

Διερεύνηση εμπειρικών σχέσεων για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών στην Κύπρο



Γαλιούνα Ελένη, Πολιτικός Μηχανικός
ΕΜΠ
Φεβρουάριος 2011

Αντικείμενο εργασίας

Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων απορροής & φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της Κύπρου με στόχο την δυνατότητα εκτίμησης των πλημμυρικών αιχμών σε λεκάνες απορροής βάσει των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.

Φάση 1: προσαρμογή θεωρητικών κατανομών στα δείγματα των διαθέσιμων χρονοσειρών παροχής .

Φάση 2: διερεύνηση βαθμού προσαρμογής υφιστάμενων μεθόδων εκτίμησης του χρόνου συρροής στα δεδομένα της Κύπρου με χρήση της ορθολογικής μεθόδου.

Φάση 3: διερεύνηση νέων εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του χρόνου συρροής και του συντελεστή απορροής με βελτιστοποίηση της ορθολογικής μεθόδου.

Διάρθρωση εργασίας

Ενότητα Α: Υποδομή

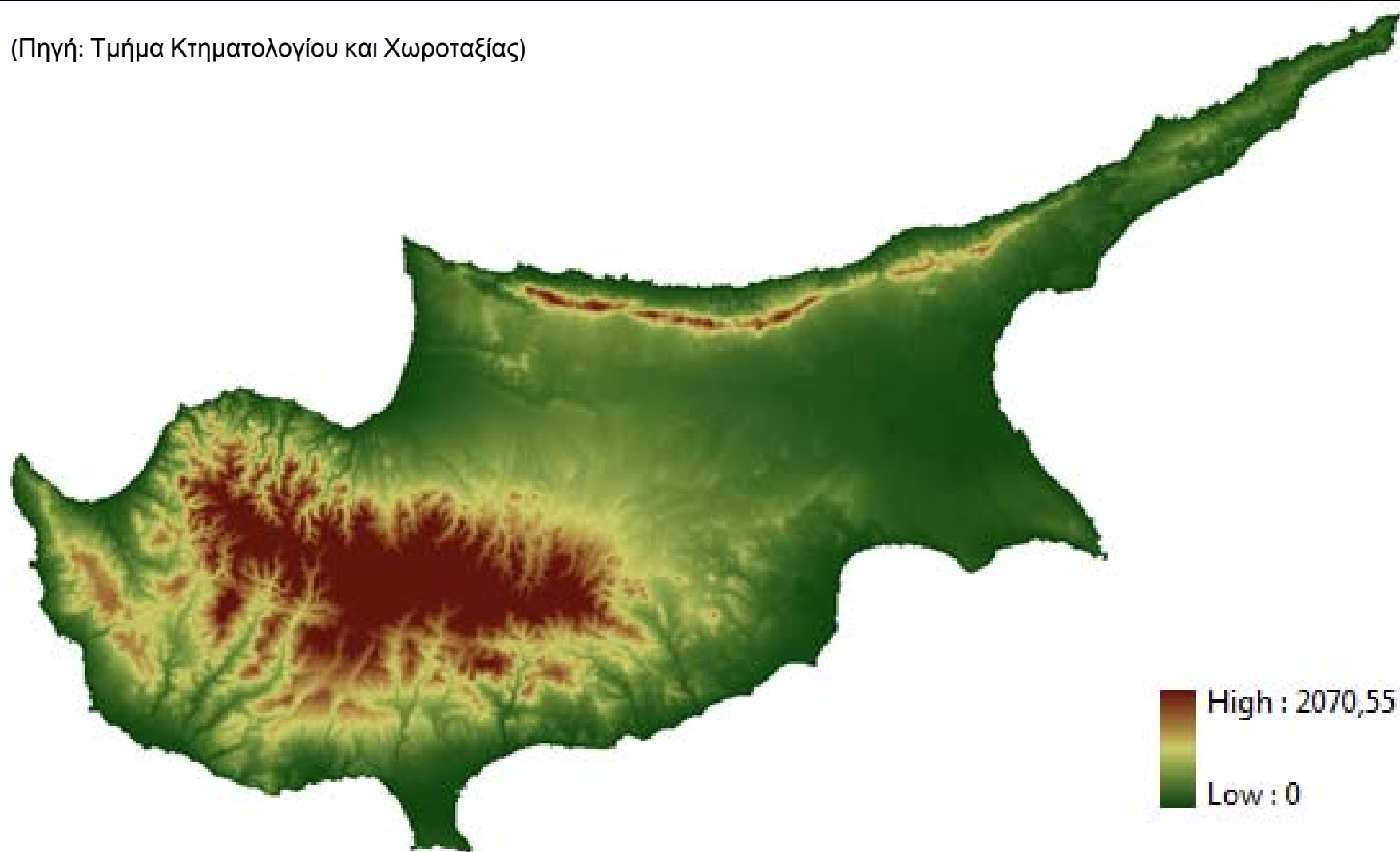
- Επεξεργασία των δεδομένων - Βασικά δεδομένα: **χρονοσειρές μέγιστων μηνιαίων παροχών** και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά Κύπρου
- Επιλογή κατάλληλων λεκανών & Στατιστική ανάλυση δείγματος
- Υδρολογικοί υπολογισμοί

Ενότητα Β:

- Διερεύνηση προσαρμοστικότητας υφιστάμενων εμπειρικών σχέσεων στα δεδομένα της Κύπρου
- Διερεύνηση νέων εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του χρόνου συρροής βάσει των στοιχείων πεδίου
- Προτεινόμενη μεθοδολογία εκτίμησης πλημμυρικών παροχών για Κυπριακές λεκάνες

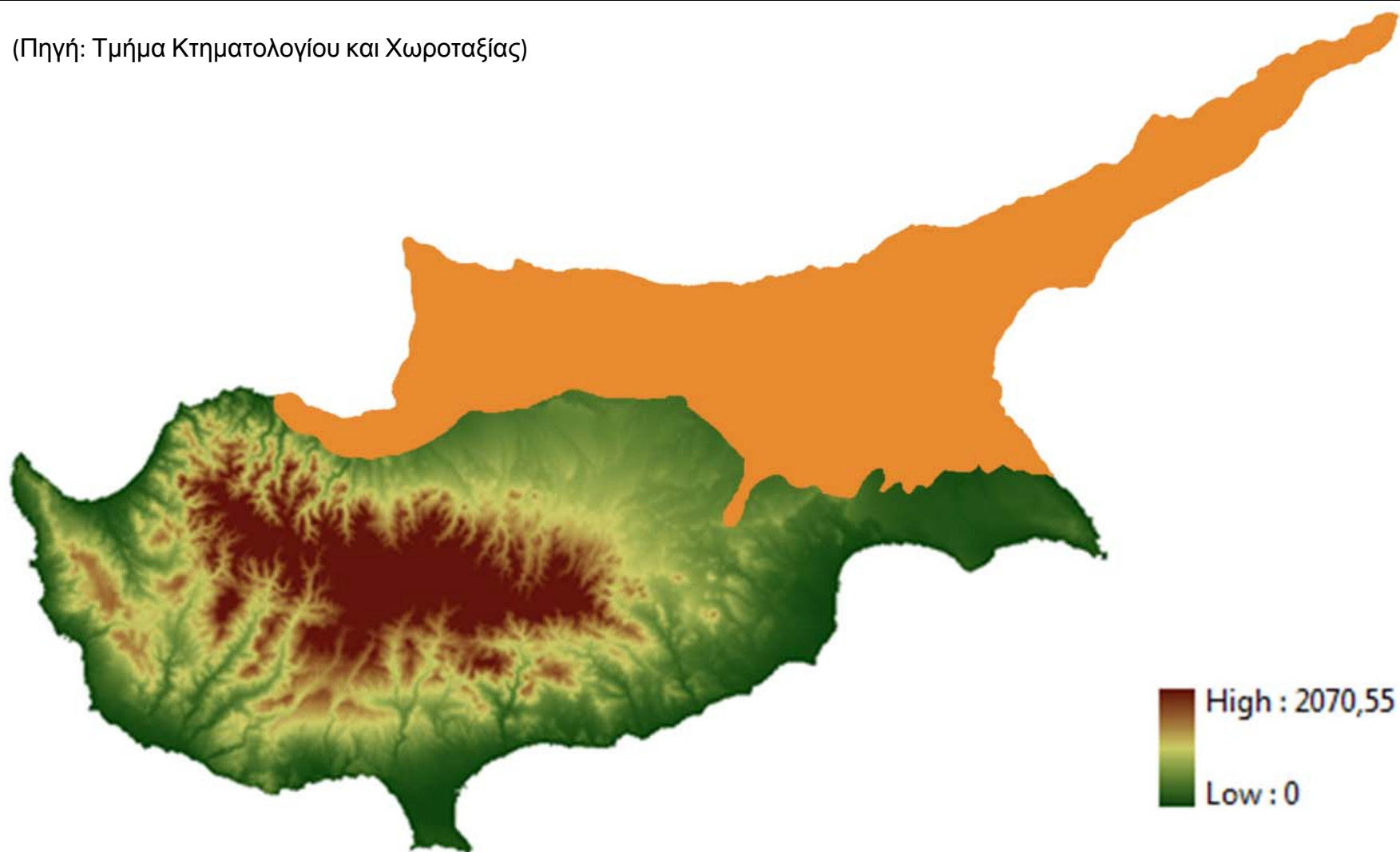
Δεδομένα (1): Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Κύπρου

(Πηγή: Τμήμα Κτηματολογίου και Χωροταξίας)



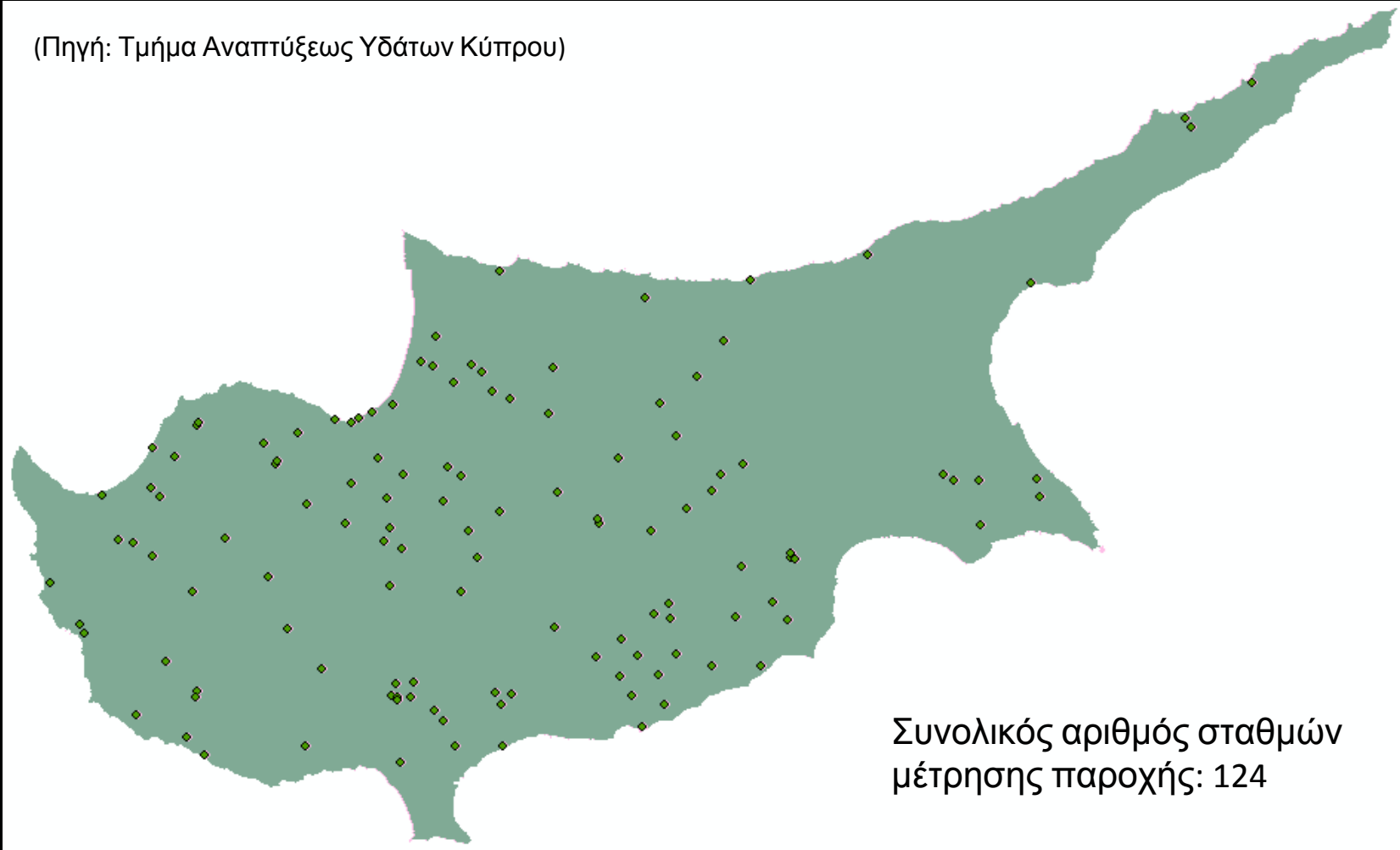
Δεδομένα (1): Ψηφιακό μοντέλο εδάφους Κύπρου

(Πηγή: Τμήμα Κτηματολογίου και Χωροταξίας)



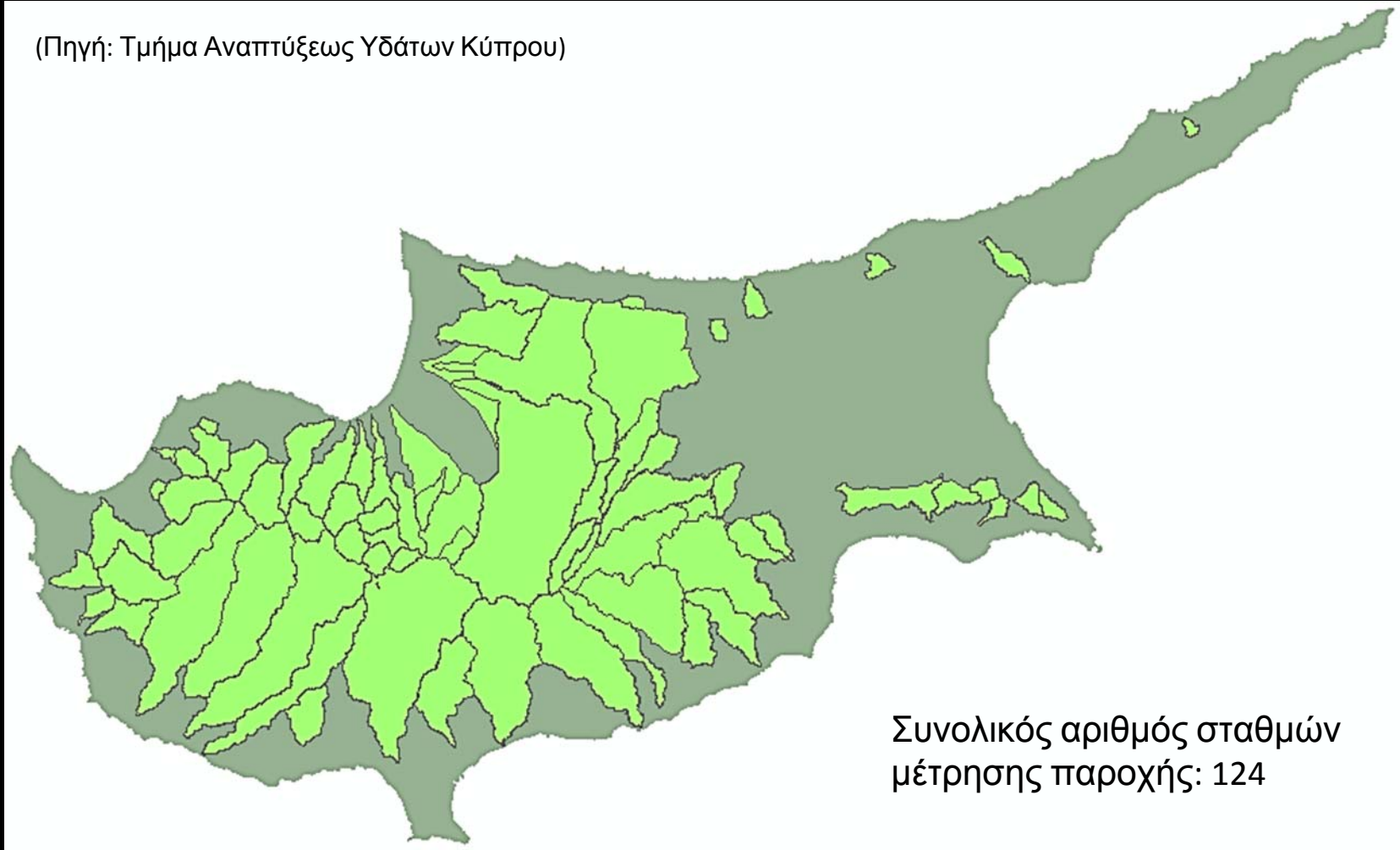
Δεδομένα (2): Σταθμοί μέτρησης παροχής

(Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου)



Δεδομένα (2): Υδρολογικές λεκάνες απορροής σταθμών μέτρησης

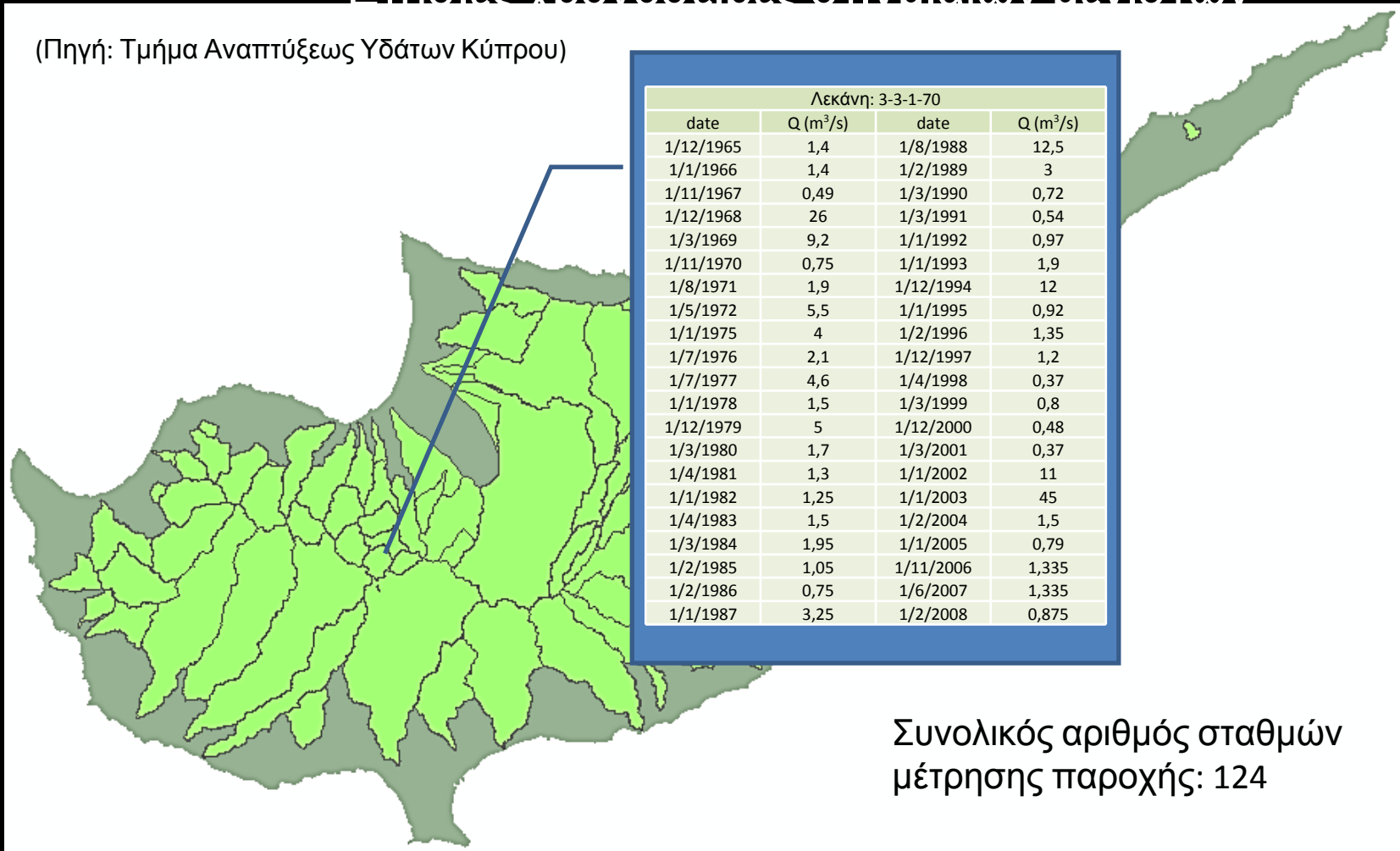
(Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου)



Δεδομένα (2): Υδρολογικές λεκάνες απορροής σταθμών μέτρησης

Ετήσιες χρονοσειρές σπινυαίων μέγιστων

(Πηγή: Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου)

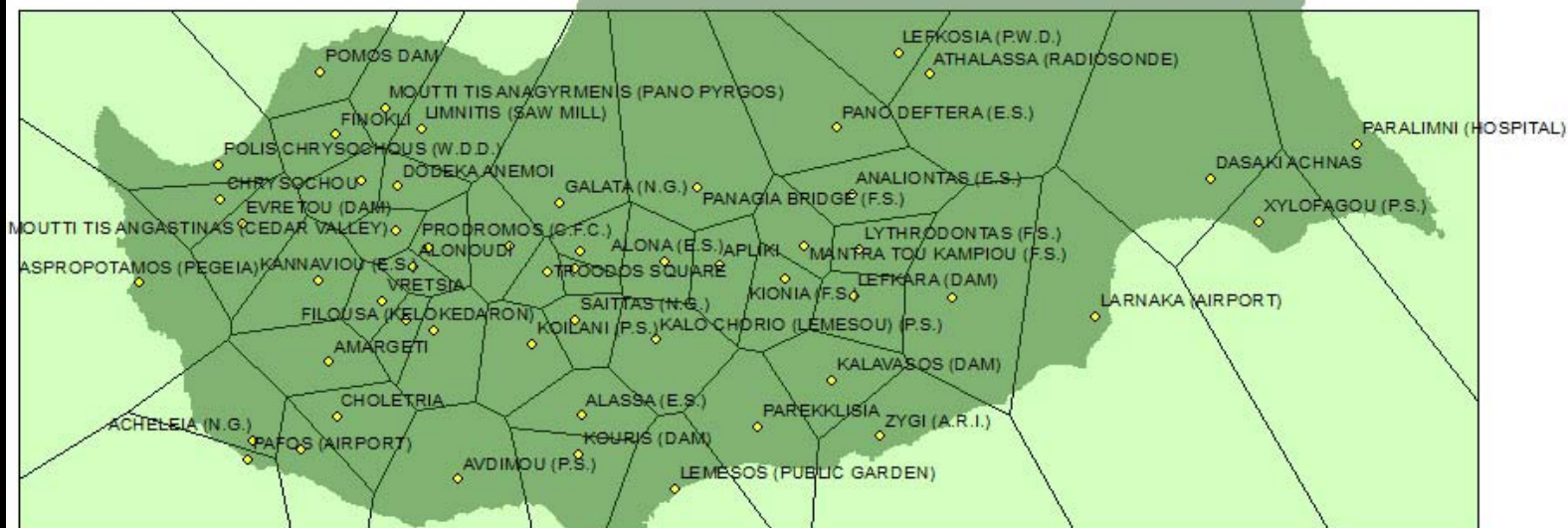


Συνολικός αριθμός σταθμών μέτρησης παροχής: 124

Δεδομένα (3): Μετεωρολογικοί Σταθμοί & Πολύγωνα επιρροής

$$i = \frac{\lambda * \psi + \frac{\lambda}{\kappa} \left[\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-k} - 1 \right]}{(t_c + \theta)^n}$$

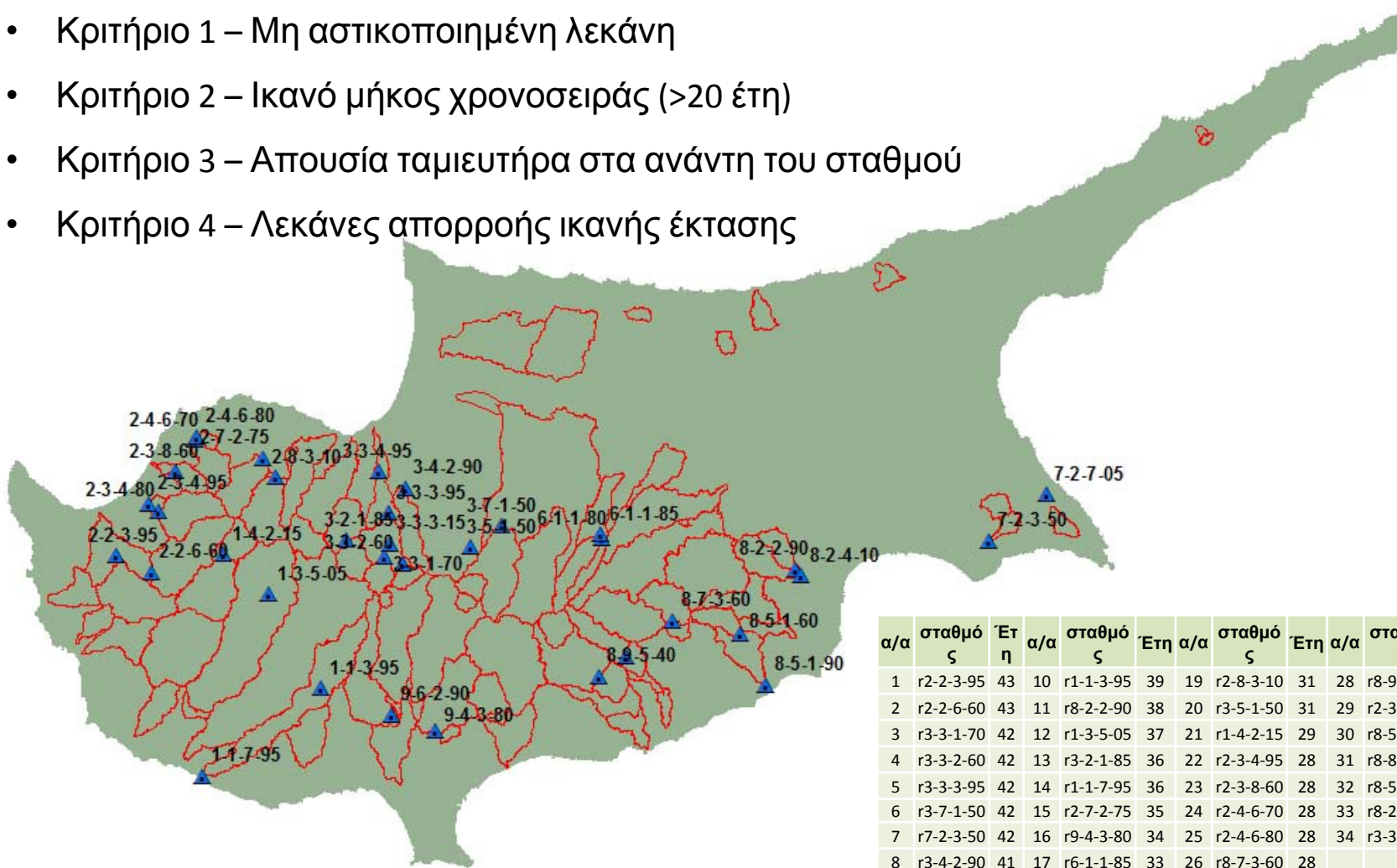
Συνολικός αριθμός μετεωρολογικών σταθμών εν λειτουργία: 36 (σύνολο 52)



(Πηγή: Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου)

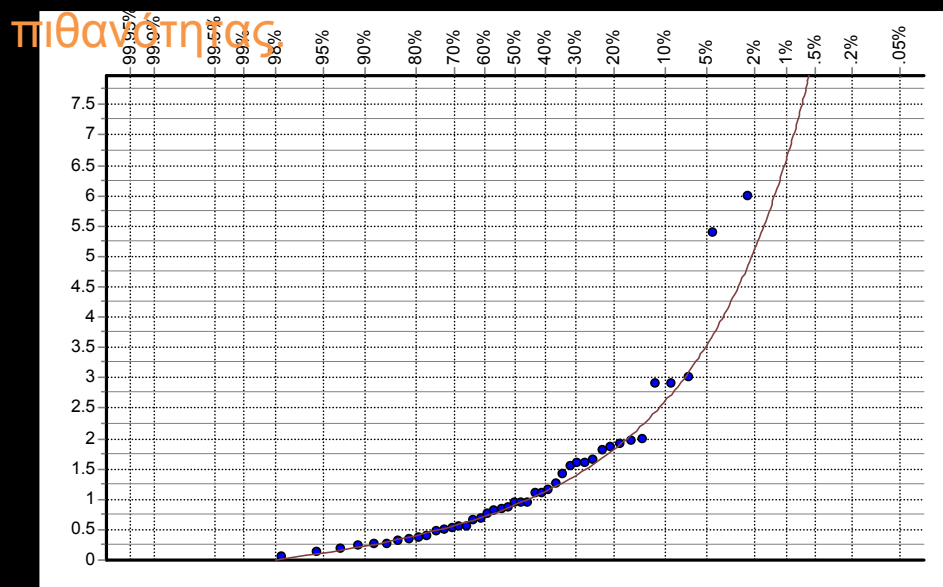
Επιλογή λεκανών (1): Κριτήρια

- Κριτήριο 1 – Μη αστικοποιημένη λεκάνη
- Κριτήριο 2 – Ικανό μήκος χρονοσειράς (>20 έτη)
- Κριτήριο 3 – Απουσία ταμιευτήρα στα ανάντη του σταθμού
- Κριτήριο 4 – Λεκάνες απορροής ικανής έκτασης



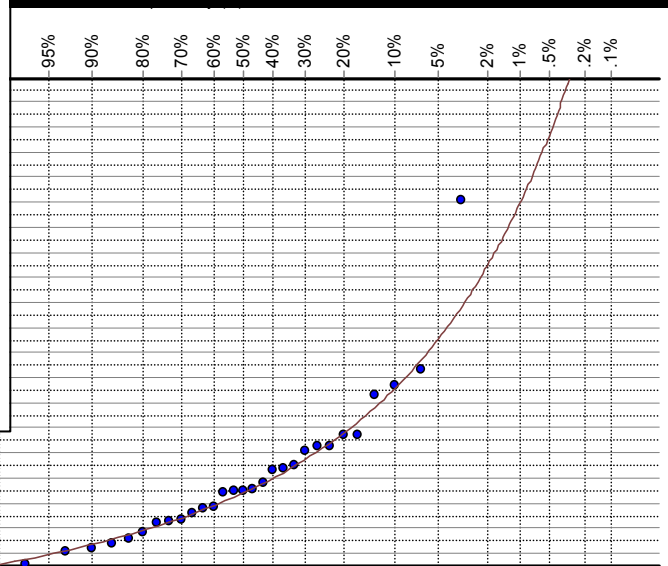
Επιλογή λεκανών (2): Στατιστική Ανάλυση χρονοσειρών

Προσαρμογή θεωρητικών κατανομών στο δείγμα των χρονοσειρών με χρήση του «Υδρογνώμωνα – έκδοση 4». Καταλληλότερη κατανομή: L-Moments GEV-Max. Γενική παρατήρηση: οι θεωρητικές κατανομές προσαρμόζονται καλά στις συνήθεις απορροές ενώ αποκλίνουν σημαντικά στις πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας.



Λεκάνη 3-3-2-60:
L-Moments GEV-Max
(Attained a: 94.84%)

Λεκάνη 1-4-2-15:
L-Moments GEV-Max
(Attained a: 60,65%)



Επεξεργασία δεδομένων (1): Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκανών

A = έκταση λεκάνης απορροής [km^2]

L = μήκος κύριου υδατορέματος [m]

L_{\max} = μέγιστο μήκος διαδρομής νερού στη λεκάνη [m]

H_{\max} = μέγιστο υψόμετρο λεκάνης [m]

H_{\min} = ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης, υψόμετρο εξόδου [m]

H_{mean} = μέσο υψόμετρο λεκάνης [m]

H_{far} = υψόμετρο του πλέον απομακρυσμένου σημείου της λεκάνης
[m]

S_{\min} = ελάχιστη κλίση λεκάνης [%]

S_{\max} = μέγιστη κλίση λεκάνης [%]

S_{mean} = μέση κλίση λεκάνης [%]

S' = κλίση ανάμεσα στο υψηλότερο σημείο της λεκάνης και την έξοδο

Παράδειγμα υπολογισμών
[%]

α/α	λεκάνη	A (km^2)	L (m)	L_{\max} (m)	H_{\min} (m)	H_{\max} (m)	H_{mean} (m)	H_{far} (m)	S_{\min} (%)	S_{\max} (%)	S_{mean} (%)	S' (m/m)
1	1-1-3-95	38,7	12251	14808	644	1585	1101,6	1322	0	101	45,84	0,064

x 34 λεκάνες

Επεξεργασία δεδομένων (2): Υπολογισμός συν/των απορροής

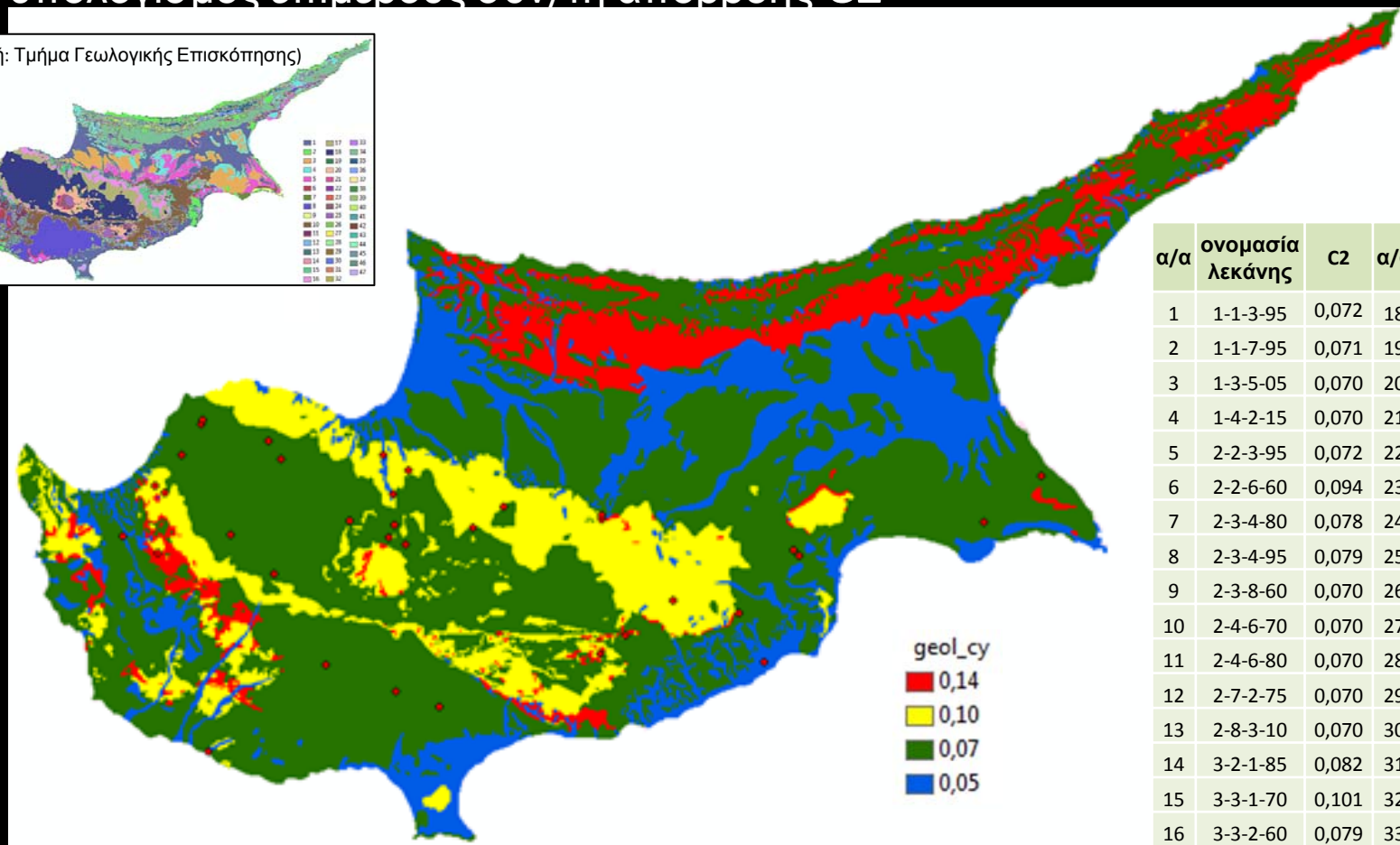
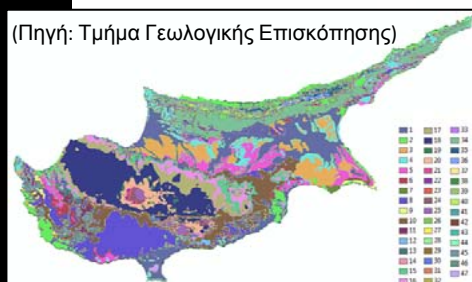
C1 (βάσει της μέσης κλίσης της λεκάνης απορροής) &
C4 (βάσει της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου)

α/α	ονομασία λεκάνης	Smean (%)	C1	Αυδρ.δικτ / Αλεκάνης	C4	α/α	ονομασία λεκάνης	Smean (%)	C1	Αυδρ.δικτ / Αλεκάνης	C4
1	1-1-3-95	45,8	0,30	2,0	0,04	18	3-3-3-95	38,2	0,29	3,0	0,04
2	1-1-7-95	27,0	0,27	3,0	0,04	19	3-4-2-90	34,6	0,29	2,0	0,04
3	1-3-5-05	57,1	0,31	3,0	0,04	20	3-5-1-50	53,9	0,31	3,0	0,04
4	1-4-2-15	47,7	0,30	2,0	0,04	21	3-7-1-50	42,4	0,30	3,0	0,04
5	2-2-3-95	14,2	0,22	2,0	0,04	22	6-1-1-80	15,8	0,22	4,0	0,05
6	2-2-6-60	35,3	0,29	2,0	0,04	23	6-1-1-85	16,8	0,23	3,0	0,04
7	2-3-4-80	43,4	0,30	1,0	0,04	24	7-2-3-50	1,2	0,08	1,0	0,04
8	2-3-4-95	42,1	0,30	1,0	0,04	25	7-2-7-05	17,2	0,23	1,0	0,04
9	2-3-8-60	44,4	0,30	2,0	0,04	26	8-2-2-90	13,5	0,21	3,0	0,04
10	2-4-6-70	41,5	0,30	2,0	0,04	27	8-2-4-10	14,4	0,22	2,0	0,04
11	2-4-6-80	44,8	0,30	19,0	0,09	28	8-5-1-60	20,1	0,24	2,0	0,04
12	2-7-2-75	51,1	0,31	2,0	0,04	29	8-5-1-90	14,6	0,22	2,0	0,04
13	2-8-3-10	57,0	0,31	2,0	0,04	30	8-7-3-60	17,0	0,23	1,0	0,04
14	3-2-1-85	42,9	0,30	3,0	0,04	31	8-8-2-50	33,5	0,29	2,0	0,04
15	3-3-1-70	44,4	0,30	4,0	0,05	32	8-9-5-40	30,5	0,28	2,0	0,04
16	3-3-2-60	38,1	0,29	3,0	0,04	33	9-4-3-80	26,6	0,27	2,0	0,04
17	3-3-3-15	56,1	0,31	3,0	0,04	34	9-6-2-90	29,6	0,28	2,0	0,04

Επεξεργασία δεδομένων (3): Υπολογισμός συν/των απορροής

Κατηγορίες διαπερατότητας γεωλογικών σχηματισμών υπολογισμός επιμέρους συν/τη απορροής C2

(Πηγή: Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης)



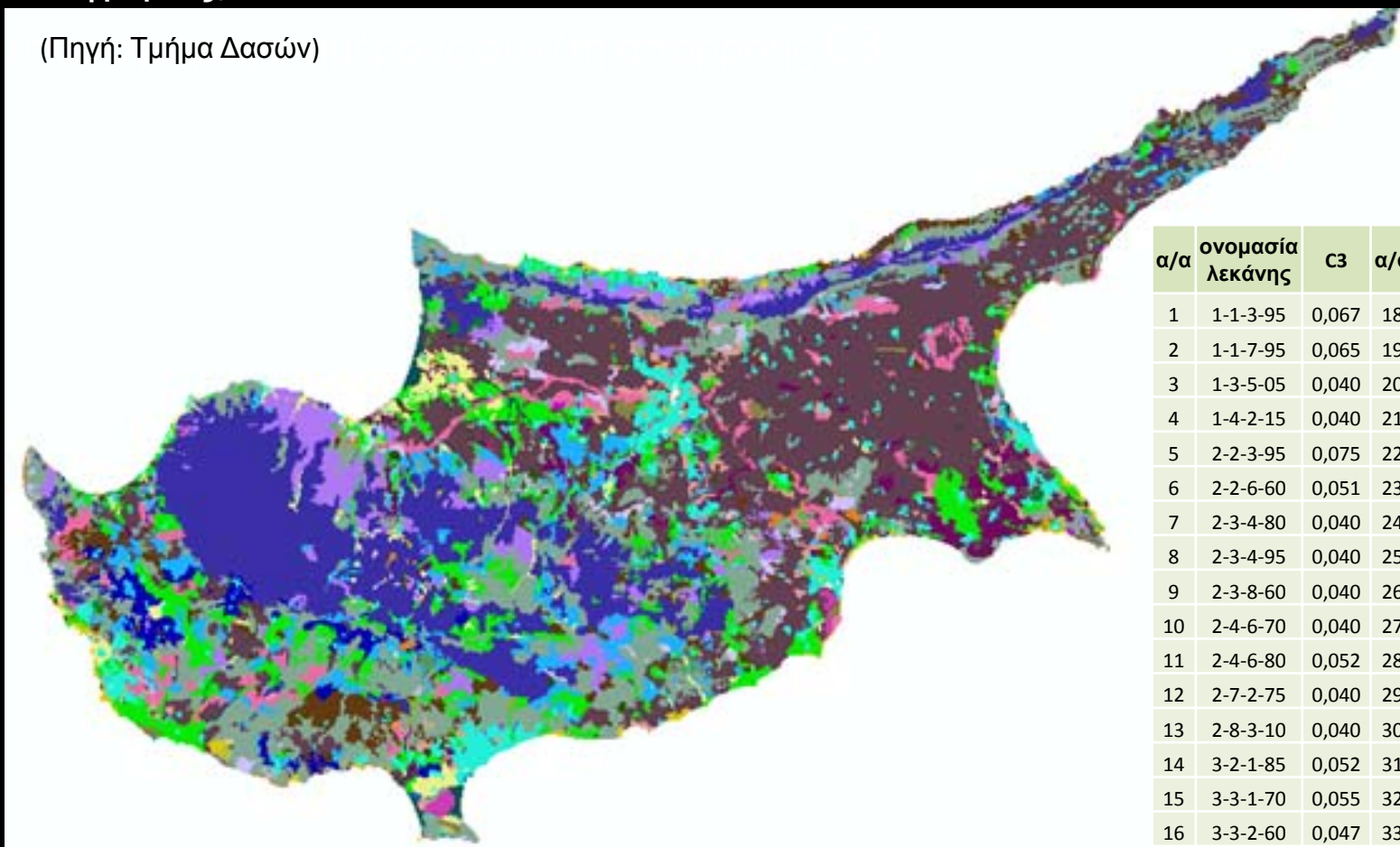
geol_cy
■ 0,14
■ 0,10
■ 0,07
■ 0,05

α/α	ονομασία Λεκάνης	C2	α/α	ονομασία Λεκάνης	C2
1	1-1-3-95	0,072	18	3-3-3-95	0,082
2	1-1-7-95	0,071	19	3-4-2-90	0,077
3	1-3-5-05	0,070	20	3-5-1-50	0,073
4	1-4-2-15	0,070	21	3-7-1-50	0,078
5	2-2-3-95	0,072	22	6-1-1-80	0,090
6	2-2-6-60	0,094	23	6-1-1-85	0,084
7	2-3-4-80	0,078	24	7-2-3-50	0,070
8	2-3-4-95	0,079	25	7-2-7-05	0,090
9	2-3-8-60	0,070	26	8-2-2-90	0,070
10	2-4-6-70	0,070	27	8-2-4-10	0,070
11	2-4-6-80	0,070	28	8-5-1-60	0,096
12	2-7-2-75	0,070	29	8-5-1-90	0,078
13	2-8-3-10	0,070	30	8-7-3-60	0,100
14	3-2-1-85	0,082	31	8-8-2-50	0,075
15	3-3-1-70	0,101	32	8-9-5-40	0,082
16	3-3-2-60	0,079	33	9-4-3-80	0,076
17	3-3-3-15	0,085	34	9-6-2-90	0,073

Επεξεργασία δεδομένων (4): Υπολογισμός συν/των απορροής

3^ο επίπεδο κατά CLC (στην Κύπρο εμφανίζονται οι 34 από τις 44 κατηγορίες)

(Πηγή: Τμήμα Δασών)

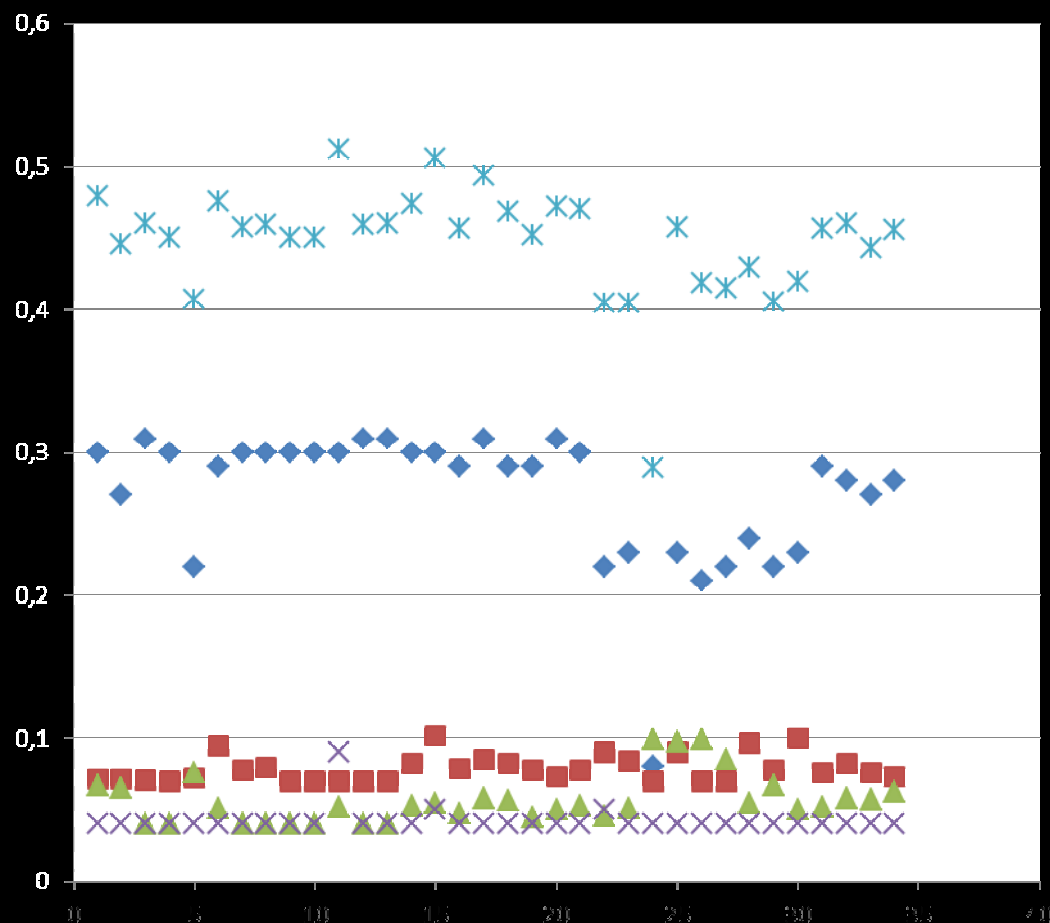


α/α	ονομασία λεκάνης	C3	α/α	ονομασία λεκάνης	C3
1	1-1-3-95	0,067	18	3-3-3-95	0,056
2	1-1-7-95	0,065	19	3-4-2-90	0,045
3	1-3-5-05	0,040	20	3-5-1-50	0,049
4	1-4-2-15	0,040	21	3-7-1-50	0,052
5	2-2-3-95	0,075	22	6-1-1-80	0,045
6	2-2-6-60	0,051	23	6-1-1-85	0,051
7	2-3-4-80	0,040	24	7-2-3-50	0,099
8	2-3-4-95	0,040	25	7-2-7-05	0,097
9	2-3-8-60	0,040	26	8-2-2-90	0,099
10	2-4-6-70	0,040	27	8-2-4-10	0,085
11	2-4-6-80	0,052	28	8-5-1-60	0,054
12	2-7-2-75	0,040	29	8-5-1-90	0,067
13	2-8-3-10	0,040	30	8-7-3-60	0,050
14	3-2-1-85	0,052	31	8-8-2-50	0,051
15	3-3-1-70	0,055	32	8-9-5-40	0,058
16	3-3-2-60	0,047	33	9-4-3-80	0,057
17	3-3-3-15	0,058	34	9-6-2-90	0,062

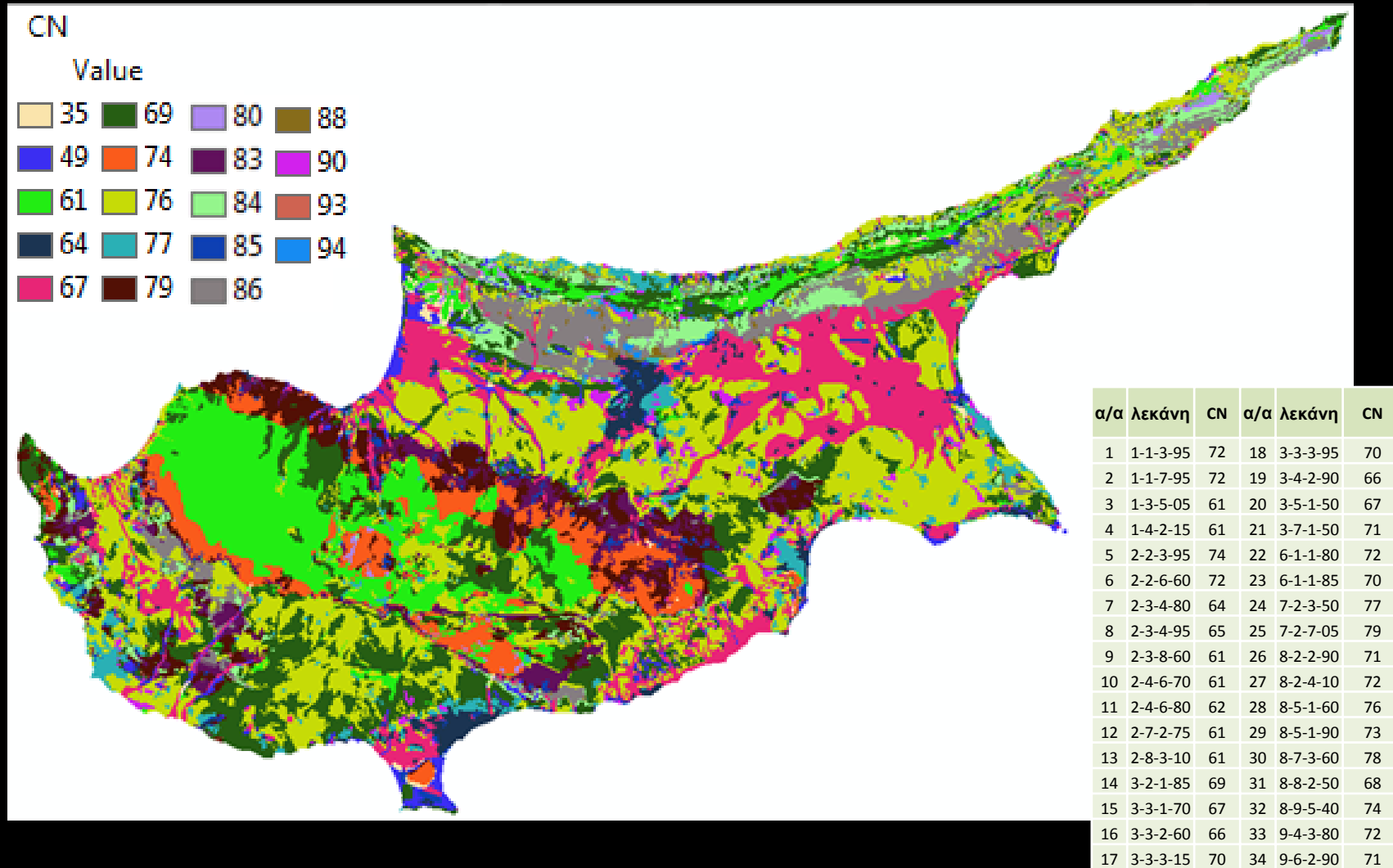
Υπολογισμοί (1): Εκτίμηση συν/τη απορροής $C=\sum C_i$

α/α	ονομασία λεκάνης	C (ΟΜΟΕ) T<10 έτη	α/α	ονομασία λεκάνης	C (ΟΜΟΕ) T<10 έτη
1	1-1-3-95	0,479	18	3-3-3-95	0,468
2	1-1-7-95	0,446	19	3-4-2-90	0,452
3	1-3-5-05	0,460	20	3-5-1-50	0,472
4	1-4-2-15	0,450	21	3-7-1-50	0,470
5	2-2-3-95	0,408	22	6-1-1-80	0,405
6	2-2-6-60	0,475	23	6-1-1-85	0,405
7	2-3-4-80	0,458	24	7-2-3-50	0,289
8	2-3-4-95	0,459	25	7-2-7-05	0,457
9	2-3-8-60	0,450	26	8-2-2-90	0,419
10	2-4-6-70	0,450	27	8-2-4-10	0,415
11	2-4-6-80	0,512	28	8-5-1-60	0,430
12	2-7-2-75	0,460	29	8-5-1-90	0,405
13	2-8-3-10	0,460	30	8-7-3-60	0,420
14	3-2-1-85	0,474	31	8-8-2-50	0,457
15	3-3-1-70	0,506	32	8-9-5-40	0,460
16	3-3-2-60	0,456	33	9-4-3-80	0,443
17	3-3-3-15	0,493	34	9-6-2-90	0,456

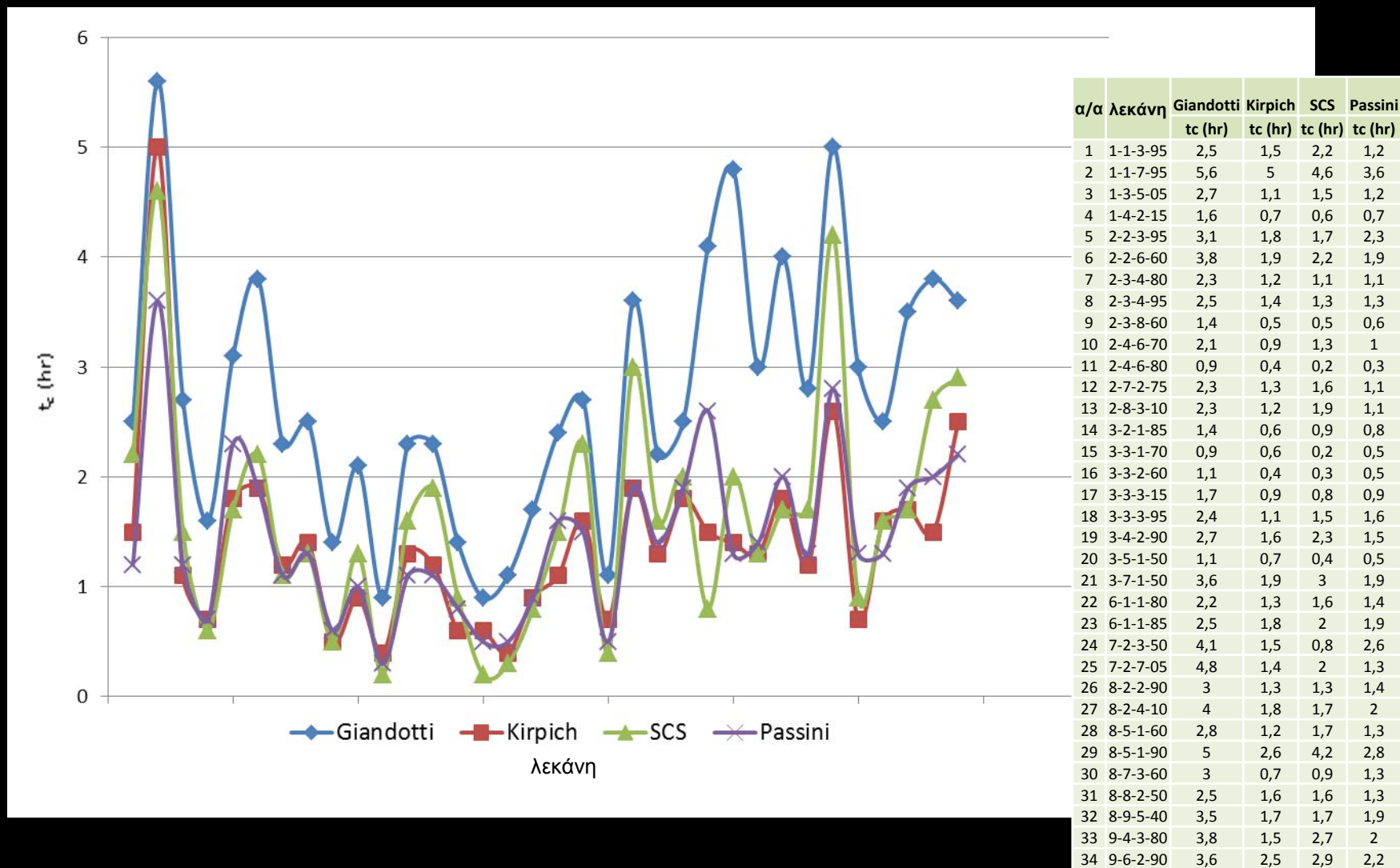
- ◆ C1
- C2
- ▲ C3
- × C4
- ✱ C=C1+C2+C3+C4



Υπολογισμοί (2): Απεικόνιση αριθμού καμπύλης απορροής CN



Υπολογισμοί (3): Χρόνος συρροής, t_c ($T < 10$ έτη)



Επεξεργασία αποτελεσμάτων (1): Παραδοχές

- **Περίοδος Επαναφοράς**

Στον προσδιορισμό της κρίσιμης έντασης της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε ενδεικτικά ως περίοδος επαναφοράς το μήκος της χρονοσειράς των παροχομετρήσεων $N=T$ (δε διατίθενται παρατηρημένα βροχογραφήματα ούτε και πλημμυρογραφήματα).

- **Διάρκεια επεισοδίου βροχής**

Βασική απαίτηση εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου είναι να απορρέει ολόκληρη η υδρολογική λεκάνη ($tr \geq tc$). Προκειμένου αυτό να εξασφαλιστεί χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα επεισόδια απορροής για τα οποία ισχύει $Q/A_{\text{λεκάνης}} \geq 1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

- **Χρήση αριθμού καμπύλης απορροής στον υπολογισμό του χρόνου συρροής**

Ο αριθμός καμπύλης απορροής, CN , χρησιμοποιείται ως παράμετρος τραχύτητας του υδατορέματος για την εκτίμηση του χρόνου συρροής, t_c .

Επεξεργασία αποτελεσμάτων (2): Μεθοδολογία



Επεξεργασία αποτελεσμάτων (3): Διερεύνηση υφιστάμενων εμπειρικών σχέσεων υπολογισμού του χρόνου συρροής

a/a	Περιγραφή	Εκτίμηση χρόνου συρροής	Εκτίμηση συν/τη απορροής	CE
1	Kirpich	$t_c = 0.01947(L_{max})^{0.77}(S')^{-0.385}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	-3,45
2	Giandotti	$t_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8\Delta H^{0.5}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	0,484
3	SCS	$t_c = \frac{L^{1.15}}{770CH^{0.22}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	-4,02
4	Passini	$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A * L}}{\sqrt{S}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	-4,04
5	Βελτιστοποιημένος Kirpich	$t_c = \frac{10A^{0.5} + 0.1L}{0.867DH^{0.5}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	0,727
6	Βελτιστοποιημένος Giandotti	$t_c = \frac{40L^{0.16}}{60S^{0.139}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	0,750

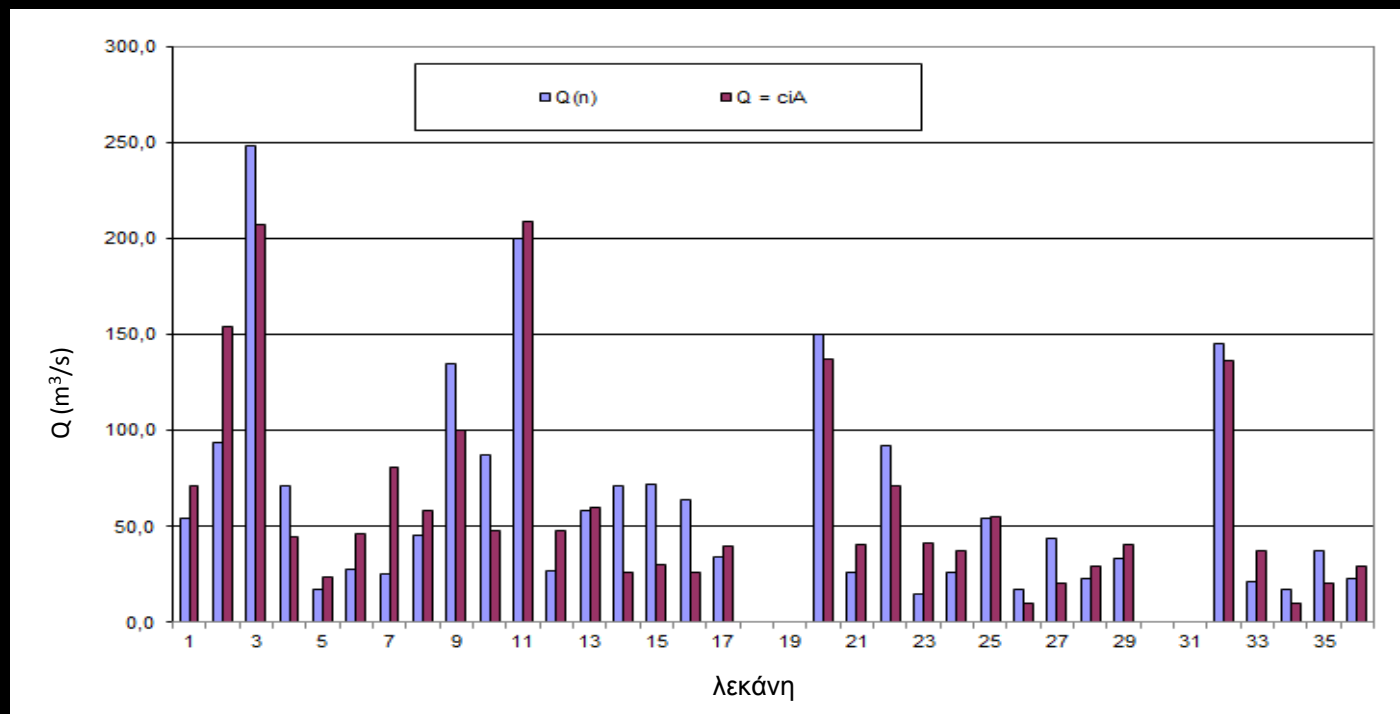
Επεξεργασία αποτελεσμάτων (4): Διερεύνηση νέων εμπειρικών σχέσεων υπολογισμού των παραμέτρων της ορθολογικής μεθόδου

a/a	Περιγραφή	Εκτίμηση χρόνου συρροής	Εκτίμηση συν/τη απορροής	CE
7	Εμπειρική σχέση 1	$t_c = \frac{L}{3600U}$ $U=2,22m/s$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	-0,170
8	Εμπειρική σχέση 2	$t_c = \frac{L}{3600U}$ $U = 7.51\sqrt{S_{max}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	-0,290
9	Εμπειρική σχέση 3	$t_c = 0.617\sqrt{A}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	0,727
10	Εμπειρική σχέση 4	$t_c = \frac{5.0A^{0.47}}{L_{max}^{0.73}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	0,798
11	Εμπειρική σχέση 5	$t_c = \frac{3.59A^{0.416}}{L^{0.494}}$ $t_c(T) = \frac{t_c}{T^{0.07}}$	ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	0,799
12	Εμπειρική σχέση 6	$t_c = \frac{121.76(A/L_{max})^{0.396}}{60S^{0.01}}$ $t_c(T) = \frac{t_c}{T^{0.2}}$	$c' = 0.5c$	0,790
13	Εμπειρική σχέση 7	$t_c = \frac{3.74(A/L_{max})^{0.268}}{\sqrt{S} * CN^{0.429}}$ $t_c(T) = \frac{t_c}{T^{0.2}}$	$c' = 0.5c$	0,760
14	Εμπειρική σχέση 8	$t_c = \frac{4.23(A/L_{max})^{0.429}}{\sqrt{S_{max}} * CN^{0.29}}$ $t_c(T) = \frac{t_c}{T^{0.02}}$	$c(T) = 0.43c + 0.1\ln(T)$	0,797

Επεξεργασία αποτελεσμάτων (5): Προτεινόμενη μεθοδολογία

Παράμετροι για την εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου

$$t_c = \frac{4.23(A/L_{\max})^{0.429}}{\sqrt{S} * CN^{0.29}} \quad t_c(T) = \frac{t_c}{T^{0.02}} \quad c(T) = 0.43c + 0.1\ln(T) \quad CE = 0,797$$



Επεξεργασία αποτελεσμάτων (6): Συμπεράσματα -

Διαπιστώσεις

- $t_{C(\text{κυπριακών λεκανών})} > t_{C(\text{υφιστάμενων μεθόδων})}$
- $C_{\text{κυπριακών λεκανών}} \ll C_{\text{ΟΜΟΕ}} \quad (C_{\text{κυπριακών λεκανών}} \sim 0,5 C_{\text{ΟΜΟΕ}})$

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα:

- έλεγχος των προτεινόμενων σχέσεων εκτίμησης χρόνου συρροής με χρήση πιο σύνθετων μεθόδων υπολογισμού της παροχής αιχμής όπως η μέθοδος SCS (λαμβάνει υπόψη και στοιχεία προηγούμενης κατάστασης της λεκάνης, μπορεί να θεωρηθεί καταλληλότερη για περιπτώσεις μεγαλύτερων λεκανών $A > 2,5 \text{ km}^2$)
- εφόσον διατίθενται εκτενέστερα πρωτογενή στοιχεία βροχής και απορροής, είναι δυνατόν να γίνει ο ακριβής υπολογισμός του χρόνου συρροής και της περιόδου επαναφοράς του φαινομένου που προκάλεσε το μέγεθος της απορροής

Ενδεικτική Βιβλιογραφία:

- 1.Αυγέρη Μ., 2010
- 2.Κουτσογιάννης Δ., Θ. Ξανθόπουλος, 1999
- 3.Κοτζαγεώργης Γ. ENVECO Α.Ε., 2007
- 4.Μαμάσης Ν., 2007
- 5.Μιμίκου Μ., Ε.Α.Μπαλτάς, 2003
- 6.Παπαϊωάννου Α.Μ., 2010
- 7.Πασιαρδής Σ.,2009
- 8.Τσακίρης Γ., Χ.Βαγγέλης, 2009
- 9.Τουμαζής & Συν/τες, Καραβοκύρης & Συν/τες, 2009
- 10.David B. Thompson, 2006
- 11.Daniil E.I., S.N. Michas, L.S. Lazaridis, 2005
- 12.Mark A. Marek, P.E., 2009
- 13.Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, 2005

Πηγές συλλογής δεδομένων:

- 1.Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου (ΤΑΥ)
- 2.Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου
- 3.Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου
- 4.Τμήμα Κτηματολογίου και Χωροταξίας
- 5.Τμήμα Δασών



Τ Ε Λ Ο Σ