταν το $n \rightarrow \infty$, η μεταβλητή Y_j ακολουθεί μία από τις ακόλουθες τρεις κατανομές ακραίων τιμών:

(α) Τύπος I, Κατανομή Gumbel (Σχήμα 2.1)

$$\Lambda(x) = e^{-e^{-x}}, x \in \mathbb{R} \quad (2.3)$$

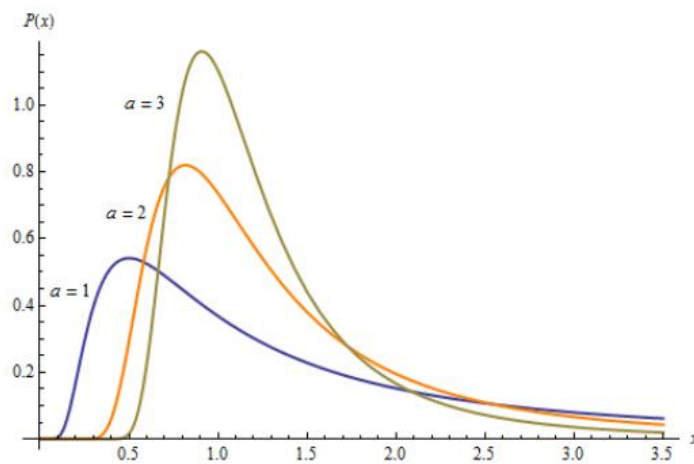
2. Θεωρητικό υπόβαθρο



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας κατανομής τύπου I Gumbel

(β) Τύπος II, Κατανομή Fréchet (Σχήμα 2.2)

$$\Phi_{\alpha}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ e^{-x^{-\alpha}}, & x > 0 \end{cases}, \alpha > 0 \quad (2.4)$$

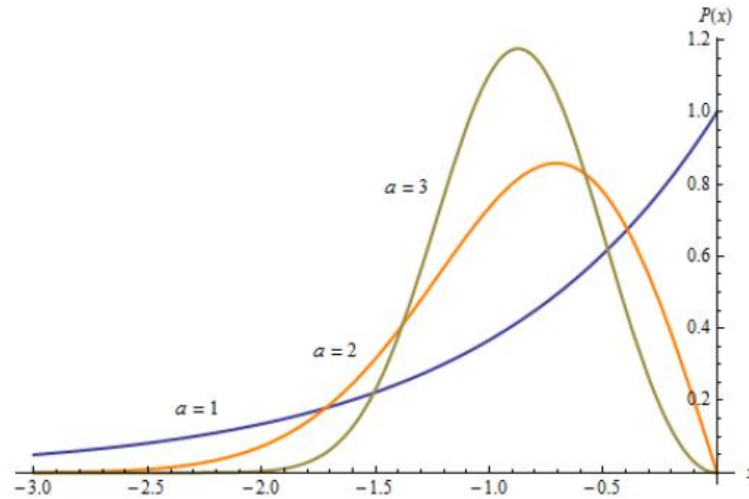


Σχήμα 2.2: Διάγραμμα συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας κατανομής τύπου II Fréchet για διάφορες τιμές της στατιστικής παραμέτρου α

(γ) Τύπος III, Αντίστροφη Κατανομή Weibull (Σχήμα 2.3)

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

$$\Psi_{\alpha}(x) = \begin{cases} e^{(-x)^{\alpha}}, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}, \alpha > 0 \quad (2.5)$$



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας Τύπου III Weibull για διάφορες τιμές της στατιστικής παραμέτρου α

Οι κατανομές Φ_{α} , Ψ_{α} , Λ καλούνται τυπικές κατανομές ακροτάτων, ενώ κατανομές που είναι του ίδιου τύπου με αυτές καλούνται κατανομές ακροτάτων.

Η τυχαία μεταβλητή Y_j , ανήκει στον ευρύτερο χώρο μιας κατανομής ακραίων τιμών, αν $\mu \in R$ και $\sigma > 0$. Η κατανομή αυτή ονομάζεται Γενικευμένη Ακραίων Τιμών (Generalized Extreme Value, GEV).

2.3 Γενικευμένη εξίσωση μεγίστων – GEV

Στο τομέα της στατιστικής η κατανομή GEV είναι μια οικογένεια συνεχών πιθανοτικών κατανομών βασισμένη στην θεωρία ακραίων τιμών που αναφέρθηκε παραπάνω. Σκοπός της κατασκευής της είναι η ενοποίηση των κατανομών ακραίων τιμών Gumbel, Fréchet και Weibull.

Πιο συγκεκριμένα, οι von Mises (1936) και Jenkinson (1955), ανέπτυξαν μια συμπυκνωμένη θεωρία κατανομών ακραίων τιμών σύμφωνα με την οποία και οι τρεις ασύμπτωτες μπορούν να περιγραφούν από μια οικογένεια κατανομών που καλείται ΓΑΤ- Γενικευμένη Ακραίων Τιμών (GEV-Generalized Extreme Value distribution). Μια πιο απλοποιημένη ερμηνεία της GEV ορίζει πως είναι η ενοποίηση των τριών οικογενειών κατανομών ακροτάτων σε μια οικογένεια, που αναπαρίσταται ως εξής:

$$F(y; \xi) = \begin{cases} e^{-(1+\xi*y)^{-1/\xi}}, & \xi \neq 0 \\ e^{-y} & \xi = 0 \end{cases}$$

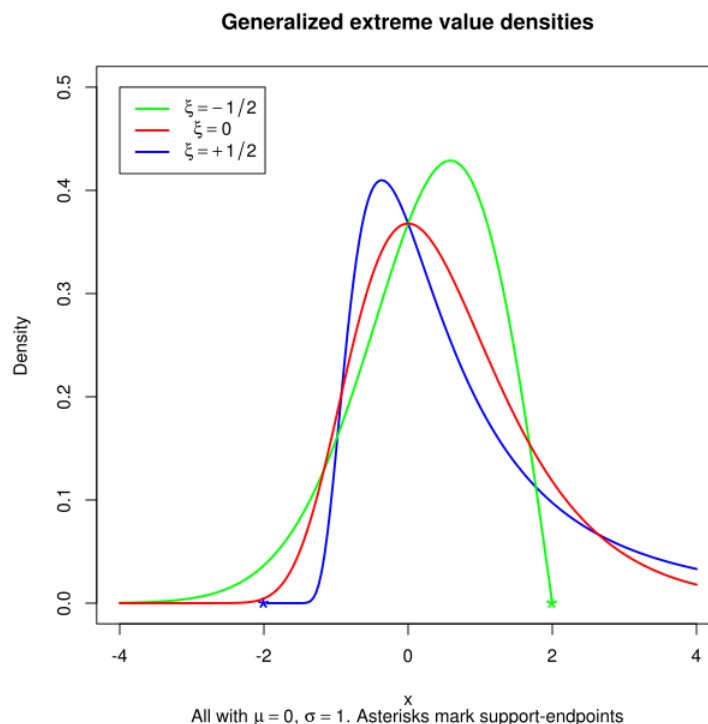
2. Θεωρητικό υπόβαθρο

όπου y η τυποποιημένη μεταβλητή $y = (x-\mu)/\sigma$, με $\mu \in R$ (παράμετρος θέσης) και $\sigma > 0$ (παράμετρος κλίμακας).

Η παράμετρος ξ είναι μία παράμετρος που αναπαριστά το πάχος της ουρών και έναν δείκτη φθοράς όσο αφορά την προσέγγιση τους στην τιμή μηδέν. Πιο απλοποιημένα, όσο πιο μικρός ο δείκτης τόσο πιο παχιά είναι η ουρά και τόσο πιο αργά η κατανομή προσεγγίζει την μηδενική τιμή. Στο Σχήμα 2.4 παρατίθεται ενδεικτικά η συμπεριφορά της ουράς, για μία κατανομή με μέση τιμή $\mu = 0$ και τυπική απόκλιση $\sigma = 1$.

Η παράμετρος ξ ισούται με μηδέν (0) για την κατανομή Gumbel, με α^{-1} για την κατανομή Fréchet και με $-\alpha^{-1}$ για την κατανομή Weibull. Όταν η παράμετρος $\xi > 0$, η $F(y)$ αντιπροσωπεύει την κατανομή των μεγίστων τύπου II και σε αυτή την περίπτωση, η μεταβλητή είναι κάτω φραγμένη και μη άνω φραγμένη. Η οριακή περίπτωση $\xi = 0$, αντιπροσωπεύει την κατανομή τύπου I που είναι μη φραγμένη άνω και κάτω ($-\infty < x < +\infty$). Τέλος, η περίπτωση $\xi < 0$ αντιπροσωπεύει τον τύπο III κατανομής μεγίστων ή αντίστροφη Weibull.

Ο τύπος αυτός δεν έχει πρακτικό ενδιαφέρον στην ανάλυση μεγίστων, καθώς αναφέρεται σε τυχαίες μεταβλητές άνω φραγμένες. Λόγω του ότι η βροχή είναι μια διεργασία που δεν έχει φυσικό άνω όριο, ο παραπάνω τύπος δεν εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία (Nerantzaki, 2012).



Σχήμα 2.4: Παράδειγμα προσαρμογής κατανομής για διάφορες τιμές της παραμέτρου ξ , www.Wikipedia.com

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.4 L-ροπές

Η μέθοδος των L-ροπών είναι μια στατιστική μεθοδολογία για την περιγραφή του σχήματος μίας κατανομής πιθανότητας.

Για μια τυχαία μεταβλητή X , η $r^{\text{η}}$ L-ροπή είναι:

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} EX_{r-k:r} \quad (2.6)$$

όπου:

- $X_{k:n}$ είναι η $k^{\text{η}}$ στατιστική τάξη από ένα ανεξάρτητο δείγμα μεγέθους n από μία κατανομή από X
- E είναι η αναμενόμενη τιμή

Συγκεκριμένα, οι πρώτες τέσσερις ροπές δίνονται από τις σχέσεις:

$$\lambda_1 = EX \quad (2.7)$$

$$\lambda_2 = (EX_{2:2} - EX_{1:2})/2 \quad (2.8)$$

$$\lambda_3 = (EX_{3:3} - 2EX_{2:3} + EX_{1:3})/3 \quad (2.9)$$

$$\lambda_4 = (EX_{4:4} - 3EX_{3:4} + 3EX_{2:4} - EX_{1:4})/4 \quad (2.10)$$

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας των L-ροπών είναι πως δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις ακραίες τιμές και το μήκος του δείγματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις που διαθέτουμε χρονοσειρές με μικρό πλήθος παρατηρήσεων. Για αυτούς τους λόγους, η χρήση τους τείνει να υπερισχύει την χρήση άλλων μεθόδων, όπως τον κλασικών ροπών (Perez *et al.*, 2003)

Μέσω την διαδικασία L-ροπών υπολογίζονται οι στατιστικές εκτιμήτριες λ_1 , λ_2 , λ_3 και λ_4 , που με την χρήση των παρακάτω εξισώσεων αντιστοιχούν στις στατιστικές παραμέτρους της μέσης τιμής, του συντελεστή μεταβλητότητας, την παράμετρο της ασυμμετρίας και της κύρτωση για το δείγμα που μελετάμε.

Για την μέση τιμή (L –moment mean) :

$$\tau_1 = \lambda_1 \quad (2.11)$$

Η μέση αριθμητική τιμή ή μέσος όρος προκύπτει από το πηλίκο διαίρεσης του αθροίσματος των τιμών μιας μεταβλητής δια του συνολικού πλήθους τους, δηλαδή του συνόλου των συχνοτήτων τους. Αποτελεί το σπουδαιότερο και

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

χρησιμότερο μέτρο της στατιστικής, και αποτελεί μέτρο θέσης, δηλαδή δείχνει σχετικά τις θέσεις των αριθμών στους οποίους αναφέρεται.

Για τον συντελεστή μεταβλητότητας (L-moment coefficient of variation):

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.12)$$

Ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ένα στατιστικό μέτρο που είναι χρήσιμο στις περιπτώσεις στην σύγκριση ομάδων τιμών, που είτε εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης είτε εκφράζονται στην ίδια μονάδα μέτρησης αλλά έχουν σημαντικά διαφορετικές μέσες τιμές.

Ο συντελεστής μεταβολής εκφράζεται επί τοις εκατό, είναι συνεπώς ανεξάρτητος από τις μονάδες μέτρησης και παριστάνει ένα μέτρο σχετικής διασποράς των τιμών και όχι της απόλυτης διασποράς. Εκφράζει, δηλαδή, τη μεταβλητότητα των δεδομένων απαλλαγμένη από την επίδραση της μέσης τιμής.

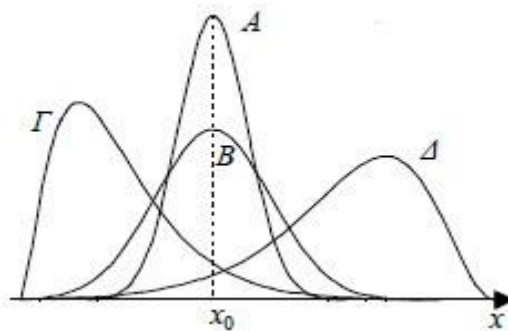
Για το μέτρο ασυμμετρίας (L-moment Coefficient of skew):

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (2.13)$$

Η κατανομή του πληθυσμού που μελετάται μπορεί να είναι είτε συμμετρική είτε μη συμμετρική. Στην περίπτωση συμμετρικής κατανομής η κορυφή, διάμεσος και μέση τιμή συμπίπτουν, ενώ στην περίπτωση της μη συμμετρικής κατανομής μια από τις τρεις παραμέτρους η κορυφή της κατανομής την διασπά σε ασύμμετρα, ως προς το πλήθος των παρατηρήσεων, τμήματα.

Το είδος της ασυμμετρίας χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, την θετική και την αρνητική, οι οποίες ορίζουν μια κατανομή στην οποία οι περισσότερες παρατηρήσεις τοποθετούνται στη δεξιά και αριστερή, αντίστοιχα, πλευρά της κορυφής της. (Κοκαλάκης, 2009).

2. Θεωρητικό υπόβαθρο



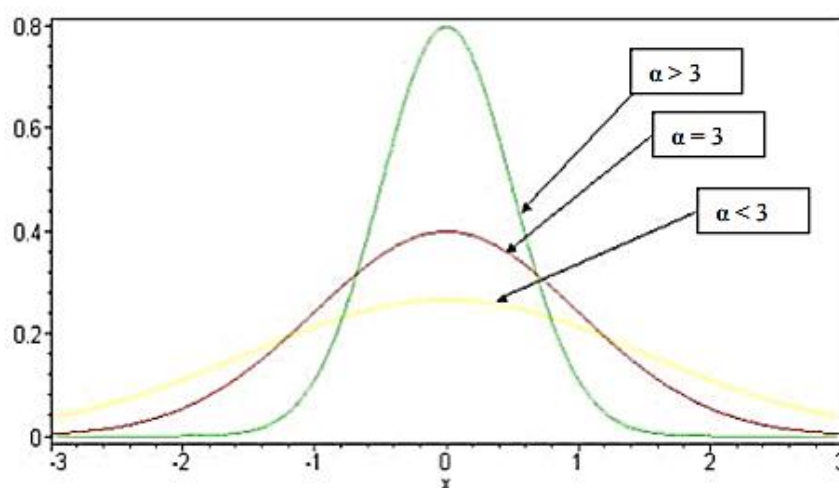
Σχήμα 2.5: Παράδειγμα προσαρμογής κατανομής για διάφορες τιμές του στατιστικού μέτρου της ασυμμετρίας με (α) αρνητική ασυμμετρία, (β), (γ) μηδενική ασυμμετρία, (δ) θετική ασυμμετρία

Για το μέτρο κυρτότητας (L-moment of Kurtosis):

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2^2} \quad (2.14)$$

Μια κατανομή η οποία έχει σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα (κορυφή) και επομένως, υπάρχει μια μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο λέγεται λεπτόκυρτη. Αντιθέτως στην περίπτωση που η μέγιστη συχνότητα της είναι σχετικά μικρή λέγεται πλατύκυρτη, ενώ την περίπτωση που η κατανομή προσεγγίζει την κανονική ονομάζεται μεσόκυρτη.

Έχοντας υπόψη πως οι κανονικές κατανομές έχουν τιμή κυρτότητας ίση με 3, είναι σύνηθες να ορίζεται η κυρτότητα μιας κατανομής με βάση την απόκλιση της από την παραπάνω σταθερά. Δηλαδή, κατανομές με κυρτότητα μεγαλύτερη της τιμής 3 ονομάζονται λεπτόκυρτες, ενώ με αρνητική διαφορά πλατύκυρτες.



Σχήμα 2.6: Παράδειγμα προσαρμογής κατανομής για διάφορες τιμές του στατιστικού μέτρου της κυρτότητας

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.5 Προσαρμογή γενικευμένης κατανομής μεγίστων με μέθοδο L-ροπών

Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 2.3 η εξίσωση της Γενικευμένης κατανομής μεγίστων είναι η ακόλουθη (Ani Shabri *at al.*, 2007):

$$F(x) = \begin{cases} e^{-(1-k*(\frac{x-\mu}{\sigma})^{1/k}),} & k \neq 0 \\ e^{-(x-\mu)/\sigma} & k = 0 \end{cases}$$

όπου:

- μ είναι η παράμετρος θέσης
- σ είναι η παράμετρος κλίμακας
- k είναι η παράμετρος σχήματος

Η προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ (Γενικευμένη Ακραίων Τιμών) με την μέθοδο L-ροπών γίνεται μέσω των παρακάτω εκτιμητριών (Martins and Staudinger, 2000):

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9544 c^2 \quad (2.15)$$

$$c = \frac{2}{(3 + \hat{t}_3)} - \frac{\log(2)}{\log(3)} \quad (2.16)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\hat{\lambda}_2 \hat{k}}{(1 - 2^{-\hat{k}})\Gamma(1 + \hat{k})} \quad (2.17)$$

$$\hat{\mu} = \hat{\lambda}_1 - \frac{\hat{\alpha}}{\hat{k}} \{1 - \Gamma(1 + \hat{k})\} \quad (2.18)$$

Οι εκτιμήτριες $\hat{\lambda}_1, \hat{\lambda}_2, \hat{\lambda}_3$ και $\hat{t}_3 = \frac{\hat{\lambda}_3}{\hat{\lambda}_2}$ υπολογίστηκαν με την χρήση της αμερόληπτης εκτιμήτριας από τις πρώτες τρεις σταθμισμένες ροπές πιθανότητας (PWM) που ορίζονται από την σχέση:

$$\beta_r = \mu + \frac{\alpha}{k} \frac{[1 - (r+1)^{-k}\Gamma(1+k)]}{r+1} \quad (2.19)$$

Με αμερόληπτη εκτιμήτρια της β_r :

$$b_r = \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)(i-3) \dots (i-r)}{n(n-1)(n-2)(n-3) \dots (n-r)} X_{i:n} \quad (2.20)$$

όπου:

- $r = 0, 1, \dots, n$
- $X_{i:n}$ είναι οι διατεταγμένες παρατηρήσεις από το δείγμα

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

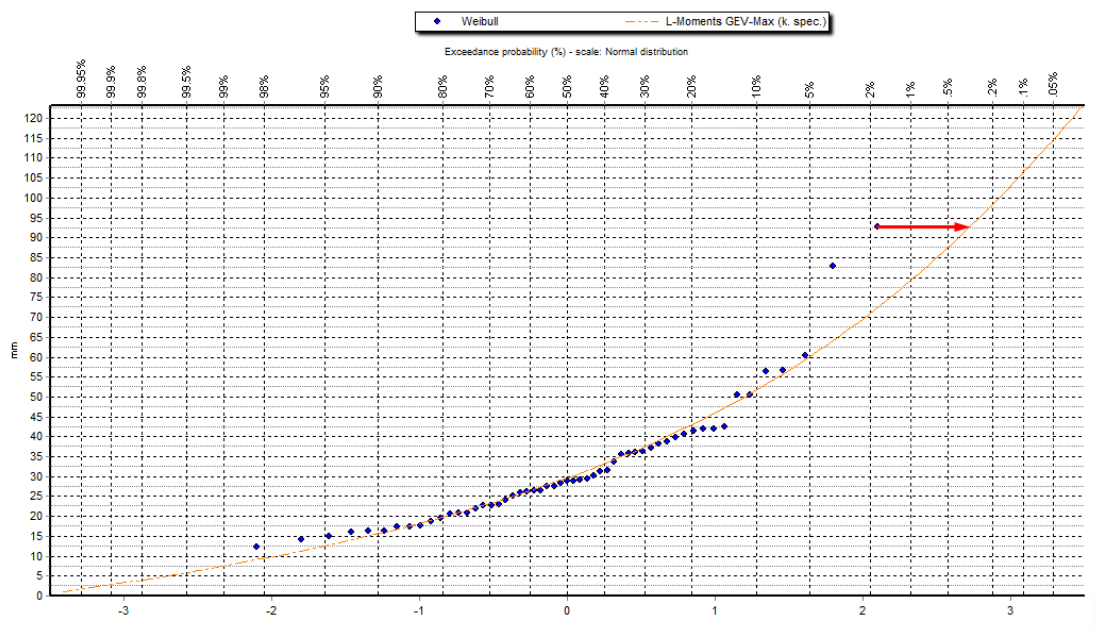
Τέλος, οι τιμές για της πρώτες τρεις L-ροπές προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (2.21)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (2.22)$$

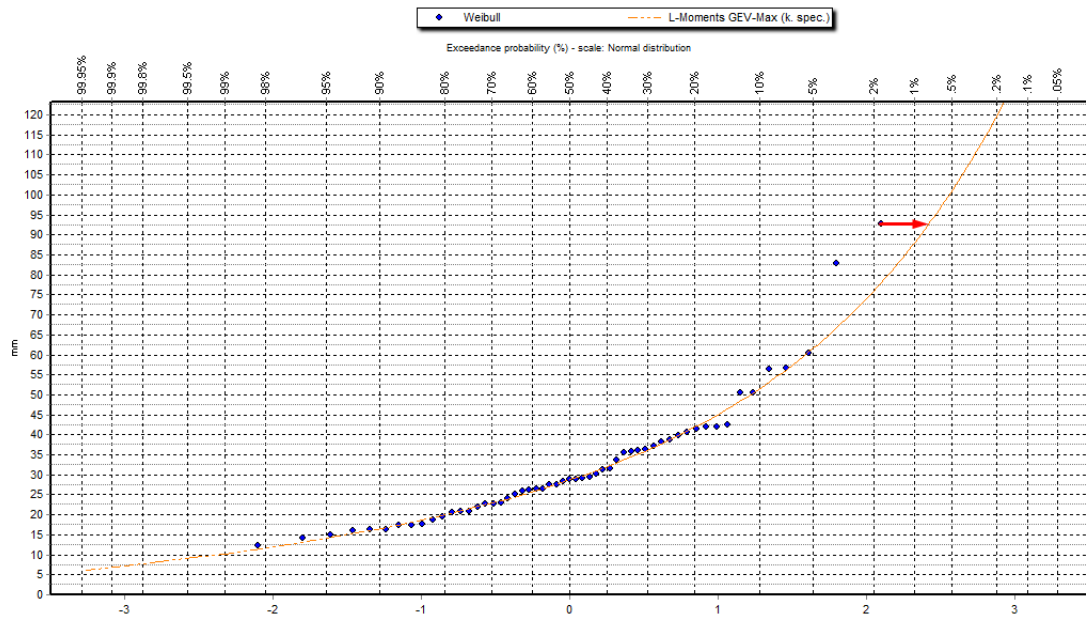
$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (2.23)$$

Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, η μέθοδος των L-ροπών επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει σχετικά μικρή ευαισθησία έναντι της δειγματοληπτικής αβεβαιότητας και μικρότερο σφάλμα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.



Εικόνα 2.1: Γενικευμένη κατανομή μεγίστων με αρνητική τιμή της παραμέτρου σχήματος γ

2. Θεωρητικό υπόβαθρο



Εικόνα 2.2: Γενικευμένη κατανομή μεγίστων με διορθωμένη τιμή της παραμέτρου σχήματος γ

Όπως φαίνεται στα παραδείγματα που δίνονται στην Εικόνα 2.1 και Εικόνα 2.2, πολύ αρνητικές τιμές της παραμέτρου γ δεν παρουσιάζουν καλή προσέγγιση, καθώς απομακρύνονται αισθητά από τις ακραίες τιμές του δείγματος της κατανομής. Η διόρθωση της παραμέτρου γίνεται για να πλησιάσει η παράμετρος όσο περισσότερο είτε την μηδενική τιμή, όπου ανταποκρίνεται στην κατανομή Gumbel Τύπου I, είτε θετικές τιμές, που αντιστοιχούν στην κατανομή Fréchet Τύπου II.

Η διόρθωση της στατιστικής παραμέτρου γίνεται σύμφωνα με την εμπειρική σχέση των Papalexiou *et al.* (2013):

$$\tilde{\gamma}(n) = \frac{\sigma_{\gamma}}{\sigma_{\gamma}(n)} (\hat{\gamma} - \mu_{\gamma}(n)) + \mu_{\gamma} \quad (2.24)$$

όπου:

- ❖ n : είναι το μέγεθος του δείγματος
- ❖ $\hat{\gamma}$: είναι η παράμετρος του σχήματος της κατανομής όπως έχει υπολογιστεί με την μεθόδου των L-ροπών
- ❖ $\mu_{\gamma} \sim 0.114$
- ❖ $\sigma_{\gamma} \sim 0.045$
- ❖ $\mu_{\gamma}(n) = \mu_{\gamma} - 0.69n^{-0.98}$
- ❖ $\sigma_{\gamma}(n) = \sigma_{\gamma} + 1.27n^{-0.70}$

3 Υπολογιστικά εργαλεία

3.1.1 Λογισμικό «Υδρογνώμων»

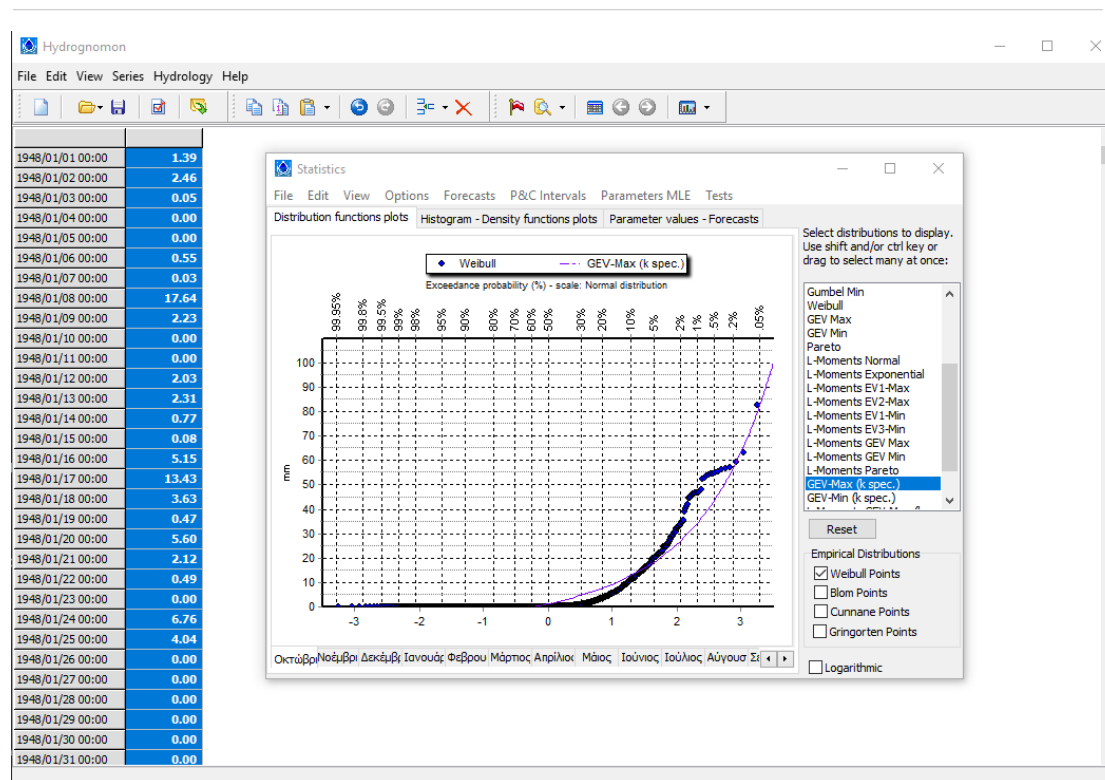
Σε αρχικό στάδιο προσέγγισης της μελέτης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Υδρογνώμων». Ο «Υδρογνώμων» είναι ένα ανεξάρτητο προγραμματιστικό πακέτο που τρέχει στο περιβάλλον Windows. Αναπτύχθηκε και σχεδιάστηκε από ερευνητές του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την ανάλυση και επεξεργασία χρονοσειρών (Κοζάνης κ.ά., 2010).

Οι κύριες εφαρμογές του συστήματος είναι:

- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό χρονικό βήμα
- Εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος
- Τυπικοί έλεγχοι συνέπειας όπως ακραίων τιμών και χρονικής συνέπειας
- Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών, πολλαπλή παλινδρόμηση, οργανική συσχέτιση και αυτοσυσχέτιση
- Υδατικά ισοζύγια: αδρομερές μοντέλο βροχής – απορροής
- Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών με χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης, δυνατότητα εισαγωγής τυχαίου όρου για την διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών. Επέκταση χρονοσειρών
- Γραμμικές πράξεις μεταξύ χρονοσειρών
- Κατάρτιση καμπύλων στάθμης – παροχής με στατιστικές μεθόδους και καμπύλων επέκτασης με χρησιμοποίηση υδραυλικών εξισώσεων
- Εξαγωγή χρονοσειρών παροχών από χρονοσειρές στάθμης, καθώς και χρονοσειρών όγκου και επιφάνειας από χρονοσειρές στάθμης ταμιευτήρων και λιμνών
- Υπολογισμός εξάτμισης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής
- Επέκταση δειγμάτων εξατμισοδιαπνοής
- Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών δείγματος χρονοσειράς, προσαρμογή στατιστικών παραμέτρων, στατιστικές προγνώσεις, στατιστικοί έλεγχοι και εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης
- Ανάλυση χρονοσειρών εξαιρετικών βροχοπτώσεων – κατάρτιση όμβριων καμπυλών με συνέπειες μεθοδολογίες

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του «Υδρογνώμονα». Το λογισμικό, καθώς και ο κώδικάς του, είναι ελεύθερα διαθέσιμα στην ιστοσελίδα <http://hydrognomon.org/>.

3. Υπολογιστικά εργαλεία



Εικόνα 3.1: Περιβάλλον λογισμικού "Υδρογνώμων"

3.1.2 R Software

Η απαίτηση για ανάλυση πολλών χρονοσειρών μεγάλου μήκους, καθώς και η ανάγκη επανάληψης της ανάλυσης για ένα μεγάλο αριθμό λεκανών απορροής, οδήγησε στην ανάγκη εξοικείωσης και χρήσης της γλώσσας προγραμματισμού R.

Η R είναι μια ελεύθερη προγραμματιστική γλώσσα και σχετικό λογισμικό για την πραγματοποίηση στατιστικών αναλύσεων και την παραγωγή γραφημάτων που υποστηρίζεται από το R Foundation for Statistical Computing. Υποστηρίζει γλώσσα ανοιχτού περιβάλλοντος, που επιτρέπει στον κάθε χρήστη την πρόσβαση σε αυτή με στόχο την βελτίωση και εξέλιξή της. Είναι ευρέως διαδεδομένη και συνεχώς αναπτυσσόμενη ανάμεσα σε στατιστικούς και αναλυτές δεδομένων (data miners) σε όλο τον κόσμο (Venables *et al.*, 2018).

Το R Foundation είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που έχει χρηματοδοτηθεί από μέλη του R Development Core Team με στόχο:

- να παρέχει υποστήριξη πάνω στο λογισμικό R καθώς και σε κάθε καινοτομία πάνω στην στατιστική ανάλυση σε προγραμματιστικό περιβάλλον,
- να αποτελεί σημείο αναφοράς για άτομα, ομάδες, ιδρύματα ή και εταιρείες που επιθυμούν να υποστηρίξουν ή να αλληλοεπιδράσουν με την όλο και αναπτυσσόμενη κοινότητα της R,
- να διαχειρίζονται τα πνευματικά δικαιώματα του λογισμικού.

3. Υπολογιστικά εργαλεία

Ανάμεσα στους στόχους του R Foundation είναι η συνεχής ανάπτυξη της R, η μετάδοση νέων μεθοδολογιών, η εκμάθηση και διάδοση της προγραμματιστικής στατιστικής, καθώς διεξαγωγή συνέδριων και συναντήσεων στο αντικείμενο του στατιστικού προγραμματισμού.

Η εφαρμογή παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια στατιστική ανάλυση, όπως:

- Δημιουργία τυχαίων δειγμάτων
- Διακριτές και συνεχείς μεταβλητές (π.χ., Poisson, Gamma, εκθετική κτλ.)
- Έλεγχοι υποθέσεων
- Στατιστικά τεστ (π.χ., Kolmogorov-Smirnoff)
- Δημιουργία γραφημάτων (ιστογράμματα, qq, plot, pie chart, bar chart κτλ.)

Η R αναπτύσσεται και εξελίσσεται κυρίως μέσα από την προσθήκη πακέτων έτοιμου κώδικα, που συνήθως δημιουργούν οι χρήστες της. Αυτά τα πακέτα δημιουργούνται κυρίως στο περιβάλλον της R, αλλά μερικές φορές και στη Java, C, C++ και Fortran.

Η R και οι βιβλιοθήκες της καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος στατιστικών και γραφικών τεχνικών, όπως γραμμική και μη γραμμική μοντελοποίηση, κλασικά στατιστικά τεστ, ανάλυση χρονοσειρών, ταξινόμηση, κτλ.

Επισημαίνεται πως παρότι η γλώσσα προγραμματισμού R καθώς και τα «πακέτα» που περιέχει διατίθενται ελεύθερα στους χρήστες, υπάρχουν επιχειρήσεις που προσφέρουν τεχνική υποστήριξη και περαιτέρω επεκτάσεις της, σε χρήστες που το επιθυμούν.

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την R πηγαίνουμε στην ηλεκτρονική διεύθυνση του επίσημου site της (<https://www.r-project.org/>), όπου υπάρχει και η δυνατότητα δωρεάν ανάκτησης του λογισμικού της.

3.1.3 R Studio

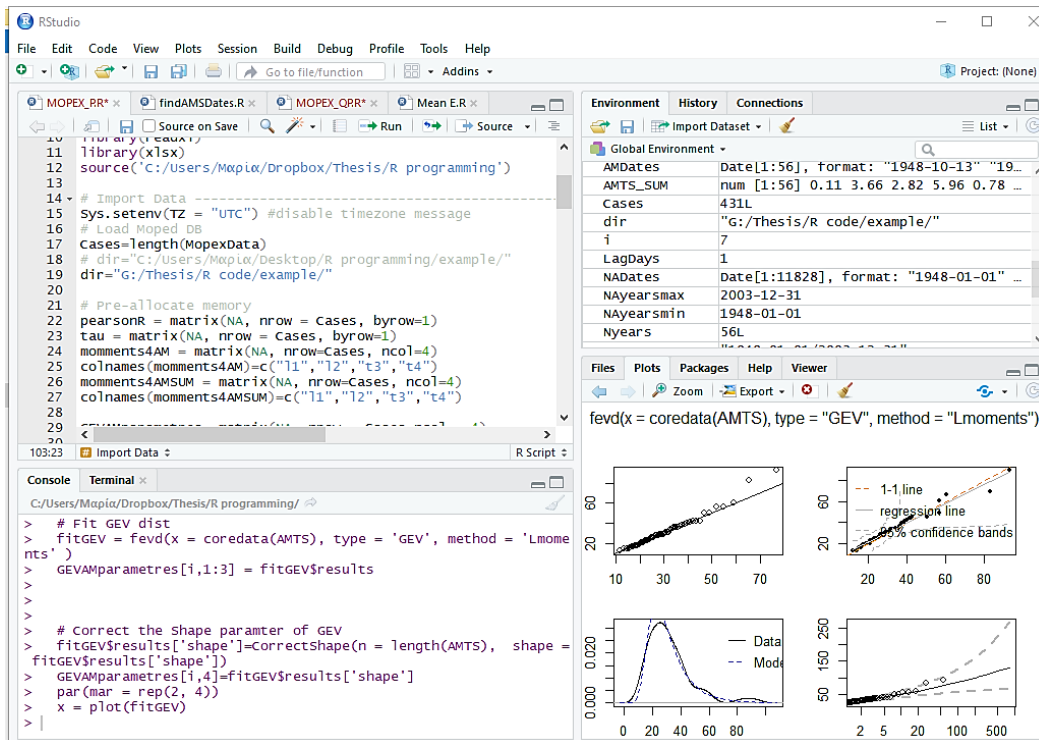
Το R Studio είναι το πιο διαδεδομένο ελεύθερο, ανοιχτού τύπου προγραμματιστικό περιβάλλον ανάπτυξης για την R. Χρηματοδοτήθηκε από τον J.J. Allaire, δημιουργό της γλώσσας προγραμματισμού ColdFusion (<https://www.wikipedia.org/>).

Το R Studio είναι εν μέρει γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα μεγάλο ποσοστό του είναι γραμμένο στη Java. Το JavaScript είναι μια από τις γλώσσες που χρησιμοποιήθηκαν επίσης.

Η κονσόλα του υποστηρίζει τη δυνατότητα απευθείας εφαρμογής του κώδικα, καθώς και εργαλεία για την παραγωγή γραφημάτων, κατανομών, ιστογραμμάτων, σε ένα πιο φιλικό και εύκολο περιβάλλον εργασίας για τον

3. Υπολογιστικά εργαλεία

χρήστη. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα από το περιβάλλον εργασίας του R Studio.



Εικόνα 3.2: Περιβάλλον εργασίας R studio

4 Βάση δεδομένων MOPEX

4.1 Συλλογή δεδομένων

Το προκαταρκτικό στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας εστίασε στην εύρεση χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης και απορροής ποταμών σε κατάλληλη χρονική κλίμακα (ημερήσια ή ωριαία), από ένα μεγάλο δείγμα λεκανών.

Αναζητήθηκαν πηγές που διαθέτουν αξιόπιστα δεδομένα μεγάλου μήκους (κατ' ελάχιστο 50 έτη), καθώς και όσο τον δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για τις ιδιαιτερότητες των αντίστοιχων υδρολογικών λεκανών.

Ύστερα από εκτενή έρευνα, αποφασίστηκε η επιλογή της πηγής δεδομένων MOPEX, η οποία διαθέτει παρατηρήσεις για 438 λεκάνες απορροής. Οι λεκάνες αυτές ανήκουν στην εδαφική επικράτεια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και πληρούν τα ανωτέρω κριτήρια χρονικής διάρκειας και αξιοπιστίας.

4.2 Πηγή δεδομένων MOPEX

4.2.1 Γενικές Πληροφορίες

Η ανάπτυξη της βάσης δεδομένων MOPEX προέκυψε από την ανάγκη για εκτενέστερη έρευνα πάνω στις δομές και παραμέτρους που εφαρμόζονται στα υδρολογικά και ατμοσφαιρικά μοντέλα, με στόχο την καλύτερη και πιο αποτελεσματική βαθμονόμηση των τελευταίων. Η ανάγκη αυτή θα ικανοποιούνταν με την συγκέντρωση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου όγκου παρατηρήσεων από μεγάλο πλήθος λεκανών απορροής. Η πρώτη προσπάθεια επικεντρώθηκε στην αναζήτηση και καταγραφή μεγάλου πλήθους ιστορικών υδρομετεωρολογικών παρατηρήσεων και χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής σε παγκόσμια κλίμακα, για ένα εύρος λεκανών από 500 έως 10.000 km².

Η πρώτη φάση χρηματοδότησης της βάσης δεδομένων MOPEX ξεκίνησε το 1997 από National Oceanic and Atmospheric Administration των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (NOAA). Η δεύτερη φάση χρηματοδοτήθηκε το 2000, ενώ η τρίτη το 2003.

Στη συνέχεια, η MOPEX υιοθετήθηκε ως ερευνητικό έργο από το IAHS/WMO Working Group και από την WMO Commission on Hydrology (CHy), και τώρα είναι συνεργάτης στο Combine Enhanced Observing Period (CEOP) του World Climate Research Program (WCRP). Ακόμα, το 2004 συμμετείχε στην πρωτοβουλία (Initiative) Prediction in Ungauged Basis (PUB) της International Association of Hydrological Sciences (IAHS), ως αυτόνομη ομάδα εργασίας. Από την φάση δημιουργίας της βάσης δεδομένων μέχρι και σήμερα η MOPEX έχει

4. Βάση δεδομένων MOPEX

συμμετάσχει και οργανώνει σημαντικό αριθμό ημερίδων (workshops), σχετικών με υδρολογικά ή ατμοσφαιρικά μοντέλα (Schaake *at al.*, 2006).

Στους μελλοντικούς στόχους της ομάδας MOPEX περιλαμβάνονται:

- Η πλήρωση της βάσης με όλο και περισσότερα δεδομένα παρατηρήσεων που θα αφορούν λεκάνες σε παγκόσμια κλίμακα και η ενημέρωση των ήδη υπαρχόντων δεδομένων που αντιστοιχούν την περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, με την προσθήκη επιπλέον ετών παρατηρήσεων που θα εμπεριέχουν και παρατηρήσεις σε ορεινές περιοχές.
- Η διατήρηση και επέκταση των διεθνών workshops.
- Η παροχή ηγεσίας με στόχο την εξέλιξη και καλύτερη κατανόηση από πλευράς επιστήμης στην εκτίμηση των αρχικών παραμέτρων των μοντέλων.
- Η σημαντικότερη συμβολή στην Combine Enhanced Observing Period (CEOP) και στο Working Group of IAHS Prediction in Ungauged Basins (PUB).
- Παρουσίαση των αποτελεσμάτων MOPEX.

Περισσότερες πληροφορίες για τα δεδομένα και για την ιστορία της MOPEX δίδονται στη επίσημη ιστοσελίδα του οργανισμού:

http://www.nws.noaa.gov/ohd/mopex/mo_datasets.htm

4.2.2 Δεδομένα

Στην προσπάθεια της αποδοτικότερης βαθμονόμησης των υδρολογικών μοντέλων έγινε κατανοητή η σημαντικότητα της σύνδεσης των παραμέτρων που χρειάζονται για την εφαρμογή του εκάστοτε μοντέλου και τον φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της αντίστοιχης λεκάνης. Επομένως, σε πρώτο στάδιο έγινε καταγραφή ενός εξαιρετικά μεγάλου όγκου ιστορικών υδρομετεωρολογικών δεδομένων καθώς και δεδομένων απορροής ποταμών που αφορούσαν σε ένα διευρυμένο χωρικά σύνολο από λεκάνες απορροής σε όλο τον κόσμο, με έκταση από 500 έως 10 000 km².

Οι παρατηρήσεις αυτές περιλάμβαναν πολυετείς παρατηρήσεις (καταγραφές από το 1948 μέχρι και το 2003) που αφορούσαν σε:

1. Ημερήσιες και ωριαίες καταγραφές επιφανειακών βροχοπτώσεων με μήκος χρονοσειράς μεγαλύτερο των 30 ετών
2. Μέγιστες, μέσες και ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας
3. Γεωμορφολογικά, τοπογραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής

4. Ημερήσιες τιμές ισοδύναμου ύψους απορροής ποταμών

Αξίζει να αναφερθεί πως τα δεδομένα για την απορροή των λεκανών προήλθαν από το υδρομετρικό δίκτυο της USGS. Το σύνολο αυτό των δεδομένων περιέχει τις περισσότερες μετρήσεις από το USGS hydro-climatic data network (HCDN) (Slack *et al.*, 1992) ή από παρόμοια δίκτυα επιλεγμένα από τους Wallis *et al.* (1991). Και οι δύο πηγές περιλαμβάνουν μόνο μετρήσεις που θεωρήθηκαν ανεπηρέαστες από τυχόν ανάντη επεμβάσεις ή ρυθμιστικές ενέργειες της ποτάμιας ροής (π.χ., ύπαρξη φράγματος, αρδευτικά δίκτυα κτλ.) με αρκετά μεγάλο μητρώο καταγραφής, έτσι ώστε να είναι αξιόπιστο για επιστημονικές κλιματικές έρευνες.

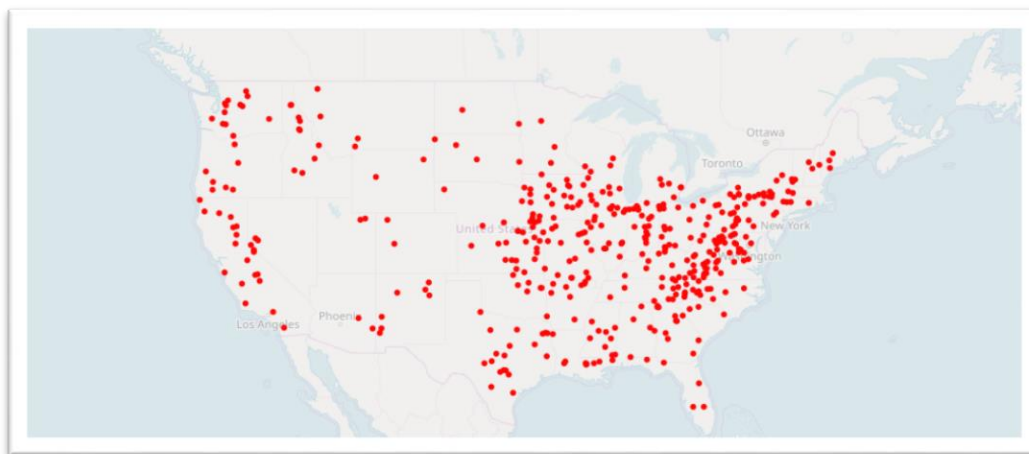
Τα όρια των λεκανών απορροής αναπτύχθηκαν με βάση τις θέσεις μέτρησης των ποταμών από το USGS. Τα όρια τους βασίστηκαν σε δεδομένα συντεταγμένων από το NOHRSC (National Operational Hydrologic Remote Sensing Center).

Για περισσότερες πληροφορίες παρατίθεται η επίσημη σελίδα του οργανισμού: <https://www.nohrsc.noaa.gov/>

Επιπρόσθετα, οι παρατηρήσεις που αφορούσαν σε ημερήσιες και ωριαίες τιμές βροχόπτωσης στο χρονικό εύρος των 56 ετών (1948 έως 2003) ελήφθησαν από το National Climate Data Center (NCDC) (<https://www.ncdc.noaa.gov/>) και το δίκτυο SNOTEL της Natural Resources Conservation Service (NRCS).

Το σύνολο των δεδομένων ανταποκρίνεται στα 438 λεκανών απορροής στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Δυστυχώς, παρατηρήσεις σε παγκόσμια κλίμακα που θα επέτρεπαν μια πιο σφαιρική αντιμετώπιση του προβλήματος δεν ήταν διαθέσιμες μέσω της πλατφόρμας MOPEX, και για αυτό δεν λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα εργασία. Η κατανομή των λεκανών απορροής που χρησιμοποιήθηκαν αποτυπώνεται στην Εικόνα 4.1.

4. Βάση δεδομένων MOPEX



Εικόνα 4.1 Γεωγραφική κατανομή των λεκανών απορροής σύμφωνα με την MOPEX (Πηγή: <https://mygeodata.cloud/>)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως σε μια σύντομη αναζήτηση των ερευνών και δημοσιευμένων επιστημονικών άρθρων που έχουν πραγματοποιεί τα τελευταία χρόνια με βάση τα δεδομένα της πηγής MOPEX δεν βρέθηκε κάποια δημοσιευμένη εργασία που να χρησιμοποιεί τα παραπάνω δεδομένα σε πλαίσια πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης των ακραίων τιμών των μεταβλητών. Το σύνολο των ερευνών αφορούν, κατά κύριο λόγο, την μελέτη και εξέλιξη πάνω στην εκτίμηση των παραμέτρων υδρολογικών ή ατμοσφαιρικών μοντέλων και όχι τόσο στην στατιστική ερμηνεία των δεδομένων αυτών. Αυτό, ενισχύει την σημαντικότητα τόσο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όσο και της ανάγκης περαιτέρω ενασχόλησης πάνω στο υπόψη ζήτημα.

Τέλος, αξίζει να επισημανθεί πως ο κυρίαρχος λόγος για την εκλογή των δεδομένων από την αναφέρουσα πηγή ήταν η ελεύθερη προσφορά τους μέσω του Διαδικτύου, η αξιοπιστία που εγγυούταν, καθώς και το γεγονός πως οι υδρολογικές παρατηρήσεις κάλυπταν ένα σημαντικό εύρος, τόσο χωρικό όσο και χρονικό.

4.3 Διόρθωση και επεξεργασία δεδομένων

Για την εξαγωγή ποιοτικότερων αποτελεσμάτων κρίθηκε σκόπιμο η εξαίρεση των χρονοσειρών που περιείχαν δεδομένα παρατηρήσεων μικρότερα εκείνων των σαράντα ετών. Η συγκεκριμένη ενέργεια έγινε μέσω του «φιλτραρίσματος» των δεδομένων με την χρήση κώδικα στον προγραμματιστικό περιβάλλον της R Studio (βλ. 3.1.3), ο οποίος εξαιρούσε από την επαναληπτική διαδικασία χρονοσειρές με μήκος μικρότερο από το επιλεχθέν.

Ακόμα, από τις λεκάνες απορροής επιλέχθηκαν μόνο εκείνες που περιείχαν ενιαίες και συνεχόμενες παρατηρήσεις, ενώ εκείνες με ελλείψεις είτε μικρότερων είτε μεγαλύτερων χρονικών περιόδων παραλήφθηκαν.

4. Βάση δεδομένων MOPEX

Τελικά, για την στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν 423 λεκάνες, ενώ απομακρύνθηκαν 8 λεκάνες που είχαν ελλείψεις στις χρονοσειρές τους. Η κωδική ονομασία των λεκανών παρατίθεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Κωδικοί λεκανών που δεν ελήφθησαν υπόψη στην ανάλυση των ακραίων τιμών βροχόπτωσης

| | | | | |
|----------|---------|----------|----------|---------|
| Gauge ID | 1138000 | 1076500 | 11401500 | 3050500 |
| | 1064500 | 11403000 | 1334500 | 4115000 |

Συμπληρωματικά, για την στατιστική ανάλυση των απορροών, καθώς και την ανάλυση της στατιστικής τους συσχέτισης με την βροχόπτωση, παραλήφθηκαν τόσο οι σταθμοί που περιείχαν χρονικά κενά, και αφορούσαν στις τιμές της ημερήσιας βροχόπτωσης και αναφέρθηκαν παραπάνω, όσο και οι σταθμοί καταγραφής της ημερήσιας απορροής που αναφέρει ο Πίνακας 4.2. Τέλος,, απορρίφθηκαν δύο λεκάνες για τις οποίες δεν αναφέρονται εκτάσεις τους (Πίνακας 4.3).

Ύστερα από την επεξεργασία και προσεκτική επιλογή των δεδομένων, πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις μεταξύ απορροής και ακραίων βροχοπτώσεων σε ένα δείγμα από 299 λεκανών, που αποτυπώνονται στην Εικόνα 4.2.

Όλες οι λεκάνες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία παρατίθενται με την κωδική τους ονομασία, της γεωγραφικές τους συντεταγμένες καθώς και άλλες πληροφορίες που δίνονται στο Παράρτημα 1.

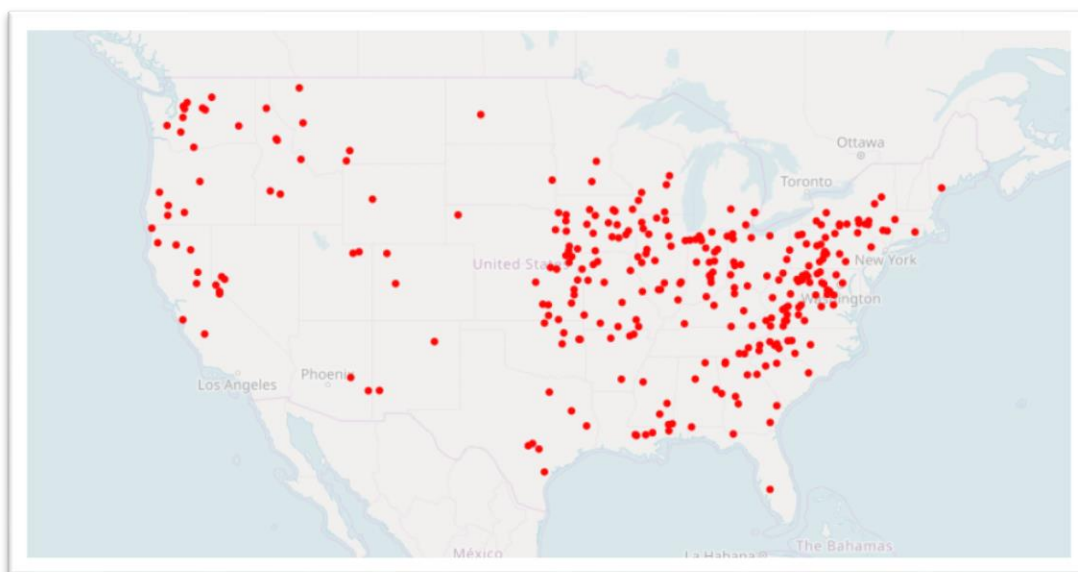
4. Βάση δεδομένων MOPEX

Πίνακας 4.2: Κωδικοί λεκανών με ελλείψεις στις καταγραφές των ημερήσιων απορροών

| Gauge ID | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 12449500 | 7346000 | 3448000 | 7058000 | 3238500 | 4183500 | 5476500 |
| 8205500 | 2482000 | 7252000 | 11222000 | 6868000 | 5555300 | 5383000 |
| 2236000 | 7289500 | 8340500 | 3165500 | 5514500 | 5555500 | 1138000 |
| 8171300 | 8085500 | 3470000 | 11213500 | 6888500 | 5542000 | 1055500 |
| 2486000 | 2448000 | 2083500 | 3308500 | 3065000 | 1200000 | 6426500 |
| 8015500 | 11025500 | 3603000 | 3175500 | 3069000 | 4212000 | 6441500 |
| 8150000 | 2218500 | 3455000 | 3213000 | 6890500 | 1520500 | 13298500 |
| 8013500 | 2219500 | 3540500 | 6928000 | 5507500 | 4221000 | 1048000 |
| 8150700 | 9442692 | 7163000 | 3214000 | 1611500 | 1514000 | 6359500 |
| 2365500 | 7340000 | 3465500 | 11281000 | 5502040 | 4221500 | 14101500 |
| 8103800 | 7307800 | 7049000 | 7144780 | 3361650 | 1500500 | 6334500 |
| 8146000 | 11080500 | 7211500 | 1674500 | 6884500 | 1361000 | 14232500 |
| 8095000 | 2383500 | 7072000 | 3199000 | 11403000 | 11497500 | 5053000 |
| 7290000 | 11138500 | 3161000 | 3182500 | 6883000 | 5546500 | 13340500 |
| 7348000 | 3567500 | 11210500 | 3289500 | 6817500 | 4144000 | 5244000 |
| 7346050 | 7029500 | 3528000 | 3180500 | 3136000 | 5457700 | 13340600 |
| 7346070 | 7261000 | 3532000 | 3251500 | 1445000 | 1329000 | 12413500 |
| 9431500 | 7222500 | 3490000 | 6860000 | 5526000 | 1329500 | |

Πίνακας 4.3: Κωδικοί λεκανών με ελλείψεις στην καταγραφή της έκτασης των λεκανών απορροής

| Gauge ID | |
|----------|---------|
| 6847000 | 2273000 |



Εικόνα 4.2: Γεωγραφική κατανομή τελικού δείγματος λεκανών απορροής (Πηγή: <https://mygeodata.cloud/>)

4. Βάση δεδομένων MOPEX

4.4 Τελική επιλογή λεκανών απορροής

Για την αποτελεσματικότερη κατανόηση των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης, ύστερα από την τελική διαλογή των λεκανών απορροής συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα μέσης βροχόπτωσης και απορροής και εξήχθησαν συγκεντρωτικοί χάρτες με τα υδροκλιματικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.

4.4.1 Υδροκλιματικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής

Οι παρατηρημένες τιμές στη βάση δεδομένων MOPEX ανταποκρίνονται σε χωρικές καταγεγραμμένες παρατηρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, δίδονται οι συντεταγμένες του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους του υδρομετρικού σταθμού στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Επισημαίνεται πως στους παρακάτω συνοπτικούς χάρτες δίνεται μια προσεγγιστική χωρική κατανομή των δεδομένων, και όχι σημειακές μετρήσεις των δεδομένων.

Για το σύνολο των 423 λεκανών απορροής, αφού απορρίφθηκαν οι μη αποδεκτές λεκάνες, συγκεντρώθηκαν τα δεδομένα που αφορούσαν τις ημερήσιες καταγραφές της βροχόπτωσης. Στην συνέχεια υπολογίστηκε για κάθε λεκάνη η μέση ετήσια τιμή της βροχής για το εύρος των 56 ετών και έγινε η αναγωγή της σε mm/έτος.

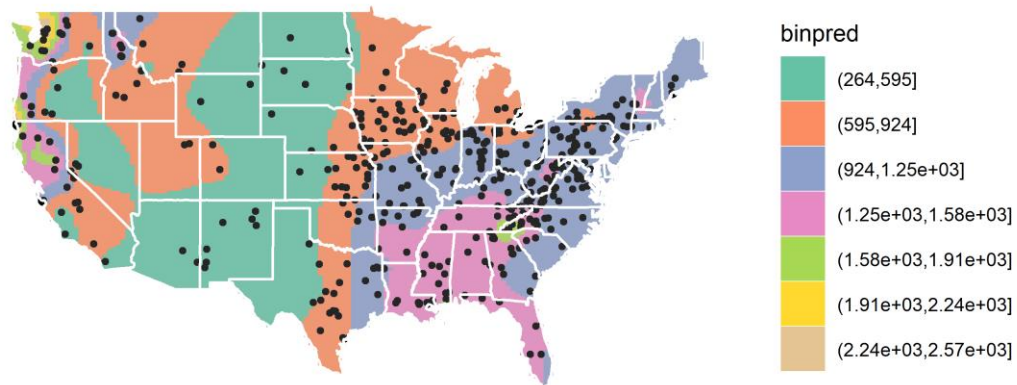
Αξίζει να επισημανθεί πως τα δεδομένα παρατηρήσεων της βάσης δεδομένων MOPEX αφορούν χωρικές καταγραφές τόσο για τα δεδομένα βροχόπτωσης όσο και για τα δεδομένα της απορροής. Οι συντεταγμένες των σημείων που αποτυπώνονται στους συγκεντρωτικούς χάρτες που ακολουθούν υποδηλώνουν ενδεικτικά σημεία στην έξοδο της λεκάνης απορροής και όχι σημειακές παρατηρήσεις.

Στην συνέχεια, το χρονικό εύρος των χρονοσειρών απορροής κυμαινόταν μεταξύ των 40 έως 56 ετών για το σύνολο των 299 λεκανών απορροής. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε στο προγραμματιστικό περιβάλλον του EXCEL και αποτυπώνονται στην Εικόνα 3.2 ως μέσα ετήσια ισοδύναμα ύψη νερού (mm/έτος).

4. Βάση δεδομένων MOPEX

United States of America

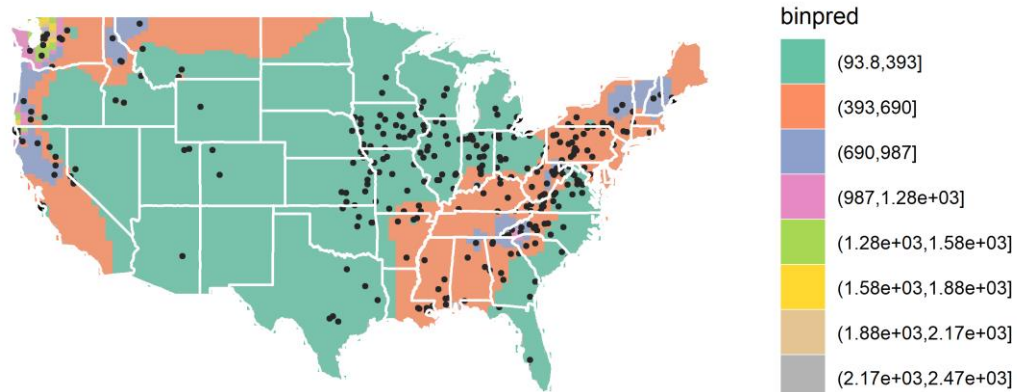
Average Precipitation Value (mm/year)



Εικόνα 4.3: Μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση (mm) για το σύνολο των 423 λεκανών απορροής

United States of America

Annual mean Streamflow Value (mm/year)

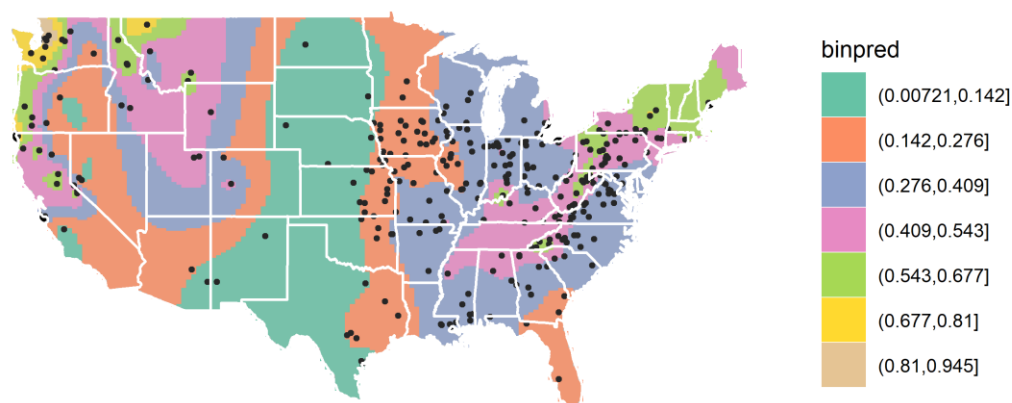


Εικόνα 4.4: Μέση ετήσια απορροή (mm) για το σύνολο των 299 λεκανών απορροής

Στη συνέχεια, μετά την έρευνα των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων για το δείγμα των 431 λεκανών απορροής και των μέσων ετήσιων απορροών για το δείγμα των 299 λεκανών απορροής, υπολογίστηκε ο συντελεστής απορροής για το τελικό δείγμα των 299 λεκανών.

4. Βάση δεδομένων MOPEX

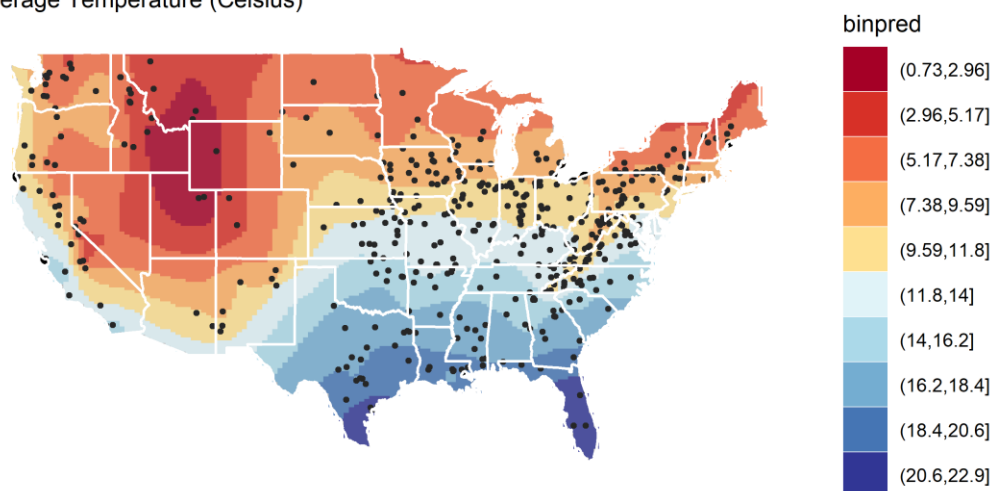
United States of America
Streamflow/Precipitation



Εικόνα 4.5: Συντελεστής απορροής για τις 299 λεκάνες της βάσης MOPEX

Όπως φαίνεται στον χάρτη της Εικόνα 4.5, υπάρχει μια συστηματική χωρική κατανομή του συντελεστή απορροής. Στην κεντρική Αμερική παρατηρούνται οι μικρότερες τιμές του συντελεστή απορροής, ενώ όσο πλησιάζουμε τον Ατλαντικό και Ειρηνικό ωκεανό φαίνεται να παρατηρείται κάποια αύξηση στις τιμές του. Οι μεγαλύτερες τιμές των συντελεστών απορροής παρατηρούνται στα παράλια και βόρεια τμήματα της χώρας.

United States of America
Average Temperature (Celsius)



Εικόνα 4.6: Χάρτης γεωγραφικής μεταβλητότητας μέσης ετήσιας θερμοκρασίας

Ακόμα, στη βάση δεδομένων MOPEX διατίθεται ημερήσιες καταγραφές της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας. Οι καταγραφές αυτές αφορούσαν το χρονικό εύρος των 56 ετών και αντιστοιχούσαν στο σύνολο (431) των λεκανών απορροής. Με βάση τις χρονοσειρές αυτές, υπολογίστηκε η μέση ημερήσια θερμοκρασία ως ο μέσος όρος της μέγιστης και ελάχιστης παρατήρησης.

4. Βάση δεδομένων MOPEX

Από την Εικόνα 4.6 παρατηρείται μια συστηματική χωρική κατανομή της θερμοκρασίας, με χαμηλότερες τιμές στα βόρεια της Αμερικής και με θερμότερες όσο προσεγγίζουμε τον Ισημερινό, όπως ήταν αναμενόμενο.

4.4.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Στην Εικόνα 4.7 δίδεται μια προσεγγιστική ένδειξη της κατανομής του υψομέτρου της Αμερικής. Όπως φαίνεται στον χάρτη της Εικόνας 3.4, στα δυτικά της χώρας υπάρχει έντονο το φαινόμενο των ορεινών στοιχείου με υψόμετρα που φτάνουν τα 3000 μέτρα. Ενώ αντίθετα όσο πλησιάζουμε προς τα ανατολικά συναντάμε συνθήκες πεδιάδας. Το σύνολο των λεκανών απορροής που τελικά επιλέχθηκε κατανέμεται σε όλη την επικράτεια της Αμερικής, με τις περισσότερες λεκάνες να βρίσκονται στην ανατολική πλευρά της, δηλαδή σε πιο χαμηλά υψόμετρα.



Εικόνα 4.7: : Γεωμορφολογικός χάρτης Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής

5 Μεθοδολογία

5.1 Υπολογιστική διαδικασία

Η πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση στις χρονοσειρές των λεκανών απορροής μετά της συλλογή των δεδομένων από την βάση δεδομένων MOPEX ακολούθησε τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1^ο

Συλλογή όλων των δεδομένων ημερήσιων καταγραφών της βροχής για το σύνολο των 431 λεκανών απορροής.

Βήμα 2^ο

Διαλογή των δεδομένων, όπου και έγινε η απομάκρυνση όλων των χρονοσειρών με μήκος μικρότερο των 40 ετών και όλων εκείνων που περιείχαν κενά και δεν ήταν χρονικά συνεχείς.

Βήμα 3^ο

Υπολογισμός μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων, σε κλίμακα ημερολογιακού έτους (με αφετηρία την 1 Ιανουαρίου και τέλος την 31 Δεκεμβρίου).

Βήμα 4^ο

Αποθήκευση της ημερομηνίας καταγραφής της ακραίας ετήσιας παρατήρησης.

Βήμα 5^ο

Επιλογή του χρονικού εύρους Δt της αθροιστικής βροχόπτωσης. Για την βέλτιστη διερεύνηση της επιρροής της εδαφικής υγρασίας επιλέχθηκε χρονικό βήμα προηγούμενων ημερών βροχόπτωσης ίσο με πέντε ημέρες. Για αυτό το σκοπό, δημιουργήθηκε κώδικας που θα υπολόγιζε την συναθροισμένη χρονοσειρά βροχόπτωσης που προηγήθηκε της μέγιστης ετήσιας τιμής έχοντας ως αφετηρία τις προηγούμενες πέντε ημέρες και τέλμα έως τις τριάντα ημερών πριν.

Βήμα 6^ο

Εκτίμηση αθροιστικής βροχόπτωσης που αντιστοιχεί στο αντίστοιχο χρονικό εύρος Δt , ύστερα από την ημερομηνία καταγραφής της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης

Βήμα 7^ο

Υπολογισμός συντελεστή συσχέτισης Pearson ανάμεσα στην μέγιστη ετήσια βροχόπτωση και στην αντίστοιχη αθροιστική.

Βήμα 8^ο

Προσαρμογή της χρονοσειράς ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων στην Γενικευμένη Ακραίων Τιμών (κατανομή GEV), με την μέθοδο των L-ροπών και εκτίμηση των παραμέτρων της.

5. Μεθοδολογία

Βήμα 9^ο

Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος για την κατανομή των μεγίστων ετήσιων βροχοπτώσεων.

Βήμα 10^ο

Προσαρμογή χρονοσειράς αθροιστικών βροχοπτώσεων για κάθε κλίμακα Δt στην κατανομή GEV με την μέθοδο L-ροπών και εκτίμηση των παραμέτρων της.

Βήμα 11^ο

Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος για την κατανομή της αθροιστικής βροχόπτωσης.

Βήμα 12^ο

Υπολογισμός τεσσάρων πρώτων ροπών για τις κατανομές των ετήσιων μεγίστων βροχοπτώσεων και αθροιστικών βροχοπτώσεων.

Βήμα 13^ο

Υπολογισμός μεγίστων ετήσιων απορροών.

Βήμα 14^ο

Εύρεση της αθροιστικής βροχόπτωσης που αντιστοιχούσε στο επιλεχθέν χρονικό εύρος Δt ύστερα από την ημερομηνία καταγραφής της μέγιστης ετήσιας απορροής.

Βήμα 15^ο

Υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson ανάμεσα στην μέγιστη ετήσια απορροή και την αντίστοιχη αθροιστική απορροή.

Βήμα 16^ο

Προσαρμογή χρονοσειράς ακραίων ετήσιων απορροών στη κατανομή GEV με την μέθοδο L-ροπών και εκτίμηση των παραμέτρων της.

Βήμα 17^ο

Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος για την κατανομή των μεγίστων ετήσιων απορροών.

Βήμα 18^ο

Προσαρμογή χρονοσειράς αθροιστικών βροχοπτώσεων για κάθε ξεχωριστό Δt στην κατανομή GEV με την μέθοδο L-ροπών και εκτίμηση των παραμέτρων της.

Βήμα 19^ο

Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος για την κατανομή της αθροιστικής βροχόπτωσης.

5. Μεθοδολογία

Βήμα 20^ο

Υπολογισμός τεσσάρων πρώτων ροπών για τις κατανομές των ακραίων ετήσιων απορροών και αθροιστικών βροχοπτώσεων.

Βήμα 21^ο

Επανάληψη της διαδικασίας για το σύνολο των λεκανών απορροής.

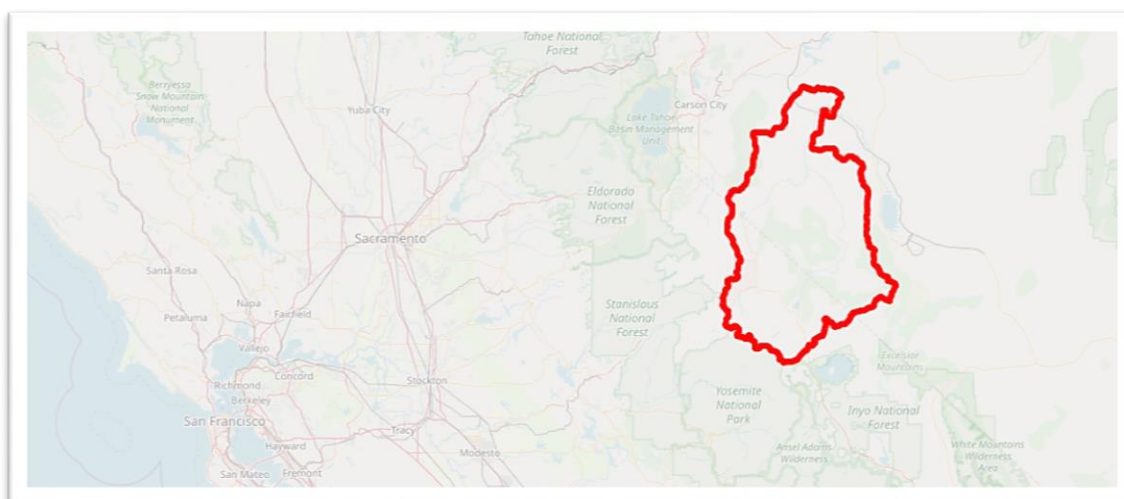
Βήμα 22^ο

Αποθήκευση αποτελεσμάτων σε φύλλα EXCEL για περαιτέρω ανάλυση.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας σε μία λεκάνη απορροής. Κρίνεται σκόπιμο για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας η ανάλυση της μεθοδολογίας να γίνει ειδικεύοντας αρχικά για την περίπτωση μιας λεκάνης και στη συνέχεια γενικεύοντας την διαδικασία. Στη γενικευμένη ανάλυση, που γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στατιστικά μεγέθη και χάρτες των στατιστικών μεγεθών που προέκυψαν μέσω της στατιστικής ανάλυσης, για το σύνολο των λεκανών απορροής.

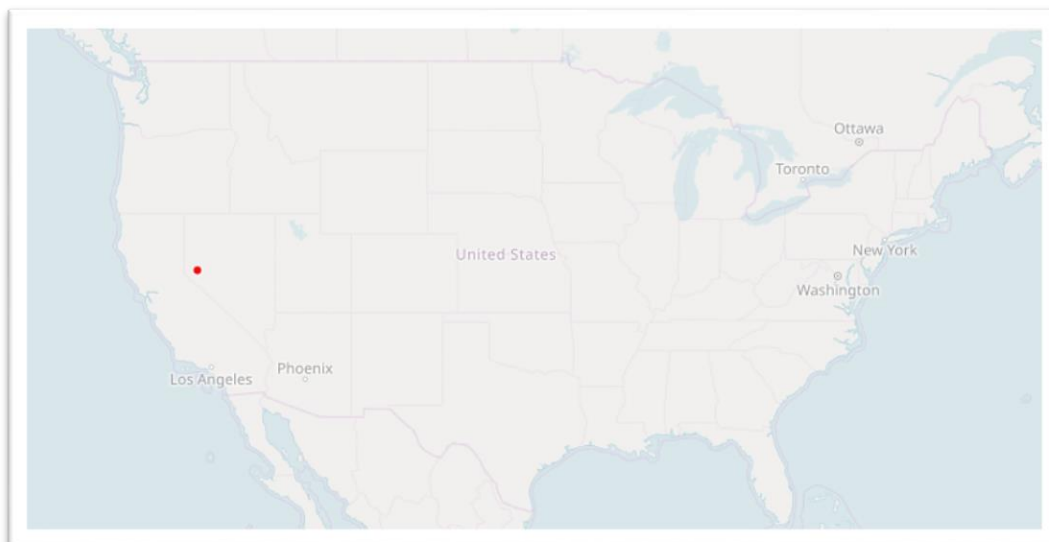
5.2 Παράδειγμα ανάλυσης δειγμάτων λεκάνης απορροής

Αρχικά έγινε η συλλογή ημερήσιων δεδομένων βροχής από την βάση δεδομένων MOREX για την δεδομένη λεκάνη, με κωδικό 10301500. Η λεκάνη βρίσκεται νοτιοδυτικά των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και υπάγεται στην πολιτεία της Νεβάδα. Η έκτασή της ανέρχεται σε 6734 km² και η γεωγραφική της θέση αποτυπώνεται στην Εικόνα 5.1 και την Εικόνα 5.2,



Εικόνα 5.1: Γεωγραφικά σύνορα λεκάνης με κωδική ονομασία 10301500 (Πηγή: <https://mygeodata.cloud/>)

5. Μεθοδολογία



Εικόνα 5.2: Γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής με κωδική ονομασία 10301500 (Πηγή: <https://mygeodata.cloud/>)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, απαραίτητη προϋπόθεση για την ένταξη της λεκάνης στο σύνολο της μελέτης ήταν να διαθέτει χρονοσειρά ημερήσιων καταγραφών βροχοπτώσεως μεγαλύτερη των 40 ετών. Η συγκεκριμένη λεκάνη διέθετε παρατηρήσεις εύρους 56 ετών (1948 έως 2003).

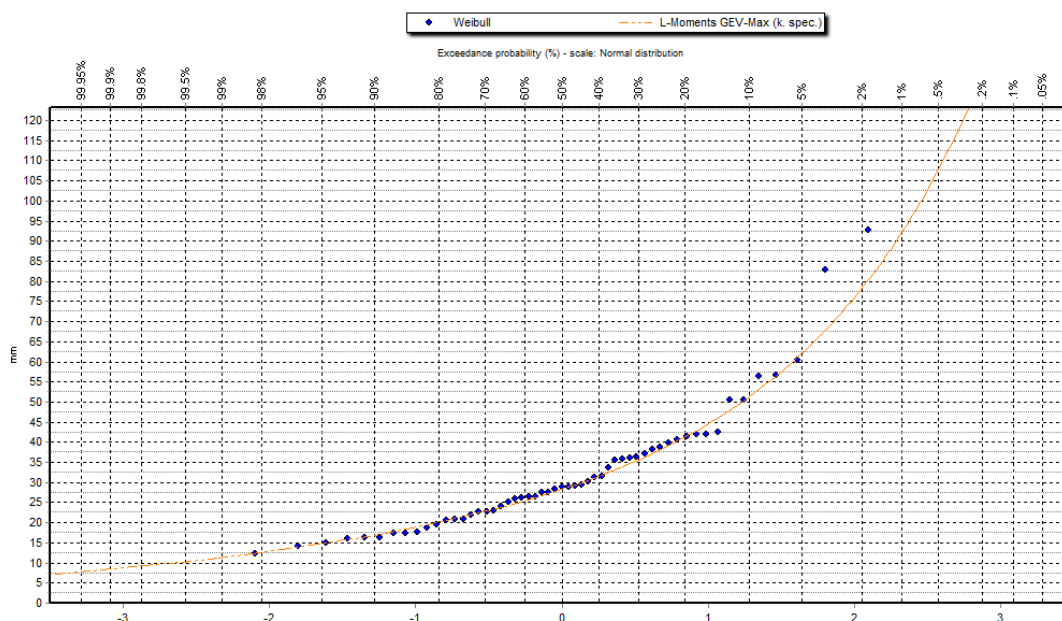
5.2.1 Κατανομή μέγιστων βροχοπτώσεων

Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των δεδομένων συγκεντρώθηκαν σε φύλλο EXCEL οι ημερήσιες παρατηρήσεις βροχόπτωσης για της δεδομένη λεκάνη. Οι παρατηρήσεις ήταν ανοιγμένες στην έκταση της λεκάνης απορροής και δίδονταν σε mm/ημέρα. Η χρονοσειρά της βροχής δεν διέθετε κενά ή λανθασμένες τιμές, ως εκ τούτο αναλύθηκε για όλο το εύρος των 55 ετών (1948 έως 2003).

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων, οι μέγιστες τιμές ανά έτος και οι αντίστοιχες ημερομηνίες αποθηκεύτηκαν στο λογισμικό Υδρογνώμων (βλ. 3.1.1). Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν η μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις. Η χρονοσειρά αυτή των μέγιστων ετήσιων τιμών βροχόπτωσης προσαρμόστηκε μέσω της μεθόδου L-ροπών στην κατανομή GEV. Με την διαδικασία αυτή υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι της κατανομής, ήτοι οι παράμετροι κλίμακας, θέσης και σχήματος (Πίνακας 5.1).

Όπως επισημάνθηκε στο κεφάλαιο 2.3, είναι απαραίτητη η διόρθωση τις παραμέτρου σχήματος της κατανομής GEV. Επομένως, ύστερα από τον υπολογισμό των παραμέτρων εφαρμόστηκε η εξίσωση (2.24) και εκτιμήθηκε η νέα διορθωμένη παράμετρος σχήματος για της μέγιστες ετήσιες τιμές της βροχόπτωσης.

5. Μεθοδολογία



Εικόνα 5.3: Προσαρμογή κατανομής GEV στις ακραίες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής 10301500

Στη συνέχεια της στατιστικής ανάλυσης υπολογίστηκαν οι τέσσερις πρώτες ροπές του δείγματος των ακραίων τιμών και έγινε η αντιστοίχσή τους μέσω των σχέσεων που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 2.4, στα ζητούμενα στατιστικά μέτρα (μέση τιμή, συντελεστή μεταβλητότητας (CV), ασυμμετρίας, κυρτότητας).

Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε κώδικας στο προγραμματιστικό περιβάλλον της R Studio (βλ. 3.1.3) και έγινε τη η χρήση της συνάρτησης *samlmu*, που υπολογίζει τις αμερόληπτες ροπές από ένα δεδομένο δείγμα τιμών. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.1: Στατιστικές παράμετροι κατανομής GEV

| location | scale | shape |
|----------|-------|-------|
| 24.161 | 9.741 | 0.166 |

Πίνακας 5.2: Διορθωμένες τιμές στατιστικών παραμέτρων κατανομής GEV

| location | scale | shape _{new} |
|----------|-------|----------------------|
| 24.161 | 9.741 | 0.138 |

Πίνακας 5.3: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων

| μ | CV | skewness | Kurtosis |
|--------|-------|----------|----------|
| 31.673 | 0.255 | 0.035 | 0.026 |

5. Μεθοδολογία

5.2.2 Κατανομές αθροιστικών βροχοπτώσεων για τις ετήσιες ακραίες βροχοπτώσεις

Ως γνωστό, η παραγωγή μιας πλημμύρας είναι συνδυασμένο αποτέλεσμα μιας ισχυρής καταιγίδας και της ήδη αποθηκευμένης υγρασίας στο έδαφος, στην αρχή της καταιγίδας. Η τελευταία εξαρτάται από την αλληλουχία βροχοπτώσεων που έχουν πραγματοποιηθεί την πρότερη χρονική περίοδο. Στα μοντέλα συνεχούς προσομοίωσης, η συγκέντρωση της εδαφικής υγρασίας υπολογίζεται ρητά, ενώ στα μοντέλα γεγονότος απαιτείται κάποια προσεγγιστική εκτίμηση των αρχικών συνθηκών του εδάφους κατά την έναρξη του επεισοδίου βροχής. Για παράδειγμα, η μέθοδος SCS-CN, που είναι η πλέον διαδεδομένη διαδικασία εκτίμησης της ενεργού βροχόπτωσης, χρησιμοποιεί την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών προκειμένου να ορίσει τρεις τύπους συνθηκών εδαφικής υγρασίας. Ωστόσο, η υπόθεση των πέντε ημερών δεν αποτελεί ασφαλές κριτήριο για την αντιστοίχιση των συνθηκών αρχικής υγρασίας, ειδικά σε ξηρά κλίματα, όπου παρατηρούνται λιγότερο συχνά αλλά πολύ πιο έντονα επεισόδια βροχής, σε σχέση με υγρά κλίματα. Για τον λόγο αυτό, ένα από τα ζητούμενα της παρούσας εργασίας ήταν να εντοπίσει το χρονικό εύρος της αθροιστικής βροχόπτωσης που σχετίζεται, στατιστικά, καλύτερα με την παραγόμενη απορροή αιχμής.

Για να διατυπωθεί κατά πόσο η αύξηση του χρονικού εύρους βροχόπτωσης συνδέεται και επηρεάζει τα αποτελέσματα της διερεύνησης, αποφασίστηκε ο διαχωρισμός των προηγούμενων ημερών βροχόπτωσης σε χρονικά διαστήματα μήκους Δt . Έτσι, πραγματοποιήθηκε η επιλογή του χρονικού εύρους Δt των ημερών που προηγήθηκαν της μέγιστης ετήσιας καταγραφής. Η τελική επιλογή αφορούσε τα χρονικά διαστήματα με βήμα ίσο με 5 ημέρες, με αφετηρία πέντε μέρες πριν την καταγραφή της ακραίας ετήσιας τιμής έως και τριάντα ημέρες πριν.

Η εύρεση της αθροιστικής κατανομής βροχής υλοποιήθηκε μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος της R, όπου δημιουργήθηκε κώδικας που υπολόγιζε το άθροισμα των Δt προηγούμενων ημερών ύστερα από την εκδήλωση της ακραίας ετήσιας καταγεγραμμένης τιμής.

Στην συνέχεια, έγινε προσαρμογή των 6 χρονοσειρών στην κατανομή GEV μέσω της μεθόδου L-ροπών και εξήχθησαν οι στατιστικοί παράμετροι της κατανομής για κάθε χρονοσειρά. Επιπλέον, έγινε η απαραίτητη διόρθωση του συντελεστή σχήματος και για της 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης.

Τέλος, όπως και στις αναλύσεις των δειγμάτων ακραίων ετήσιων απορροών και βροχοπτώσεων, υπολογίστηκαν οι τέσσερις πρώτες ροπές για τα δείγματα των αθροιστικών βροχοπτώσεων των πέντε, δέκα, δεκαπέντε, είκοσι, εικοσιπέντε και τριάντα προηγούμενων ημερών, αντίστοιχα, και έγινε η αντιστοίχιση τους στα

5. Μεθοδολογία

στατιστικά μέτρα μέσης τιμής, μεταβλητότητας (CV), ασυμμετρίας και κυρτότητας.

Πίνακας 5.4: Στατιστικές παράμετροι κατανομής GEV για τις 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης

| Annual P ($\Delta t = 5$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 10$ days) | | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|
| <i>location</i> | <i>scale</i> | <i>shape</i> | <i>shape_{new}</i> | <i>location</i> | <i>scale</i> | <i>shape</i> | <i>shape_{new}</i> |
| 7.164 | 8.142 | 0.440 | 0.240 | 13.457 | 13.406 | 0.288 | 0.184 |
| Annual P ($\Delta t = 15$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 20$ days) | | | |
| <i>location</i> | <i>scale</i> | <i>shape</i> | <i>shape_{new}</i> | <i>location</i> | <i>scale</i> | <i>shape</i> | <i>shape_{new}</i> |
| 17.825 | 15.823 | 0.255 | 0.171 | 23.254 | 19.176 | 0.176 | 0.142 |
| Annual P ($\Delta t = 25$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 30$ days) | | | |
| <i>location</i> | <i>scale</i> | <i>shape</i> | <i>shape_{new}</i> | <i>location</i> | <i>scale</i> | <i>shape</i> | <i>shape_{new}</i> |
| 30.840 | 25.400 | 0.067 | 0.101 | 37.137 | 29.664 | 0.051 | 0.095 |

Πίνακας 5.5: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος των 6 χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης

| Annual P ($\Delta t = 5$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 10$ days) | | | |
|----------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| <i>M</i> | <i>CV</i> | <i>skewness</i> | <i>kurtosis</i> | <i>M</i> | <i>CV</i> | <i>skewness</i> | <i>kurtosis</i> |
| 18.053 | 0.581 | 0.046 | 0.028 | 26.464 | 0.497 | 0.028 | 0.013 |
| Annual P ($\Delta t = 15$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 20$ days) | | | |
| <i>M</i> | <i>CV</i> | <i>skewness</i> | <i>kurtosis</i> | μ | <i>CV</i> | <i>skewness</i> | <i>kurtosis</i> |
| 32.223 | 0.459 | 0.023 | 0.011 | 38.329 | 0.420 | 0.018 | 0.009 |
| Annual P ($\Delta t = 25$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 30$ days) | | | |
| <i>M</i> | <i>CV</i> | <i>skewness</i> | <i>kurtosis</i> | μ | <i>CV</i> | <i>skewness</i> | <i>kurtosis</i> |
| 47.282 | 0.397 | 0.011 | 0.006 | 55.827 | 0.387 | 0.009 | 0.005 |

Από τα αποτελέσματα Πίνακας 5.4 μπορούν να δοθούν κάποιοι αρχικοί σχολιασμοί για την μεταβολή των στατιστικών παραμέτρων τις κατανομής GEV. Παρατηρείται μια αισθητή μείωση του συντελεστή σχήματος τις κατανομής όσο αυξάνεται ο αριθμός προηγούμενων ημερών στην κατανομή αθροιστικής βροχόπτωσης. Η ελάττωση αυτή της παραμέτρου, είναι της τάξης του 30% με 40% ανά 5 μέρες επιπλέον παρατηρήσεων, ενώ από την κλίμακα των 5 ημερών σε εκείνη των 30 η μείωση αυτή προσεγγίζει το ποσοστό του 88%. Αντιθέτως, στην περίπτωση των στατιστικών παραμέτρων της θέσης και κλίμακας παρατηρείται αύξηση της τιμής τους όσο μεγαλώνει το δείγμα αθροιστικής βροχόπτωσης.

Για την περίπτωση των μέτρων θέσης και μεταβλητότητας του δείγματος των χρονοσειρών προκύπτει μια ελαφριά μείωση στον συντελεστή μεταβλητότητας τους δείγματος όσο μεγαλώνει το μήκος προηγούμενων ημερών βροχόπτωσης. Η ίδια μείωση διαφαίνεται και στα μέτρα της ασυμμετρίας και κυρτότητας.

5. Μεθοδολογία

5.2.3 Κατανομή ακραίων απορροών

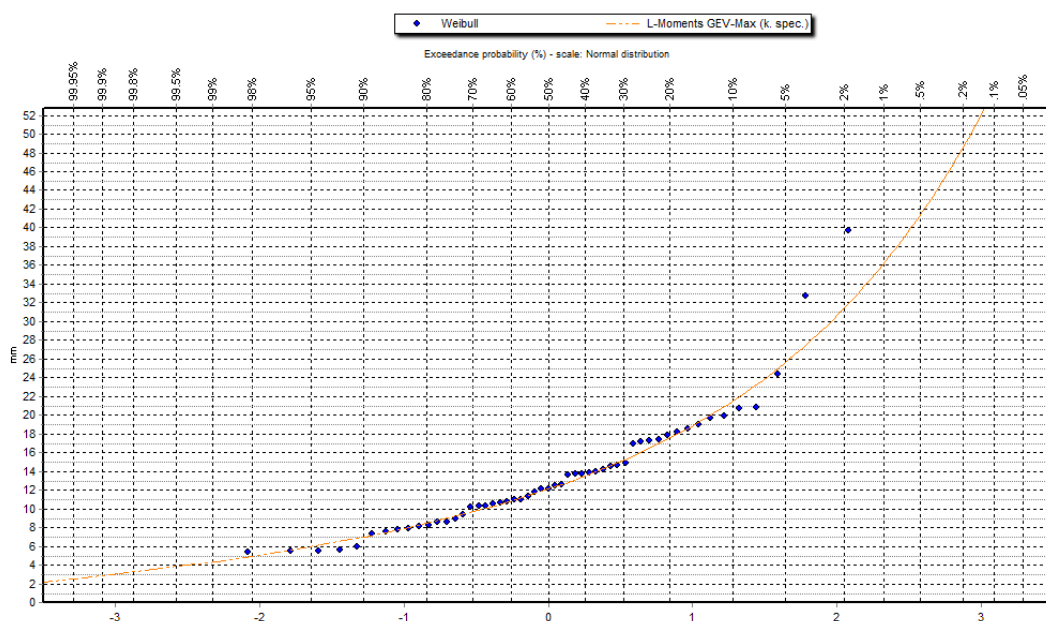
Αφού πραγματοποιήθηκε η παραπάνω διαδικασία στατιστικής ανάλυσης για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις και για τις χρονοσειρές αθροιστικών βροχοπτώσεων, υπολογίστηκαν οι ετήσιες χρονοσειρές ακραίων απορροών για την λεκάνη απορροής 10301500.

Συγκεκριμένα, αναζητήθηκε από την βάση δεδομένων MOPEX η χρονοσειρά της αντίστοιχης λεκάνης με της ημερήσιες καταγραφές της απορροής. Η βάση διαθέτει ημερήσιες τιμές καταγεγραμμένης απορροής ανηγμένες στην έκταση της λεκάνης (mm/day), που ξεκινούσαν από το έτος 1948 έως το έτος 2003.

Η χρονοσειρά αυτή ελέγχθηκε για τυχόν ελλειπίες τιμές. Μετά από το έλεγχο των δεδομένων, το τελικό δείγμα χρονοσειράς ξεκινούσε από το έτος 1948 έως το έτος 2001, δηλαδή 53 έτη παρατηρήσεων.

Ακολουθώντας, σύμφωνα με την ίδια διαδικασία που αναλύθηκε στο εδάφιο 5.2.1, εξήχθησαν για το κάθε έτος η τιμή της μέγιστης απορροής. Η τελική χρονοσειρά ακραίων ετήσιων απορροών προσαρμόστηκε με την μέθοδο των L-ροπών στην κατανομή GEV και υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι της κατανομής (Πίνακας 5.6), μετά και τη διόρθωση του συντελεστή σχήματος της κατανομής.

Τέλος, υπολογίστηκαν οι τέσσερις πρώτες ροπές του δείγματος των ακραίων τιμών και έγινε η αντιστοίχιση στα στατιστικά μέτρα μέσης τιμής, μεταβλητότητας (CV), ασυμμετρίας και κυρτότητας.



Εικόνα 5.4: Προσαρμογή κατανομής GEV στις ακραίες ετήσιες τιμές απορροής της λεκάνης 10301500

5. Μεθοδολογία

Πίνακας 5.6: Στατιστικές παράμετροι κατανομής GEV για το δείγμα των μέγιστων ετήσιων απορροών

| location | scale | shape | shape _{new} |
|----------|-------|-------|----------------------|
| 0.204 | 0.241 | 0.076 | 0.105 |

Πίνακας 5.7: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος μέγιστων ετήσιων απορροών

| μ | CV | skewness | kurtosis |
|-------|-------|----------|----------|
| 0.362 | 0.180 | 0.219 | -0.047 |

5.2.4 Κατανομές αθροιστικών βροχοπτώσεων για τις ετήσιες ακραίες απορροές

Μετά τον υπολογισμό των ακραίων ετήσιων απορροών για την λεκάνη απορροής υπολογίστηκε η αθροιστική χρονοσειρά της βροχόπτωσης που συνέβη στα προηγούμενα στα έξι χρονικά διαστήματα που μελετώνται. Τα διαστήματα αυτά αφορούσαν την αθροιστική χρονοσειρά που συμπεριλάμβανε την βροχή της ημέρας που καταγράφηκε η μέγιστη τιμή της απορροής και την χρονοσειρά, η οποία είχε ως αφετηρία την προηγούμενη ημέρα από την ακραία τιμή.

Πίνακας 5.8: Στατιστικοί παράμετροι κατανομής GEV για τις 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης συμπεριλαμβανομένης την ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της ετήσιας απορροής

| Q ₁ max | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|-------|----------------------|----------------------------------|--------|-------|----------------------|
| Annual P ($\Delta t = 5$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 10$ days) | | | |
| location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| 2.090 | 5.061 | 0.630 | 0.310 | 4.568 | 7.937 | 0.575 | 0.289 |
| Annual P ($\Delta t = 15$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 20$ days) | | | |
| location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| 8.841 | 12.633 | 0.437 | 0.238 | 12.614 | 16.577 | 0.355 | 0.208 |
| Annual P ($\Delta t = 25$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 30$ days) | | | |
| location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| 17.286 | 19.133 | 0.335 | 0.200 | 20.782 | 21.943 | 0.313 | 0.192 |

Πίνακας 5.9: Στατιστικοί παράμετροι κατανομής GEV για τις 6 χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης μη συμπεριλαμβανομένης την ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της ετήσιας απορροής

| Q ₀ max | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|-------|----------------------|----------------------------------|--------|-------|----------------------|
| Annual P ($\Delta t = 5$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 10$ days) | | | |
| location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| 2.678 | 5.730 | 0.599 | 0.298 | 5.287 | 8.708 | 0.552 | 0.281 |
| Annual P ($\Delta t = 15$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 20$ days) | | | |
| location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| 9.286 | 13.124 | 0.442 | 0.240 | 13.790 | 17.613 | 0.330 | 0.199 |
| Annual P ($\Delta t = 25$ days) | | | | Annual P ($\Delta t = 30$ days) | | | |
| location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| 18.051 | 19.734 | 0.332 | 0.200 | 21.533 | 22.163 | 0.310 | 0.191 |

5. Μεθοδολογία

Στην περίπτωση των αθροιστικών χρονοσειρών βροχής παρατηρείται μια μικρότερη πτώση στην παράμετρο του σχήματος της χρονοσειράς, της τάξης του 50% για τα δεδομένα του Πίνακα 5.8 και 48% για τα δεδομένα Πίνακα 5.9, μεταξύ των 5 προηγούμενων ημερών και των 30, αντίστοιχα. Αντίθετα, στις περιπτώσεις των παραμέτρων θέσης και κλίμακας υπάρχει αύξηση.

Στην συνέχεια έγινε προσαρμογή των 12 χρονοσειρών στην κατανομή GEV μέσω της μεθόδου L-ροπών και εξήχθησαν οι στατιστικές παράμετροι της κατανομής για κάθε χρονοσειρά. Επιπλέον, έγινε διόρθωση του συντελεστή σχήματος και για τις έξι χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης. Τέλος, εξήχθησαν, οι πρώτες τέσσερις L-ροπές για τις χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης και έγινε η αντιστοίχισή τους στα μέτρα μέσης τιμής, μεταβλητότητας (CV), ασυμμετρίας και κυρτότητας.

Πίνακας 5.10: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος των 6 χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης συμπεριλαμβανομένης της ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της απορροής

| Q ₀ max | | | | | | | |
|-------------------------|-------|----------|----------|-------------------------|-------|----------|----------|
| Annual P (Δt = 5 days) | | | | Annual P (Δt = 10 days) | | | |
| μ | CV | skewness | kurtosis | μ | CV | skewness | kurtosis |
| 14.288 | 0.763 | 0.057 | 0.034 | 20.707 | 0.702 | 0.040 | 0.025 |
| Annual P (Δt = 15 days) | | | | Annual P (Δt = 20 days) | | | |
| μ | CV | skewness | kurtosis | μ | CV | skewness | kurtosis |
| 26.912 | 0.630 | 0.029 | 0.018 | 32.393 | 0.571 | 0.022 | 0.014 |
| Annual P (Δt = 25 days) | | | | Annual P (Δt = 30 days) | | | |
| μ | CV | skewness | kurtosis | μ | CV | skewness | kurtosis |
| 38.957 | 0.534 | 0.019 | 0.013 | 43.984 | 0.512 | 0.017 | 0.011 |

Πίνακας 5.11: Μέτρα θέσης και μεταβλητότητας δείγματος των 6 χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης μη συμπεριλαμβανομένης της ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της απορροής

| Q ₁ max | | | | | | | |
|-------------------------|-------|----------|----------|-------------------------|-------|----------|----------|
| Annual P (Δt = 5 days) | | | | Annual P (Δt = 10 days) | | | |
| μ | CV | skewness | kurtosis | μ | CV | skewness | kurtosis |
| 13.379 | 0.791 | 0.061 | 0.037 | 19.562 | 0.721 | 0.043 | 0.027 |
| Annual P (Δt = 15 days) | | | | Annual P (Δt = 20 days) | | | |
| μ | CV | skewness | kurtosis | μ | CV | skewness | kurtosis |
| 25.615 | 0.631 | 0.030 | 0.018 | 31.025 | 0.585 | 0.023 | 0.014 |
| Annual P (Δt = 25 days) | | | | Annual P (Δt = 30 days) | | | |
| μ | CV | skewness | kurtosis | μ | CV | skewness | kurtosis |
| 37.663 | 0.538 | 0.020 | 0.013 | 43.145 | 0.519 | 0.017 | 0.011 |

Στην περίπτωση των μέτρων θέσης και μεταβλητότητας για το δείγμα των βροχοπτώσεων που αφορούν την μεταβλητή της απορροής διακρίνεται μια πτώση στην τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας. Από την άλλη πλευρά, για τα

5. Μεθοδολογία

μέτρα ασυμμετρίας και κύρτωσης οι τιμές τους είναι πολύ κοντά στην μηδενική τιμή, με όχι σημαντική διαφοροποίηση ανάμεσα στις αθροιστικές χρονοσειρές.

5.2.5 Συσχέτιση ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων με τις αθροιστικές χρονοσειρές Δt προηγούμενων ημερών βροχής

Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, ο προσδιορισμός και η ορθολογικότερη επιλογή του χρονικού εύρους των προηγούμενων ημερών βροχόπτωσης οι οποίες είχαν την μεγαλύτερη επιρροή στην ενεργό βροχόπτωση είναι αρκετά αβέβαιος. Η εμπειρία στην Ελλάδα (π.χ. Ποντικός, 2014) δείχνει ότι η τυπική υπόθεση των προηγούμενων πέντε ημερών είναι συχνά ανεπαρκής, και αρκετές φορές είναι αναγκαία η εκλογή μεγαλύτερο χρονικού διαστήματος για την εξαγωγή ασφαλώς συμπερασμάτων.

Μετά την αποθήκευση τόσο των ακραίων ετήσιων χρονοσειρών βροχοπτώσεις όσο και των χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης πραγματοποιήθηκε η αντιστοίχιση των έξι παραπάνω χρονικών βημάτων αθροιστικής βροχόπτωσης με την ακραία ετήσια καταγεγραμμένη τιμή. Στα δείγματα αυτά υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson για κάθε βήμα συνάθροισης Δt σύμφωνα με την σχέση:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.1)$$

όπου:

- n το εύρος του δείγματος
- x_i, y_i το ζεύγος των χρονοσειρών
- $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ η μέση τιμή του δείγματος x_i
- $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ η μέση τιμή του δείγματος y_i

Η ανάλυση αφορούσε τα έτη από το 1948 έως το 2003. Μετά την ανάλυση, εξήχθησαν οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης για το κάθε χρονικό βήμα και αποθηκευτήκαν σε φύλλα του EXCEL για περαιτέρω ανάλυση. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.12: Συντελεστής συσχέτισης Pearson για την μέγιστη ετήσια βροχόπτωση και τις αθροιστικές χρονοσειρές βροχόπτωσης

| Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση | | |
|---------------------------|---------------|---------------|
| $\Delta t=5$ | $\Delta t=10$ | $\Delta t=15$ |
| 0.78 | 0.61 | 0.56 |
| $\Delta t=20$ | $\Delta t=25$ | $\Delta t=30$ |
| 0.53 | 0.50 | 0.41 |

Είναι σαφές ότι υπάρχει μια μείωση του συντελεστή συσχέτισης όσο μεγαλώνει το πλήθος των προηγούμενων ημερών που αθροίζονται. Η μέγιστη συσχέτιση (ρ

5. Μεθοδολογία

= 0.78) παρατηρείται για την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών. Αντίθετα, παρόλη την μείωση που έχει ο συντελεστής όσο απομακρυνόμαστε από την χρονική στιγμή που συνέβη η μέγιστη ετήσια παρατήρηση, γίνεται αντιληπτό πως και τριάντα ημέρες πριν διατηρείται μια αρκετά υψηλή συσχέτιση, κοντά στο 0.41, που υποδηλώνει μη αμελητέα επιρροή της εδαφικής υγρασίας που έχει συσσωρευτεί τον προηγούμενο μήνα.

5.2.6 Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με τις αθροιστικές χρονοσειρές Δt προηγούμενων ημερών βροχής

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για την χρονοσειρά των απορροών. Πιο συγκεκριμένα, έγινε αντιστοίχιση της χρονοσειράς των ακραίων ετήσιων απορροών για την υπό μελέτη λεκάνη με τις αθροιστικές χρονοσειρές βροχοπτώσεων. Η ανάλυση αφορούσε στην εύρεση του συντελεστή συσχέτισης Pearson, τόσο για τις αθροιστικές χρονοσειρές που περιλάμβαναν την ημέρα που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της απορροής όσο και τις χρονοσειρές που άθροιζαν την τιμή της βροχής αρχίζοντας από την προηγούμενη ημέρα και πηγαίνοντας Δt μέρες πριν. Τέλος, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης της ακραίας ετήσιας απορροής με τις μεμονωμένες τιμές της αθροιστικής βροχόπτωσης των προηγούμενων Δt ημερών. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 5.13: Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με τις Δt προηγούμενες ημέρες βροχόπτωσης

| Qmax | | | | | | |
|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| P ₀ | P ₅ | P ₁₀ | P ₁₅ | P ₂₀ | P ₂₅ | P ₃₀ |
| 0.10 | 0.27 | -0.11 | 0.11 | -0.15 | 0.07 | -0.18 |

Πίνακας 5.14: Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με την αθροιστική χρονοσειράς βροχόπτωσης συμπεριλαμβανομένης την ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή

| Qmax | | | | | |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P ₀₋₅ | P ₅₋₁₀ | P ₁₀₋₁₅ | P ₁₅₋₂₀ | P ₂₀₋₂₅ | P ₂₅₋₃₀ |
| 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.16 | 0.13 | 0.10 |

Πίνακας 5.15: Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροών με την αθροιστική χρονοσειράς βροχόπτωσης με εξαίρεση της ημέρας που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή

| Qmax | | | | | |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| P ₁₋₅ | P ₅₋₁₀ | P ₁₀₋₁₅ | P ₁₅₋₂₀ | P ₂₀₋₂₅ | P ₂₅₋₃₀ |
| -0.05 | 0.19 | 0.18 | 0.16 | 0.13 | 0.10 |

Στην περίπτωση του Πίνακας 5.13 φαίνεται πως δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη συσχέτιση της μέγιστης ετήσιας απορροής με τις βροχοπτώσεις τον προηγούμενων ημερών. Αυτό διακρίνεται και στις υπόλοιπες περιπτώσεις, όπου

5. Μεθοδολογία

ο συντελεστής συσχέτισης Pearson κυμαίνεται σχετικά σε χαμηλές τιμές, παίρνοντας τις μεγαλύτερες τιμές τους στην περίπτωση της αθροιστικής βροχόπτωσης των 10 προηγούμενων ημερών από την εμφάνιση της μέγιστης πλημμυρικής απορροής για την δεδομένη λεκάνη απορροής.

6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

6.1 Σύνοψη αναλύσεων

Μετά την ολοκληρωμένη στατιστική ανάλυση για την λεκάνη 10301500, η διαδικασία κωδικοποιήθηκε και εφαρμόστηκε για το σύνολο των επιλεγμένων λεκανών απορροής της βάσης δεδομένων MOPEX, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια αξιοπιστίας και ποιότητας που αναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 4.3.. Η διαδικασία αυτή έγινε με την δημιουργία κατάλληλου κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον της R Studio.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αποθηκεύτηκαν και συγκεντρώθηκαν σε ένα αρχείο Excel, όπου ήταν πιο εύκολη η εποπτική ερμηνεία και ανάλυση τους. Ακόμα, σε περιβάλλον Excel αποθηκεύτηκαν τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, οι γεωγραφικές τους συντεταγμένες, η έκταση τους και οι καταγεγραμμένες παρατηρήσεις των μέγιστων και ελάχιστων ημερήσιων βαθμών θερμοκρασίας.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου περιγράφονται οι υπόψη επεξεργασίες, καθώς και περαιτέρω διερευνήσεις που έγιναν, ώστε να εντοπιστούν τυχούσες συσχετίσεις μεταξύ των στατιστικών παραμέτρων και διαφόρων υδροκλιματικών δεικτών των λεκανών.

Αρχικά, παράγονται ιστογράμματα όπου υποδεικνύουν πως η καλύτερη συσχέτιση για τις τιμές των ακραίων βροχοπτώσεων είναι εκείνη με των 15 ημέρων πριν.

Ακόμα, παρατίθενται ιστογράμματα που υποδεικνύουν την στατιστική εξάρτηση των έξι επιλεγθέντων χρονοσειρών αθροιστικής βροχόπτωσης με τις μέγιστες ετήσιες χρονοσειρές για όλο το εύρος των λεκανών απορροής.

Αναλύονται στο σύνολο των χρονοσειρών οι στατιστικές παράμετροι και τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας των κατανομών και βγαίνουν τα τελικά συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

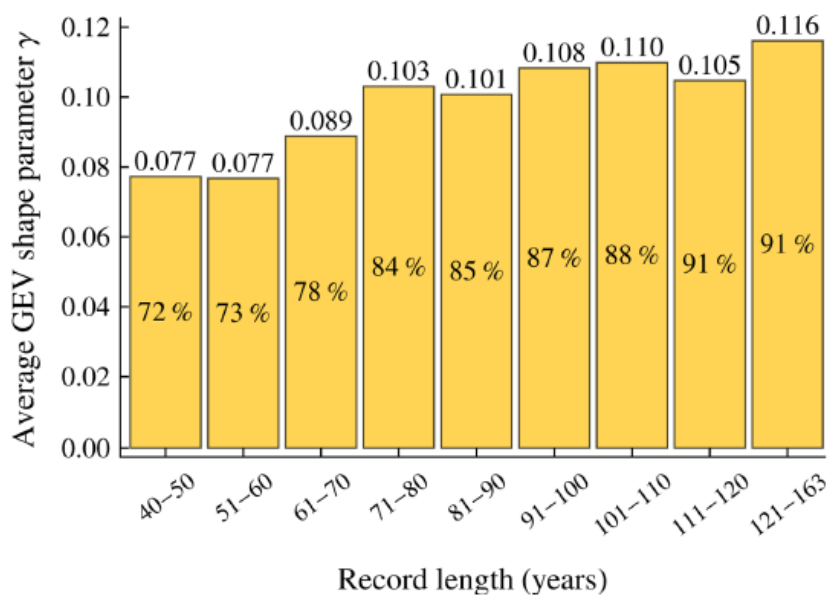
Τέλος, γίνεται μια προσπάθεια χωρικής ερμηνείας των αποτελεσμάτων, μέσω της δημιουργίας χαρτών που δείχνουν τα συμπεράσματα της μελέτης σε μακροκλίμακα για όλη την εδαφική έκταση της Αμερικής. Οι χάρτες αυτοί συγκρίνονται με τα ιδιαίτερα υδροκλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τα των λεκανών απορροής. Έχει ενδιαφέρον να ερευνηθεί, κατά πόσο αυτή η συσχέτιση αλλάζει με βάση την θέση της λεκάνης και το γεωγραφικό της πλάτος αλλά και την μέση θερμοκρασία της, έτσι σε επόμενο στάδιο έγινε η εξαγωγή συνοπτικών χαρτών πιθανότητας όπου παρατίθενται και τα συμπεράσματα της μελέτης.

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

6.2 Κατανομές μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων

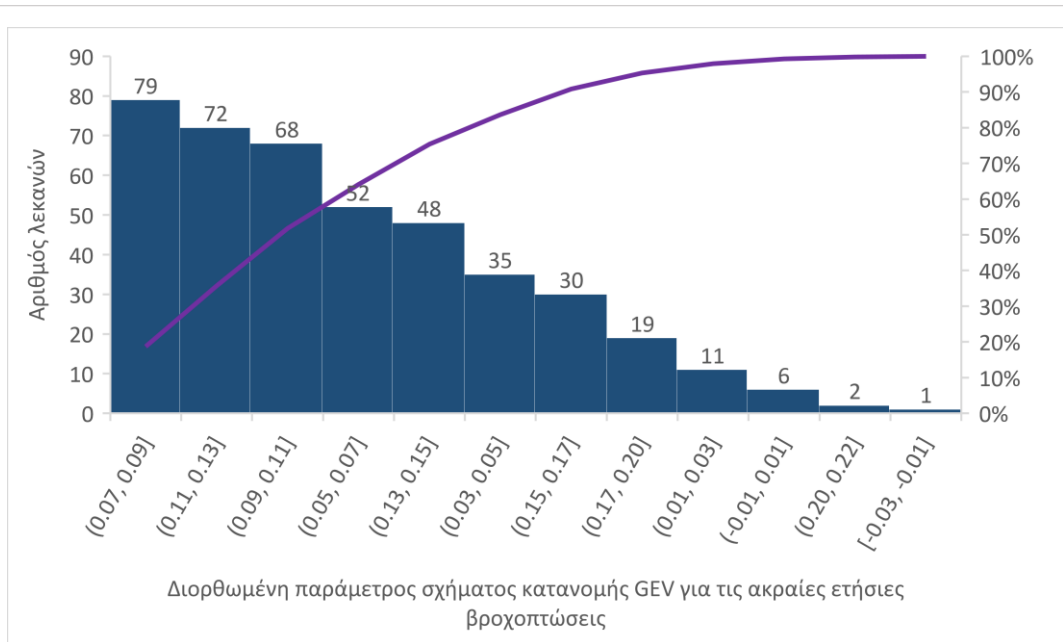
Στο υποκεφάλαιο αυτό περιγράφεται η προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ (βλ. 2.3) στις χρονοσειρές των μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων όλων των λεκανών. Για κάθε χρονοσειρά υπολογίζονται οι παράμετροι κλίμακας, θέσης και σχήματος, η οποία διορθώνεται σύμφωνα με την εξίσωση (2.24).

Ειδικότερα, δίνεται έμφαση στην παράμετρο σχήματος, καθώς υποδεικνύει ποια από τις τρεις εκδοχές της κατανομής ΓΑΤ (Gumbel Τύπου I, Fréchet τύπου II, Weibull Τύπου III) είναι η πλέον κατάλληλη για την περιγραφή της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης (βλ.2.3). Πριν από την διόρθωση της παραμέτρου το εύρος τιμών της παραμέτρου κυμαινόταν από -0.30 έως το 0.38, ενώ ύστερα από την εφαρμογή της εξίσωσης (2.24) η τιμή της κυμάνθηκε από -0.03 έως 0.22. Πριν την διόρθωση, η μέση τιμή και η τυπική της απόκλιση της παραμέτρου σχήματος είναι 0.060 και 0.116, αντίστοιχα, ενώ μετά τη διόρθωση οι αντίστοιχες τιμές είναι 0.101 και 0.043.



Εικόνα 6.1: Μεταβολή μέσης τιμής της παραμέτρου σχήματος της GEV κατανομής για διαφορετικά δείγματα χρονοσειρών (Πηγή: Papalexiou and Koutsoyiannis, 2013)

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Εικόνα 6.2: Ιστόγραμμα διορθωμένης παραμέτρου σχήματος γ της GEV κατανομής για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 423 λεκανών απορροής

Αξίζει να αναφερθεί πως η τιμή της παραμέτρου επηρεάζεται από το μήκος της χρονοσειράς. Σύμφωνα με τους Paralexiou *et al.* (2013), για χρονοσειρές 40 έως 50 ετών η μέση τιμή της προσεγγίζει την τιμή 0.077, ενώ για μεγαλύτερες (> 121 έτη) είναι μεγαλύτερη (0.116). Το αντίθετο ισχύει για την τιμή της τυπικής απόκλισης.

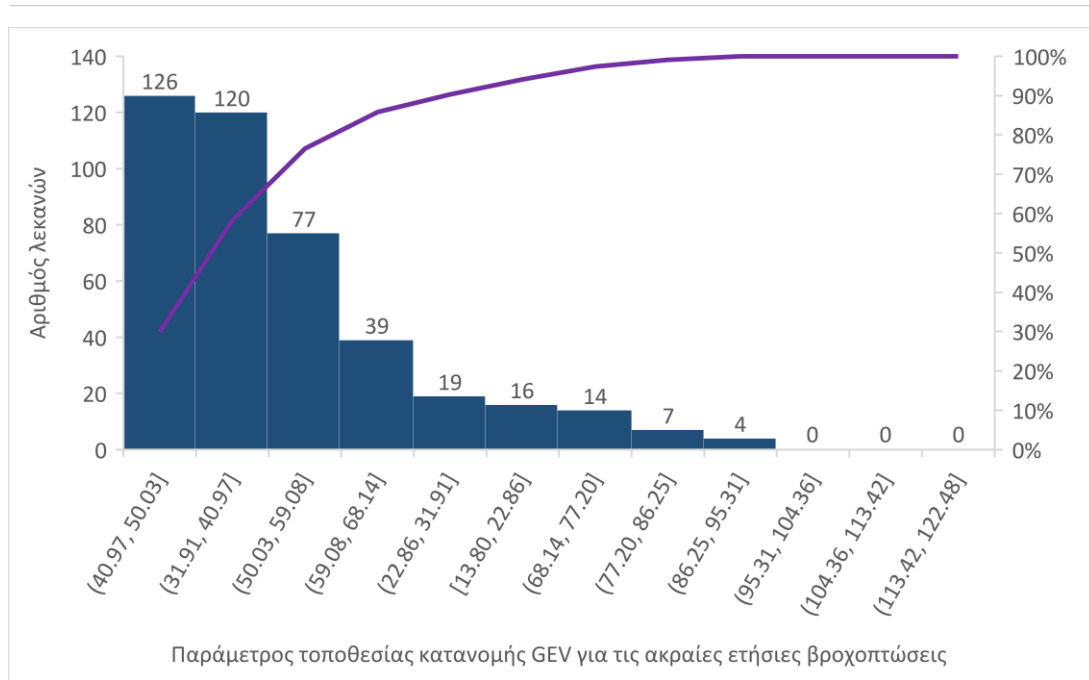
Στη συνέχεια, παρατίθεται η Εικόνα 6.2, με την τιμή της παραμέτρου γ για το σύνολο των 423 χρονοσειρών ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων.

Όπως επισημάνθηκε και στο κεφάλαιο 2.3, οι μικρές τιμές της παραμέτρου σχήματος υποδηλώνουν «παχιές» ουρές, δηλαδή μια κατανομή η οποία προσεγγίζει πιο αργά την μηδενική τιμή. Αντίθετα, οι αρνητικές τιμές δείχνουν πως υπάρχει κάποιο άνω όριο στην κατανομή μας, κάτι το οποίο δεν έχει φυσικό νόημα και για αυτό το λόγο εφαρμόζεται η διορθωτική εξίσωση.

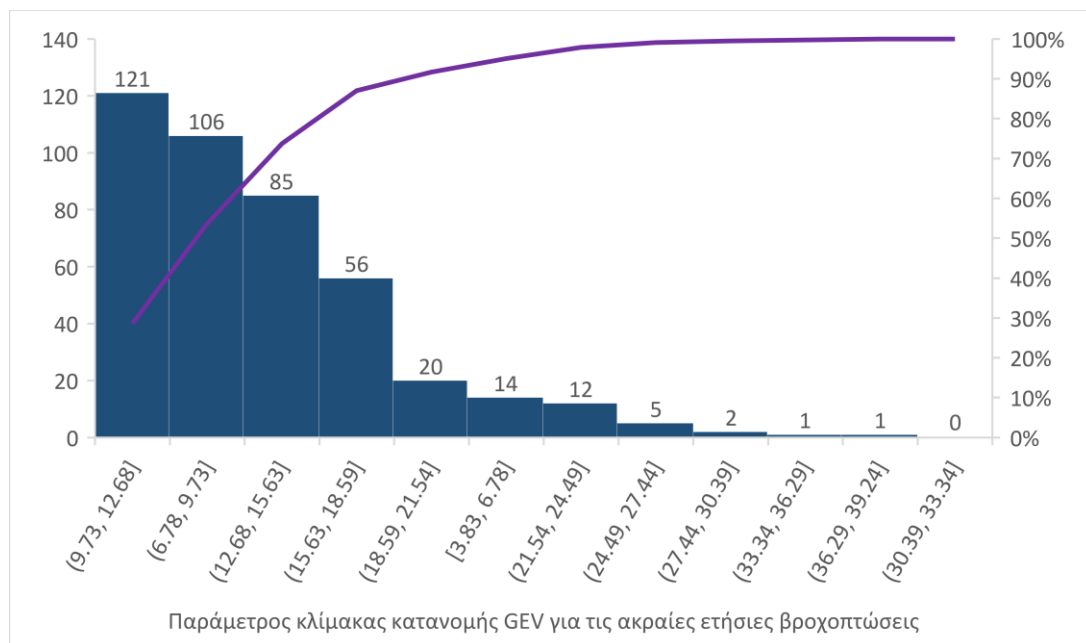
Όπως διακρίνεται στην Εικόνα 6.2, μετά την διόρθωση του συντελεστή το 99.1% του δείγματος έχει τιμή μεγαλύτερη του μηδενός και μόλις το 0.9% έχει αρνητική τιμή. Το συμπέρασμα αυτό υποδηλώνει πως οι χρονοσειρές μας προσεγγίζονται καλύτερα από την κατανομή Fréchet Τύπου II έναντι εκείνης του Gumbel Τύπου I.

Η μέση τιμή της παραμέτρου θέσης των ακραίων βροχοπτώσεων για το σύνολο των 423 λεκανών απορροής είναι ίση με 46.45, ενώ η τυπική απόκλιση είναι ίση με 11.03. Ενώ για την παράμετρο της κλίμακας, υπολογίστηκε η μέση τιμή της ίση με 12.83 και η τυπική της απόκλιση ίση με 3.55.

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Εικόνα 6.3: Ιστογράμμα παραμέτρου θέσης της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 423 λεκανών απορροής

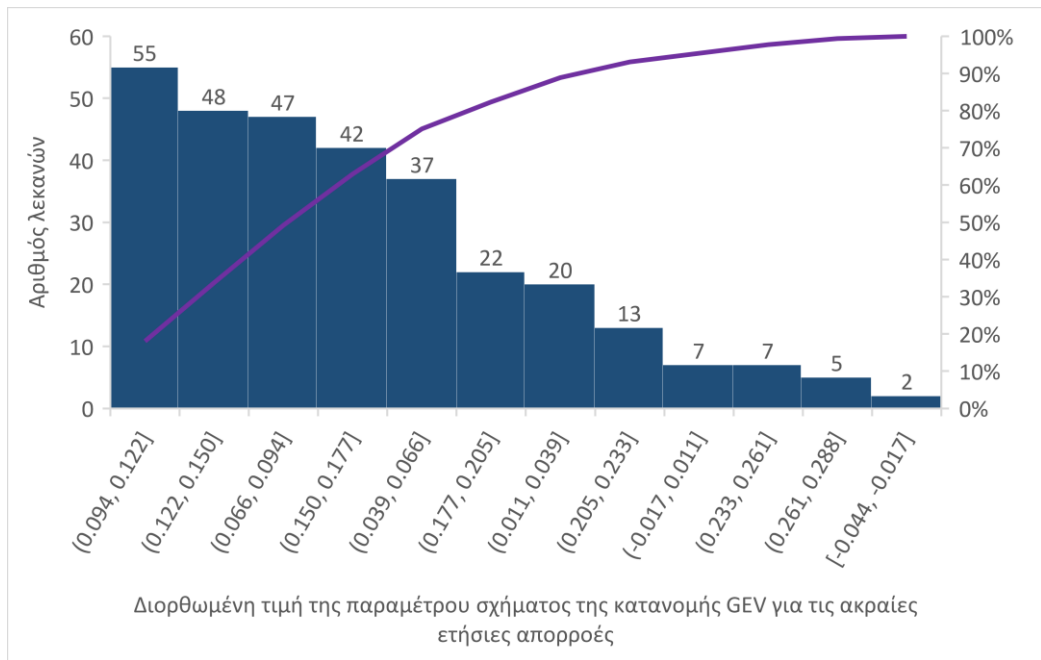


Εικόνα 6.4: Ιστογράμμα παραμέτρου κλίμακας της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 423 λεκανών απορροής

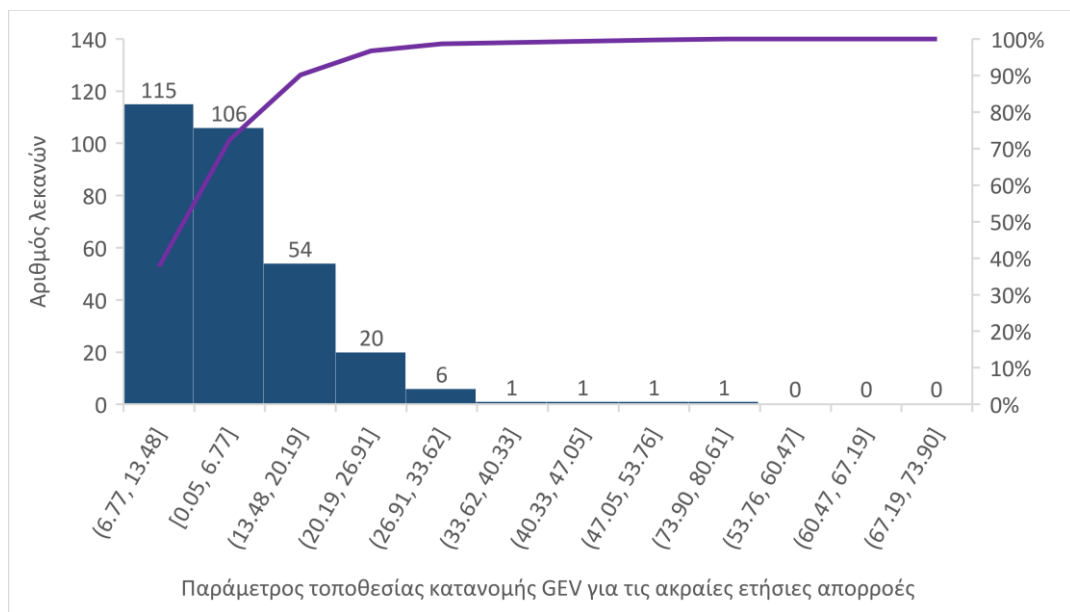
6.3 Κατανομές μέγιστων ετήσιων απορροών

Η ίδια διαδικασία με το εδάφιο 5.2.3 ακολουθήθηκε για τις μέγιστα ημερήσια ύψη απορροής των 431 λεκανών. Μετά από την απόρριψη των λεκανών με χρονοσειρές μικρότερες των 40 ετών ή με χρονοσειρές με λανθασμένες τιμές ή κενά, το τελικό δείγμα αφορούσε 305 λεκάνες. Καταρτίστηκαν τα ιστογράμματα για τις στατιστικές παραμέτρους της GEV κατανομής για τις ακραίες ετήσιες απορροές και εξήχθησαν οι μέση τιμή και τυπική απόκλιση του δείγματος.

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

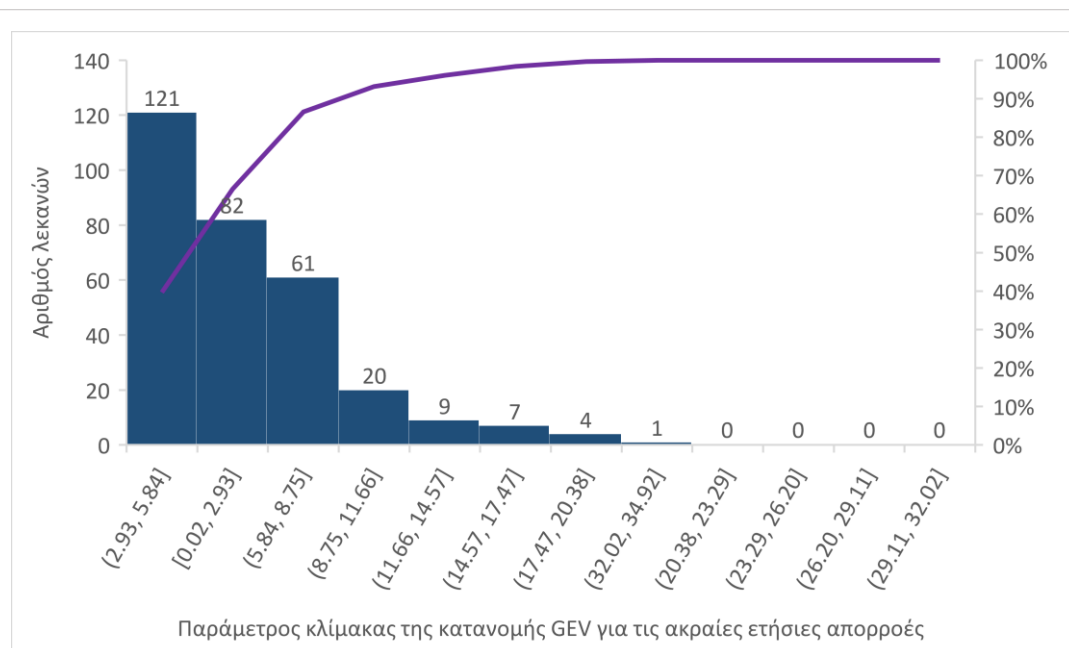


Εικόνα 6.1: Τιμές διορθωμένης παραμέτρου σχήματος γ της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες απορροές των 305 λεκανών απορροής



Εικόνα 6.2: Τιμές της παραμέτρου θέσης της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 305 λεκανών απορροής

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Εικόνα 6.3: Τιμές της παραμέτρου κλίμακας της κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις των 305 λεκανών απορροής

Επιπλέον, έγινε διόρθωση στην παράμετρο σχήματος της κατανομής. Πριν από την διόρθωση της παραμέτρου η τιμή της μεταβλητής κυμαινόταν από το -0.33 έως το 0.605, ενώ ύστερα από την εφαρμογή της εξίσωσης (2.24) η τιμή της κυμάνθηκε από -0.04 έως 0.29. Πριν την διόρθωση, η μέση τιμή και η τυπική της απόκλιση παίρνουν τις τιμές 0.106 και 0.167, αντίστοιχα, και 0.116 και 0.061 μετά.

Σύμφωνα με την ανάλυση, μετά την διόρθωση του συντελεστή το 98.03% του δείγματος έχει τιμή μεγαλύτερη του μηδενός και μόλις το 1.97% έχει αρνητική τιμή. Το συμπέρασμα αυτό υποδηλώνει πως οι χρονοσειρές μας προσεγγίζονται καλύτερα από την κατανομή Fréchet Τύπου II έναντι της Gumbel Τύπου I.

Η μέση τιμή της παραμέτρου θέσης της χρονοσειράς των ακραίων βροχοπτώσεων για το σύνολο των 305 λεκανών απορροής είναι ίση με 10.81, με τυπική απόκλιση 8.36. Για την παράμετρο κλίμακας υπολογίστηκε μέση τιμή ίση με 5.33 και τυπική της απόκλιση ίση με 3.97.

6.4 Κατανομές αθροιστικής βροχόπτωσης

Η ανάλυση αυτή εφαρμόστηκε για το σύνολο των 423 λεκανών απορροής. Για κάθε χρονοσειρά, που αναφέρεται σε έξι κλίμακες συνάθροισης (5, 10, 15, 20, 25 και 30 ημέρες), εκτιμήθηκαν οι παράμετροι της κατανομής GEV, καθώς και η μέση τιμή και τυπική απόκλιση αυτών, οι οποίοι αποτυπώνονται στον Πίνακα 6.1.

Επιβεβαιώνεται πως και στην περίπτωση του συνόλου των λεκανών απορροής η στατιστική παράμετρος σχήματος της κατανομής δέχεται μια ελάττωση της

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

τάξης του 54%. Η μέση τιμή του συντελεστή σχήματος μειώνεται για τις χρονοσειρές αθροιστικής βροχόπτωσης και για την κλίμακα συνάθροισης μεγαλύτερη των 20 ημερών η παράμετρος παίρνει αρνητικές τιμές. Αντίθετα, η τυπική απόκλιση των χρονοσειρών δεν λαμβάνει κάποια σημαντική διαφοροποίηση στο σύνολο των χρονοσειρών.

Όπως παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της μεμονωμένης λεκάνης απορροής και για όλο το σύνολο των δεδομένων παρατηρείται πως οι στατιστικές παράμετροι της θέσης και κλίμακας δέχονται μια αύξηση της τιμής τους όσο μεγαλώνει το η κλίμακα συνάθροισης Δt της βροχόπτωσης.

Πίνακας 6.1: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των στατιστικών παραμέτρων της κατανομής GEV για τις χρονοσειρές αθροιστικών βροχοπτώσεων

| Annual P ($\Delta t = 5$ days) | | | | | Annual P ($\Delta t = 10$ days) | | | |
|----------------------------------|----------|--------|--------|----------------------|----------------------------------|--------|--------|----------------------|
| | location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| μ | 13.945 | 14.102 | 0.141 | 0.129 | 27.266 | 21.689 | 0.044 | 0.093 |
| σ | 6.785 | 4.844 | 0.103 | 0.038 | 10.859 | 7.180 | 0.106 | 0.039 |
| Annual P ($\Delta t = 15$ days) | | | | | Annual P ($\Delta t = 20$ days) | | | |
| | location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| μ | 39.905 | 27.828 | 0.006 | 0.079 | 53.283 | 33.313 | -0.030 | 0.065 |
| σ | 14.247 | 8.832 | 0.110 | 0.041 | 18.471 | 10.547 | 0.112 | 0.042 |
| Annual P ($\Delta t = 25$ days) | | | | | Annual P ($\Delta t = 30$ days) | | | |
| | location | scale | shape | shape _{new} | location | scale | shape | shape _{new} |
| μ | 66.763 | 38.152 | -0.047 | 0.059 | 79.806 | 42.859 | -0.065 | 0.052 |
| σ | 21.939 | 11.909 | 0.103 | 0.038 | 25.740 | 13.480 | 0.107 | 0.040 |

6.5 Ανάλυση χρονικού εύρους αθροιστικής βροχόπτωσης

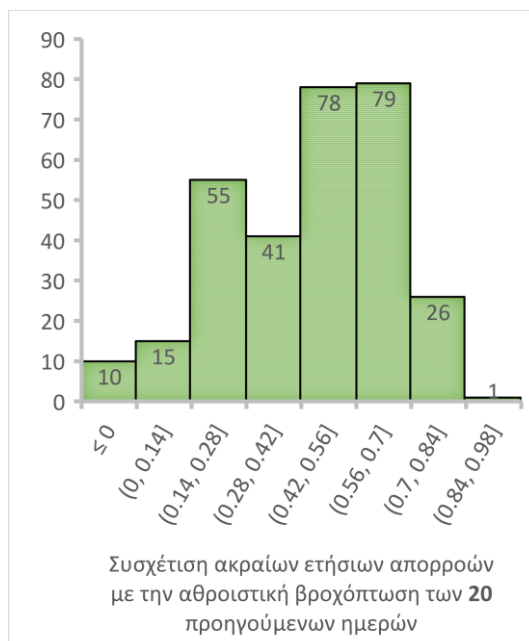
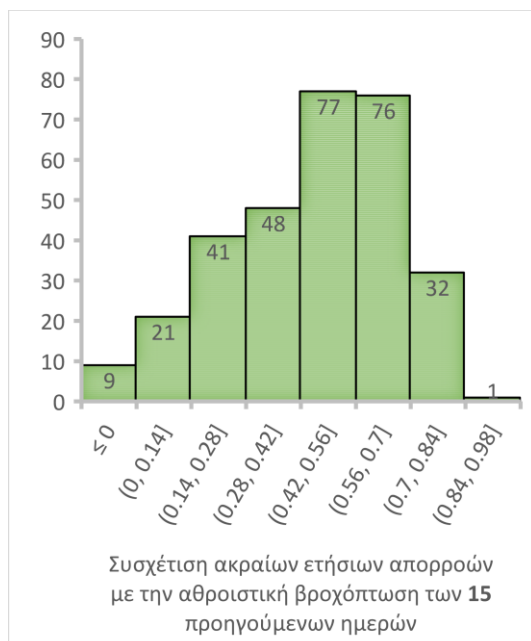
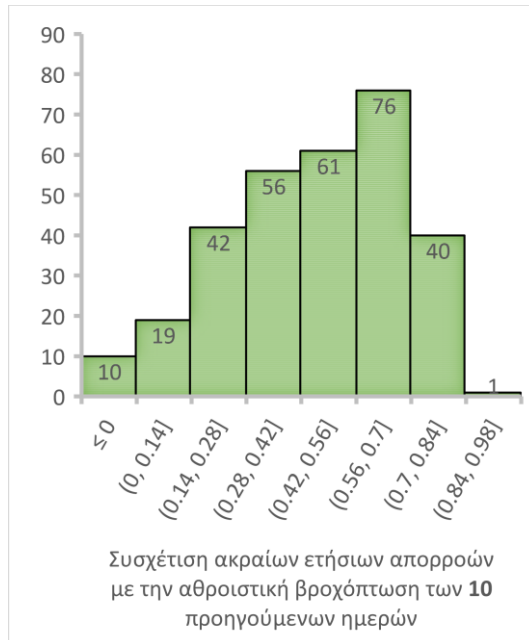
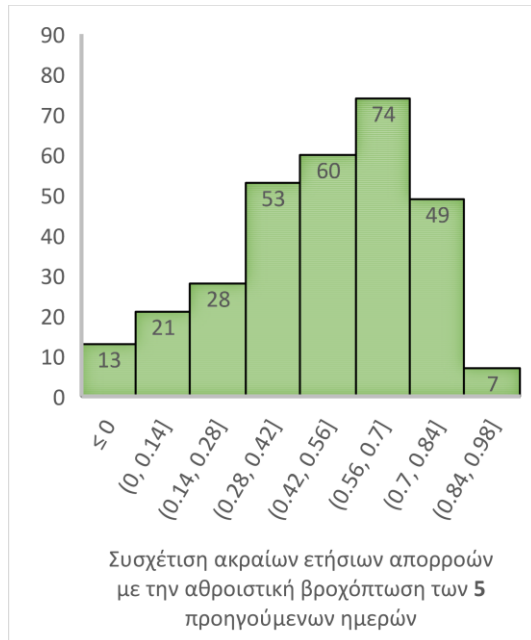
6.5.1 Περίπτωση ακραίας ετήσιας βροχόπτωσης

Η διαδικασία που περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 5.2 για την περίπτωση της πιλοτικής λεκάνης 10301500 κωδικοποιήθηκε μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος της R Studio και εφαρμόστηκε για το σύνολο των 423 λεκανών. Από τις αναλύσεις εξήχθησαν τα παρακάτω Ιστογράμματα για τα έξι κλίμακες συνάθροισης, που αντιστοιχούν σε χρονικά διαστήματα των Δt προηγούμενων ημερών.

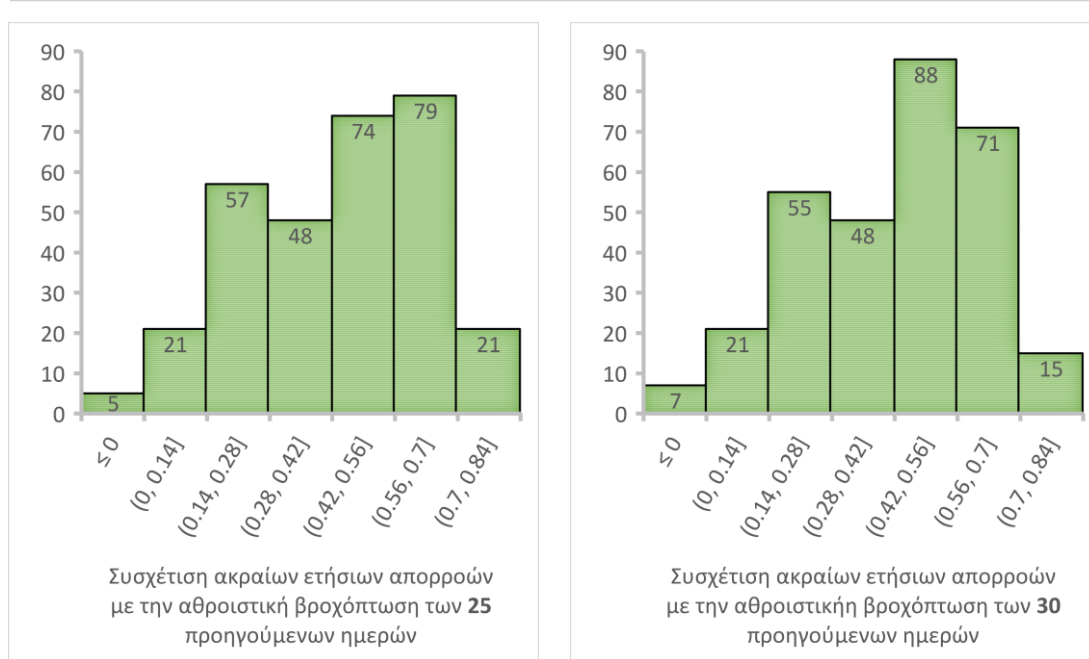
Από τα ιστογράμματα προκύπτει πως η βέλτιστη επιλογή των Δt προηγούμενων ημερών για την εκτίμηση της επιρροής της εδαφική υγρασία στην ακραία ετήσια βροχόπτωση είναι η επιλογή των 15 ημερών πριν. Στη χρονική αυτή κλίμακα, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της μέγιστης απορροής και της αθροιστικής βροχόπτωσης των 15 προηγούμενων ημερών είναι μεγαλύτερος από 0.20 στο 46% των λεκανών, εκ των οποίων το ποσοστό του 20% ξεπερνάει την τιμή του

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

0.40. Ενώ, μικρότερη επιρροή φαίνεται να έχει η επιλογή αφορά τις $\Delta t = 25$ ημέρες πριν όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος της τιμής 0.20 για το 43% των λεκανών από τις οποίες μόλις το 15% ξεπερνάει την τιμή του 0.40.



6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Σχήμα 6.1: Ιστογράμματα συντελεστή συσχέτισης ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων και Δt προηγούμενων ημερών αθροιστικής βροχόπτωσης

6.5.2 Περίπτωση ακραίας ετήσιας απορροής

Στην περίπτωση των ακραίων ετήσιων απορροών μετά την απαραίτητα επεξεργασία και απόρριψη ενός εύρους λεκανών απορροής. Όπως εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 4.3, η τελική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα 299 λεκανών.

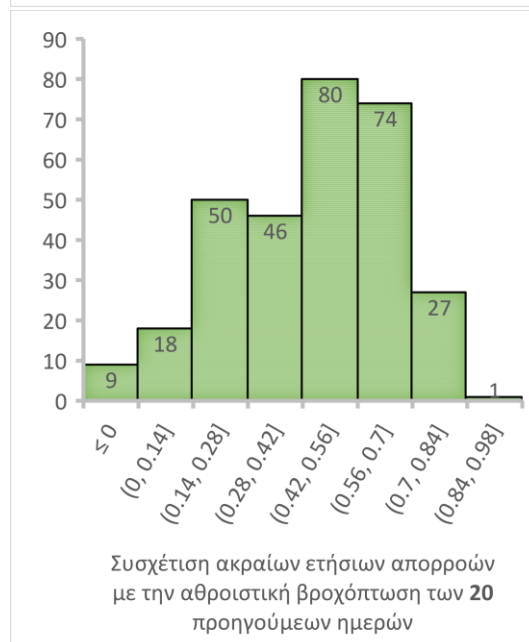
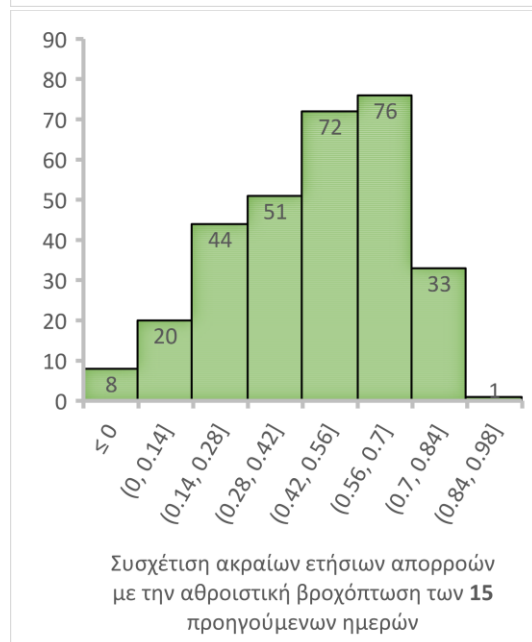
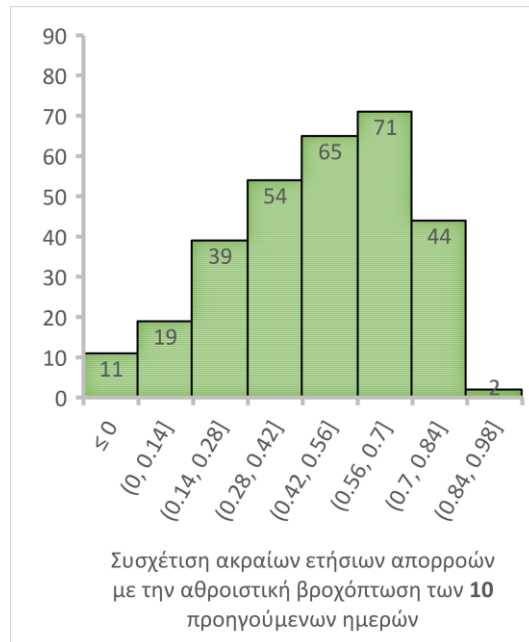
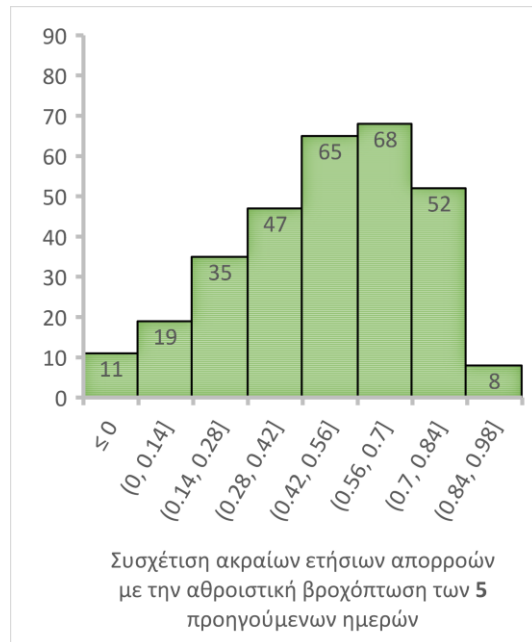
Η ανάλυση αφορούσε την εύρεση του συντελεστή συσχέτισης Pearson τόσο για τις αθροιστικές χρονοσειρές που περιλάμβαναν την ημέρα που παρατηρήθηκε η ακραία τιμή της απορροής όσο και στις χρονοσειρές η οποίες άθροιζαν την τιμή της βροχής αρχίζοντας από την προηγούμενη ημέρα και πηγαίνοντας Δt μέρες πριν. Ακόμα, για κάθε λεκάνη υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης της ακραίας ετήσιας απορροής με τις μεμονωμένες τιμές των προηγούμενων Δt ημερών βροχής. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατίθενται με τη μορφή ιστογραμμάτων.

Τα παρακάτω ιστογράμματα αφορούν στην αθροιστική βροχόπτωση μετά την παρατήρηση της ακραίας ετήσιας τιμής της απορροής, λαμβάνοντας υπόψη την ημέρα που παρατηρήθηκε το ακραίο συμβάν. Από αυτά προκύπτει πως η βέλτιστη επιλογή των Δt προηγούμενων ημερών για την εκτίμηση της επιρροής της εδαφικής υγρασίας στην ακραία ετήσια απορροή είναι η χρονική κλίμακα των 5 ημερών. Στη χρονική αυτή κλίμακα, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της μέγιστης απορροής και της αθροιστικής βροχόπτωσης των 5 προηγούμενων ημερών είναι μεγαλύτερος από 0.20 στο 85.25% των λεκανών, εκ των οποίων το ποσοστό του 76.16% ξεπερνάει την τιμή 0.40. Η μικρότερη επιρροή φαίνεται να έχει η κλίμακα των 15 ημερών πριν, για την οποία ο συντελεστής συσχέτισης

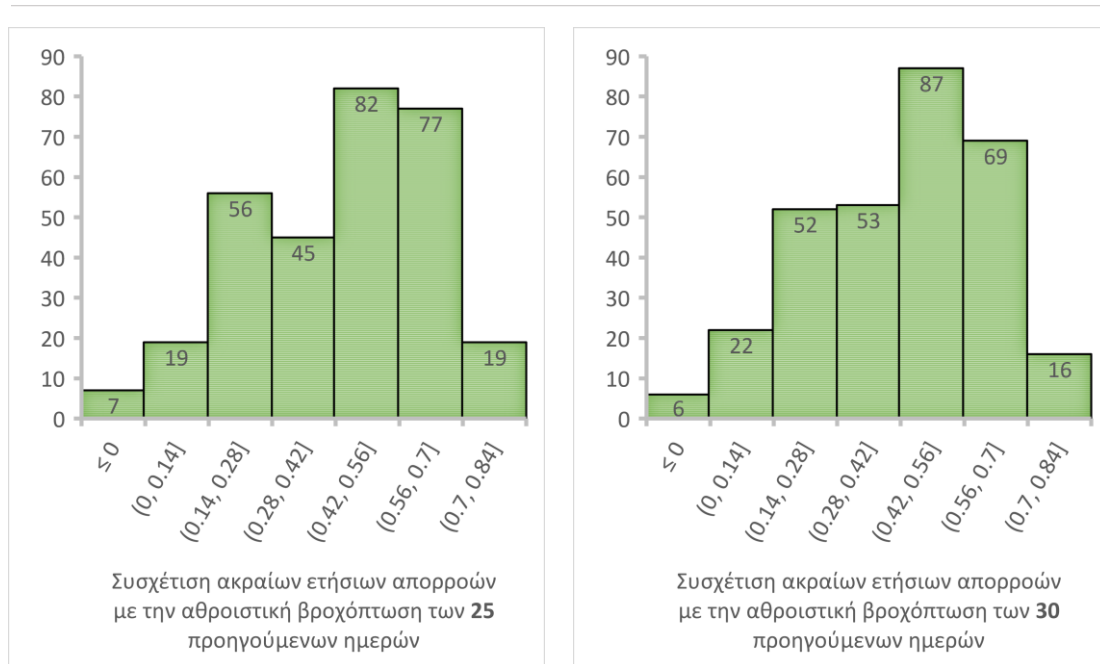
6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

είναι μεγαλύτερος της τιμής 0.20, για το 82.25% των λεκανών από τις οποίες μόλις το 75% ξεπερνάει την τιμή του 0.40.

Συσχέτιση ακραίων ετήσιων απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών

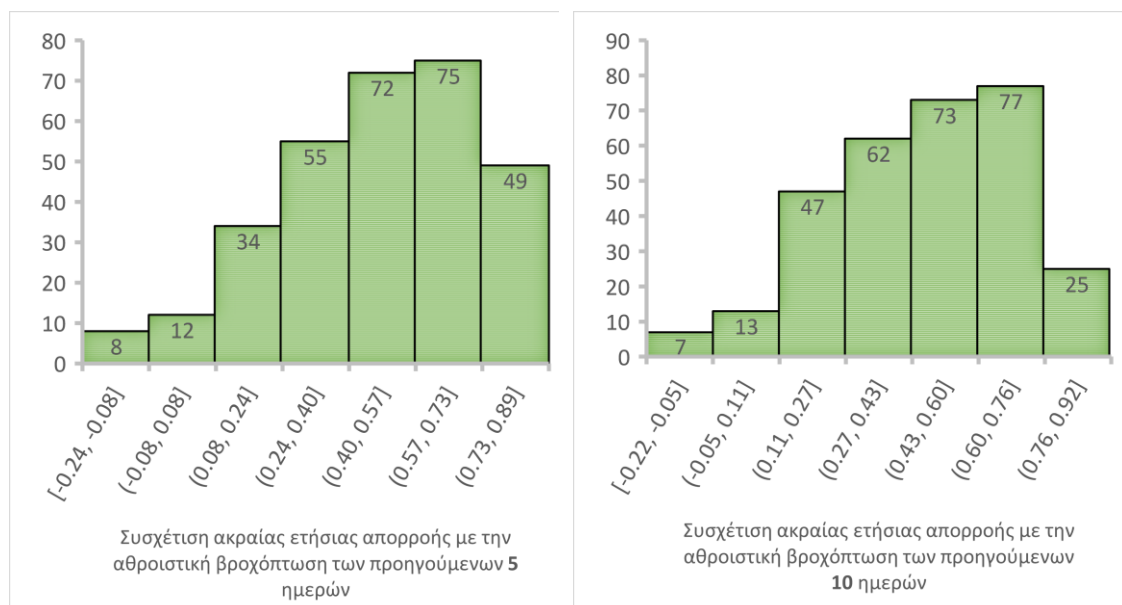


6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

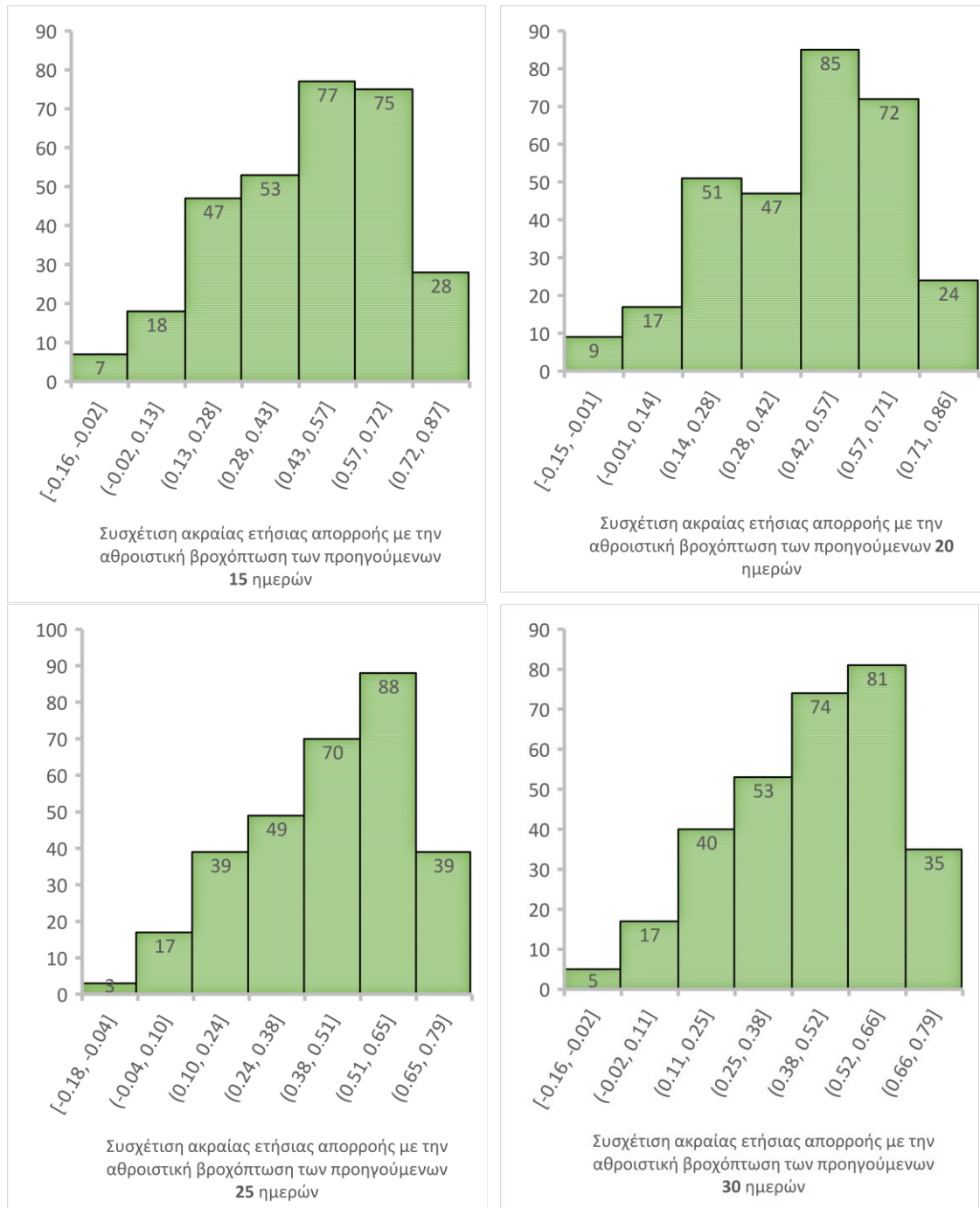


Εικόνα 6.5: Ιστογράμματα συσχέτισης μέγιστης ετήσιας απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση

Τα επόμενα ιστογράμματα αφορούν στην αθροιστική βροχόπτωση μετά την παρατήρηση της ακραίας ετήσιας τιμής της απορροής, μη λαμβάνοντας υπόψη την ημέρα που παρατηρήθηκε το ακραίο συμβάν. Στη χρονική αυτή κλίμακα, ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της μέγιστης απορροής και της αθροιστικής βροχόπτωσης των 5 προηγούμενων ημερών είναι μεγαλύτερος από 0.20 στο 85.57% των λεκανών, εκ των οποίων το ποσοστό του 76.25% ξεπερνάει την τιμή του 0.40. Μικρότερη επιρροή φαίνεται να έχει η επιλογή αφορά τις $\Delta t = 30$ ημέρες πριν όπου ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από 0.20 για το 84.59% των λεκανών, από τις οποίες μόλις το 70.93% ξεπερνά την τιμή 0.40.



6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Εικόνα 6.6: Ιστογράμματα συσχέτισης μέγιστης ετήσιας απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση

6.6 Χωρικές αναλύσεις

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων απεικονίστηκαν χωρικά, με τη μορφή χαρτών. Οι χάρτες αυτοί δημιουργήθηκαν μέσω κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον της R, χρησιμοποιώντας την μέθοδο Kriging.

Η μέθοδος Kriging αποτελεί ένα σύνολο μεθόδων που χρησιμοποιούνται για χωρική παρεμβολή. Η μέθοδος κάνει μια βέλτιστη γραμμική πρόβλεψη για τα σημεία του χώρου στα οποία δεν υπάρχουν παρατηρήσεις, κάνοντας την

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

υπόθεση πως η χωρική μεταβλητότητα της ιδιότητας που μελετάται ακολουθεί μια τυχαία συνάρτηση, η οποία έχει εφαρμογή μόνο στην τοποθεσία όπου υπάρχουν δεδομένα παρατηρήσεων. Παράλληλα με την πρόβλεψη δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της διασποράς του σφάλματός της (Bierkens *et al.*, 2008).

Περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με την στοχαστική διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου δίνονται στον παρακάτω σύνδεσμο:

<https://www.nersc.no/sites/www.nersc.no/files/Basics2kriging.pdf>

6.6.1 Χάρτες χωρικής κατανομής

Η στατιστική ανάλυση που περιεγράφηκε παραπάνω ολοκληρώθηκε με την δημιουργία συνοπτικών χαρτών με σκοπό της σφαιρικήτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων και την διεξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων σχετικά με την επιρροή που έχουν στα τελικά αποτελέσματα τα υδροκλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής.

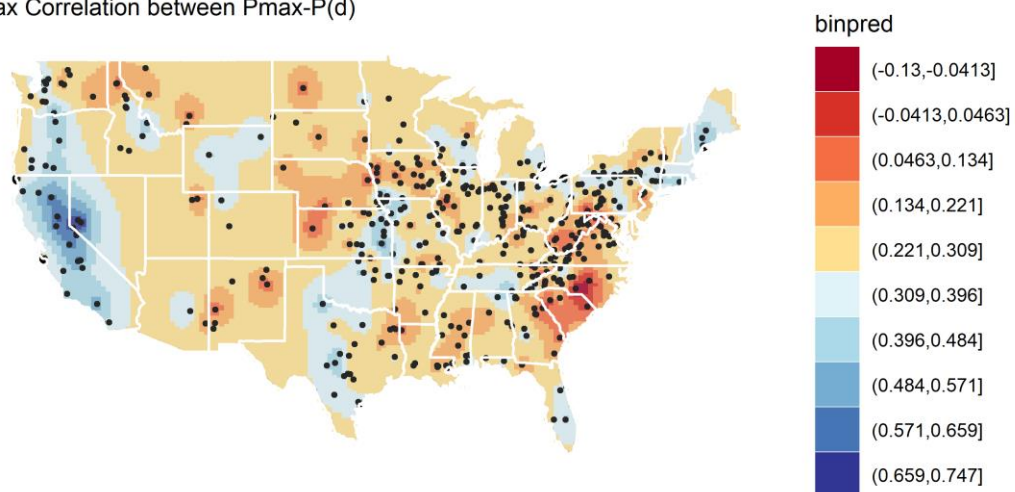
Διακρίνεται πως στην περίπτωση των απορροών, η μέση τιμή του συντελεστή σχήματος κυμαίνεται κοντά στην τιμή του 0.12, με τις μεγαλύτερες τιμές του να αποτυπώνονται στις πιο ξηρές και θερμές περιοχές των ΗΠΑ, σύμφωνα με τον Εικόνα 6.4, δηλαδή όσο πιο πολύ πλησιάζουμε την νότια και κεντρική πλευρά της.

Ακόμα, γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης επηρεάζονται από τις υψομετρικές ιδιότητες του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται πως οι πιο μεγάλες τιμές του συντελεστή συσχέτισης αποτυπώνονται στα παράλια των ΗΠΑ με μια σταδιακή πτώση μέχρι την βόρεια πλευρά της όπου αντιστοιχεί σε μια παρόμοια κλιμάκωση του υψομέτρου το οποίο διαμορφώνει συνθήκες πεδιάδας, με μέσω υψόμετρο μικρότερο των 200 m στα Νοτιοανατολικά μέχρι και τα 600 m στα Βορειοανατολικά.

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

United States of America

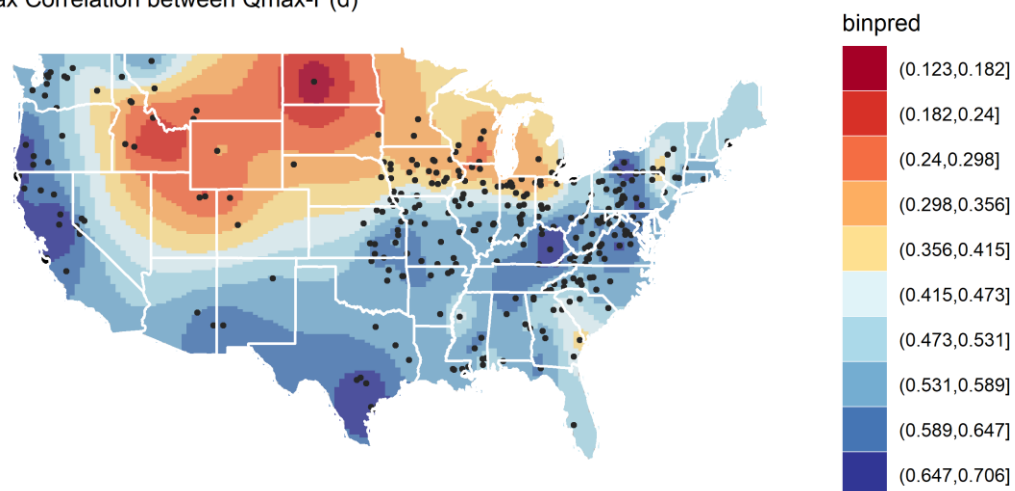
Max Correlation between Pmax-P(d)



Εικόνα 6.1: Χωρική κατανομή μέγιστου συντελεστή συσχέτισης Pearson για τις μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις και την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων Δt ημερών

United States of America

Max Correlation between Qmax-P(d)

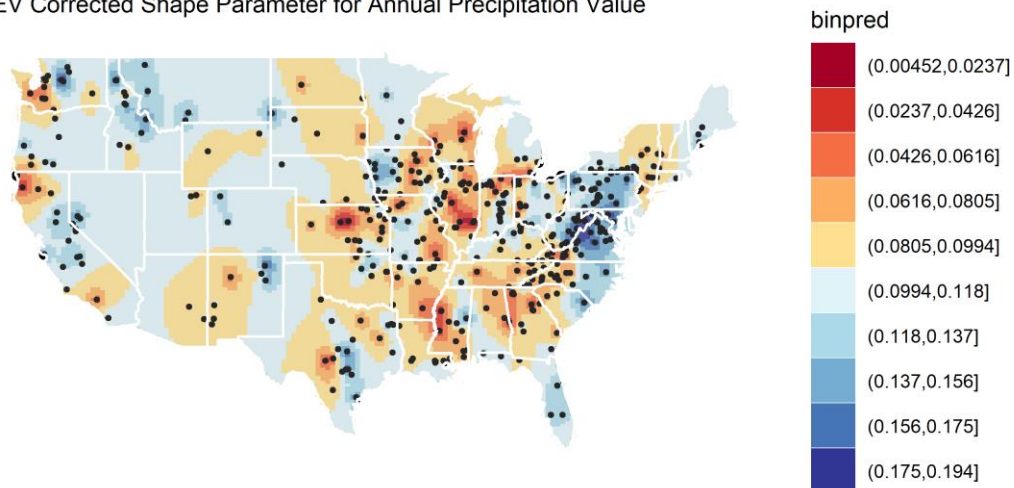


Εικόνα 6.2: Χωρική κατανομή μέγιστου συντελεστή συσχέτισης Pearson για τις ακραίες ετήσιες απορροές και την αθροιστική βροχόπτωση των Δt προηγούμενων ημερών

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

United States of America

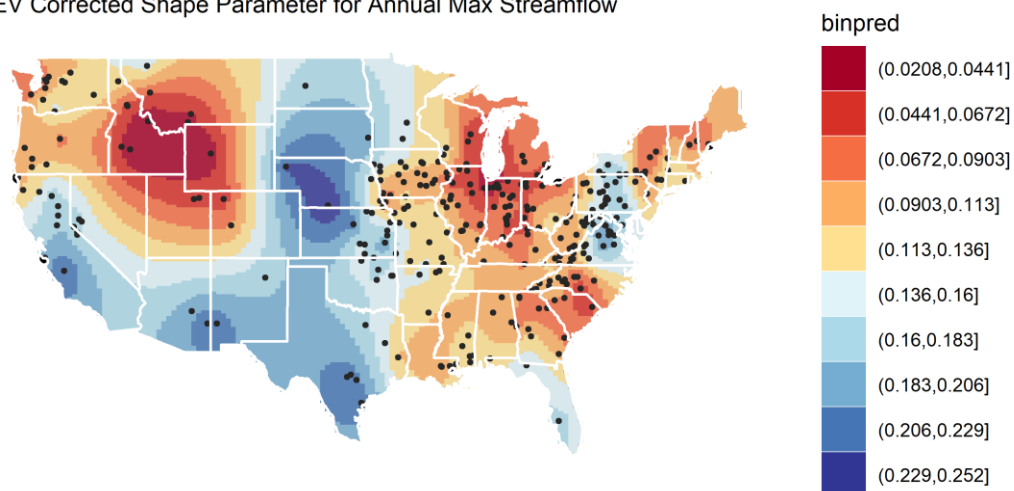
GEV Corrected Shape Parameter for Annual Precipitation Value



Εικόνα 6.3: Χωρική κατανομή διορθωμένης παραμέτρου σχήματος κατανομής ΓΑΤ για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις

United States of America

GEV Corrected Shape Parameter for Annual Max Streamflow



Εικόνα 6.4: Χωρική κατανομή διορθωμένης παραμέτρου σχήματος της κατανομής ΓΑΤ για τις ακραίες ετήσιες απορροές

Ακόμα, στην κεντρική και Δυτική πλευρά των ΗΠΑ, όπου αναπτύσσονται ορεινές περιοχές με υψόμετρα μεγαλύτερα των 1100 m, ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τις μικρότερες τιμές του. Υποδεικνύεται με αυτόν τον τρόπο η σημαντική επιρροή του υψομέτρου, και συνεπώς των διεργασιών του χιονιού, που επιδρούν σημαντικά στην παραγωγή των πλημμυρικών παροχών.

Ομοίως, διακρίνεται μια κλιμάκωση του συντελεστή συσχέτισης όσο προσεγγίζονται πιο εύκρατες ζώνες, που υποδηλώνουν μια εκδηλη επιρροή του κλίματος της λεκάνης στην παραγωγή της πλημμυρικής απορροής.

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Στην περίπτωση των μέγιστων ετήσιων απορροών παρατηρείται η μεγαλύτερη πτώση της παραμέτρου σχήματος στα βορειοδυτικά των ΗΠΑ. Η συγκεκριμένη περιοχή όπου παρατηρούνται η μικρότερες τιμές και η χρονοσειρά των ακραίων τιμών προσεγγίζεται καλύτερα από την κατανομή Gumbel Τύπου I είναι μια έντονα ορεινή περιοχή με υψόμετρα μεγαλύτερα των 3000 m (βλ. Εικόνα 4.7). Αντίθετα, οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή παρατηρούνται στις κεντρικές ΗΠΑ και στα νοτιοδυτικά παράλια τους.

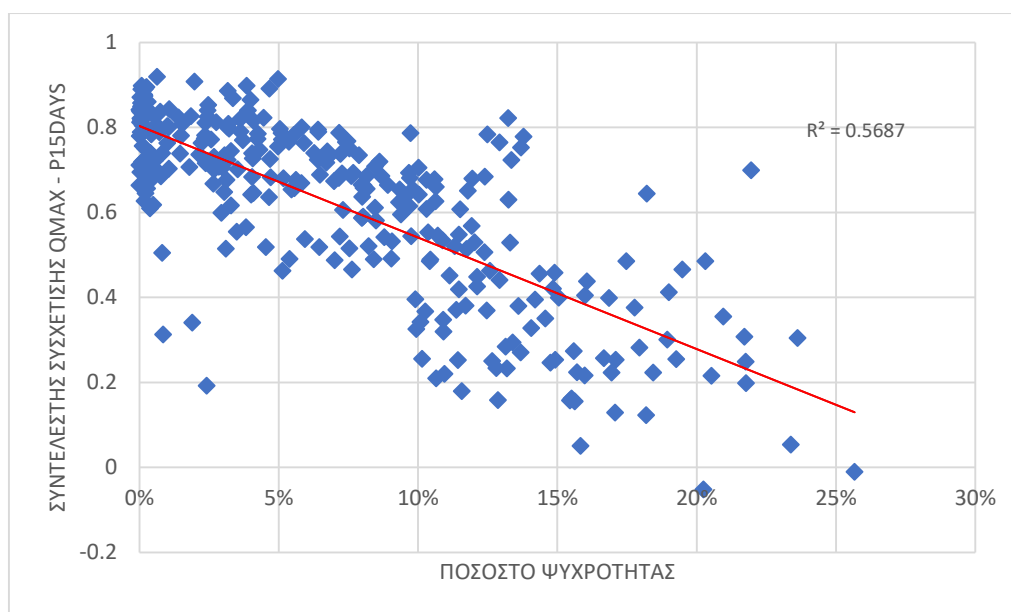
6.6.2 Επιρροή της θερμοκρασίας

Στην συνέχεια έγινε διακριτοποίηση των λεκανών με βάση την μέση ετήσια θερμοκρασία, με στόχο την διεξοδικότερη αποτύπωση της επιρροή του κλίματος στα τελικά αποτελέσματα. Στην Εικόνα 4.6 φαίνεται η χωρική μεταβλητότητα της μέσης θερμοκρασίας, όπως προέκυψε από το δείγμα των 431 λεκανών απορροής.

Δημιουργήθηκε ένας προσεγγιστικός «δείκτης ψυχρότητας» της λεκάνης, με βάση τις ημέρες του έτους στις οποίες η θερμοκρασία δεν ξεπερνάει μια συγκεκριμένη τιμή. Πιο συγκεκριμένα, εξήχθησαν από την βάση δεδομένων MOPEX οι ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες για όλο το εύρος των λεκανών απορροής. Επιλέχθηκε ως μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία εκείνη των μηδέν βαθμών Κελσίου. Σε επόμενο στάδιο, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με βάση το ποσοστό στο οποίο η μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες δεν υπερβαίνουν τους 0 βαθμούς Κελσίου για κάθε λεκάνη. Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκαν οι μέρες του χρόνου στις οποίες η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή της θερμοκρασίας δεν ξεπερνούσε τους μηδέν βαθμούς Κελσίου και έπειτα υπολογίστηκε το ποσοστό αυτών των ημερών για όλες τις υπό μελέτη λεκάνες.

Από το διάγραμμα γίνεται κατανοητό πως υπάρχει μια σημαντική συσχέτιση ($r = 0.75$) ανάμεσα στο δείκτη ψυχρότητας της λεκάνης. Αυτό υποδηλώνει τη σημαντική επιρροή της τήξης του χιονιού στην παραγωγή πλημμυρικών απορροών.

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Διάγραμμα 6.1: Συσχέτιση μέγιστων συσχετίσεων πλημμυρικής απορροής και Δt προηγούμενων ημερών πριν με το ποσοστό ψυχρών ημερών των λεκανών απορροής

Στη συνέχεια ερευνηθήκε η επιρροή που έχει το ποσοστό της ψυχρότητας με την μορφή χιονιού στην δημιουργία πλημμυρικών παροχών για την κάθε λεκάνη απορροής και εξήχθη ο παρακάτω Πίνακας 6.2. Έγινε η παραδοχή πως οι λεκάνες με ποσοστό μεγαλύτερο του 16% ανήκουν σε ψυχρό κλίμα, και έγινε μια ποιοτική ομαδοποίηση μέχρι και τις πιο θερμές λεκάνες απορροής με μηδενικό ποσοστό ψυχρών ημερών.

Όπως παρατηρείται, όσο αυξάνεται το ποσοστό και προσεγγίζουμε ψυχρότερα κλίμακα έχουμε και μια ανάλογη πτώση στον συντελεστή συσχέτισης. Δηλαδή, όσο προσεγγίζουμε τα πιο βόρεια εδάφη των ΗΠΑ είναι πιθανόν να έχουμε επιρροή της τήξης του χιονιού στο υπό μελέτη πλημμυρικό επεισόδιο μεγαλύτερης εκείνης των τριάντα ημερών. Αυτό δείχνει την τεράστια επιρροή του κλίματος και της ύπαρξης χιονιού στην αύξηση του χρόνου συρροής της λεκάνης και στην μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης απορροής και βροχής από την τιμή του 0.74 στην 0.28.

Πίνακας 6.2: Μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης ακραίων ετήσιων απορροής με την αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων ημερών σε σχέση με το ποσοστό ψυχρότητας της λεκάνης

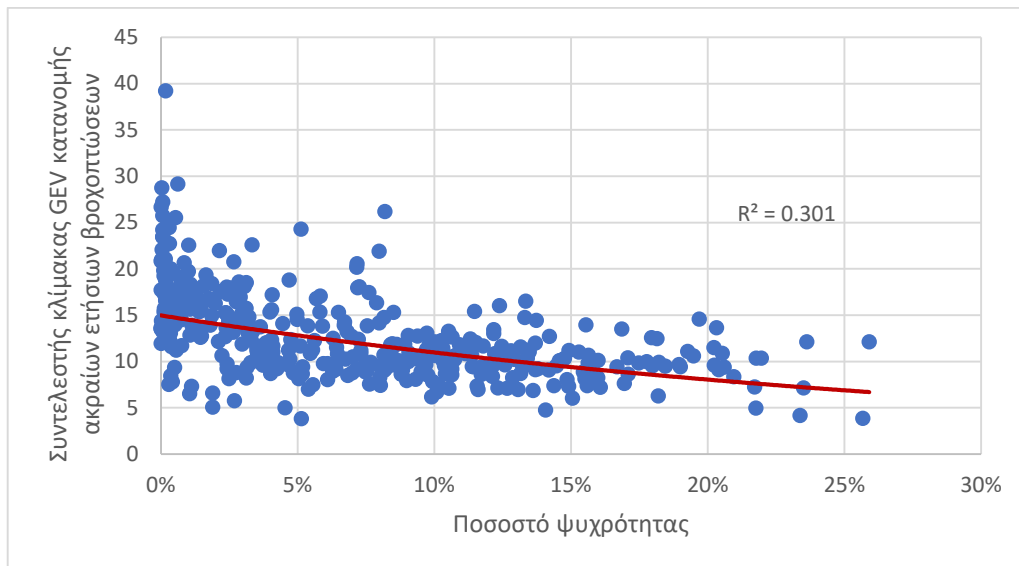
| | | Μέση τιμή μέγιστης συσχέτισης $Q_{max} - P$ |
|-----------------------|---------|---|
| Ποσοστό ψυχρών ημερών | 0%-5% | 0.74 |
| | 6%-10% | 0.63 |
| | 11%-15% | 0.46 |
| | >16% | 0.28 |

Η επιρροή του κλίματος των λεκανών απορροής στα στατιστικά αποτελέσματα παρατηρείται και στις παραμέτρους θέσης ($r = 0.49$) και κλίμακας ($r = 0.55$) της

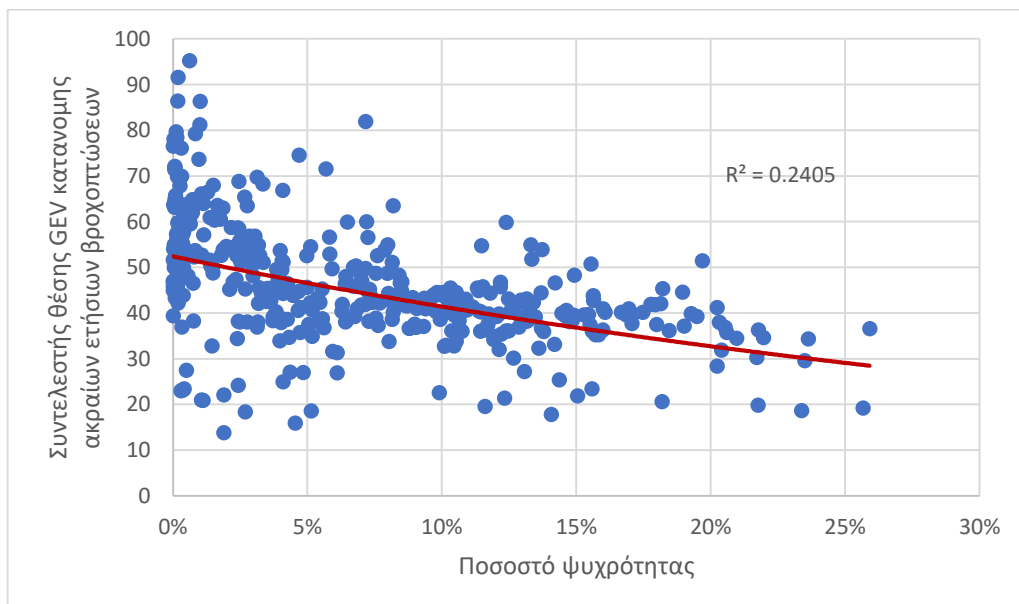
6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

κατανομής GEV για τη χρονοσειρά των μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων. Αντίθετα, για την παράμετρο σχήματος δεν βρέθηκε κάποια συσχέτιση ($\rho=0.06$).

Στην χρονοσειρά των μέγιστων ετήσιων απορροών, η συσχέτιση του δείκτη ψυχρότητας με τις παραμέτρους θέσης και κλίμακας της κατανομής GEV υπολογίστηκαν σε $r=0.30$ και $r=0.42$ αντίστοιχα. Αντιθέτως στην παράμετρο σχήματος βρέθηκε μικρή συσχέτιση ($\rho=0.24$), που δεν μπορεί να αξιολογηθεί με ασφάλεια.

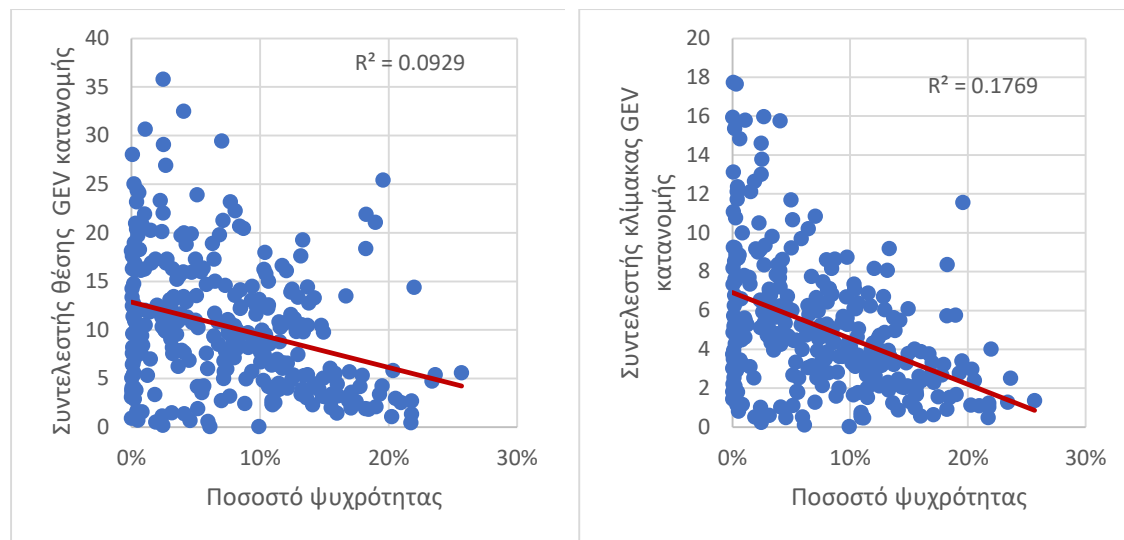


Διάγραμμα 6.2: Συσχέτιση της παραμέτρου κλίμακας με το ποσοστό ψυχρών ημερών των λεκανών απορροής



Διάγραμμα 6.3: Συσχέτιση της παραμέτρου θέσης με το ποσοστό ψυχρών ημερών των λεκανών απορροής

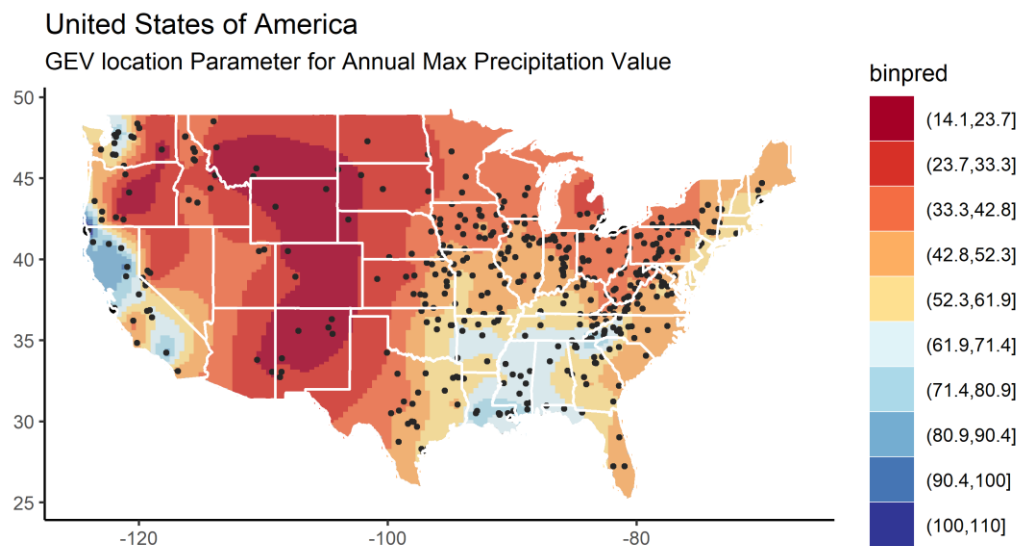
6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Διάγραμμα 6.4: Συσχέτιση στατιστικών παραμέτρων κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις: (αριστερά) παράμετρος θέσης, (δεξιά) παράμετρος κλίμακας

6.6.3 Επιρροή γεωγραφικού πλάτους

Μια ακόμα παράμετρος επιρροής ήταν εκείνη του γεωγραφικού πλάτους των λεκανών απορροής στις παραμέτρους κλίμακας, θέσης και σχήματος για την γενικευμένη κατανομή μεγίστων ετήσιων απορροών και βροχοπτώσεων. Στην περίπτωση της παραμέτρου σχήματος δεν βρέθηκε κάποια εξάρτηση της με το γεωγραφικό μήκος ($r=0.08$).



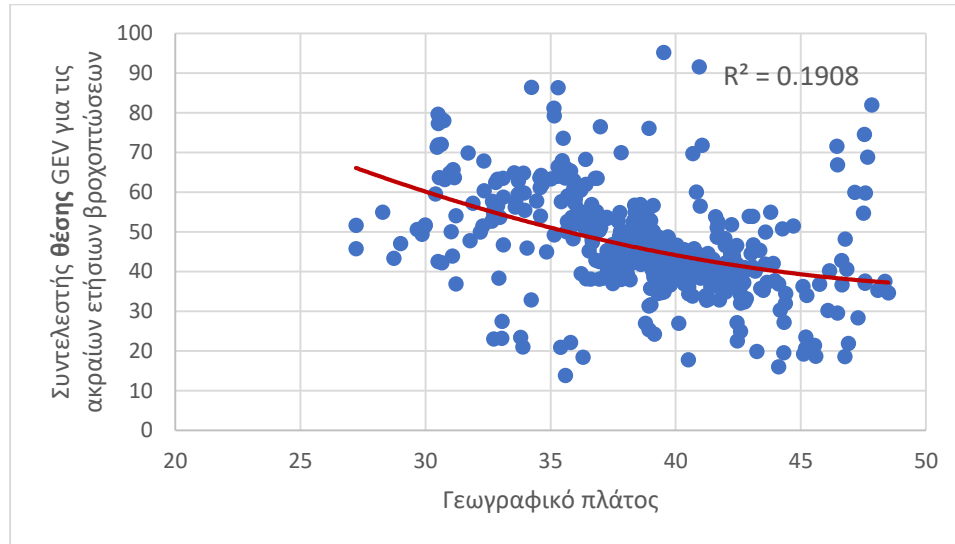
Εικόνα 6.7: Χωρική κατανομή της παραμέτρου θέσης της GEV κατανομής ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων

Στην ανάλυση των στατιστικών παραμέτρων κλίμακας και θέσης για την κατανομή GEV μεγίστων στην περίπτωση των ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα. Ο συντελεστής R φαίνεται να υποδηλώνει μια εξάρτηση των δύο παραμέτρων με το γεωγραφικό πλάτος της

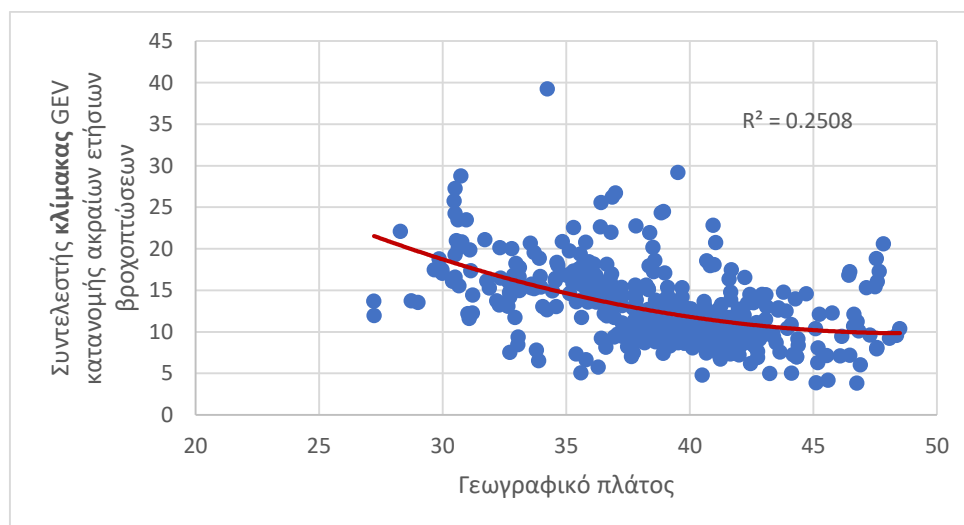
6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

τάξης του 0.44 και 0.50. Δηλαδή, όσο προσεγγίζονται οι νότιες λεκάνες επέρχεται αύξηση στην διασπορά και τη μέση τιμή της κατανομής.

Αντίθετα, στην περίπτωση της κατανομής GEV για τις ετήσιες μέγιστες απορροές δεν παρατηρείται κάποια σημαντική εξάρτηση σε καμία από τις παραμέτρους.

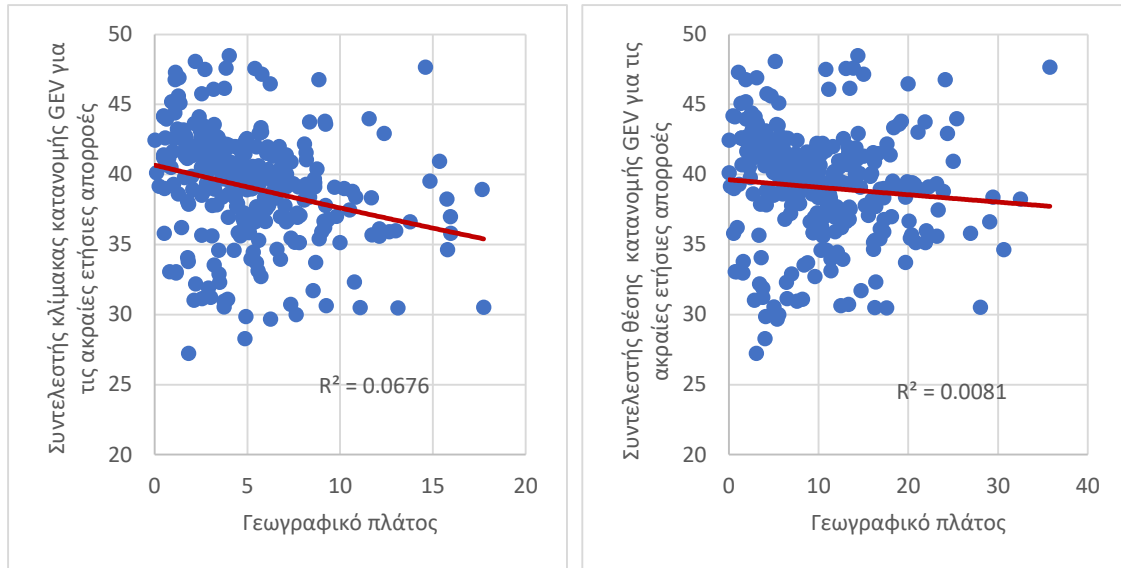


Διάγραμμα 6.5: Συσχέτιση παραμέτρου θέσης κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις με το γεωγραφικό πλάτος των λεκανών απορροής



Διάγραμμα 6.6: Συσχέτιση παραμέτρου κλίμακας κατανομής GEV για τις ακραίες ετήσιες βροχοπτώσεις με το γεωγραφικό πλάτος των λεκανών απορροής

6. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Διάγραμμα 6.7: Συσχέτιση των στατιστικών παραμέτρων θέσης και κλίμακας της κατανομής GEV των ακραίων ετήσιων απορροών με το γεωγραφικό πλάτος των λεκανών απορροής

7 Συμπεράσματα

7.1 Σύνοψη εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της στατιστικής δίαιτας μέγιστων ημερήσιων απορροών και επιφανειακών βροχοπτώσεων, στην ημερήσια κλίμακα και σε κλίμακες συνάθροισης έως 30 ημερών, σε περίπου 400 λεκάνες των ΗΠΑ, που ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων MOPEX. Για τις λεκάνες αυτές εξήχθησαν τα δείγματα ετήσιων μέγιστων τιμών των εν λόγω μεταβλητών, τα οποία καλύπτουν χρονικές περιόδους άνω των 50 ετών.

Στα δείγματα μέγιστων προσαρμόστηκε η Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων Τιμών, με εκτίμηση των παραμέτρων της μέσω της μεθόδου L-ροπών. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε καθώς παρουσιάζει σχετικά μικρή ευαισθησία έναντι της δειγματοληπτικής αβεβαιότητας. Επιπλέον, εφαρμόστηκε μια εμπειρική μέθοδος διόρθωσης της παραμέτρου σχήματος, η οποία σχετίζεται με την ασυμπτωτική συμπεριφορά («ουρά») της κατανομής.

Κεντρικός στόχος της εργασίας ήταν η ανάλυση των συσχετίσεων μεταξύ των ακραίων απορροών και αντίστοιχων βροχοπτώσεων. Ακόμη, μελετήθηκε η συσχέτιση των παραγόμενων μέγιστων απορροών με τις προηγούμενες αθροιστικές βροχοπτώσεις, σε έξι κλίμακες συνάθροισης. Με τον τρόπο αυτό, διερευνήθηκε, έστω και προσεγγιστικά, η στατιστική εξάρτηση των ακραίων υδρολογικών διεργασιών με την εδαφική υγρασία, η οποία είναι προφανώς εξαρτώμενη από τη συγκεντρωτική βροχόπτωση πριν από το αντίστοιχο πλημμυρικό επεισόδιο. Η εξάρτηση αυτή εκφράστηκε μέσω της κατασκευής συναθροισμένων χρονοσειρών βροχοπτώσεων σε μια ευρεία χρονικών βημάτων, Ξεκινώντας από τις πέντε προηγούμενες ημέρες και πηγαίνοντας έως και τριάντα ημέρες πριν την παρατήρηση της μέγιστης ετήσιας απορροής και βροχόπτωσης.

Τέλος, εξετάστηκε η επιρροή των υδροκλιματικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των υπό μελέτη λεκανών απορροής στα κύρια στατιστικά μεγέθη που εξήχθησαν από τις παραπάνω αναλύσεις (παραμέτροι κατανομών, συντελεστές συσχέτισης, κτλ.).

7.2 Συμπεράσματα

Στην περίπτωση των ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων παρατηρούμε ότι υπάρχει εμφανής στατιστική εξάρτηση με την συναθροισμένη χρονοσειρά βροχοπτώσεων των προηγούμενων ημερών. Η εξάρτηση για την περίπτωση του συνόλου των λεκανών απορροής φαίνεται να παίρνει την μέγιστη τιμή της για τις 15 ημέρες πριν από την εκδήλωση της μέγιστης ετήσιας τιμής.

7. Συμπεράσματα

Η δομή συσχέτισης των χρονοσειρών επιβεβαιώνεται και στην περίπτωση των μέγιστων ετήσιων απορροών με τις αντίστοιχες χρονοσειρές συναθροισμένης βροχόπτωσης. Ωστόσο, στην περίπτωση των πλημμυρικών απορροών φαίνεται πως η επιλογή των πέντε προηγούμενων ημερών εμφανίζει την υψηλότερη στατιστική συσχέτιση. Υπενθυμίζεται ότι σε τυπικά υδρολογικά μοντέλα πλημμυρών, όπως η γνωστή μέθοδος SCS-CN, η αθροιστική βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών χρησιμοποιείται ως δείκτης προσδιορισμού των αρχικών συνθηκών υγρασίας. Συνεπώς, η ανάλυσή μας επιβεβαιώνει, τουλάχιστον για το υδροκλιματικό καθεστώς των ΗΠΑ, την υπόθεση αυτή.

Με τις βάση τις στατιστικές αναλύσεις, φαίνεται ότι η κατανομή των μέγιστων ετήσιων επιφανειακών βροχοπτώσεων προσεγγίζεται καλύτερα από την ασυμπτωτική οικογένεια κατανομών Fréchet Τύπου II. Ειδικότερα, η στατιστική παράμετρος σχήματος των χρονοσειρών για το σύνολο των 431 λεκανών απορροής προσεγγίζει την τιμή 0.101, χωρίς να παρουσιάζει σημαντική μεταβλητότητα. Αυτό σημαίνει ότι δεν διαφαίνεται κάποια ιδιαίτερη εξάρτηση της παραμέτρου σχήματος από τα υδροκλιματικά ή γεωγραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών. Αντίθετα, οι παράμετροι θέσης και κλίμακας της κατανομής είναι εξαρτώμενες από τις τοπικές συνθήκες.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της κατανομής ΓΑΤ για τις μέγιστες ετήσιες απορροές έδειξαν πως και σε αυτή την περίπτωση, η κατανομή Fréchet Τύπου II περιγράφει την στατιστική δίαιτα των υπόψη διεργασιών. Η μέση τιμή για τον συντελεστή σχήματος της χρονοσειράς, ύστερα από την στατιστική του διόρθωση, προσέγγισε την τιμή 0.116, ενώ δεν φάνηκε να παρουσιάζει κάποια εξάρτηση με τα υδροκλιματικά ή γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών. Η έλλειψη εξάρτησης των χαρακτηριστικών αυτών παρατηρήθηκε και για τις παραμέτρους κλίμακας και θέσης της χρονοσειράς.

Για τις κατανομές των αθροιστικών χρονοσειρών βροχόπτωσης, η παράμετρος σχήματος μειώνεται με την αύξηση της κλίμακας συνάθροισης, που σημαίνει ότι η αθροιστική βροχόπτωση σε μεγάλες κλίμακες περιγράφεται καλύτερα από την κατανομή τύπου I (Gumbel).

Στην ανάλυση των υδροκλιματικών χαρακτηριστικών των υπό μελέτη λεκανών απορροής αναδείχθηκε η πολύ σημαντική επίδραση του τύπου του κλίματος στην δίαιτα των πλημμυρικών απορροών. Ως κλιματικής δείκτης θεωρήθηκε το λεγόμενο ποσοστό ψυχρότητας, δηλαδή το ποσοστό των ημερών με αρνητική μέγιστη θερμοκρασία. Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ του υπόψη δείκτη και της αθροιστικής βροχόπτωσης των προηγούμενων ημερών, με τον συντελεστή συσχέτισης να φτάνει το 78%.

Στην μελέτη της επίδρασης των γεωγραφικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής βρέθηκε σημαντικά στατιστική εξάρτηση ($r \approx 0.50$) των παραμέτρων

7. Συμπεράσματα

θέσης και κλίμακας των μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων με το γεωγραφικό πλάτος μήκος τον λεκανών. Η εξάρτηση αυτή συναρτάται με τα κλιματικά χαρακτηριστικά, και κυρίως την επίδραση των διεργασιών του χιονιού (όπως πριν, ο δείκτης ψυχρότητας). Από την άλλη πλευρά, η επίδραση του γεωγραφικού μήκους ήταν αμελητέα.

7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την επέκταση της μελέτης και τη γενίκευση των συμπερασμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτείνονται κάποιες περαιτέρω διερευνήσεις.

Σε πρώτο στάδιο, θα ενίσχυε την ποιότητα και αξιοπιστία των συμπερασμάτων η εύρεση χρονοσειρών με μήκος παρατηρήσεων μεγαλύτερο των 50 ετών. Αυτό προβλέπει την επέκταση της βάσης δεδομένων MOPEX με χρονοσειρές που θα καλύπτουν μεγαλύτερο χρονικό εύρος παρατηρήσεων ή ακόμα της προμήθεια δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Ακόμα, επιβάλλεται ο περαιτέρω ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων της βάσης και οι διόρθωση τυχόν σφαλμάτων στις μετρήσεις των καταγραφών.

Ακόμα καλύτερα, κρίνεται απαραίτητη η επέκταση των δειγμάτων μας σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς οι αναλύσεις αφορούν αποκλειστικά σε παρατηρήσεις στην περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Έτσι, θα ήταν δυνατή η διεξοδικότερη διερεύνηση της στατιστική δομής των ακραίων υδρολογικών διεργασιών, σε πολλαπλές κλίμακες, και των συσχετίσεών τους με χαρακτηριστικά κλιματικά και γεωμορφολογικά μεγέθη των εξεταζόμενων λεκανών.

Πρόσθετα, προτείνεται η αναζήτηση συσχετίσεων των στατιστικών μεγεθών που εξάγονται από την πολυμεταβλητή ανάλυση με μεγαλύτερο αριθμό γεωμορφολογικών, φυσιογραφικών και κλιματικών δεικτών, στην κατεύθυνση κατάρτισης περιοχικών σχέσεων ικανής αξιοπιστίας, που να μπορούν να εφαρμοστούν σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις.

Τέλος, ζητούμενο είναι η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων τέτοιων διευρυμένων στατιστικών αναλύσεων σε προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού, με στόχο την δημιουργία ακριβέστερων και ποιοτικότερων χωρικών χαρτών πιθανότητας πλημμύρας.

7. Συμπεράσματα

8 Βιβλιογραφία

Ailliot, P., C. Thompson, and P. Thomson, Mixed methods for fitting the GEV distribution, May 2008

Bhattacharai, K. P., An investigation of the use of partial L-moments for analyzing censored flood samples, 2004

Bierkens Marc F.P. and Frans C. van Geer, Stochastic Hydrology, Department of Physical Geography Utrecht University, 2008

Coles, S.G., An Introduction to the Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Series in Statistics, 2001

El Adlouni, S., B. Bobée, and T.B.M.J. Ouarda., On the Tails of Extreme Event Distributions in Hydrology. *Journal of Hydrology* 355 (1–4) (June 20): 16–33. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.02.011, 2008.

Gumbel, Emil Julius., 1958. *Statistics of extremes*. New York: Columbia University Press

Haan, Laurens de, and Ana Ferreira., 2006. *Extreme Value Theory: An Introduction*. 1st ed. Springer.

Hawkins, R.H., The importance of accurate curve numbers in estimation of storm runoff, *Water Resources Bulletin*, American water resources association, 1975

Heo, J., Boes, D., & Salas, J., 2001a. Regional flood frequency analysis based on a Weibull model: Part 1. Estimation and asymptotic variances. *J. Hydrol*, 242, 157–170.

Hosking, J.R.M., L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *J. R. Stat Soc. Ser. B (Methodol.)*, 52(1), 105–124, (1990)

Hosking, J.R.M., Moments or L moments? An example comparing two measures of distributional shape, *Am. Stat.*, 46(3), 186–189, doi:10.2307/2685210, (1992)

Jenkinson, A. F., 1955. The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) Values of Meteorological Elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 81 (348)

John Schaake¹, Shuzheng Cong¹ & Qingyun Duan², The US MOPEX data set, [1] Office of Hydrologic Development, NOAA National Weather Service, 1325 East–West Avenue, Silver Spring, Maryland 20910, USA, [2] Lawrence Livermore National Laboratory, Energy and Environment Directorate, 7000 East Avenue, Livermore, California 94550, USA

8. Βιβλιογραφία

Katz, R.W., Parlange, M.B. and Naveau, Statistics of extremes in hydrology, *Advances in Water Resources* 25, 1287-1304, (2002)

Kotz, S. and Nadarajah, S., Extreme Value Distributions: Theory and Applications. Imperial College Press, London. <https://doi.org/10.1142/p191>, (2000)

Koutsoyiannis Dimitris, 2004(a), Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation, *Hydrological Sciences Journal*, 49 (4), 575-590

Koutsoyiannis Dimitris, 2004(b), Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall, 2, Empirical investigation of long rainfall records, *Hydrological Sciences Journal*, 49 (4), 591–610

Koutsoyiannis Dimitris, *Statistical Hydrology*, Edition 4, 312 pages, National Technical University of Athens, Athens, 1997

Leadbetter, M. R., 1974. On Extreme Values in Stationary Sequences. *Probability Theory and Related Fields* 28 (4): 289–303.

Martins, E.S. and J.R. Stedinger, Generalized maximum-likelihood generalized extreme-value quantile estimators for hydrologic data, *Water Resources Research*, 2000

Mielke, Paul W., 1973. “Another Family of Distributions for Describing and Analyzing Precipitation Data.” *Journal of Applied Meteorology* 12 (2) (March): 275–280.

Moustakis, Y., Pseudo-continuous stochastic simulation framework for flood flows estimation, *Diploma thesis, Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens*, July 2017

Murray C. Peel , Q. J. Wang , Richard M. Vogel & Thomas A. McMahon (2001) The utility of L-moment ratio diagrams for selecting a regional probability distribution, *Hydrological Sciences Journal*, 46:1, 147-155, DOI: 10.1080/02626660109492806

Nerantzaki S., Propability distributions of extreme rainfall Application worldwide, *Diploma thesis*, 118 pages, Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens, Athens, October 2012.

Papalexiou, S. M., D. Koutsoyiannis, and C. Makropoulos, How extreme is extreme? An assessment of daily rainfall distribution tails, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 851-862, <https://doi.org/10.5194/hess-17-851-2013>, 2013.

Papalexiou, S.M., and D. Koutsoyiannis, Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall, *Water Resources Research*, 49 (1), 187–201, doi:10.1029/2012WR012557, 2013.

8. Βιβλιογραφία

Perez Nicolas Hernandez, Santiago Carrillo Menendez Luis Seco, A theoretical comparison between moments and L-moments, 2003

Pickands J., “Statistical Inference Using Extreme Order Statistics,” The Annals of Statistics, Vol. 3, No. 1, 1975, pp. 119-131. doi:10.1214/aos/1176343003

Ponce, V.M., and R.H. Hawkins, Runoff curve number: Has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering, 1 (1) (1996)

Reiss Rolf-Dieter & Michael Thomas, Statistical analysis of extreme values. With applications to insurance, finance, hydrology and other fields. With CD-ROM, January 2007 Journal of the American Statistical Association 93(444) DOI: 10.2307/2670066

Rosso Gianluca, Extreme Value Theory for Time Series using Peak-Over-Threshold method, 2015

Rosso, G., Extreme Value Theory for Time Series using Peak-Over-Threshold method, 2015

Shabri A. and A.A. Jemain, LQ-Moments for Statistical Analysis of Extreme Events, Journal of Modern Applied Statistical Methods, May, 2007, Vol. 6, No. 1, 228-238

Stedinger J. R., R. M. Vogel and E. Foufoula-Georgiou, “Frequency Analysis of Extreme Events,” In: D. R. Maidment, Ed., Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, New York, 1993

Venables, W.N., D.M. Smith, and the R Core Team, An Introduction to R, Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics Version 3.5.1 (2018-07-02)

Καλυβάς Λάμπρος, Διαχείριση κινδύνου αγοράς: μια συγκριτική μελέτη της θεωρίας ακραίων τιμών και των μεθόδων ιστορικής προσομοίωσης, Διδακτορική Διατριβή 213 σελίδες, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών, Θεσσαλονίκη 2004

Κοζάνης, Σ., Α. Χριστοφίδης, και Α. Ευστρατιάδης, Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό Υδρογνώμων (έκδοση 4), Ανάπτυξη βάσης δεδομένων και εφαρμογών λογισμικού σε διαδικτυακό περιβάλλον για την «Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας», Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 173 pages, Αθήνα, Ιούνιος 2010.

Κοζάνης, Σ., και Ι. Μαρκόνης, Υδρογνώμων έκδοση 4 - Οδηγός χρήστη, 141 σ., Αθήνα, 25 November 2009.

Κοκολάκης Γ. και Δ. Φουσκάκης, Στατιστική Θεωρία & Εφαρμογές (σελ. 370), Εκδόσεις Συμεών. Αθήνα 2009

8. Βιβλιογραφία

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 pages, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999

Μιμίκου Μ.Α., Ε.Α. Μπαλτάς, Τεχνική Υδρολογία, 416 σελ., 5^η Έκδοση, 2012

Μπέμπης Θεόδωρος Κ., Θεωρία ακραίων τιμών στη διοικητική κινδύνου, Μεταπτυχιακή εργασία, 126 σελίδες, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, 2006

Ποντικός, Σ., Πιθανοτική διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια για χρήση τους στον υδρολογικό σχεδιασμό, Διπλωματική εργασία, 83 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Νοέμβριος 2014.

Στεφανάκη, Σ.Θ., Τεχνικές bootstrap και εφαρμογή στη θεωρία ακραίων τιμών, Μεταπτυχιακή εργασία 121 σελίδες, Τμήμα Στατιστικής, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα Νοέμβριος 2009

Φουσκάκης Δ., Ανάλυση Δεδομένων με Χρήση της R (σελ. 504), Εκδόσεις Τσότρας, Αθήνα 2013

8. Βιβλιογραφία

8.1 Ιστοσελίδες

1. <http://www.statisticshowto.com/extreme-value-distribution/>
2. <https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/subseasonal/atlas/GEV-RV-html/GEV-RV-description.html>
3. <http://hydrognomon.org/>
4. <https://www.r-project.org/>
5. <https://github.com/Robinlovelace/Creating-maps-in-R>
6. <https://cran.r-project.org/web/packages/maps/maps.pdf>
7. <https://mygeodata.cloud/converter/>
8. http://www.nws.noaa.gov/ohd/mopex/mo_datasets.htm
9. <https://www.nohrsc.noaa.gov/>
10. <https://www.ncdc.noaa.gov/>
11. <https://mygeodata.cloud/>
12. <https://www.nersc.no/sites/www.nersc.no/files/Basics2kriging.pdf>
13. <http://colorbrewer2.org/#type=sequential&scheme=BuGn&n=3>

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

9 Παράρτημα 1°: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| ID | Longitude | Latitude | km ² | STATEcode | name |
|----------|-----------|----------|-----------------|-----------|---|
| 2156500 | -81.4222 | 34.5961 | 7226.067 | SC | BROAD RIVER NEAR CARLISLE, S. C. |
| 1567000 | -77.1294 | 40.4783 | 8686.82 | PA | JUNIATA RIVER AT NEWPORT, PA. |
| 1610000 | -78.4567 | 39.5389 | 8052.273 | MD | POTOMAC R AT PAW PAW, WV |
| 1531000 | -76.635 | 42.0022 | 6490.51 | NY | CHEMUNG RIVER AT CHEMUNG NY |
| 6810000 | -95.6256 | 40.6325 | 7267.507 | IA | Nishnabotna River above Hamburg, IA |
| 3253500 | -84.3108 | 38.7103 | 8546.961 | KY | LICKING RIVER AT CATAWBA, KY. |
| 10301500 | -119.097 | 39.1528 | 6733.969 | NV | WALKER R NR WABUSKA, NV |
| 2116500 | -80.3861 | 35.8567 | 5905.173 | NC | YADKIN RIVER AT YADKIN COLLEGE N C |
| 6908000 | -93.1967 | 38.9922 | 2900.787 | MO | BLACKWATER RIVER AT BLUE LICK, MISSOURI |
| 3274000 | -84.5722 | 39.3911 | 9401.657 | OH | G MIAMI R AT HAMILTON OH |
| 3455000 | -83.1611 | 35.9817 | 4812.198 | TN | FRENCH BROAD RIVER NEAR NEWPORT, TN |
| 3070000 | -79.6656 | 39.3467 | 2426.819 | WV | CHEAT RIVER AT ROWLESBURG, WV |
| 1608500 | -78.6544 | 39.4469 | 3809.873 | WV | SOUTH BRANCH POTOMAC RIVER NEAR SPRINGFIELD, WV |
| 7183000 | -95.4306 | 37.8908 | 9888.575 | KS | NEOSHO R NR IOLA, KS |
| 10312000 | -119.311 | 39.2917 | 3372.165 | NV | CARSON RIVER NEAR FORT CHURCHILL, NV |
| 7348000 | -93.8778 | 32.6458 | 8124.793 | LA | TWELVEMILE BAYOU NEAR DIXIE, LA |
| 3365500 | -85.8992 | 38.9825 | 6063.162 | IN | EAST FORK WHITE RIVER AT SEYMOUR IND |
| 2339500 | -85.1822 | 32.8861 | 9194.458 | GA | CHATTAHOOCHEE RIVER AT WEST POINT, GA. |
| 3251500 | -84.2667 | 38.5978 | 6024.312 | KY | LICKING RIVER AT MCKINNEYSBURG, KY. |
| 6897500 | -93.9425 | 39.9269 | 5827.473 | MO | GRAND RIVER NEAR GALLATIN MO |
| 5520500 | -87.6686 | 41.16 | 5941.433 | IL | KANKAKEE RIVER AT MOMENCE, IL |
| 3168000 | -80.7458 | 36.9375 | 5703.154 | VA | NEW RIVER AT ALLISONIA, VA |
| 1503000 | -75.8033 | 42.0353 | 5780.853 | NY | SUSQUEHANNA RIVER AT CONKLIN NY |
| 3214000 | -82.3889 | 37.8175 | 3076.906 | WV | TUG FORK NEAR KERMIT, WV |
| 9292500 | -110.341 | 40.5119 | 341.8784 | UT | YELLOWSTONE RIVER NEAR ALTONAH, UTAH |
| 3451500 | -82.5786 | 35.6092 | 2447.539 | NC | FRENCH BROAD RIVER AT ASHEVILLE, N. C. |
| 3069500 | -79.6806 | 39.1222 | 1859.611 | WV | CHEAT RIVER NEAR PARSONS, WV |
| 3364000 | -85.9256 | 39.2 | 4421.11 | IN | EAST FORK WHITE RIVER AT COLUMBUS, IND. |
| 14321000 | -123.554 | 43.5861 | 9538.926 | OR | UMPQUA RIVER NEAR ELKTON, OREG. |
| 3465500 | -82.4575 | 36.1764 | 2084.94 | TN | NOLICHUCKY RIVER AT EMBREEVILLE, TN |
| 6813000 | -95.4089 | 40.3389 | 1315.714 | MO | TARKIO RIVER AT FAIRFAX MO |
| 5518000 | -87.3425 | 41.1828 | 4607.589 | IN | KANKAKEE RIVER AT SHELBY, IN |
| 1649500 | -76.9261 | 38.9603 | 188.5511 | MD | NE B ANACOSTIA R AT RIVERDALE, MD |
| 6606600 | -95.7969 | 42.4722 | 6474.97 | IA | Little Sioux River at |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|--|
| | | | | | Correctionville, IA |
| 3448000 | -82.5925 | 35.5019 | 1750.832 | NC | FRENCH BROAD RIVER AT BENT CREEK N C |
| 1512500 | -75.8486 | 42.2181 | 3840.952 | NY | CHENANGO RIVER NEAR CHENANGO FORKS NY |
| 1631000 | -78.2111 | 38.9139 | 4252.76 | VA | S F SHENANDOAH RIVER AT FRONT ROYAL, VA |
| 8033500 | -94.3986 | 31.0247 | 9417.197 | TX | NECHES RIVER NEAR ROCKLAND, TEX. |
| 2486000 | -91.0267 | 30.4042 | 8212.852 | MS | PEARL RIVER AT JACKSON, MS |
| 4183500 | -84.7444 | 41.1989 | 5514.085 | OH | MAUMEE R AT ANTWERP OH |
| 6820500 | -94.7042 | 39.6886 | 4558.379 | MO | PLATTE RIVER NEAR AGENCY, MO. |
| 9444500 | -109.295 | 33.0494 | 7163.907 | AZ | SAN FRANCISCO RIVER AT CLIFTON, ARIZ. |
| 9497500 | -110.499 | 33.7981 | 7378.876 | AZ | SALT RIVER NEAR CHRYSOTILE, ARIZ. MILE 34.8 |
| 5484500 | -93.9497 | 41.5339 | 8912.149 | IA | Raccoon River at Van Meter, IA |
| 1520500 | -77.1325 | 42.0286 | 1996.881 | NY | TIOGA RIVER AT LINDLEY NY |
| 2387500 | -84.9414 | 34.5783 | 4149.161 | GA | OOSTANAULA RIVER AT RESACA, GA. |
| 2475000 | -88.8083 | 31.1028 | 9052.008 | MS | LEAF RIVER NR MCLAIN, MS |
| 1668000 | -77.5181 | 38.3222 | 4133.621 | VA | RAPPAHANNOCK RIVER NEAR FREDERICKSBURG, VA |
| 7363500 | -92.0258 | 33.7008 | 5444.155 | AR | SALINE RIVER NEAR RYE, ARK. |
| 14113000 | -121.209 | 45.7567 | 3359.215 | WA | KLICKITAT RIVER NEAR PITT, WASH. |
| 5517500 | -86.9644 | 41.2214 | 3501.664 | IN | KANKAKEE RIVER AT DUNNS BRIDGE, IND. |
| 3528000 | -83.3983 | 36.425 | 3817.642 | TN | CLINCH RIVER ABOVE TAZEWELL, TN |
| 6884500 | -96.8611 | 39.7778 | 9088.268 | KS | L BLUE R AT WATERVILLE, KS |
| 7147800 | -96.9944 | 37.2242 | 4869.178 | KS | WALNUT R AT WINFIELD, KS |
| 3237500 | -83.4211 | 38.8036 | 1002.325 | OH | OHIO BRUSH C NR WEST UNION OH |
| 5454500 | -91.5408 | 41.6567 | 8471.851 | IA | Iowa River at Iowa City, IA |
| 3363000 | -85.9864 | 39.3392 | 2745.387 | IN | DRIFTWOOD RIVER NEAR EDINBURGH IND |
| 7243500 | -96.0683 | 35.6739 | 5226.596 | OK | DEEP FORK NEAR BEGGS, OK |
| 6884400 | -96.8581 | 39.7758 | 8609.12 | KS | L BLUE R NR BARNES, KS |
| 3165500 | -80.9528 | 36.8347 | 3470.584 | VA | NEW RIVER AT IVANHOE, VA |
| 5430500 | -89.0706 | 42.6092 | 8650.56 | WI | ROCK RIVER AT AFTON, WI |
| 1559000 | -78.0192 | 40.4847 | 2113.43 | PA | JUNIATA RIVER AT HUNTINGDON, PA. |
| 6890500 | -95.4544 | 39.3508 | 2387.969 | KS | DELAWARE R AT VALLEY FALLS, KS |
| 3213000 | -81.8439 | 37.4856 | 1305.354 | WV | TUG FORK AT LITWAR, WV |
| 2349500 | -84.0439 | 32.2981 | 7510.966 | GA | FLINT RIVER AT MONTEZUMA, GA. |
| 1127000 | -71.9847 | 41.5978 | 1846.662 | CT | QUINEBAUG R AT JEWETT CITY, CT |
| 5422000 | -90.5347 | 41.7669 | 6034.672 | IA | Wapsipinicon River near De Witt, IA |
| 2414500 | -85.5608 | 33.1167 | 4338.23 | AL | TALLAPOOSA RIVER AT WADLEY AL |
| 1606500 | -79.1761 | 38.9911 | 1662.772 | WV | SO. BRANCH POTOMAC RIVER NR PETERSBURG, WV |
| 1562000 | -78.2656 | 40.2158 | 1958.031 | PA | RAYSTOWN BRANCH JUNIATA RIVER AT SAXTON, PA. |
| 4191500 | -84.3992 | 41.2375 | 6003.592 | OH | AUGLAIZE R NR DEFIANCE OH |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|---|
| 2478500 | -88.5478 | 31.1483 | 6967.068 | MS | CHICKASAWHAY RIVER AT LEAKESVILLE, MS |
| 7340000 | -94.3875 | 33.9194 | 6894.548 | AR | LITTLE RIVER NEAR HORATIO, ARK. |
| 3184000 | -80.8053 | 37.64 | 4193.191 | WV | GREENBRIER RIVER AT HILLDALE, WV |
| 7290000 | -90.6967 | 32.3475 | 7283.047 | MS | BIG BLACK RIVER NR BOVINA, MS |
| 3054500 | -80.0403 | 39.15 | 2372.429 | WV | TYGART VALLEY RIVER AT PHILIPPI, WV |
| 3065000 | -79.6222 | 39.0722 | 893.5459 | WV | DRY FORK AT HENDRICKS, WV |
| 8055500 | -96.9442 | 32.9658 | 6368.781 | TX | ELM FORK TRINITY RIVER NR CARROLLTON, TX |
| 11501000 | -121.849 | 42.5847 | 4092.181 | OR | SPRAGUE RIVER NEAR CHILOQUIN, OREG. |
| 3603000 | -87.7431 | 35.93 | 6622.6 | TN | DUCK RIVER ABOVE HURRICANE MILLS, TENN. |
| 3381500 | -88.1597 | 38.0611 | 8034.143 | IL | LITTLE WABASH RIVER AT CARMIL, IL |
| 3252500 | -84.3031 | 38.3908 | 1608.383 | KY | SF LICKING R AT CYNTHIANA KY |
| 14359000 | -122.986 | 42.4375 | 5317.246 | OR | ROGUE RIVER AT RAYGOLD NR CENTRAL PT, OREG. |
| 2387000 | -84.9283 | 34.6667 | 1779.322 | GA | CONASAUGA RIVER AT TILTON, GA. |
| 1611500 | -78.3094 | 39.5786 | 1753.422 | WV | CACAPON RIVER NEAR GREAT CACAPON, WV |
| 13302500 | -113.894 | 45.1833 | 9738.355 | ID | SALMON RIVER AT SALMON ID |
| 3164000 | -80.9792 | 36.6472 | 2929.277 | VA | NEW RIVER NEAR GALAX, VA |
| 2375500 | -87.2342 | 30.965 | 9885.985 | FL | ESCAMBIA RIVER NEAR CENTURY, FL |
| 6899500 | -93.6442 | 40.0794 | 4325.28 | MO | THOMPSON RIVER AT TRENTON MO |
| 2236000 | -81.3828 | 29.0081 | 7951.263 | FL | ST. JOHNS RIVER NR DELAND, FLA. |
| 6913500 | -95.2569 | 38.6167 | 3237.485 | KS | MARAIS DES CYGNES R NR OTTAWA, KS |
| 3183500 | -80.6417 | 37.7242 | 3532.744 | WV | GREENBRIER RIVER AT ALDERSON, WV |
| 5593000 | -89.3561 | 38.6117 | 7042.178 | IL | KASKASKIA RIVER AT CARLYLE, IL |
| 9431500 | -108.675 | 32.7269 | 7327.076 | NM | GILA RIVER NEAR REDROCK, NM |
| 6898000 | -93.8081 | 40.6403 | 1815.582 | IA | Thompson River at Davis City, IA |
| 5515500 | -86.7011 | 41.4 | 1390.824 | IN | KANKAKEE RIVER AT DAVIS, IND. |
| 5418500 | -90.6344 | 42.0847 | 4022.252 | IA | Maquoketa River near Maquoketa, IA |
| 3301500 | -85.7039 | 37.7672 | 3364.395 | KY | ROLLING FORK NR BOSTON KY |
| 1518000 | -77.1297 | 41.9083 | 730.3766 | PA | TIOGA RIVER AT TIOGA, PA |
| 14233400 | -122.098 | 46.4703 | 2667.688 | WA | COWLITZ RIVER NR RANDLE, WASH. |
| 1548500 | -77.4478 | 41.5217 | 1564.353 | PA | PINE CREEK AT CEDAR RUN, PA |
| 6933500 | -91.9778 | 37.9264 | 7355.566 | MO | GASCONADE RIVER AT JEROME MO |
| 11222000 | -119.335 | 36.8167 | 4384.85 | CA | KINGS R A PIEDRA CA |
| 8146000 | -98.7192 | 31.2131 | 7889.104 | TX | SAN SABA RIVER AT SAN SABA, TX |
| 2218500 | -83.2728 | 33.5811 | 2823.087 | GA | OCONEE RIVER NEAR GREENSBORO, GA. |
| 8167500 | -98.3833 | 29.8603 | 3405.834 | TX | GUADALUPE RIVER NR SPRING BRANCH, TX |
| 8015500 | -92.9153 | 30.5028 | 4402.98 | LA | CALCASIEU RIVER NR KINDER, LA |
| 7211500 | -104.493 | 36.2969 | 7381.466 | NM | CANADIAN R NR TAYLOR SPRINGS, NM |
| 1426500 | -75.3839 | 42.0031 | 1541.043 | NY | WEST BRANCH DELAWARE RIVER AT HALE EDDY NY |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|---|
| 7019000 | -90.5917 | 38.5056 | 9810.875 | MO | MERAMEC RIVER NEAR EUREKA, MO |
| 1643000 | -77.3661 | 39.3869 | 2116.02 | MD | MONOCACY R AT JUG BRIDGE NR FREDERICK, MD |
| 8150700 | -99.1089 | 30.6606 | 8410.054 | TX | LLANO RIVER NR MASON, TX |
| 14101500 | -121.094 | 45.2417 | 1080.025 | OR | WHITE RIVER BELOW TYGH VALLEY, OREG. |
| 2192000 | -82.77 | 33.9742 | 3703.683 | GA | BROAD RIVER NEAR BELL, GA. |
| 1520000 | -77.1403 | 41.9967 | 771.8165 | PA | COWANESQUE RIVER NR LAWRENCEVILLE, PA |
| 5455500 | -91.7156 | 41.4664 | 1484.063 | IA | English River at Kalona, IA |
| 3179000 | -81.0106 | 37.5439 | 1020.455 | WV | BLUESTONE RIVER NEAR PIPESTEM, WV |
| 12462500 | -120.423 | 47.4994 | 3369.575 | WA | WENATCHEE RIVER AT MONITOR, WASH. |
| 1138000 | -71.9861 | 44.1539 | 1023.045 | NH | AMMONOOSUC RIVER NEAR BATH, NH |
| 6480000 | -96.7486 | 44.18 | 10095.77 | SD | BIG SIOUX RIVER NEAR BROOKINGS SD |
| 8172000 | -97.6506 | 29.6661 | 2170.41 | TX | SAN MARCOS RIVER AT LULING, TX |
| 5552500 | -88.7906 | 41.3867 | 6842.749 | IL | FOX RIVER AT DAYTON, IL |
| 11403000 | -121.218 | 40.0106 | 2654.738 | CA | EB OF NF FEATHER R NR RICH BAR CA |
| 6869500 | -97.8739 | 39.0042 | 7303.766 | KS | SALINE R AT TESCOTT, KS |
| 3524000 | -82.155 | 36.9447 | 1367.514 | VA | CLINCH RIVER AT CLEVELAND, VA |
| 4144000 | -83.9458 | 42.8236 | 945.3457 | MI | SHIAWASSEE RIVER AT BYRON, MI. |
| 13298500 | -114.255 | 44.3786 | 4661.979 | ID | SALMON RIVER NR CHALLIS ID |
| 3308500 | -85.8861 | 37.2681 | 4333.05 | KY | GREEN RIVER AT MUNFORDVILLE, KY. |
| 3079000 | -79.2278 | 39.8597 | 989.3755 | PA | CASSELMAN RIVER AT MARKLETON, PA. |
| 1628500 | -78.755 | 38.3225 | 2807.547 | VA | S F SHENANDOAH RIVER NEAR LYNNWOOD, VA |
| 7186000 | -94.5661 | 37.2456 | 3014.746 | MO | SPRING RIVER NEAR WACO, MO |
| 12449950 | -119.984 | 48.0775 | 4589.459 | WA | METHOW RIVER NR PATEROS, WASH. |
| 7346000 | -94.4986 | 32.7494 | 1833.737 | TX | BIG CYPRESS CREEK NR JEFFERSON, TX |
| 2273000 | -80.9628 | 27.2256 | #N/A | FL | KISSIMMEE R AT S-65E NR OKEECHOBEE, FLA. |
| 1371500 | -74.1656 | 41.6861 | 1800.042 | NY | WALLKILL RIVER AT GARDINER NY |
| 6808500 | -95.58 | 40.8731 | 3434.324 | IA | West Nishnabotna River at Randolph, IA |
| 2102000 | -79.1161 | 35.6272 | 3714.043 | NC | DEEP RIVER AT MONCURE, N.C. |
| 5482500 | -94.3767 | 41.9881 | 4193.191 | IA | North Raccoon River near Jefferson, IA |
| 6609500 | -95.7825 | 41.6425 | 2255.88 | IA | Boyer River at Logan, IA |
| 5592500 | -89.0889 | 38.9597 | 5024.577 | IL | KASKASKIA RIVER AT VANDALIA, IL |
| 7378500 | -90.9903 | 30.4639 | 3315.185 | LA | AMITE RIVER NEAR DENHAM SPRINGS, LA. |
| 1064500 | -71.0914 | 43.9908 | 997.1454 | NH | SACO RIVER NEAR CONWAY, NH |
| 5479000 | -94.1917 | 42.7239 | 3387.704 | IA | East Fork Des Moines River at Dakota City, IA |
| 3011020 | -78.7156 | 42.1564 | 4164.701 | NY | ALLEGHENY RIVER AT SALAMANCA NY |
| 4115000 | -84.6931 | 43.1097 | 1124.055 | MI | MAPLE RIVER AT MAPLE RAPIDS, MICH. |
| 6441500 | -100.384 | 44.3267 | 8047.093 | SD | BAD R NEAR FORT PIERRE SD |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|---|
| 1329500 | -73.4319 | 43.1014 | 1020.455 | NY | BATTEN KILL AT BATTENVILLE NY |
| 14232500 | -121.863 | 46.4417 | 831.3862 | WA | CISPUS RIVER NEAR RANDLE, WASH. |
| 11401500 | -120.927 | 40.0781 | 1914.001 | CA | INDIAN C NR CRESCENT MILLS CA |
| 6817500 | -95.0886 | 40.445 | 3211.585 | MO | NODAWAY RIVER NEAR BURLINGTON JCT, MO |
| 1541500 | -78.4061 | 40.9717 | 960.8856 | PA | CLEARFIELD CREEK AT DIMELING, PA |
| 3361500 | -85.7819 | 39.5292 | 1090.385 | IN | BIG BLUE RIVER AT SHELBYVILLE, IN |
| 1421000 | -75.1744 | 41.9731 | 2030.551 | NY | EAST BR DELAWARE R AT FISHS EDDY NY |
| 1664000 | -77.8139 | 38.5306 | 1605.793 | VA | RAPPAHANNOCK RIVER AT REMINGTON, VA |
| 4165500 | -82.9097 | 42.5958 | 1901.051 | MI | CLINTON RIVER AT MOUNT CLEMENS, MICH. |
| 3443000 | -82.6242 | 35.2989 | 766.6365 | NC | FRENCH BROAD RIVER AT BLANTYRE N C |
| 8095000 | -97.5678 | 31.7858 | 2507.108 | TX | NORTH BOSQUE RIVER NR CLIFTON, TX |
| 8032000 | -95.4306 | 31.8922 | 2965.536 | TX | NECHES RIVER NEAR NECHES, TEXAS |
| 3051000 | -79.9361 | 39.0292 | 1056.715 | WV | TYGART VALLEY RIVER AT BELINGTON, WV |
| 2143000 | -81.4028 | 35.6842 | 215.487 | NC | HENRY FORK NEAR HENRY RIVER, N.C. |
| 5570000 | -90.3428 | 40.4856 | 4237.221 | IL | SPOON RIVER AT SEVILLE, IL |
| 13186000 | -115.306 | 43.4944 | 1644.642 | ID | SF BOISE RIVER NR FEATHERVILLE ID |
| 8340500 | -107.189 | 35.5925 | 3600.083 | NM | ARROYO CHICO NR GUADALUPE N M |
| 3362500 | -85.9975 | 39.3608 | 1227.654 | IN | SUGAR CREEK NEAR EDINBURGH, IN |
| 5555300 | -88.9308 | 41.2083 | 3240.075 | IL | VERMILION RIVER NEAR LEONORE, IL |
| 8085500 | -99.2242 | 32.9344 | 10328.87 | TX | CLEAR FORK BRAZOS RIVER AT FORT GRIFFIN, TX |
| 7346070 | -94.3458 | 32.7128 | 1748.242 | TX | LITTLE CYPRESS CREEK NR JEFFERSON, TX |
| 2083500 | -77.5333 | 35.8939 | 5653.944 | NC | TAR RIVER AT TARBORO, N. C. |
| 5594000 | -89.4944 | 38.6097 | 1903.641 | IL | SHOAL CREEK NEAR BREESE, IL |
| 4073500 | -88.9522 | 43.9539 | 3470.584 | WI | FOX RIVER AT BERLIN, WI |
| 2365500 | -85.8278 | 30.7756 | 9062.368 | FL | CHOCTAWHATCHEE RIVER AT CARYVILLE, FLA. |
| 1500500 | -75.3169 | 42.3214 | 2543.368 | NY | SUSQUEHANNA RIVER AT UNADILLA NY |
| 1076500 | -71.6861 | 43.7592 | 1610.973 | NH | PEMIGEWASSET RIVER AT PLYMOUTH, NH |
| 12149000 | -121.924 | 47.6661 | 1561.763 | WA | SNOQUALMIE RIVER NEAR CARNATION, WASH. |
| 6885500 | -96.4375 | 39.6842 | 1061.895 | KS | BLACK VERMILLION R NR FRANKFORT, KS |
| 6894000 | -94.3003 | 39.1006 | 476.5578 | MO | LITTLE BLUE RIVER NEAR LAKE CITY, MO |
| 11213500 | -119.123 | 36.8633 | 2465.669 | CA | KINGS R AB NF NR TRIMMER CA |
| 11080500 | -117.805 | 34.2358 | 219.113 | CA | EF SAN GABRIEL R NR CAMP BONITA CA |
| 7056000 | -92.7456 | 35.9839 | 2147.1 | AR | BUFFALO RIVER NEAR ST. JOE, ARK. |
| 2126000 | -80.1758 | 35.1483 | 3553.464 | NC | ROCKY RIVER NEAR NORWOOD, N. C. |
| 14080500 | -120.794 | 44.1139 | 6992.968 | OR | CROOKED R NR PRINEVILLE, OREG. |
| 3349000 | -86.0167 | 40.0472 | 2222.21 | IN | WHITE RIVER AT NOBLESVILLE, IN |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|--|
| 3345500 | -88.0194 | 38.9361 | 3926.422 | IL | EMBARRAS RIVER AT STE. MARIE, IL |
| 7289500 | -89.9661 | 32.8806 | 3866.852 | MS | BIG BLACK RIVER AT PICKENS, MS |
| 2492000 | -89.8972 | 30.6292 | 3141.656 | LA | BOGUE CHITTO NEAR BUSH, LA |
| 8171300 | -97.9097 | 29.9792 | 1067.075 | TX | BLANCO RIVER NR KYLE, TX |
| 3567500 | -85.2075 | 35.0139 | 1108.515 | TN | SOUTH CHICKAMAUGA CREEK NEAR CHICKAMAUGA, TN |
| 6815000 | -95.5958 | 40.0356 | 3470.584 | NE | BIG NEMAHA RIVER AT FALLS CITY, NEBR. |
| 5471500 | -92.6586 | 41.3553 | 4234.631 | IA | South Skunk River near Oskaloosa, IA |
| 5555500 | -89.0122 | 41.2553 | 3310.005 | IL | VERMILION RIVER AT LOWELL, IL |
| 7288500 | -90.5431 | 33.5472 | 1986.521 | MS | BIG SUNFLOWER RIVER AT SUNFLOWER, MS |
| 7307800 | -100.073 | 34.2275 | 7132.827 | TX | PEASE RIVER NR CHILDRESS, TX |
| 3410500 | -84.5333 | 36.6269 | 2470.849 | KY | SOUTH FORK CUMBERLAND RIVER NEAR STEARNS, KY |
| 3109500 | -80.5408 | 40.6758 | 1284.634 | OH | L BEAVER C NR EAST LIVERPOOL OH |
| 2202500 | -81.4161 | 32.1914 | 6863.468 | GA | OGEECHEE RIVER NEAR EDEN, GA. |
| 3198500 | -81.7117 | 38.1797 | 1012.685 | WV | BIG COAL RIVER AT ASHFORD, WV |
| 1361000 | -73.7444 | 42.3306 | 852.1061 | NY | KINDERHOOK CREEK AT ROSSMAN NY |
| 6607200 | -95.8097 | 42.1569 | 1732.702 | IA | Maple River at Mapleton, IA |
| 8150000 | -99.7342 | 30.5042 | 4804.791 | TX | LLANO RIVER NR JUNCTION, TX |
| 5472500 | -92.2044 | 41.3008 | 1890.691 | IA | North Skunk River near Sigourney, IA |
| 1556000 | -78.2 | 40.4631 | 753.6865 | PA | FRANKSTOWN BR JUNIATA RIVER AT WILLIAMSBURG, PA. |
| 6868000 | -98.5333 | 38.9333 | 4920.977 | KS | SALINE R NR WILSON, KS |
| 6192500 | -110.565 | 45.5972 | 9197.048 | MT | YELLOWSTONE RIVER NEAR LIVINGSTON, MT. |
| 3521500 | -81.7811 | 37.0861 | 354.8284 | VA | CLINCH RIVER AT RICHLANDS, VA |
| 1423000 | -75.1403 | 42.1661 | 859.8761 | NY | WEST BRANCH DELAWARE RIVER AT WALTON NY |
| 8205500 | -99.1444 | 28.7364 | 8881.069 | TX | FRIO RIVER NR DERBY, TX |
| 3182500 | -80.1308 | 38.1858 | 1398.594 | WV | GREENBRIER RIVER AT BUCKEYE, WV |
| 3032500 | -79.3944 | 40.9944 | 1367.514 | PA | REDBANK CREEK AT ST. CHARLES, PA. |
| 2135000 | -79.2472 | 34.0569 | 7226.067 | SC | LITTLE PEE DEE R. AT GALIVANTS FERRY, S.C. |
| 3540500 | -84.5581 | 35.9831 | 1978.751 | TN | EMORY RIVER AT OAKDALE, TN |
| 6860000 | -100.855 | 38.7925 | 9207.408 | KS | SMOKY HILL R AT ELKADER, KS |
| 12144500 | -121.841 | 47.5453 | 971.2455 | WA | SNOQUALMIE RIVER NEAR SNOQUALMIE, WASH. |
| 2347500 | -84.2325 | 32.7214 | 4791.478 | GA | FLINT RIVER NEAR CULLODEN, GA. |
| 5508000 | -91.4083 | 39.6122 | 6423.171 | MO | SALT RIVER NEAR NEW LONDON, MO |
| 11413000 | -120.937 | 39.525 | 647.497 | CA | N YUBA R BL GOODYEARS BAR CA |
| 3531500 | -83.095 | 36.6619 | 826.2062 | VA | POWELL RIVER NEAR JONESVILLE, VA |
| 5582000 | -89.7356 | 40.1336 | 4672.339 | IL | SALT CREEK NEAR GREENVIEW, IL |
| 5462000 | -92.5828 | 42.7119 | 4522.119 | IA | Shell Rock River at Shell Rock, IA |
| 6888500 | -96.1811 | 39.0622 | 818.4362 | KS | MILL C NR PAXICO, KS |
| 6847000 | -99.8931 | 40.12 | #N/A | NE | BEAVER CREEK NEAR BEAVER CITY, NEBR. |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|--|
| 1560000 | -78.4928 | 40.0717 | 445.478 | PA | DUNNING CREEK AT BELDEN, PA. |
| 13336500 | -115.513 | 46.0867 | 4946.877 | ID | SELWAY RIVER NR LOWELL, ID |
| 5451500 | -92.9075 | 42.0658 | 3967.862 | IA | Iowa River at Marshalltown, IA |
| 4178000 | -84.8017 | 41.3856 | 1579.893 | OH | ST. JOSEPH RIVER NEAR NEWVILLE, IN |
| 7052500 | -93.4614 | 36.8053 | 2556.318 | MO | JAMES RIVER AT GALENA, MO |
| 5412500 | -91.2617 | 42.74 | 4001.532 | IA | Turkey River at Garber, IA |
| 12449500 | -120.115 | 48.3653 | 3369.575 | WA | METHOW RIVER AT TWISP, WA |
| 6340500 | -101.622 | 47.2853 | 5801.573 | ND | KNIFE RIVER AT HAZEN, ND |
| 4079000 | -88.7403 | 44.3922 | 5853.373 | WI | WOLF RIVER AT NEW LONDON, WI |
| 3490000 | -82.5681 | 36.6086 | 1740.472 | VA | N F HOLSTON RIVER NEAR GATE CITY, VA |
| 3512000 | -83.3536 | 35.4614 | 476.5578 | NC | OCONALUFTEE RIVER AT BIRDTOWN, N. C. |
| 5507500 | -91.6722 | 39.5403 | 5775.673 | MO | SALT RIVER NEAR MONROE CITY, MO. |
| 5554500 | -88.6361 | 40.8778 | 1499.603 | IL | VERMILION RIVER AT PONTIAC, IL |
| 7068000 | -90.8475 | 36.6219 | 5278.396 | MO | CURRENT RIVER AT DONIPHAN, MO. |
| 1197500 | -73.3553 | 42.2319 | 730.3766 | MA | HOUSATONIC RIVER NEAR GREAT BARRINGTON, MA |
| 3010500 | -78.3864 | 41.9633 | 1424.493 | PA | ALLEGHENY RIVER AT ELDRED, PA. |
| 3504000 | -83.6192 | 35.1269 | 134.4204 | NC | NANTAHALA RIVER NEAR RAINBOW SPRINGS, N. C. |
| 3114500 | -80.9972 | 39.475 | 1186.215 | WV | MIDDLE ISLAND CREEK AT LITTLE, WV |
| 3331500 | -86.5636 | 41.1572 | 2217.03 | IN | TIPPECANOE RIVER NEAR ORA, IN |
| 5585000 | -90.6319 | 40.0253 | 3348.855 | IL | LA MOINE RIVER AT RIPLEY, IL |
| 1055500 | -70.2303 | 44.2694 | 437.708 | ME | NEZINSCOT RIVER AT TURNER CENTER, ME |
| 1595000 | -79.3072 | 39.3019 | 189.0691 | MD | NB POTOMAC R AT STEYER, MD |
| 9251000 | -108.029 | 40.5028 | 8831.859 | CO | YAMPA RIVER NEAR MAYBELL, CO. |
| 6600500 | -96.3119 | 42.5767 | 2294.729 | IA | Floyd River at James, IA |
| 2482000 | -89.335 | 32.7983 | 2341.349 | MS | PEARL RIVER AT EDINBURG, MS |
| 9442692 | -108.515 | 33.8914 | 243.4589 | NM | TULAROSA RIVER ABOVE ARAGON, N. MEX. |
| 1329000 | -73.1572 | 43.0772 | 393.6782 | VT | BATTEN KILL AT ARLINGTON, VT |
| 7163000 | -96.8675 | 36.1161 | 80.28963 | OK | COUNCIL CREEK NEAR STILLWATER, OK |
| 3303000 | -86.2283 | 38.2375 | 1232.834 | IN | BLUE RIVER NEAR WHITE CLOUD, IND |
| 7196500 | -94.9233 | 35.9228 | 2483.799 | OK | ILLINOIS RIVER NEAR TAHLEQUAH, OK |
| 7221000 | -104.783 | 35.8003 | 2859.347 | NM | MORA RIVER NR SHOEMAKER N MEX. |
| 11355500 | -121.424 | 40.6867 | 419.5781 | CA | HAT CREEK NEAR HAT CREEK CALIF |
| 6928000 | -92.4517 | 37.7592 | 3237.485 | MO | GASCONADE RIVER NEAR HAZLEGREEN, MISSOURI |
| 3361650 | -85.8856 | 39.7142 | 243.1999 | IN | SUGAR CREEK AT NEW PALESTINE, IND. |
| 5410490 | -90.8583 | 43.1828 | 1779.322 | WI | KICKAPOO RIVER AT STEUBEN, WI |
| 5440000 | -88.9986 | 42.1958 | 2846.397 | IL | KISHWAUKEE RIVER NEAR PERRYVILLE, IL |
| 4176500 | -83.5311 | 41.9606 | 2698.768 | MI | RIVER RAISIN NEAR MONROE, MI |
| 2055000 | -79.9389 | 37.2583 | 1023.045 | VA | ROANOKE RIVER AT ROANOKE, VA |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|---|
| 3069000 | -79.6778 | 39.0958 | 554.2575 | WV | SHAVERS FORK AT PARSONS, WV |
| 4223000 | -78.0425 | 42.5703 | 2548.548 | NY | GENESEE RIVER AT PORTAGEVILLE NY |
| 6799500 | -96.5217 | 41.7128 | 2628.838 | NE | LOGAN CREEK NEAR UEHLING, NEBR. |
| 11532500 | -124.075 | 41.7917 | 1589.346 | CA | SMITH R NR CRESCENT CITY CA |
| 2219500 | -83.3494 | 33.6086 | 1129.235 | GA | APALACHEE RIVER NEAR BUCKHEAD, GA. |
| 7069500 | -91.1719 | 36.2053 | 3063.956 | AR | SPRING RIVER AT IMBODEN, ARK. |
| 7144200 | -97.3878 | 37.8322 | 3436.914 | KS | L ARKANSAS R AT VALLEY CENTER, KS |
| 3328500 | -86.2639 | 40.7819 | 2043.501 | IN | EEL RIVER NEAR LOGANSPOUT, IN |
| 14308000 | -122.947 | 42.9306 | 1162.905 | OR | S. UMPQUA RIVER @ TILLER, OR |
| 7177500 | -95.9539 | 36.2783 | 2343.939 | OK | BIRD CREEK NEAR SPERRY, OK |
| 11427000 | -121.023 | 38.9361 | 885.7759 | CA | NF AMERICAN R A NORTH FORK DAM CA |
| 3289500 | -84.8147 | 38.2686 | 1225.064 | KY | ELKHORN CREEK NEAR FRANKFORT, KY |
| 1334500 | -73.3775 | 42.9386 | 1320.894 | NY | HOOSIC RIVER NEAR EAGLE BRIDGE NY |
| 3167000 | -80.8869 | 36.9394 | 639.7271 | VA | REED CREEK AT GRAHAM'S FORGE, VA |
| 3161000 | -81.4072 | 36.3931 | 530.9476 | NC | SOUTH FORK NEW RIVER NEAR JEFFERSON, N. C. |
| 1558000 | -78.1408 | 40.6125 | 569.7974 | PA | LITTLE JUNIATA RIVER AT SPRUCE CREEK, PA. |
| 6454500 | -103.171 | 42.4597 | 3625.983 | NE | NIOBRARA RIVER ABOVE BOX BUTTE RESERVOIR, NE |
| 10296000 | -119.449 | 38.3797 | 466.1979 | CA | W WALKER R BL L WALKER R NR COLEVILLE, CA |
| 4100500 | -85.8486 | 41.5933 | 1538.453 | IN | ELKHART RIVER AT GOSHEN, IND. |
| 5452000 | -92.3131 | 41.9642 | 520.5876 | IA | Salt Creek near Elberon, IA |
| 8171000 | -98.0886 | 29.9942 | 919.4458 | TX | BLANCO RIVER AT WIMBERLEY, TX |
| 3075500 | -79.4256 | 39.4219 | 347.0584 | MD | YOUGHIOGHENY R NR OAKLAND, MD |
| 8013500 | -92.8139 | 30.6403 | 1950.261 | LA | CALCASIEU RIVER NEAR OBERLIN, LA. |
| 12459000 | -120.613 | 47.5833 | 2589.988 | WA | WENATCHEE RIVER AT PESHASTIN, WASH. |
| 2475500 | -88.9097 | 32.3264 | 955.7056 | MS | CHUNKY RIVER NR CHUNKY, MS |
| 3532000 | -83.6303 | 36.5417 | 1774.142 | TN | POWELL RIVER NEAR ARTHUR, TN |
| 5526000 | -87.8242 | 41.0089 | 5415.665 | IL | IROQUOIS RIVER NEAR CHEBANSE, IL |
| 3050500 | -79.8792 | 38.925 | 704.4768 | WV | TYGART VALLEY RIVER NEAR ELKINS, WV |
| 4113000 | -84.5553 | 42.7506 | 3185.685 | MI | GRAND RIVER AT LANSING, MICH. |
| 4221000 | -77.9575 | 42.1222 | 745.9166 | NY | GENESEE RIVER AT WELLSVILLE NY |
| 3266000 | -84.2825 | 39.8694 | 1683.492 | OH | STILLWATER R AT ENGLEWOOD OH |
| 3159500 | -82.0878 | 39.3289 | 2442.359 | OH | HOCKING R AT ATHENS OH |
| 5569500 | -90.2814 | 40.7089 | 2776.467 | IL | SPOON RIVER AT LONDON MILLS, IL |
| 13340600 | -115.62 | 46.8406 | 3522.384 | ID | N.F. CLEARWATER RIVER NR CANYON RANGER STATION, |
| 4221500 | -77.9806 | 42.1639 | 797.7163 | NY | GENESEE RIVER AT SCIO, N. Y. |
| 12413500 | -116.307 | 47.5639 | 3159.785 | ID | COEUR D'ALENE RIVER NR CATALDO, IDAHO |
| 9430500 | -108.537 | 33.0611 | 4827.738 | NM | GILA RIVER NEAR GILA, NM |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|--|
| 5481000 | -93.8033 | 42.4336 | 2185.95 | IA | Boone River near Webster City, IA |
| 1663500 | -77.9653 | 38.5917 | 743.3266 | VA | HAZEL RIVER AT RIXEYVILLE, VA |
| 8103800 | -98.0164 | 31.0817 | 2118.61 | TX | LAMPASAS RIVER NR KEMPNER, TX |
| 1634000 | -78.3364 | 38.9767 | 1989.111 | VA | N F SHENANDOAH RIVER NEAR STRASBURG, VA |
| 12340000 | -113.756 | 46.8997 | 5931.073 | MT | BLACKFOOT RIVER NEAR BONNER, MT. |
| 9299500 | -109.927 | 40.5869 | 292.6687 | UT | WHITEROCKS RIVER NEAR WHITEROCKS, UTAH |
| 5476500 | -94.8439 | 43.3975 | 3553.464 | IA | Des Moines River at Estherville, IA |
| 3020500 | -79.6956 | 41.4817 | 776.9964 | PA | OIL CREEK AT ROUSEVILLE, PA. |
| 7172000 | -96.315 | 37.0036 | 1152.545 | KS | CANEY R NR ELGIN, KS |
| 1667500 | -77.9753 | 38.3503 | 1222.474 | VA | RAPIDAN RIVER NEAR CULPEPER, VA |
| 2165000 | -82.1764 | 34.4444 | 611.2372 | SC | REEDY RIVER NEAR WARE SHOALS,S.C. |
| 4212000 | -81.0467 | 41.7406 | 1504.783 | OH | GRAND R NR MADISON OH |
| 5408000 | -90.6431 | 43.5742 | 688.9368 | WI | KICKAPOO RIVER AT LA FARGE, WI |
| 3324300 | -85.4536 | 40.7125 | 1100.745 | IN | SALAMONIE RIVER NEAR WARREN, IND. |
| 11160000 | -121.955 | 36.9914 | 104.1175 | CA | SOQUEL CR AT SOQUEL CALIF |
| 13200000 | -115.989 | 43.6481 | 1033.405 | ID | MORES CREEK AB ROBIE CREEK NR ARROWROCK DAM ID |
| 3024000 | -79.9561 | 41.4375 | 2662.508 | PA | FRENCH CREEK AT UTICA, PA. |
| 2479300 | -88.7806 | 30.7361 | 1142.185 | MS | RED CREEK AT VESTRY, MS |
| 6191500 | -110.794 | 45.1119 | 6793.539 | MT | YELLOWSTONE RIVER AT CORWIN SPRINGS, MT. |
| 5244000 | -94.8789 | 46.6403 | 2615.888 | MN | CROW WING RIVER AT NIMROD, MN |
| 11224500 | -120.47 | 36.2147 | 248.1209 | CA | LOS GATOS C AB NUNEZ CYN NR COALINGA CA |
| 3269500 | -83.8703 | 39.9231 | 1269.094 | OH | MAD R NR SPRINGFIELD OH |
| 3470000 | -83.5778 | 35.8783 | 914.2658 | TN | LITTLE PIGEON RIVER AT SEVIERVILLE, TENN. |
| 1200000 | -73.5289 | 41.6589 | 525.7676 | NY | TENMILE RIVER NEAR GAYLORDSVILLE, CT |
| 6426500 | -104.94 | 44.3219 | 4377.08 | WY | BELLE FOURCHE RIVER BELOW MOORCROFT, WYO. |
| 1348000 | -74.7411 | 43.0167 | 748.5066 | NY | EAST CANADA CREEK AT EAST CREEK NY |
| 3175500 | -80.85 | 37.3056 | 577.5673 | VA | WOLF CREEK NEAR NARROWS, VA |
| 13337000 | -115.586 | 46.1506 | 3056.186 | ID | LOCHSA RIVER NR LOWELL, ID |
| 12413000 | -116.253 | 47.5722 | 2318.039 | ID | N FK COEUR D ALENE RIVER AT ENAVILLE ID |
| 5435500 | -89.6158 | 42.3036 | 3434.324 | IL | PECATONICA RIVER AT FREEPORT, IL |
| 6334500 | -103.973 | 45.5469 | 5102.277 | SD | LITTLE MISSOURI R AT CAMP CROOK SD |
| 10296500 | -119.454 | 38.5153 | 647.497 | CA | W WALKER R NR COLEVILLE, CA |
| 5514500 | -90.9833 | 39.0164 | 2338.759 | MO | CUIVRE RIVER NEAR TROY, MO |
| 13351000 | -118.148 | 46.7586 | 6474.97 | WA | PALOUSE RIVER AT HOOPER, WA |
| 7067000 | -91.0147 | 36.9914 | 4317.51 | MO | CURRENT RIVER AT VAN BUREN, MO |
| 7057500 | -92.2481 | 36.6228 | 1452.983 | MO | NORTH FORK RIVER NEAR TECUMSEH, MO |
| 11342000 | -122.416 | 40.9397 | 1100.745 | CA | SACRAMENTO R A DELTA CA |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|---|
| 2383500 | -84.8331 | 34.5642 | 2152.28 | GA | COOSAWATTEE RIVER NEAR PINE CHAPEL, GA. |
| 3550000 | -83.9806 | 35.1389 | 269.3588 | NC | VALLEY RIVER AT TOMOTLA, N. C. |
| 10309000 | -119.703 | 38.8472 | 922.0358 | NV | EAST FORK CARSON RIVER NEAR GARDNERVILLE, NV |
| 2456500 | -86.9833 | 33.7097 | 2292.139 | AL | LOCUST FORK AT SAYRE, AL. |
| 4185000 | -84.4297 | 41.5044 | 1061.895 | OH | TIFFIN R AT STRYKER OH |
| 6811500 | -95.8128 | 40.3925 | 2053.861 | NE | LITTLE NEMAHA RIVER AT AUBURN, NE |
| 11497500 | -121.238 | 42.4472 | 1328.664 | OR | SPRAGUE RIVER NEAR BEATTY, OREG. |
| 5502040 | -91.1486 | 39.6931 | 188.2921 | IL | HADLEY CREEK AT KINDERHOOK, IL |
| 1060000 | -70.1792 | 43.7992 | 365.1883 | ME | ROYAL RIVER AT YARMOUTH, ME |
| 12358500 | -114.009 | 48.4953 | 2921.507 | MT | MIDDLE FORK FLATHEAD RIVER NEAR WEST GLACIER MT |
| 1514000 | -76.2708 | 42.1292 | 479.1478 | NY | OWEGO CREEK NEAR OWEGO NY |
| 2472000 | -89.4069 | 31.7069 | 1924.361 | MS | LEAF RIVER NR COLLINS, MS |
| 1674500 | -77.1633 | 37.8878 | 1556.583 | VA | MATTAPONI RIVER NEAR BEULAHVILLE, VA |
| 12027500 | -123.034 | 46.7761 | 2318.039 | WA | CHEHALIS RIVER NEAR GRAND MOUND, WASH. |
| 7058000 | -92.3044 | 36.6258 | 1476.293 | MO | BRYANT CREEK NEAR TECUMSEH, MO |
| 8189500 | -97.2789 | 28.2917 | 1787.092 | TX | MISSION RIVER AT REFUGIO, TX |
| 2448000 | -88.5611 | 33.1022 | 1989.111 | MS | NOXUBEE RIVER AT MACON, MS |
| 1321000 | -74.2708 | 43.3528 | 1271.684 | NY | SACANDAGA RIVER NEAR HOPE NY |
| 3111500 | -80.7344 | 40.1933 | 318.5685 | OH | SHORT C NR DILLONVALE OH |
| 4201500 | -81.8872 | 41.4067 | 691.5268 | OH | ROCKY R NR BERE A OH |
| 2296750 | -81.8761 | 27.2219 | 3540.514 | FL | PEACE RIVER AT ARCADIA, FLA. |
| 4164000 | -82.9514 | 42.5772 | 1149.955 | MI | CLINTON RIVER NEAR FRASER, MICH. |
| 2030500 | -78.3778 | 37.7028 | 585.3373 | VA | SLATE RIVER NEAR ARVONIA, VA |
| 3574500 | -86.3064 | 34.6242 | 828.7962 | AL | PAINT ROCK RIVER NEAR WOODVILLE AL |
| 2138500 | -81.8903 | 35.7947 | 172.7522 | NC | LINVILLE RIVER NEAR NEBO N C |
| 5458500 | -92.465 | 42.6483 | 4301.97 | IA | Cedar River at Janesville, IA |
| 1574000 | -76.7203 | 40.0822 | 1320.894 | PA | WEST CONEWAGO CREEK NEAR MANCHESTER, PA. |
| 5542000 | -88.3597 | 41.2861 | 1178.445 | IL | MAZON RIVER NEAR COAL CITY, IL |
| 2143500 | -81.2644 | 35.4222 | 179.2272 | NC | INDIAN CREEK NEAR LABORATORY N C |
| 5320500 | -94.0411 | 44.1111 | 2874.887 | MN | LE SUEUR RIVER NEAR RAPIDAN, MN |
| 4198000 | -83.1589 | 41.3078 | 3240.075 | OH | SANDUSKY R NR FREMONT OH |
| 3265000 | -84.3561 | 40.0578 | 1302.764 | OH | STILLWATER R AT PLEASANT HILL OH |
| 3155500 | -81.2778 | 39.1194 | 1170.675 | WV | HUGHES RIVER AT CISCO, WV |
| 2018000 | -79.9117 | 37.6658 | 852.1061 | VA | CRAIG CREEK AT PARR, VA |
| 1543500 | -78.1033 | 41.3172 | 1774.142 | PA | SINNEMAHONING CREEK AT SINNEMAHONING, PA |
| 3339500 | -86.8994 | 40.0489 | 1318.304 | IN | SUGAR CREEK AT CRAWFORDSVILLE, IND. |
| 7252000 | -94.0153 | 35.5769 | 966.0656 | AR | MULBERRY RIVER NEAR MULBERRY, ARK. |
| 5584500 | -90.8986 | 40.3292 | 1696.442 | IL | LA MOINE RIVER AT COLMAR, IL |
| 5383000 | -91.1181 | 43.9014 | 1030.815 | WI | LA CROSSE RIVER NEAR WEST |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|--|
| | | | | | SALEM, WI |
| 1372500 | -73.8731 | 41.6531 | 468.7878 | NY | WAPPINGER CREEK NEAR WAPPINGERS FALLS NY |
| 3136000 | -82.1956 | 40.5147 | 2455.309 | OH | MOHICAN R AT GREER OH |
| 3238500 | -83.9286 | 38.8581 | 564.6174 | OH | WHITEOAK C NR GEORGETOWN OH |
| 3473000 | -81.8442 | 36.6517 | 779.5864 | VA | S F HOLSTON RIVER NEAR DAMASCUS, VA |
| 2143040 | -81.5672 | 35.5906 | 66.56269 | NC | JACOB FORK AT RAMSEY, N. C. |
| 3281500 | -83.6772 | 37.4792 | 1869.971 | KY | SOUTH FORK KENTUCKY RIVER AT BOONEVILLE, KENTUCKY |
| 3346000 | -87.9464 | 39.0103 | 823.6162 | IL | NORTH FORK EMBARRAS RIVER NEAR OBLONG, IL |
| 11138500 | -120.167 | 34.8397 | 727.7867 | CA | SISQUOC RIVER NEAR SISQUOC, CALIF. |
| 2228000 | -81.8675 | 31.2211 | 7226.067 | GA | SATILLA RIVER AT ATKINSON, GA. |
| 6914000 | -95.2486 | 38.3336 | 865.056 | KS | POTTAWATOMIE C NR GARNETT, KS |
| 3180500 | -79.8333 | 38.5436 | 344.4684 | WV | GREENBRIER RIVER AT DURBIN, WV |
| 3199000 | -81.8364 | 38.0797 | 696.7068 | WV | LITTLE COAL RIVER AT DANVILLE, WV |
| 1541000 | -78.6772 | 40.8969 | 815.8463 | PA | WEST BRANCH SUSQUEHANNA RIVER AT BOWER, PA |
| 1672500 | -77.5492 | 37.7967 | 1020.455 | VA | SOUTH ANNA RIVER NEAR ASHLAND, VA |
| 7029500 | -88.9767 | 35.2753 | 3833.182 | TN | HATCHIE RIVER AT BOLIVAR, TN |
| 12134500 | -121.666 | 47.8375 | 1385.644 | WA | SKYKOMISH RIVER NEAR GOLD BAR, WASH. |
| 6817000 | -95.0131 | 40.7386 | 1973.571 | IA | Nodaway River at Clarinda, IA |
| 3186500 | -80.4842 | 38.3789 | 331.5185 | WV | WILLIAMS RIVER AT DYER, WV |
| 7261000 | -92.4028 | 35.2989 | 437.708 | AR | CADRON CREEK NEAR GUY, ARK. |
| 5447500 | -90.1583 | 41.4889 | 2597.758 | IL | GREEN RIVER NEAR GENESEO, IL |
| 12098500 | -121.949 | 47.1514 | 1038.585 | WA | WHITE RIVER NEAR BUCKLEY, WASH. |
| 6892000 | -95.0108 | 39.1164 | 1051.535 | KS | STRANGER C NR TONGANOXIE, KS |
| 11210500 | -118.953 | 36.4067 | 1344.204 | CA | KAWEAH R NR THREE RIVERS CA |
| 7072000 | -91.1133 | 36.3467 | 2937.047 | AR | ELEVENPOINT RIVER NR RAVENDEN SPRINGS, ARK. |
| 6359500 | -102.156 | 45.1978 | 6889.368 | SD | MOREAU R NEAR FAITH SD |
| 7346050 | -94.7508 | 32.6725 | 991.9654 | TX | LITTLE CYPRESS CREEK NR ORE CITY, TX |
| 11025500 | -116.865 | 33.1069 | 290.0787 | CA | SANTA YSABEL CREEK NEAR RAMONA, CALIF. |
| 5457700 | -92.6731 | 43.0625 | 2729.847 | IA | Cedar River at Charles City, IA |
| 5280000 | -93.7339 | 45.0867 | 6526.77 | MN | CROW RIVER AT ROCKFORD, MN |
| 1048000 | -69.9392 | 44.7072 | 1336.434 | ME | SANDY RIVER NEAR MERCER, ME |
| 3173000 | -80.7097 | 37.2681 | 789.9464 | VA | WALKER CREEK AT BANE, VA |
| 1445500 | -74.9786 | 40.8306 | 274.5387 | NJ | PEQUEST RIVER AT PEQUEST NJ |
| 7074000 | -91.4497 | 36.1103 | 1225.064 | AR | STRAWBERRY RIVER NEAR POUGHKEEPSIE, ARK. |
| 5546500 | -88.1792 | 42.5111 | 2248.11 | WI | FOX RIVER AT WILMOT, WI |
| 7375500 | -90.3617 | 30.5064 | 1673.132 | LA | TANGIPAHOA RIVER AT ROBERT, LA |
| 1534000 | -75.895 | 41.5583 | 991.9654 | PA | TUNKHANNOCK CREEK NEAR TUNKHANNOCK, PA. |
| 7049000 | -93.8556 | 36.2006 | 681.1669 | AR | WAR EAGLE CREEK NEAR HINDSVILLE, ARK. |

9. Παράρτημα 1ο: Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν

| | | | | | |
|----------|----------|---------|----------|----|--|
| 2118000 | -80.6594 | 35.8447 | 792.5364 | NC | SOUTH YADKIN RIVER NEAR MOCKSVILLE N C |
| 3438000 | -87.7217 | 36.7778 | 631.9571 | KY | LITTLE R NR CADIZ,KY. |
| 2329000 | -84.3842 | 30.5539 | 2952.586 | FL | OCHLOCKONEE RIVER NR HAVANA, FLA. |
| 2016000 | -79.7597 | 37.7917 | 1193.985 | VA | COWPASTURE RIVER NEAR CLIFTON FORGE, VA |
| 1445000 | -74.7767 | 40.9811 | 80.28963 | NJ | PEQUEST RIVER AT HUNTSVILLE NJ |
| 6883000 | -98.0667 | 40.3328 | 2548.548 | NE | LITTLE BLUE RIVER NEAR DEWEESE, NE |
| 6225500 | -109.01 | 43.2425 | 4897.668 | WY | WIND RIVER NEAR CROWHEART, WYO. |
| 7197000 | -94.8383 | 35.9211 | 795.1263 | OK | BARON FORK AT ELDON, OK |
| 7222500 | -104.443 | 35.4028 | 1354.564 | NM | CONCHAS RIVER AT VARIADERO, N. MEX. |
| 2058400 | -79.525 | 36.9458 | 906.4958 | VA | PIGG RIVER NEAR SANDY LEVEL, VA |
| 11530000 | -123.671 | 41.05 | 7389.236 | CA | TRINITY R A HOOPA CA |
| 7147070 | -97.0125 | 37.7958 | 1103.335 | KS | WHITewater R AT TOWANDA, KS |
| 11281000 | -120.012 | 37.8217 | 225.329 | CA | SF TUOLUMNE RIVER NR OAKLAND RECREATION CAMP CAL |
| 3326500 | -85.6594 | 40.5761 | 1766.372 | IN | MISSISSINAWA RIVER AT MARION, IND. |
| 2217500 | -83.4228 | 33.9467 | 1015.275 | GA | MIDDLE OCONEE RIVER NEAR ATHENS, GA. |
| 13340500 | -115.508 | 46.6314 | 2579.628 | ID | N FK CLEARWATER RIVER AT BUNGALOW RANGER STA ID |
| 9132500 | -107.434 | 38.9258 | 1362.334 | CO | NORTH FORK GUNNISON RIVER NEAR SOMERSET, CO. |
| 5517000 | -86.6206 | 41.3028 | 1126.645 | IN | YELLOW RIVER AT KNOX, IND. |
| 7378000 | -91.0736 | 30.5125 | 735.5566 | LA | COMITE RIVER NEAR COMITE, LA. |
| 3348000 | -85.6722 | 40.1061 | 1051.535 | IN | WHITE RIVER AT ANDERSON, IND. |
| 7144780 | -97.9358 | 37.8447 | 2038.321 | KS | NF NINNESCAH R AB CHENEY RE, KS |
| 5053000 | -96.7833 | 46.4681 | 5387.175 | ND | WILD RICE RIVER NR ABERCROMBIE, ND |
| 7152000 | -97.2769 | 36.8114 | 4814.788 | OK | CHIKASKIA RIVER NEAR BLACKWELL, OK |