



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

*«Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση ακραίων
βροχοπτώσεων και απορροών σε 400 λεκάνες απορροής
από την βάση ΜΟΡΕΧ»*

Νέζη Μαρία

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

Αθήνα, Νοέμβριος 2018



1

Θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο μελέτης

2

Βάση Δεδομένων ΜΟΡΕΧ

3

Μεθοδολογία – Πιλοτική παρουσίαση

4

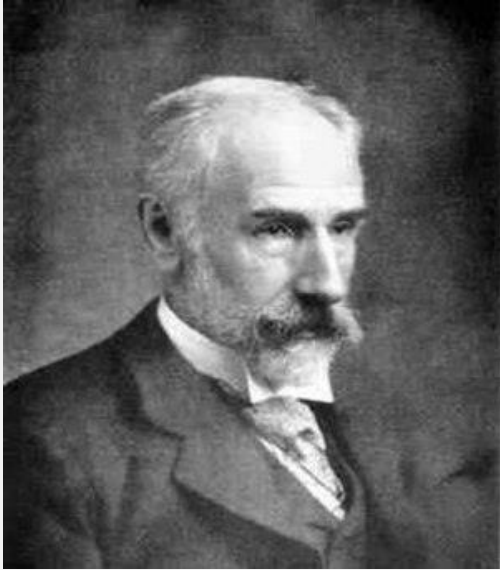
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα & χωρικοί χάρτες

5

Συμπεράσματα & Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

1. Στατιστικό Υπόβαθρο Μελέτης (1/5)

Θεωρία Ακραίων Τιμών



Leonard Henry Caleb Tippett,
English statistician, (May
1902 - November 1985)

- ◆ Πρώτη προσέγγιση θεωρίας 1928 – Leonard Tippett
- ◆ Ανάγκη για πιο ανθεκτικά βαμβάκια για χάρη του British Cotton Industry Research Association
- ◆ Μελέτη στις ίνες των βαμβακιών – αντοχή νήματος εξαρτώμενο από τις πιο αδύναμες ίνες του
- ◆ Εξαγωγή τριών ασυμπτωτικών ορίων για την περιγραφή της κατανομής των ακροτάτων – υπόθεση ανεξάρτητων μεταβλητών



1. Στατιστικό Υπόβαθρο Μελέτης (2/5)

Γενικευμένη Κατανομή Μεγίστων

Gumbel Τύπου I:

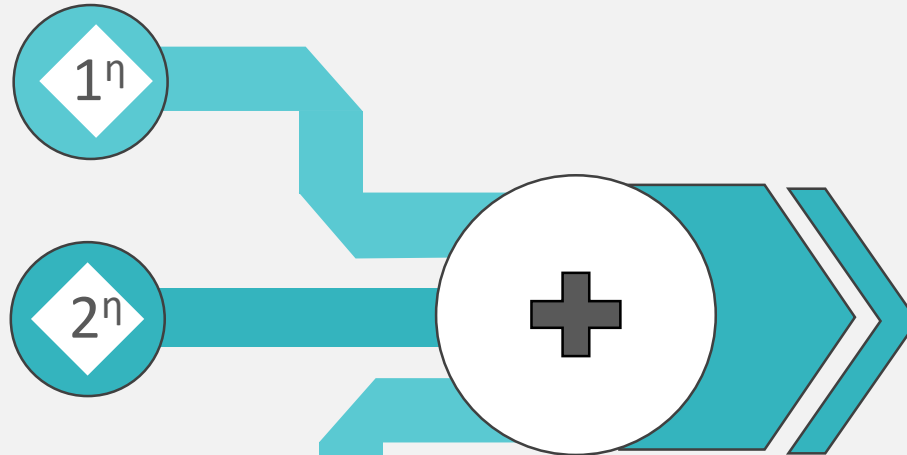
$$\Lambda(x) = e^{-e^{-x}}, x \in R$$

Fréchet (Τύπου II):

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

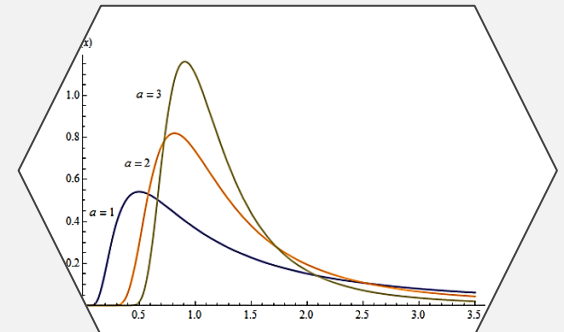
Weibull (Τύπου III):

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



Γενικευμένη Κατανομή
Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ)

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



Στατιστικό υπόβαθρο μελέτης (3/5)

Παράμετρος σχήματος ΓΚΜ (1/2)

Παράμετρος
σχήματος γ
?

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



Δείκτης «πάχους» & «φθοράς» των ουρών της κατανομής



Υποδεικνύει ποια από τις τρεις ασυμπτωτικές κατανομές εκφράζει καλύτερα το δείγμα μας

$\gamma < 0$
 Κατανομή Τύπου iii, Weibull

$\gamma = 0$
 Κατανομή Τύπου I, Gumbel

$\gamma > 0$
 Κατανομή Τύπου II, Fréchet

Μικρός δείκτης

Πιο παχιά η ουρά και τόσο πιο αργά η κατανομή προσεγγίζει την μηδενική τιμή

Μεγάλος δείκτης

Πιο λεπτή ουρά και τόσο πιο γρήγορα η κατανομή προσεγγίζει την μηδενική τιμή

Στατιστικό υπόβαθρο μελέτης (4/5)

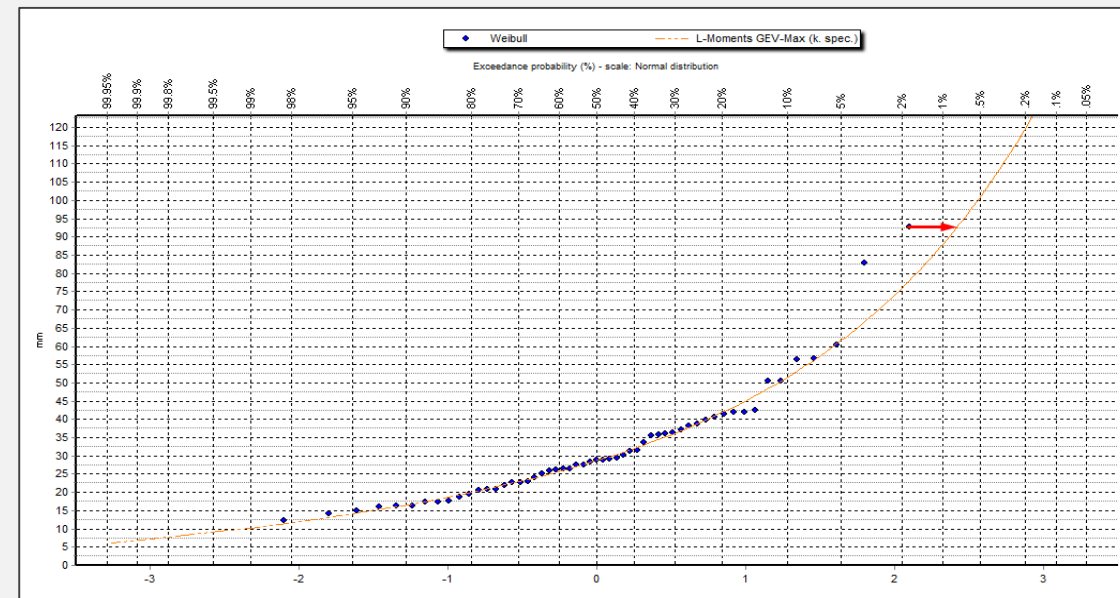
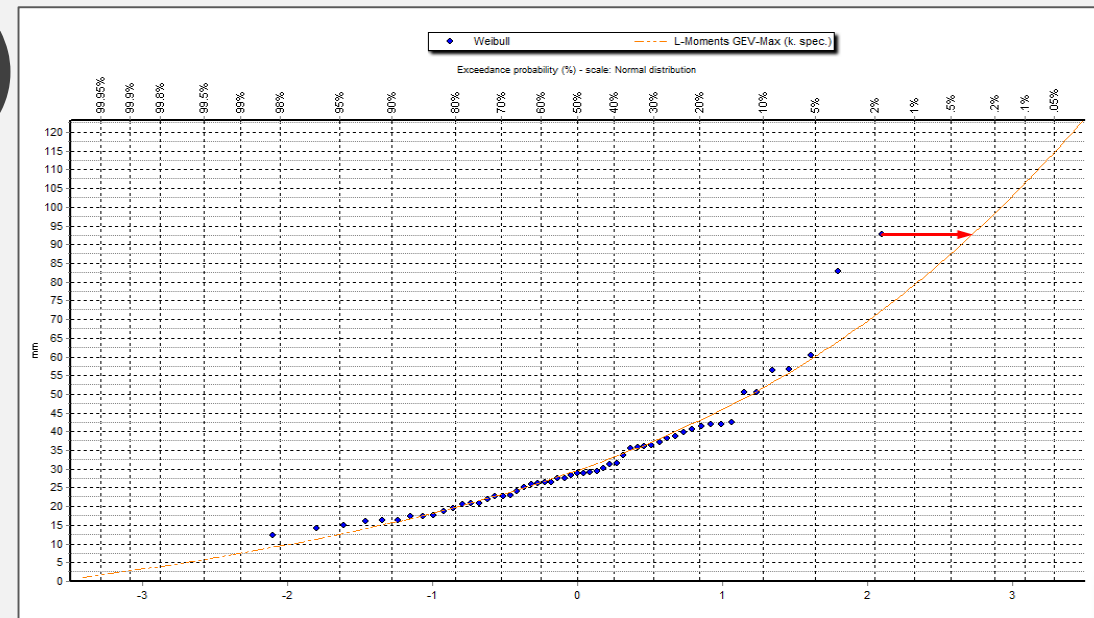
Παράμετρος σχήματος ΓΚΜ (2/2)

Ανάγκη διόρθωσης συντελεστή σχήματος

- ◆ $\gamma < 0$, Κατανομή Τύπου iii, Weibull
- ◆ Υποδηλώνει ένα άνω φράγμα στην κατανομή
- ◆ Υδρολογία → «φυσικό» νόημα?

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

Διόρθωση της στατιστικής παραμέτρου γίνεται σύμφωνα με την εμπειρική σχέση των Papalexiou et al. (2013).



1. Στατιστικό Υπόβαθρο Μελέτης (5/5)

Μέθοδος L-ροπών



- ❖ Μικρή ευαισθησία έναντι δειγματολογικής αβεβαιότητας
- ❖ Μικρότερο «σφάλμα» στις εκτιμήσεις της

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



Μέση τιμή:
 $\tau_1 = \lambda_1$



Συντελεστής
Μεταβλητότητας:
 $\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$



Συντελεστής
ασυμμετρίας:
 $\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2}$

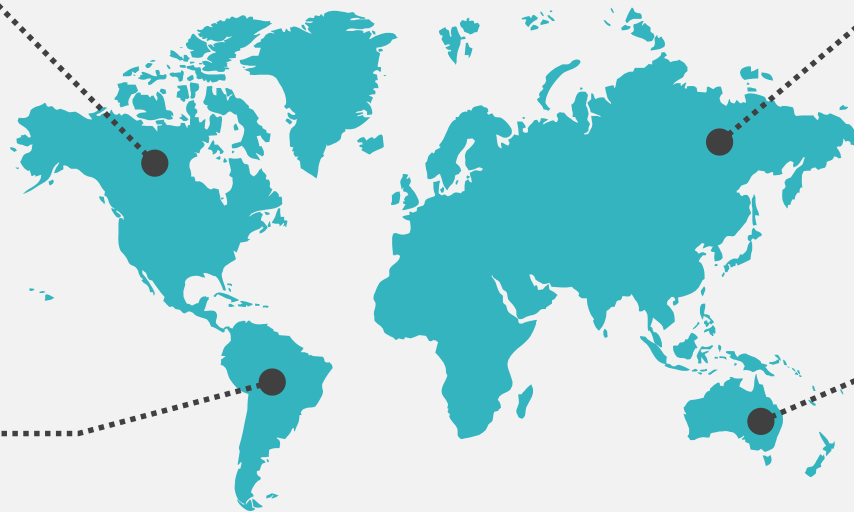


Συντελεστής
κύρτωσης:
 $\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2}$

Βάση δεδομένων MOPEX (1/4)

❖ Η πρώτη φάση χρηματοδότησης της βάσης δεδομένων MOPEX ξεκίνησε το 1997 από National Oceanic and Atmospheric Administration των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (NOAA)

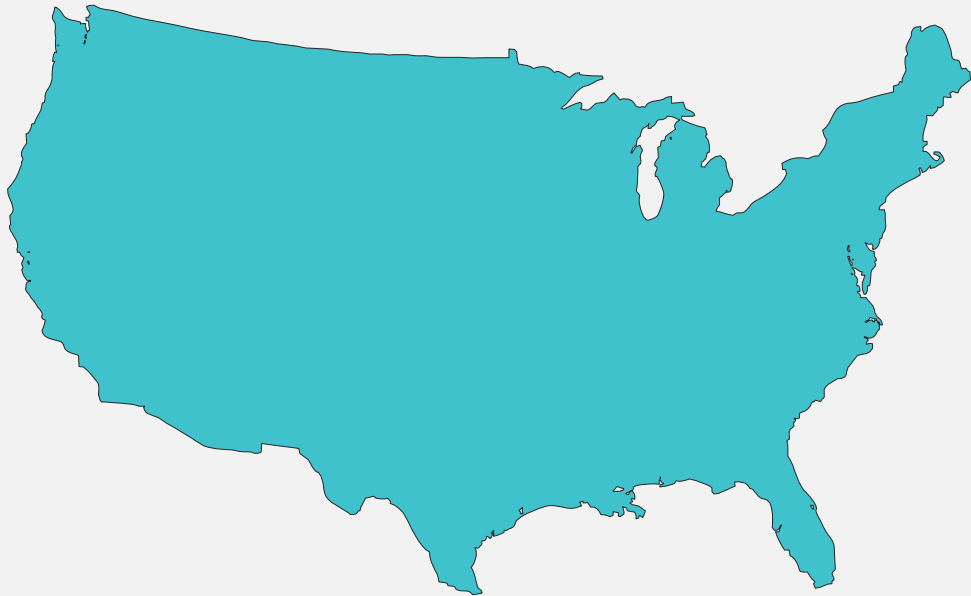
❖ Ανάγκη για εκτενέστερη έρευνα πάνω στις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται σε υδρολογικά και ατμοσφαιρικά μοντέλα



❖ Συγκέντρωση όσο το δυνατόν μεγαλύτερου όγκου δεδομένων

❖ Καταγραφή μεγάλου όγκου ιστορικών υδρομετεωρολογικών δεδομένων και δεδομένων απορροής ποταμών από λεκάνες απορροής σε όλο τον κόσμο, με έκταση από 500 έως 10.000 km²

Βάση δεδομένων MOPEX (2/4)



- ❖ Καταγραφές από το 1948 μέχρι και το 2003
- ❖ 438 λεκάνες απορροής στην εδαφική επικράτεια των ΗΠΑ
- ❖ Ημερήσιες καταγραφές βροχοπτώσεων με μήκος χρονοσειράς μεγαλύτερο τον 30 ετών
- ❖ Μέγιστες και ελάχιστες καταγραφές ημερήσιας θερμοκρασίας
- ❖ Γεωγραφικές συντεταγμένες των λεκανών απορροής
- ❖ Ημερήσιες τιμές ισοδύναμου ύψους απορροής ποταμών

Βάση δεδομένων ΜΟΡΕΧ (3/4)

Κριτήρια ποιότητας και αξιοπιστίας:

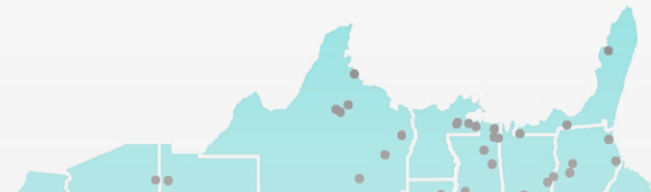
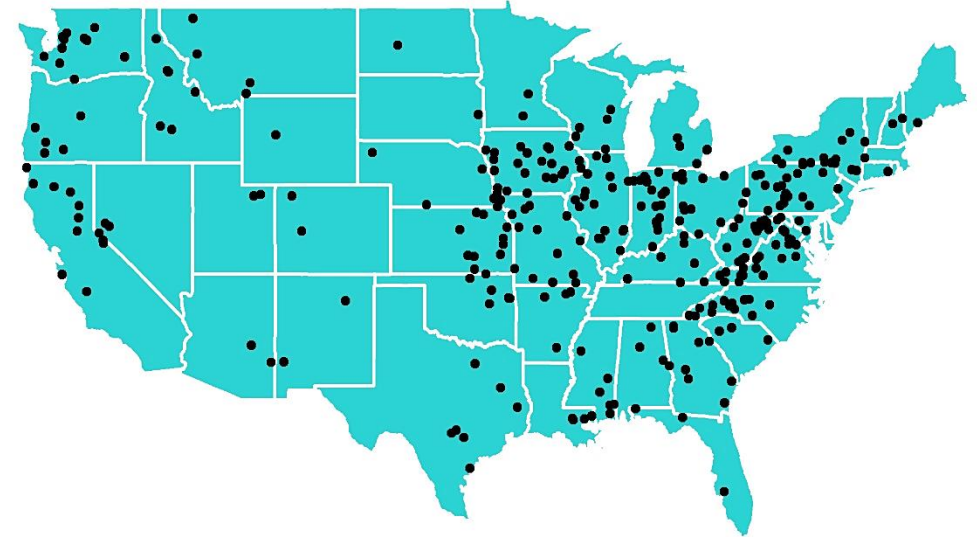
- Συνεχής χρονικά χρονοσειρές χωρίς κενά και ελλείψεις
- Χρονοσειρές με μήκος μεγαλύτερο των 40 ετών

Τελικά?

- ✓ 423 Λεκάνες απορροής για την μελέτη των ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων και συναθροισμένων βροχοπτώσεων
- ✓ 299 Λεκάνες απορροής για την μελέτη των ετήσιων μέγιστων απορροών

United States of America

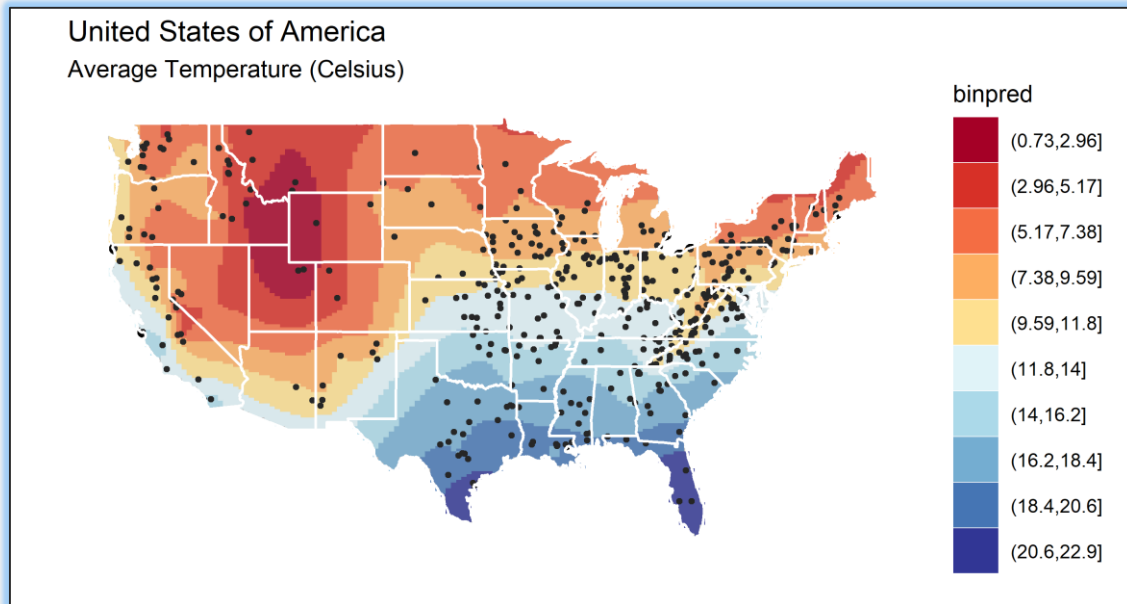
Annual Max Streameflow (mm/day)



Βάση δεδομένων ΜΟΡΕΧ (4/4)

Υδροκλιματικά χαρακτηριστικά

- ✦ Χωρική μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας
- ✦ Ψυχρότερα κλίματα όσο πλησιάζουμε την βορειοδυτική πλευρά των ΗΠΑ

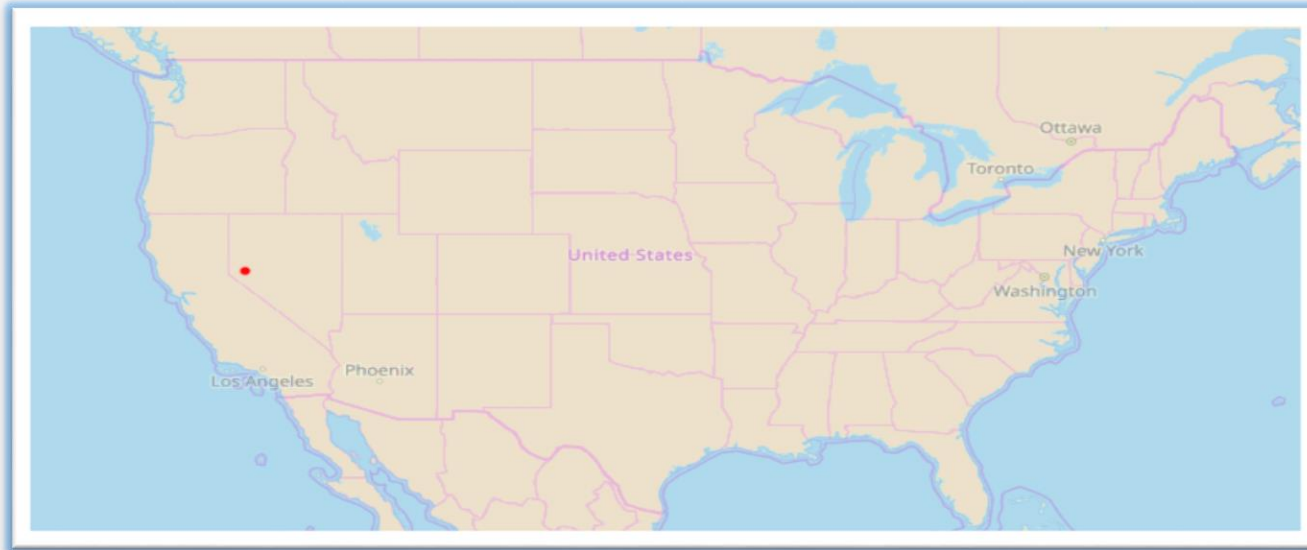


- ✦ Υψηλά υψόμετρα στα δυτικά, μεγαλύτερα των 3100 m
- ✦ Όσο κατευθυνόμαστε προς τα ανατολικά → συνθήκες πεδιάδας



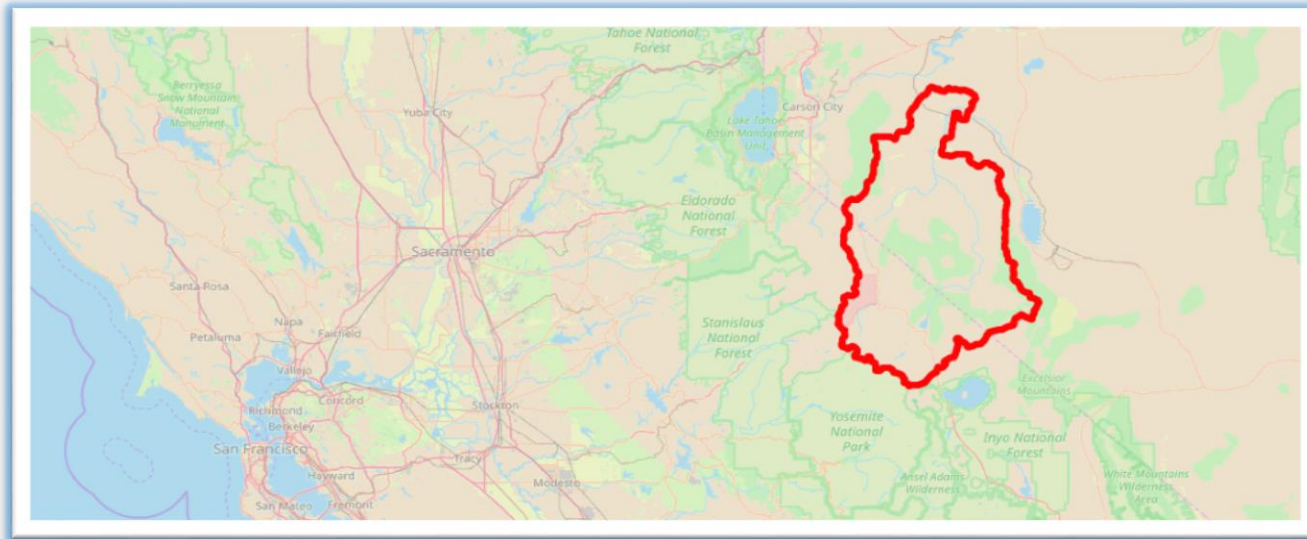
Μεθοδολογία (1/6)

Πιλοτική παρουσίαση με την μορφή παραδείγματος σε μία λεκάνη απορροής



Πληροφορίες λεκάνης απορροής

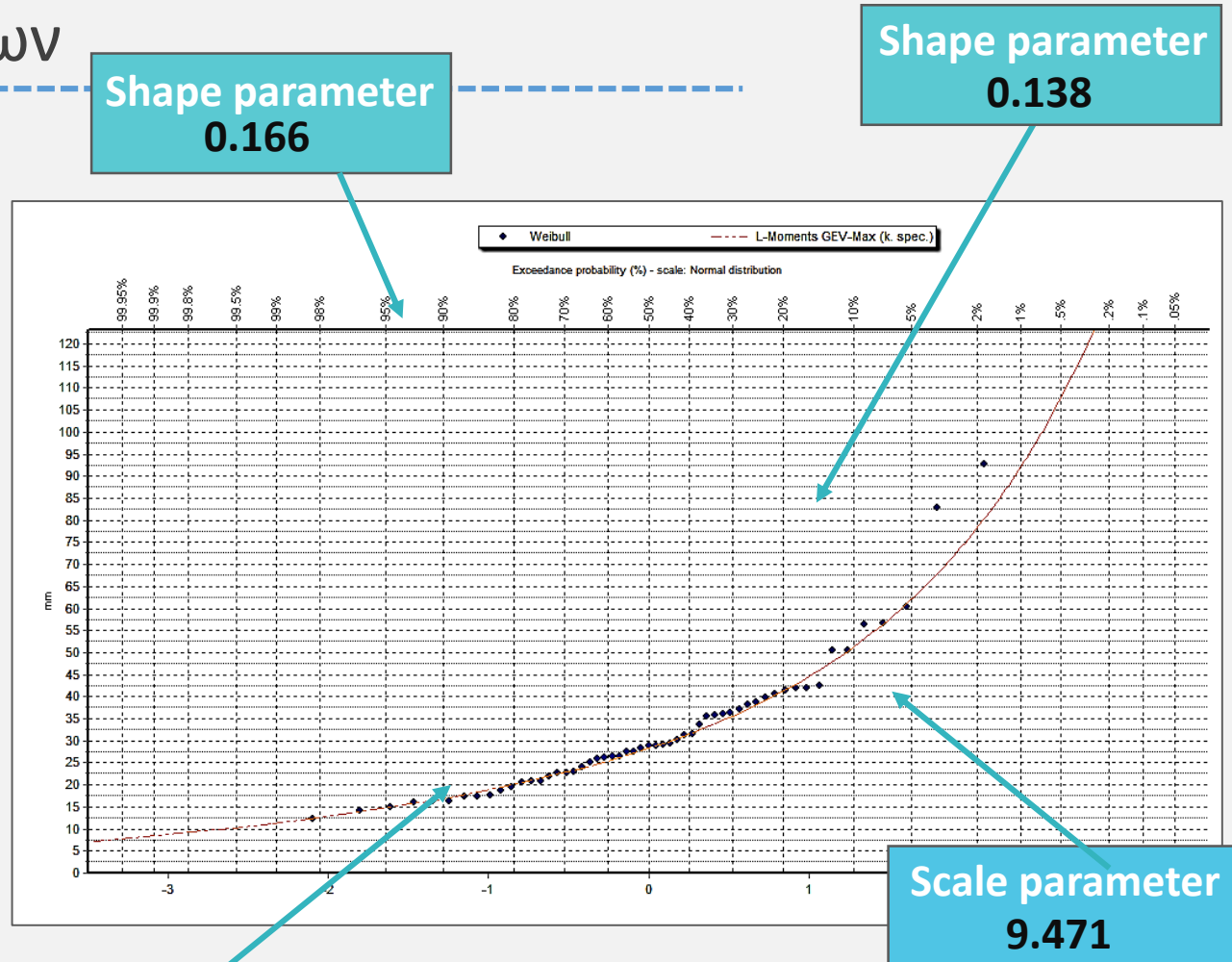
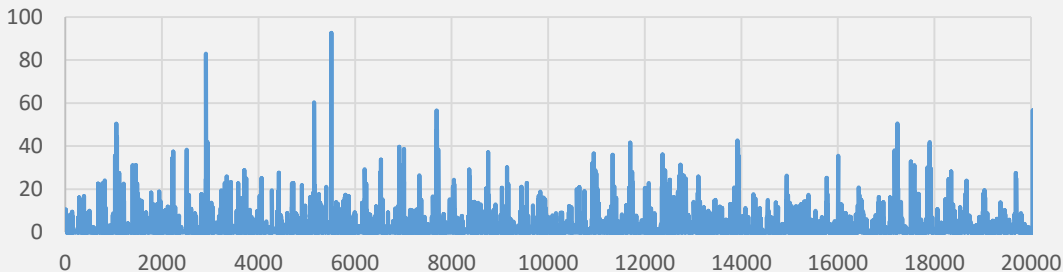
- ❖ Βρίσκεται Νοτιοδυτικά των Ηνωμένων Πολιτειών
- ❖ Ανήκει στην Πολιτεία της Νεβάδα
- ❖ Έχει έκταση 6734 km²
- ❖ Μέση ημερήσια θερμοκρασία 15.2°
- ❖ Διαθέτει χρονοσειρές μήκους 56 ετών (1948-2003)



Μεθοδολογία (2/6)

Κατανομή Μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων

- ✓ Υπολογισμός μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων, σε κλίμακα ημερολογιακού έτους (αφετηρία 1 Ιανουαρίου έως 31 Δεκεμβρίου)
- ✓ Δεδομένα ανηγμένα στην έκταση της λεκάνης mm/day
- ✓ Μήκος χρονοσειρών → 55 έτη
- ✓ Προσαρμογή της ΓΑΤ κατανομής μέσω της μεθόδου L-ροπών
- ✓ Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος
- ✓ Εύρεση στατιστικών μέτρων θέσης & μεταβλητότητας



Location parameter
24.16

μ	CV	skewness	Kurtosis
31.673	0.255	0.035	0.026

Μεθοδολογία (3/6)

Κατανομή συναθροισμένων βροχοπτώσεων

- ✓ Εκλογή του χρονικού εύρους Δt αθροιστικής βροχόπτωσης
- ✓ Επιλογή 6 χρονικών βημάτων – «σεναρίων»
- ✓ Δημιουργία συναθροισμένων κατανομών
- ✓ Εξαγωγή της ΓΑΤ για την κάθε συναθροισμένη χρονοσειρά
- ✓ Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος
- ✓ Εύρεση στατιστικών μέτρων θέσης & μεταβλητότητας

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

Annual P ($\Delta t = 5$ days)				Annual P ($\Delta t = 10$ days)			
μ	CV	<i>skewness</i>	<i>kurtosis</i>	μ	CV	<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)			
μ	CV	<i>skewness</i>	<i>kurtosis</i>	μ	CV	<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)			
μ	CV	<i>skewness</i>	<i>kurtosis</i>	μ	CV	<i>skewness</i>	<i>kurtosis</i>
47.282	0.397	0.011	0.006	55.827	0.387	0.009	0.005

Shape parameter

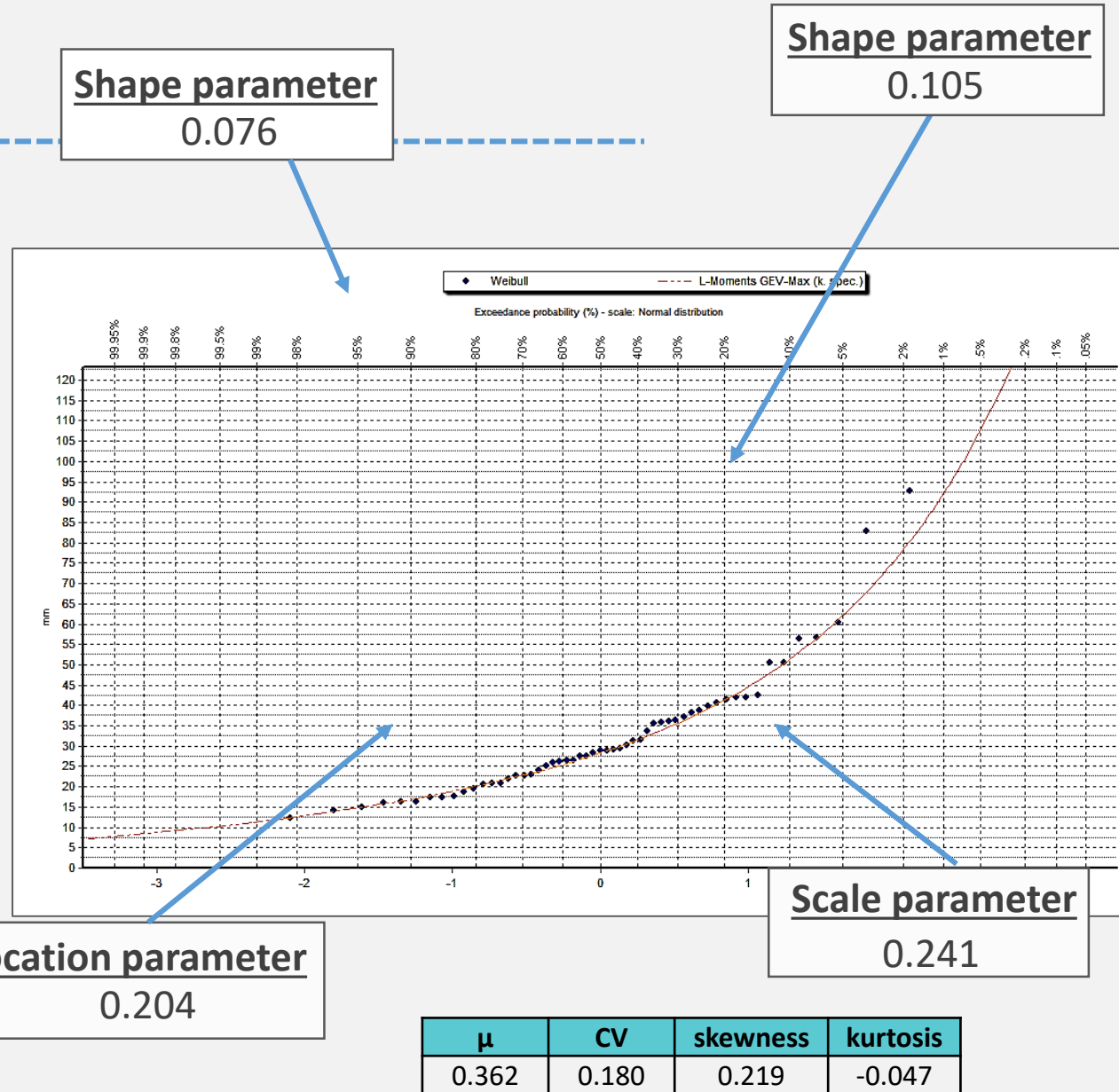
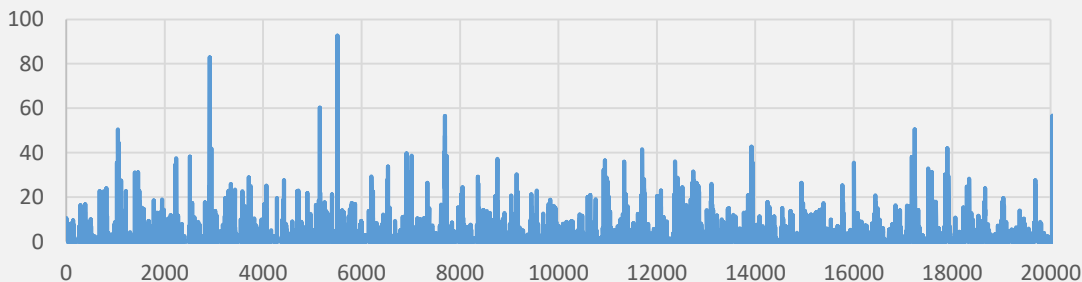


88%

Μεθοδολογία (4/6)

Κατανομή μέγιστων ετήσιων απορροών

- Υπολογισμός μέγιστων ετήσιων απορροών, σε κλίμακα ημερολογιακού έτους (αφετηρία 1 Ιανουαρίου έως 31 Δεκεμβρίου)
- Δεδομένα ανηγμένα στην έκταση της λεκάνης mm/day
- Μήκος χρονοσειρών → 53 έτη
- Προσαρμογή της χρονοσειράς στην ΓΑΤ κατανομή μέγιστων μέσω του μεθόδου των L-ροπών
- Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος



Μεθοδολογία (5/6)

Κατανομή συναθροισμένων βροχοπτώσεων απορροές

- ✓ Εκλογή του χρονικού εύρους Δt αθροιστικής βροχόπτωσης
- ✓ Επιλογή 6 χρονικών βημάτων Δt
- ✓ Δημιουργία συναθροισμένων κατανομών
- ✓ Εξαγωγή της ΓΑΤ για την κάθε συναθροισμένη χρονοσειρά
- ✓ Διόρθωση στατιστικής παραμέτρου σχήματος
- ✓ Εύρεση στατιστικών μέτρων θέσης & μεταβλητότητας

Shape parameter



50%

Shape parameter



48%

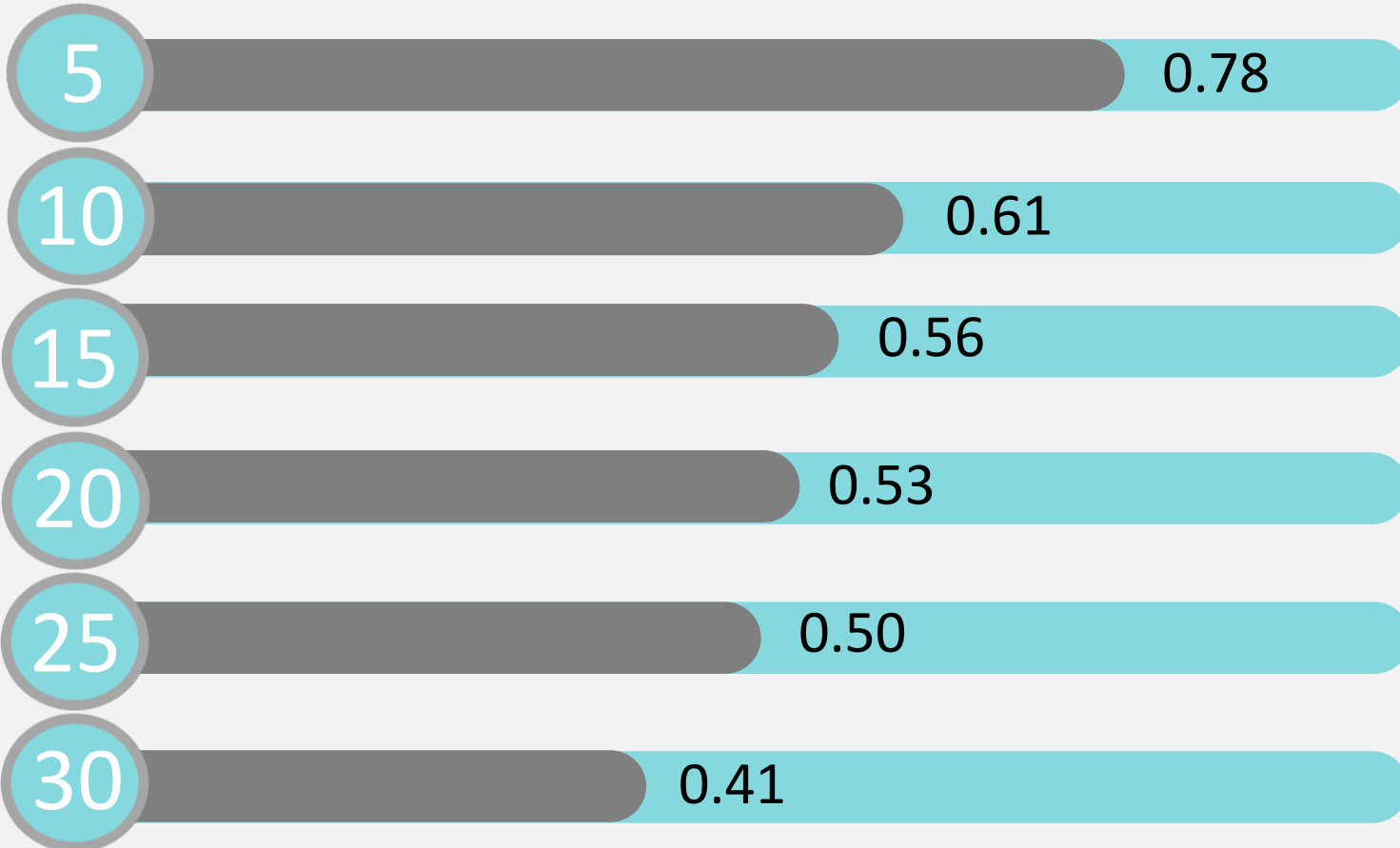
Q ₁ max							
Annual P ($\Delta t = 5$ days)				Annual P ($\Delta t = 10$ days)			
location	scale	shape	shape _{new}	location	scale	shape	shape _{new}
2.090	5.061	0.630	0.310	4.568	7.937	0.575	0.289
Annual P ($\Delta t = 15$ days)				Annual P ($\Delta t = 20$ days)			
location	scale	shape	shape _{new}	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

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

Μεθοδολογία (6/6)

Συσχέτιση συναθροισμένων βροχοπτώσεων & μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων

Δt



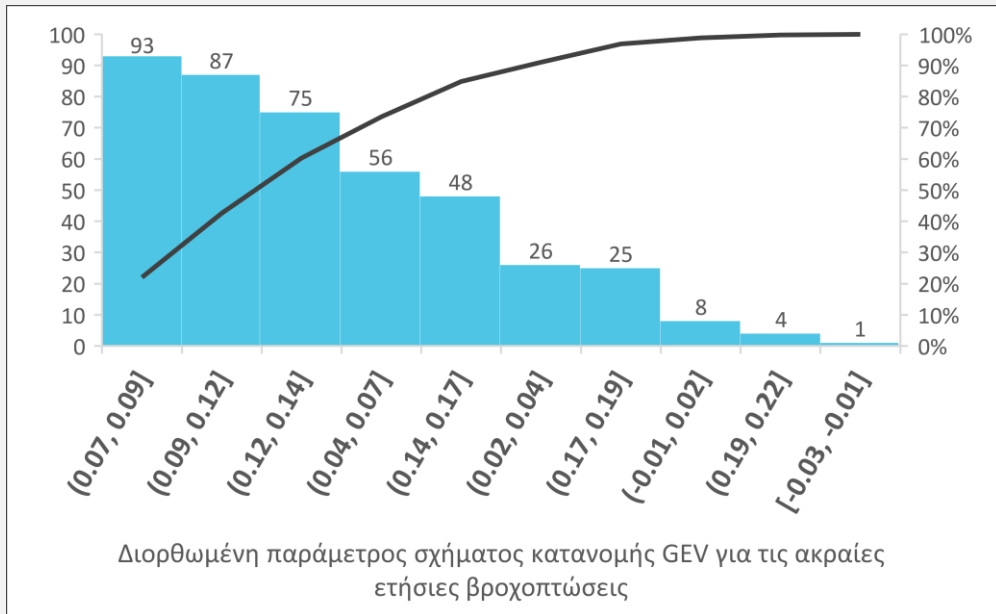
- ✓ Υπολογισμός συντελεστή συσχέτισης Pearson ανάμεσα στην μέγιστη ετήσια βροχόπτωση και στην αντίστοιχη αθροιστική.

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

Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα (1/5)

Κατανομές μέγιστων βροχοπτώσεων

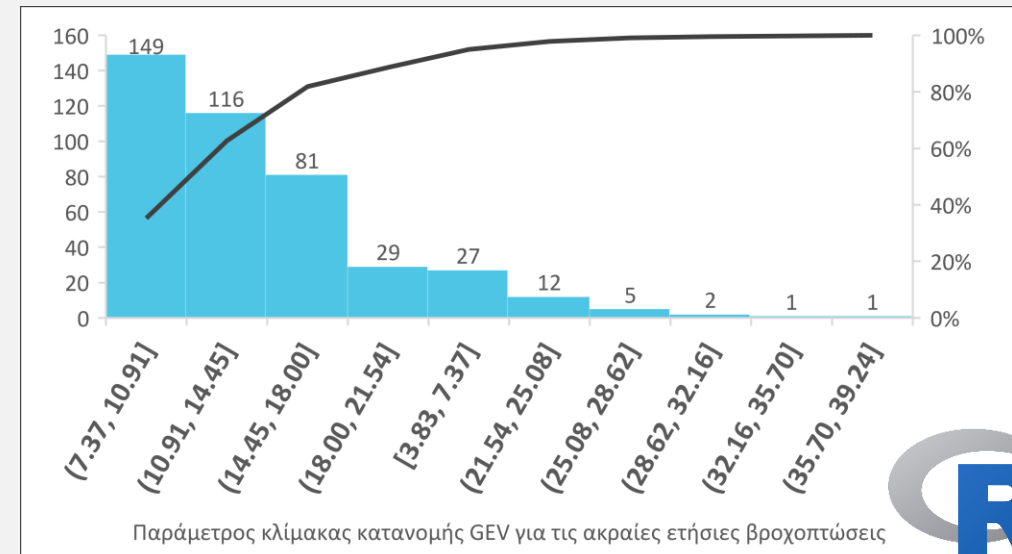
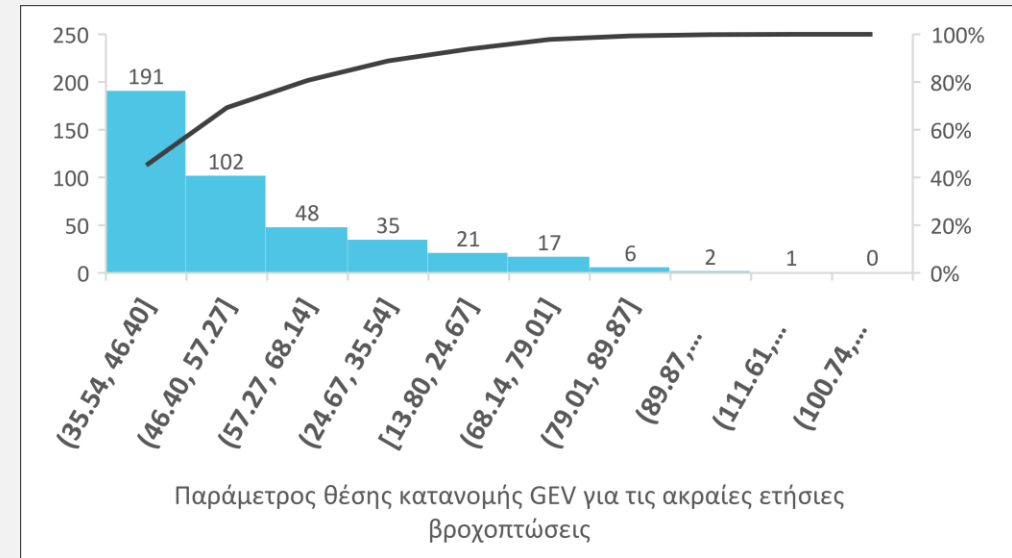
- ❖ Κωδικοποίηση διαδικασίας μέσω του λογισμικού R programming
- ❖ Εφαρμογή για το σύνολο των 423 λεκανών απορροής



$\gamma < 0$ 1.9%

$\gamma > 0$ 99.1%

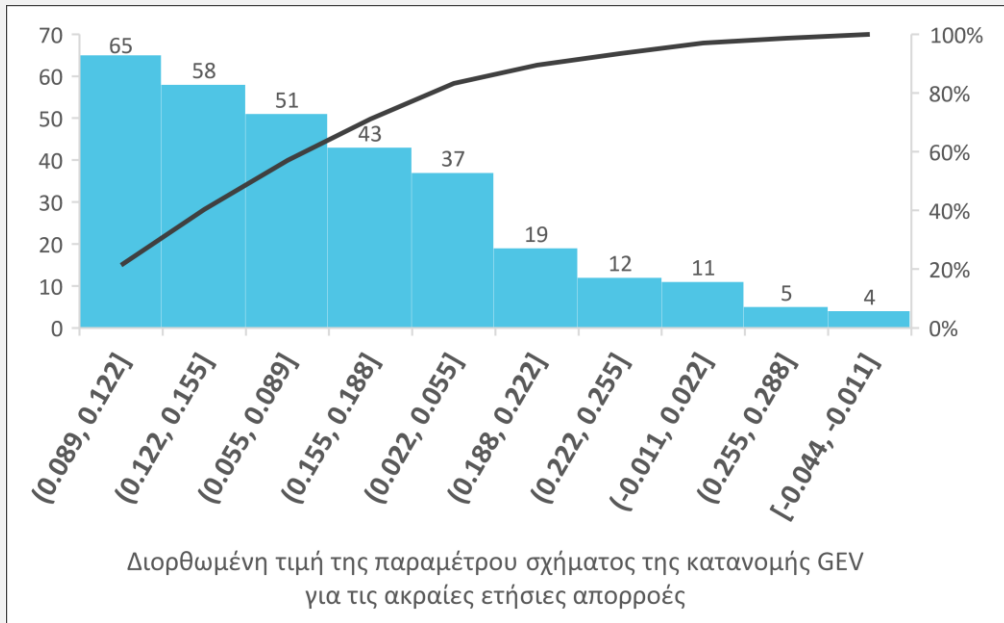
- ✓ Μέση τιμή της παραμέτρου σχήματος γ ίση με 0.101



Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα (2/5)

Κατανομές μέγιστων απορροών

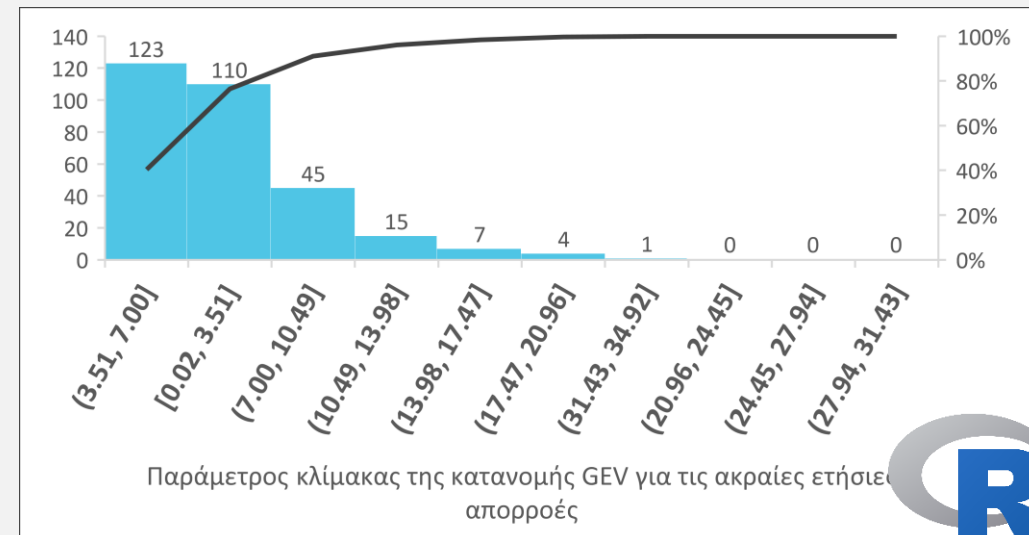
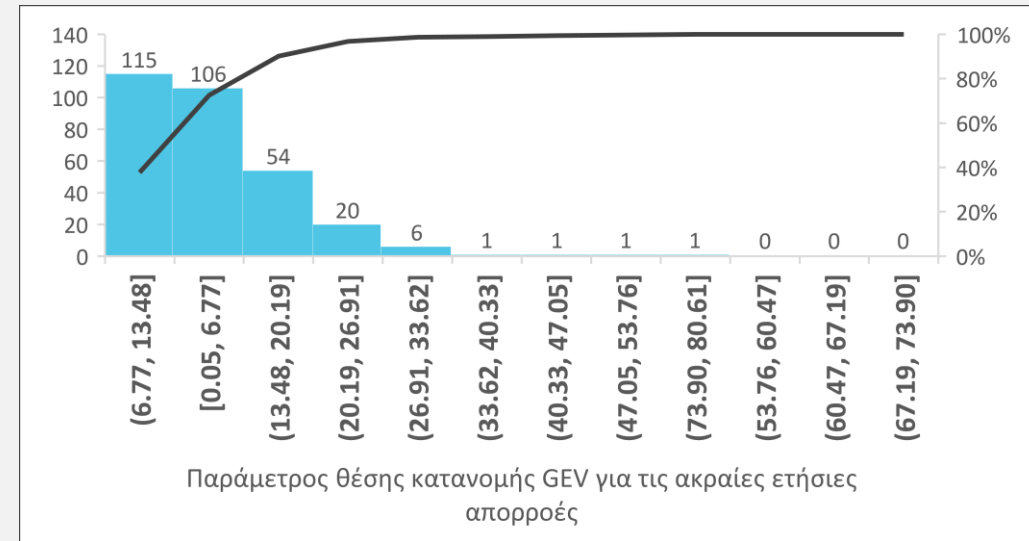
- ❖ Κωδικοποίηση διαδικασίας μέσω του λογισμικού R programming
- ❖ Εφαρμογή για το σύνολο των 299 λεκανών απορροής



$\gamma < 0$ 2%

$\gamma > 0$ 98%

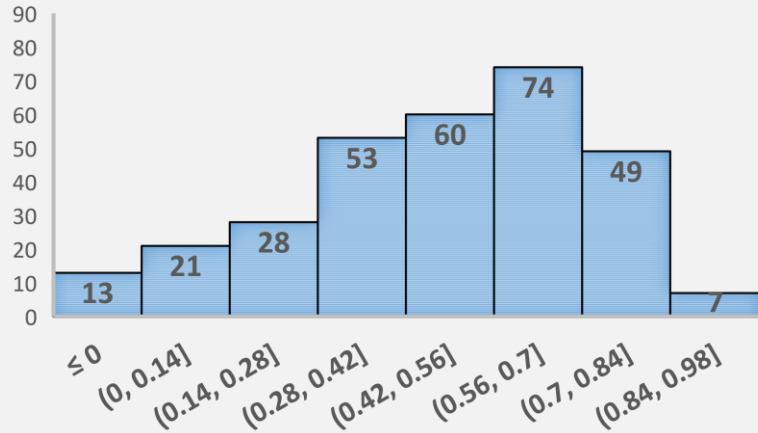
- ✓ Μέση τιμή της παραμέτρου σχήματος γ ίση με 0.116



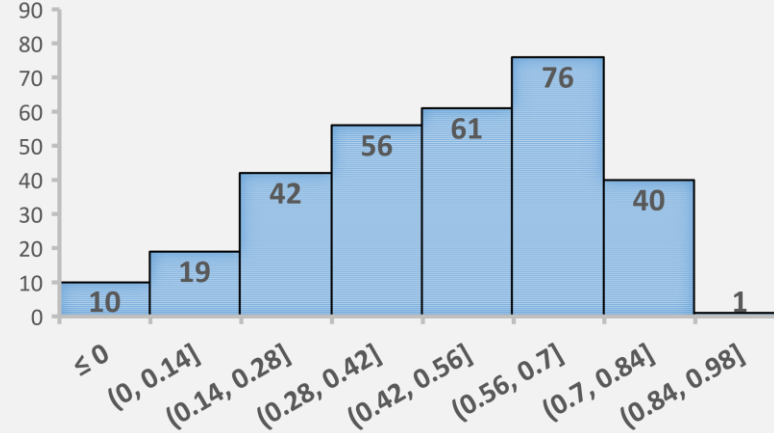
Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα (3/5)

Κατανομές συναθροισμένων βροχοπτώσεων & βροχοπτώσεων

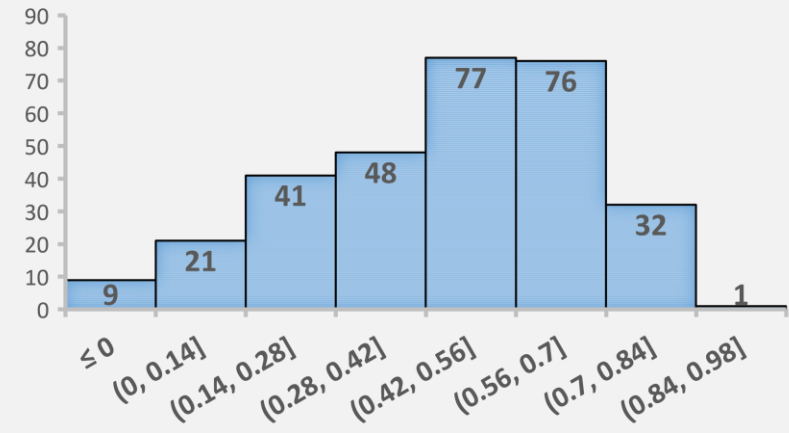
◆ Περίπτωση 5 προηγούμενων ημερών



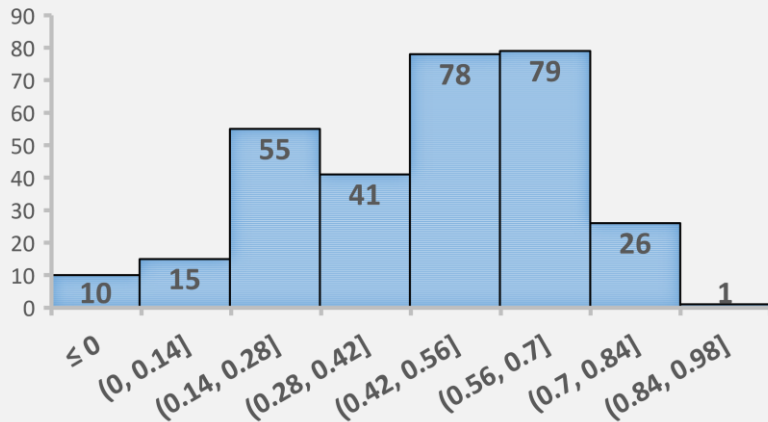
◆ Περίπτωση 10 προηγούμενων ημερών



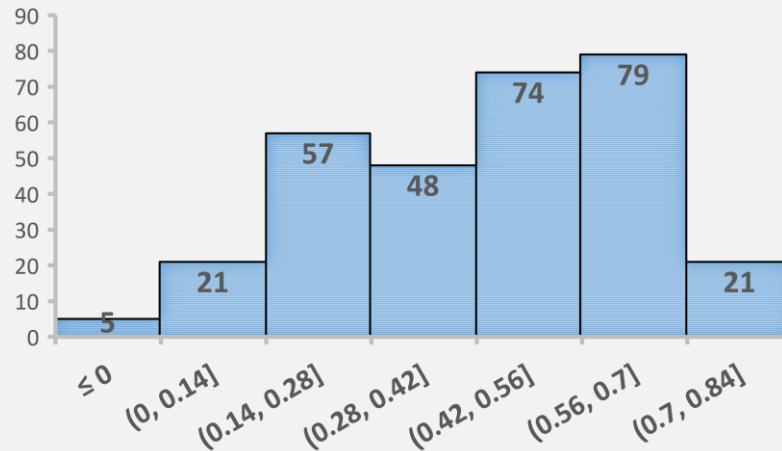
◆ Περίπτωση 15 προηγούμενων ημερών



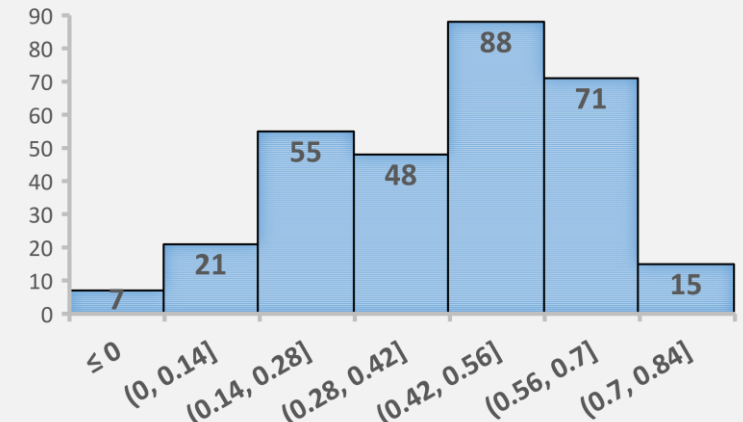
◆ Περίπτωση 20 προηγούμενων ημερών



◆ Περίπτωση 25 προηγούμενων ημερών



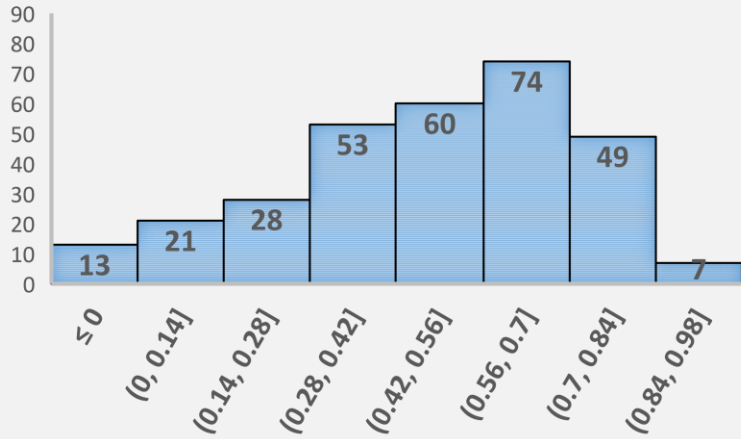
◆ Περίπτωση 30 προηγούμενων ημερών



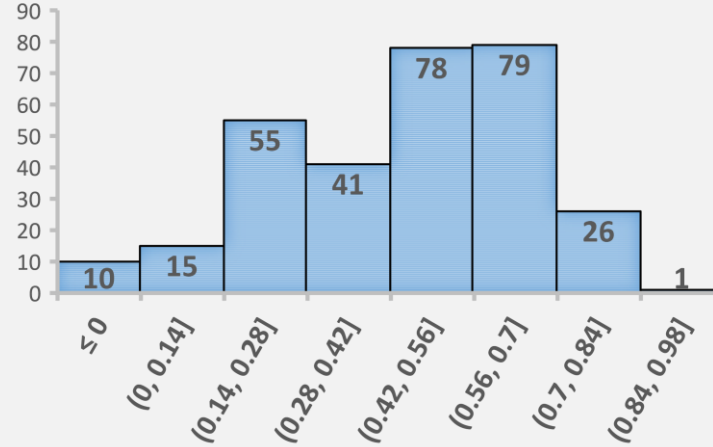
Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα (4/5)

Κατανομές συναθροισμένων βροχοπτώσεων & απορροών (q0)

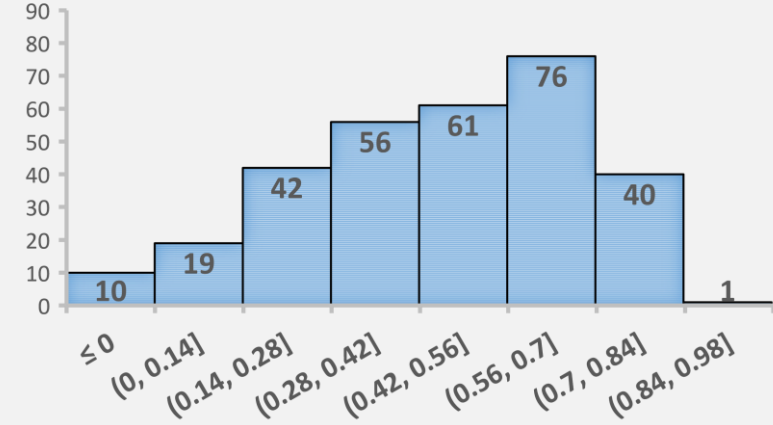
◆ Περίπτωση 5 προηγούμενων ημερών



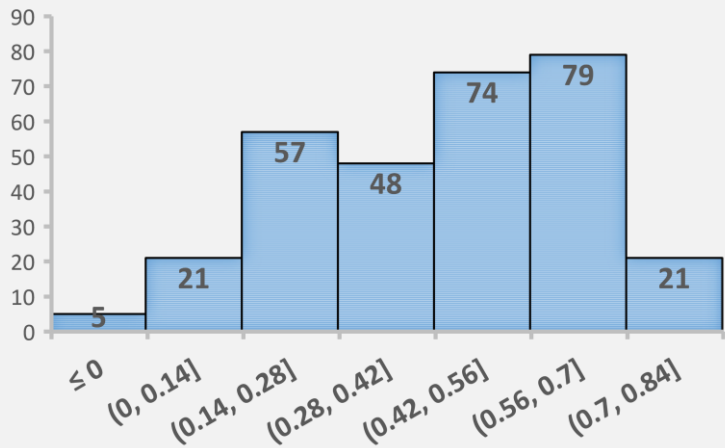
◆ Περίπτωση 10 προηγούμενων ημερών



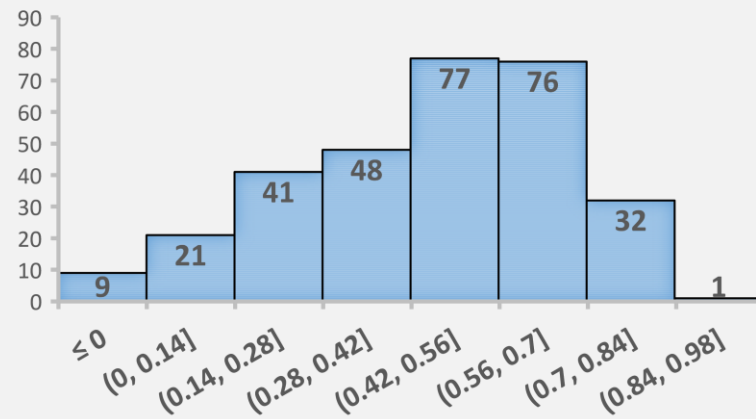
◆ Περίπτωση 15 προηγούμενων ημερών



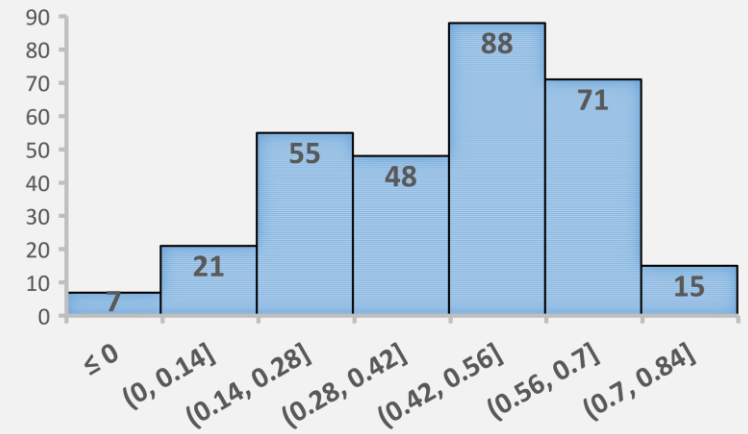
◆ Περίπτωση 20 προηγούμενων ημερών



◆ Περίπτωση 25 προηγούμενων ημερών



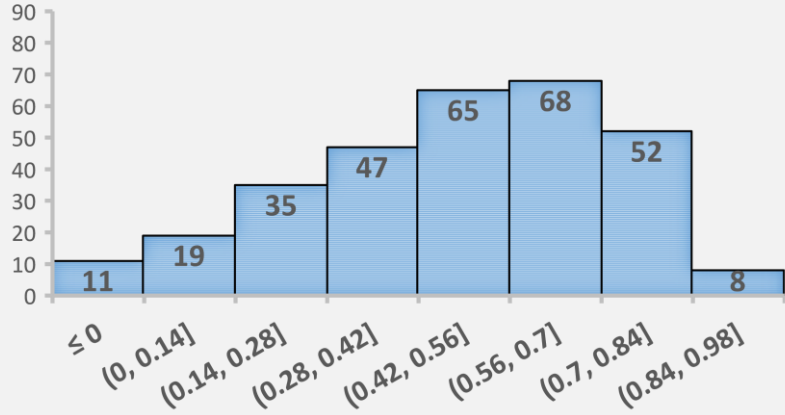
◆ Περίπτωση 30 προηγούμενων ημερών



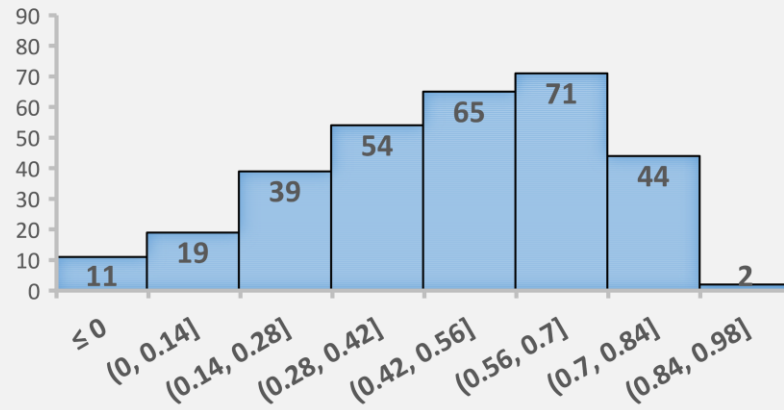
Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα (5/5)

Κατανομές συναθροισμένων βροχοπτώσεων & απορροών (q1)

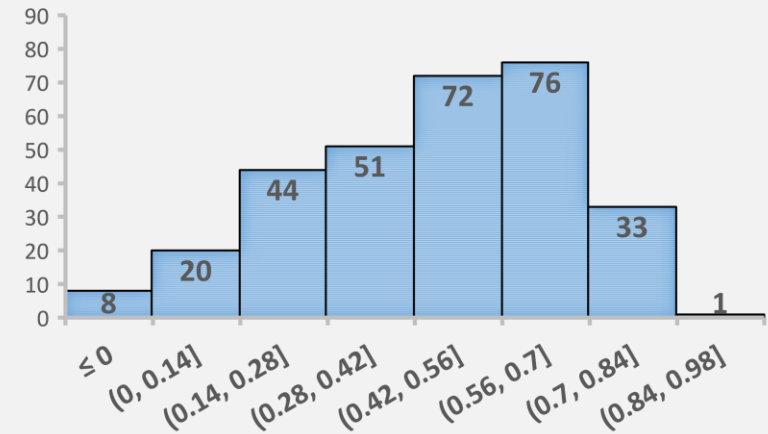
◆ Περίπτωση 5 προηγούμενων ημερών



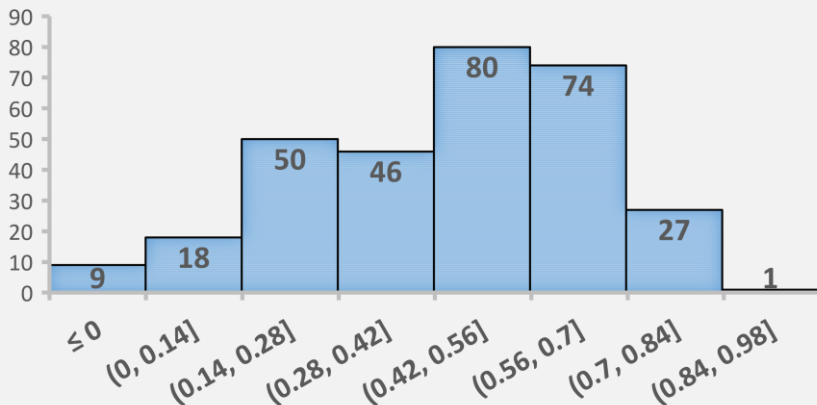
◆ Περίπτωση 10 προηγούμενων ημερών



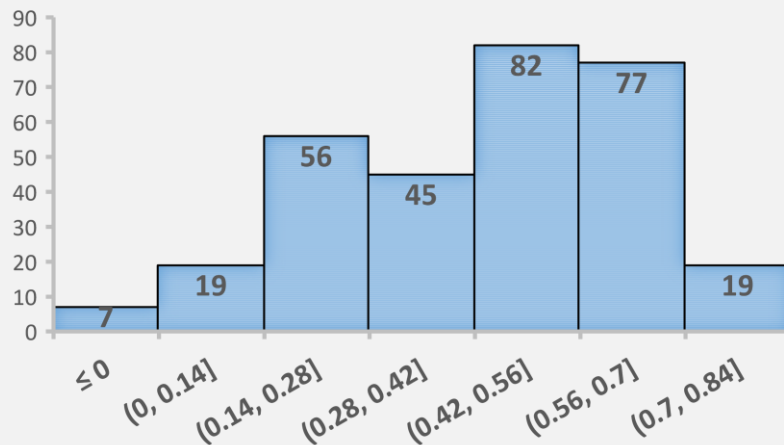
◆ Περίπτωση 15 προηγούμενων ημερών



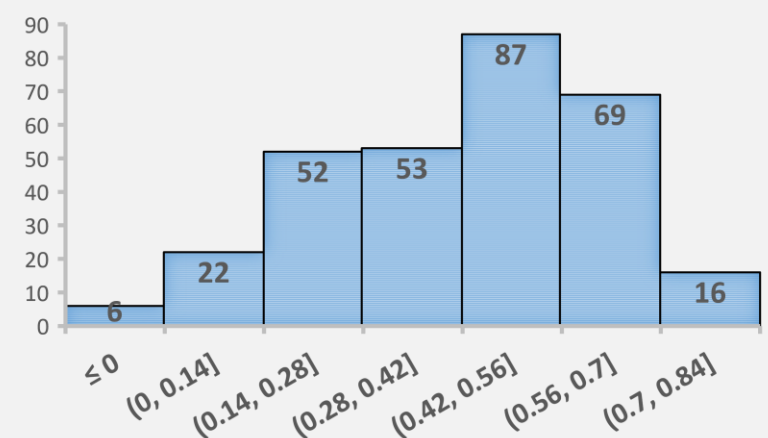
◆ Περίπτωση 20 προηγούμενων ημερών



◆ Περίπτωση 25 προηγούμενων ημερών



◆ Περίπτωση 30 προηγούμενων ημερών



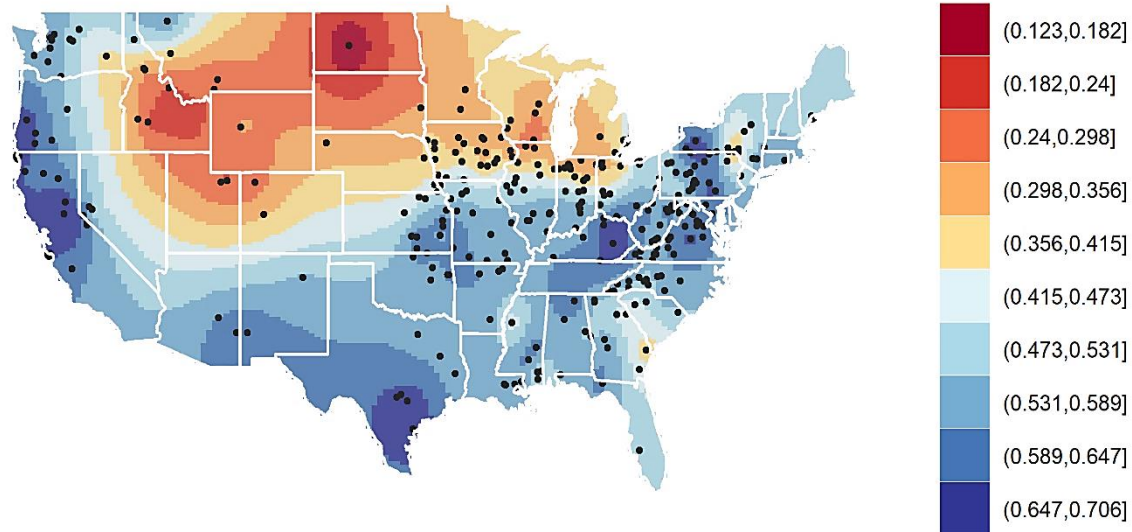
Χωρικοί χάρτες (1/5)

Επιρροή κλίματος λεκανών απορροής

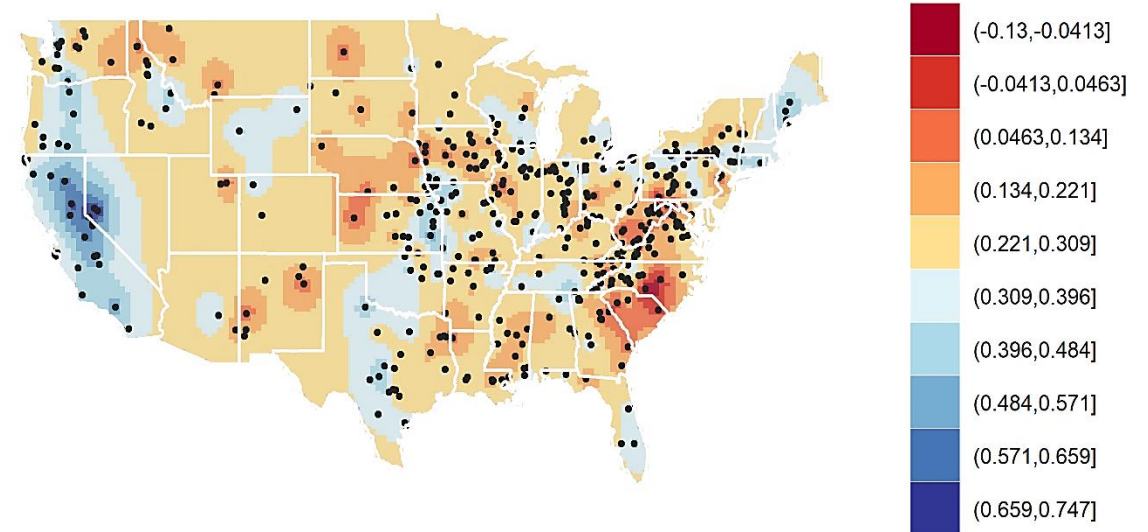
Μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή στις πιο ξηρές και θερμές περιοχές των ΗΠΑ

Υψηλότερες τιμές στα δυτικά των ΗΠΑ

United States of America
Max Correlation between Qmax-P(d)



United States of America
Max Correlation between Pmax-P(d)



Χωρικοί χάρτες (2/5)

Επιρροή κλίματος λεκανών απορροής

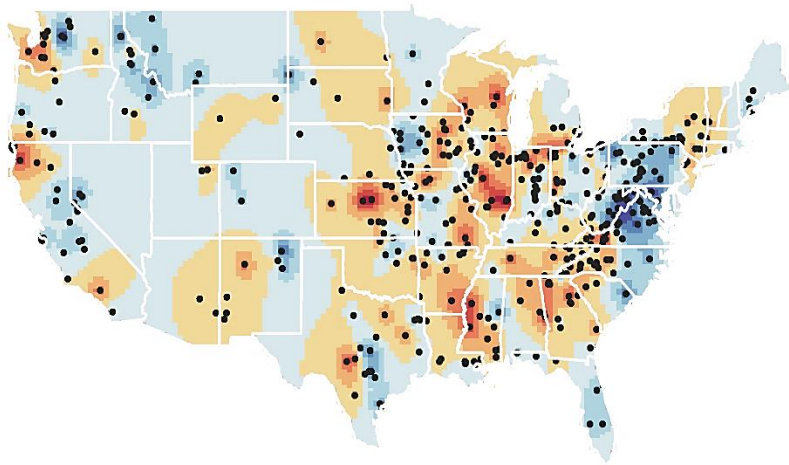
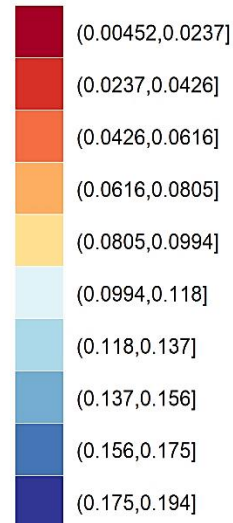
★ Μέση τιμή της παραμέτρου σχήματος ≈ 0.101

★ Ένδειξη επιρροής υψομέτρου

United States of America

GEV Corrected Shape Parameter for Annual Precipitation Value

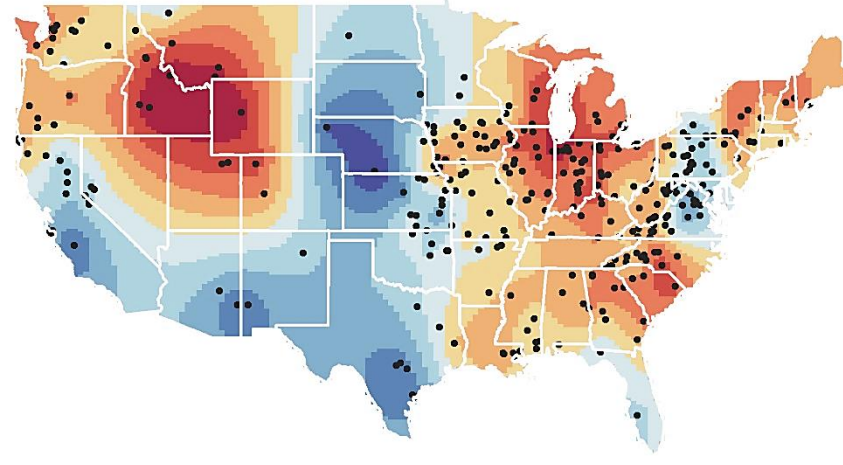
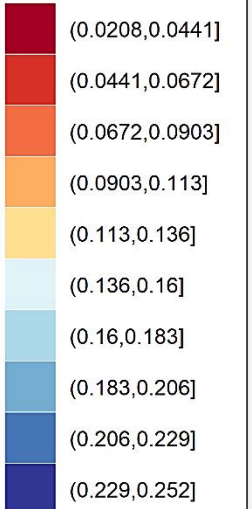
binpred



United States of America

GEV Corrected Shape Parameter for Annual Max Streamflow

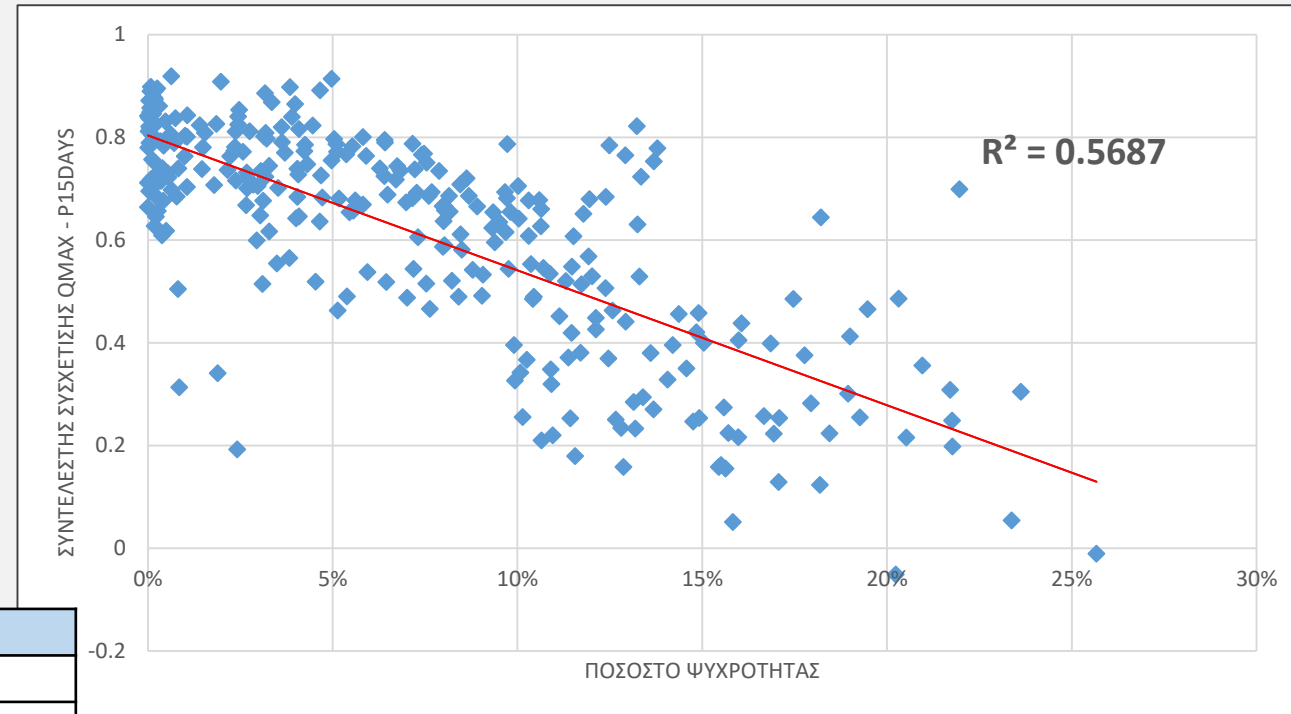
binpred



Χωρικοί χάρτες (3/5)

Επιρροή κλίματος λεκανών απορροής

- ◆ Δημιουργία «δείκτη ψυχρότητας»
- ◆ Συντελεστής συσχέτισης 0.75



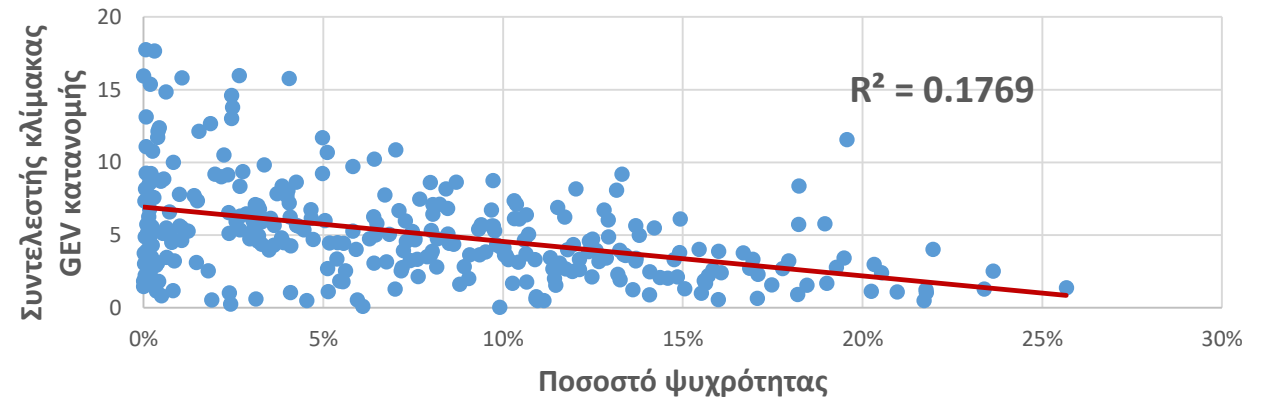
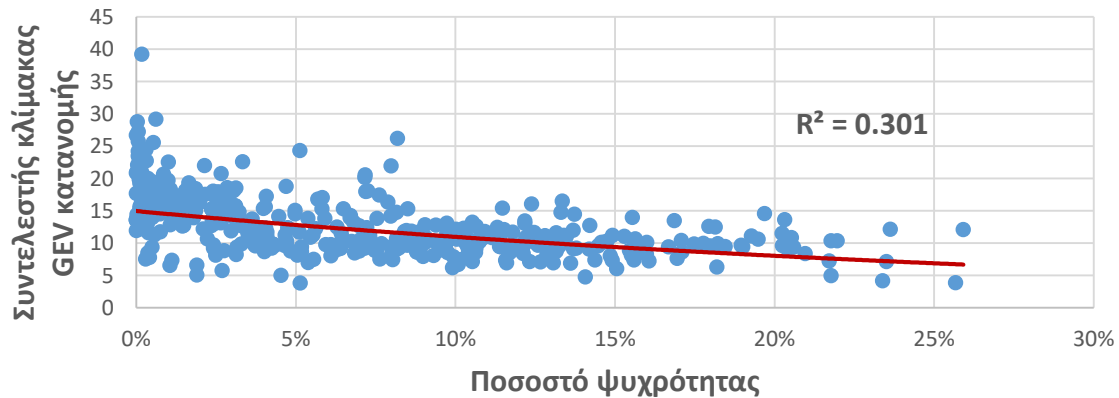
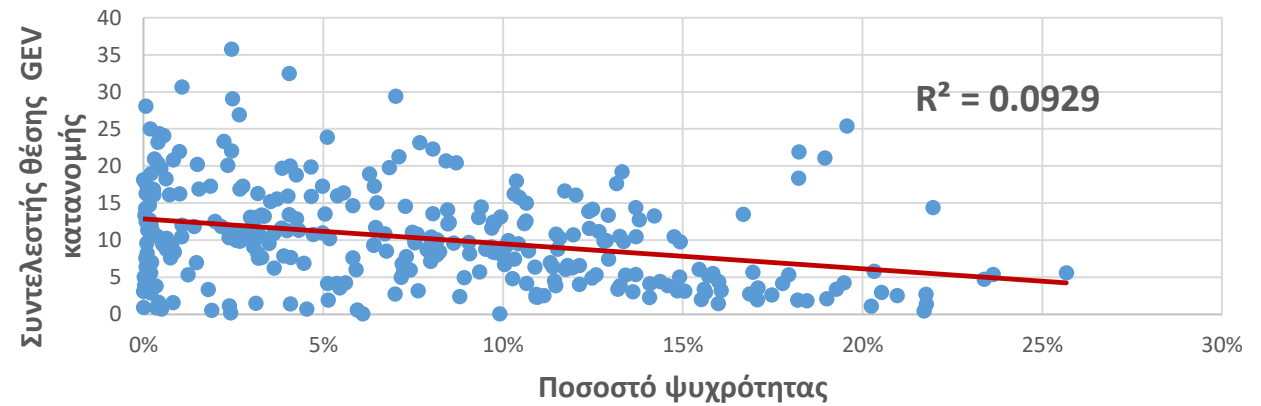
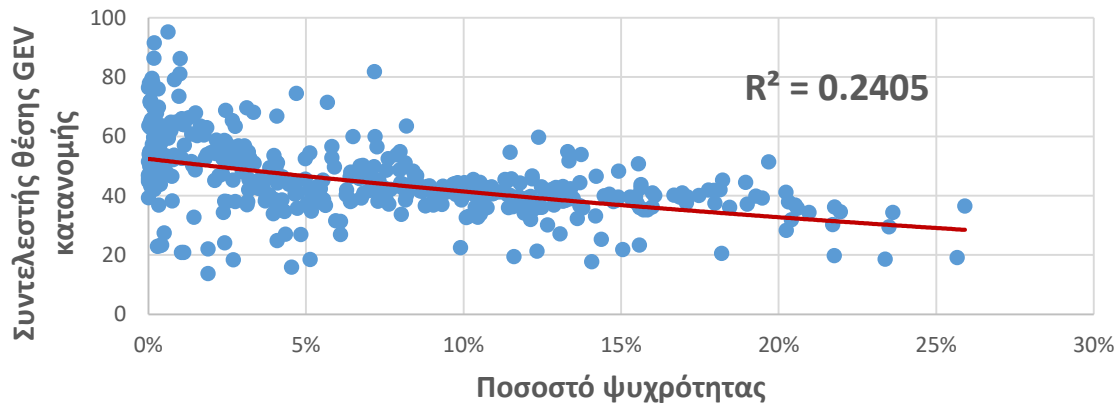
		Μέση τιμή μέγιστης συσχέτισης Qmax – P
Ποσοστό ψυχρών ημερών	0%-5%	0.74
	6%-10%	0.63
	11%-15%	0.46
	>16%	0.28

Χωρικοί χάρτες (4/5)

Επιρροή κλίματος λεκανών απορροής

◆ Περίπτωση ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων

◆ Περίπτωση ακραίων ετήσιων απορροών

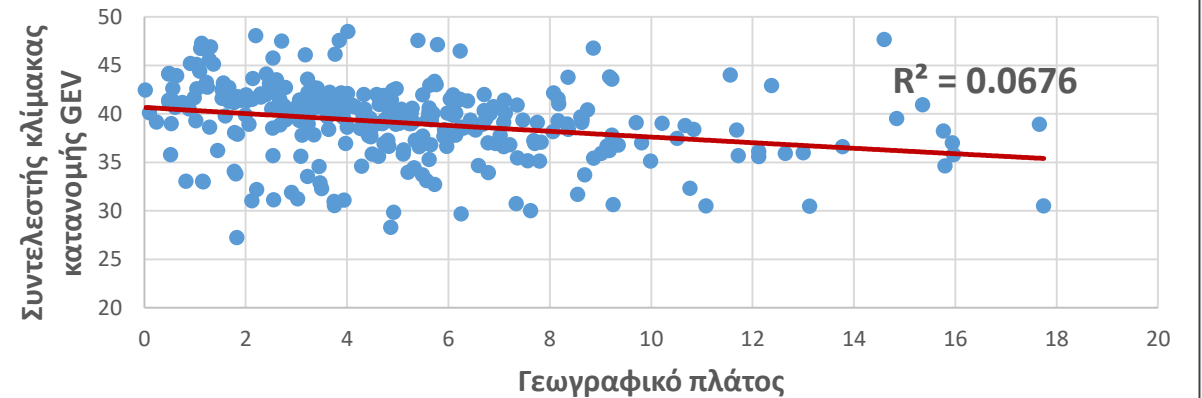
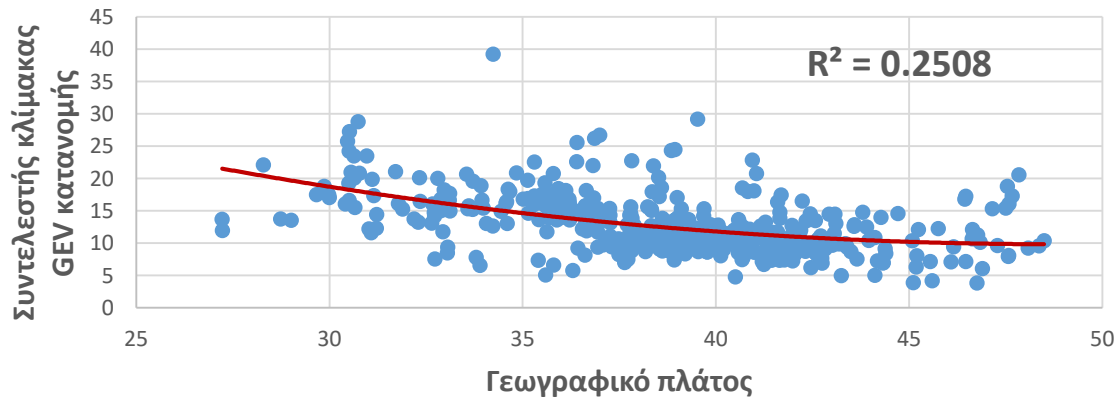
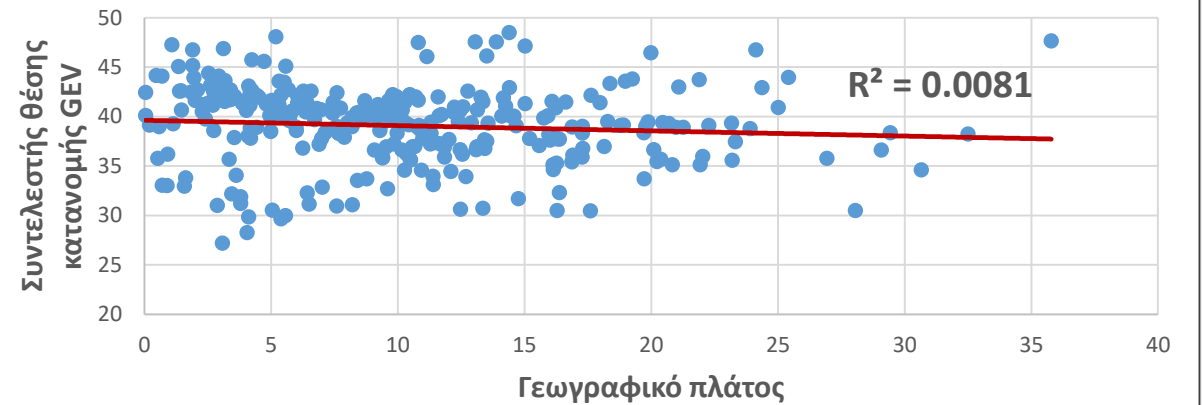
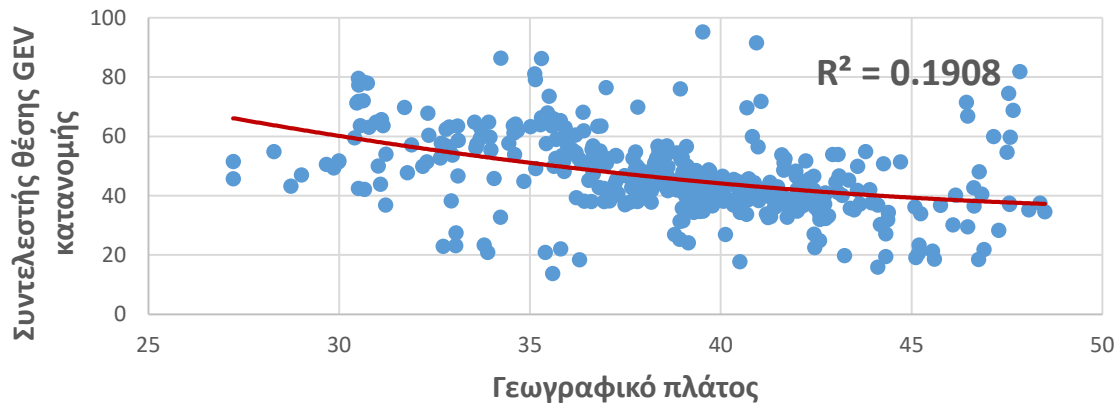


Χωρικοί χάρτες (5/5)

Επιρροή γεωγραφικού πλάτους λεκανών απορροής

◆ Περίπτωση ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων

◆ Περίπτωση ακραίων ετήσιων απορροών



Συμπεράσματα



Κατανομή ακραίων ετήσιων βροχοπτώσεων & συναθροισμένων βροχοπτώσεων → $\Delta t = 15$ ημέρες πριν



Κατανομή ακραίων ετήσιων απορροών & συναθροισμένων βροχοπτώσεων → $\Delta t = 5$ ημέρες πριν
→ επιβεβαίωση για το υδροκλιματικό καθεστώς των ΗΠΑ



Η κατανομή των μέγιστων ετήσιων επιφανειακών βροχοπτώσεων → Fréchet Τύπου II

Η στατιστική παράμετρος σχήματος ≈ 0.101

Παράμετροι θέσης και κλίμακας της κατανομής είναι εξαρτώμενες από τις τοπικές συνθήκες



Η κατανομή των μέγιστων ετήσιων απορροών → Fréchet Τύπου II

Η στατιστική παράμετρος σχήματος ≈ 0.116



Μείωση συντελεστή σχήματος με την αύξηση της κλίμακας συνάθροισης



Ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ του «δείκτη ψυχρότητας» και της αθροιστικής βροχόπτωσης των προηγούμενων ημερών, με τον συντελεστή συσχέτισης να φτάνει το 78%.



Σημαντική στατιστική εξάρτηση ($r \approx 0.50$) των παραμέτρων θέσης και κλίμακας των μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων με το γεωγραφικό πλάτος

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Ενίσχυση στην ποιότητα και αξιοπιστία των συμπερασμάτων → εύρεση χρονοσειρών με μήκος παρατηρήσεων μεγαλύτερο των 50 ετών
- Επέκταση της ανάλυσης σε παγκόσμια κλίμακα
- Αναζήτηση συσχετίσεων των στατιστικών μεγεθών σε μεγαλύτερο αριθμό γεωμορφολογικών, φυσιογραφικών και κλιματικών δεικτών → κατάρτισης περιοχικών σχέσεων ικανής αξιοπιστίας, που να μπορούν να εφαρμοστούν σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις
- Αξιοποίηση των αποτελεσμάτων τέτοιων διευρυμένων στατιστικών αναλύσεων σε προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού, με στόχο την δημιουργία ακριβέστερων και ποιοτικότερων χωρικών χαρτών πιθανότητας πλημμύρας.

Σας ευχαριστώ για
την προσοχή σας !

Απορίες?