

Ανώτατη Σχολή Παιδαγωγικής & Τεχνολογικής Εκπαίδευσης (Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε.)

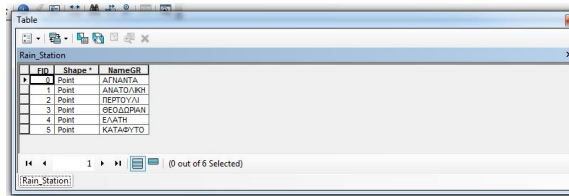
Τμήμα Εκπαιδευτικών Πολιτικών Μηχανικών

Μεταπτυχιακό πρόγραμμα:

Τεχνολογίες Διαχείρισης Υδάτων, Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής

Προχωρημένες Τεχνολογίες Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (G.I.S.) - Υδροπληροφορικής

Τα Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας στην Υδρολογία

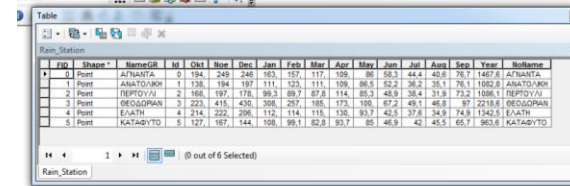
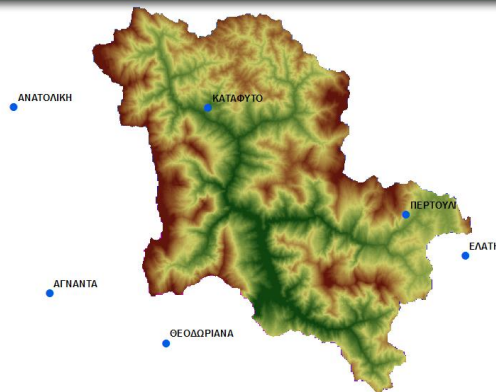


Table

id	Shape	NameGR
1	Point	ΑΓΝΑΝΤΑ
2	Point	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ
3	Point	ΠΕΡΙΟΥΛΙ
4	Point	ΕΛΑΤΗ
5	Point	ΚΑΤΑΦΥΤΟ

Rain Station

1 2 3 4 5 (0 out of 6 Selected)

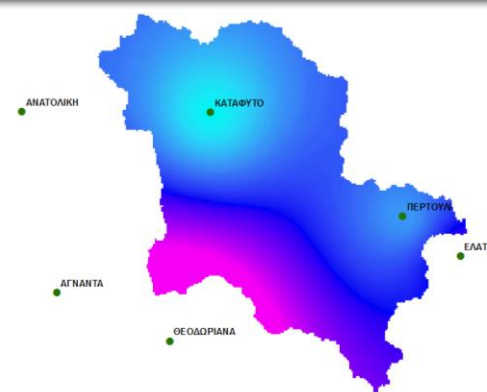


Table

id	Shape	NameGR	id	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Year	Nullname
1	Point	ΑΓΝΑΝΤΑ	0	194	249	246	163	157	117	109	86	58.3	44.4	40.6	75.7	1467.6	ΑΓΝΑΝΤΑ
2	Point	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	1	136	194	197	111	123	111	109	86.5	52.2	36.2	35.1	76.1	1082.8	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ
3	Point	ΠΕΡΙΟΥΛΙ	2	166	197	178	89.3	89.7	87.8	114	85.3	48.9	38.4	31.9	73.2	1086.1	ΠΕΡΙΟΥΛΙ
4	Point	ΕΛΑΤΗ	3	223	415	430	308	257	185	173	109	67.2	49.1	46.8	87	2218.6	ΕΛΑΤΗ
5	Point	ΚΑΤΑΦΥΤΟ	4	214	222	296	112	114	115	130	93.7	42.5	37.6	34.9	74.9	1342.5	ΚΑΤΑΦΥΤΟ

Rain Station

1 2 3 4 5 (0 out of 6 Selected)



Νίκος Μαμάσης, Αντώνης Κουκουβίνος & Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2017

Τα Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας στην Υδρολογία

1. Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ)
2. Επεξεργασίες χωρικών δεδομένων
3. Σύνδεση ΣΓΠ με αρχεία και βάσεις δεδομένων
4. Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής
5. Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων
6. Ηλιακή ακτινοβολία
7. Στερεοαπορροή
8. Πλημμυρογράφημα

1. Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ)

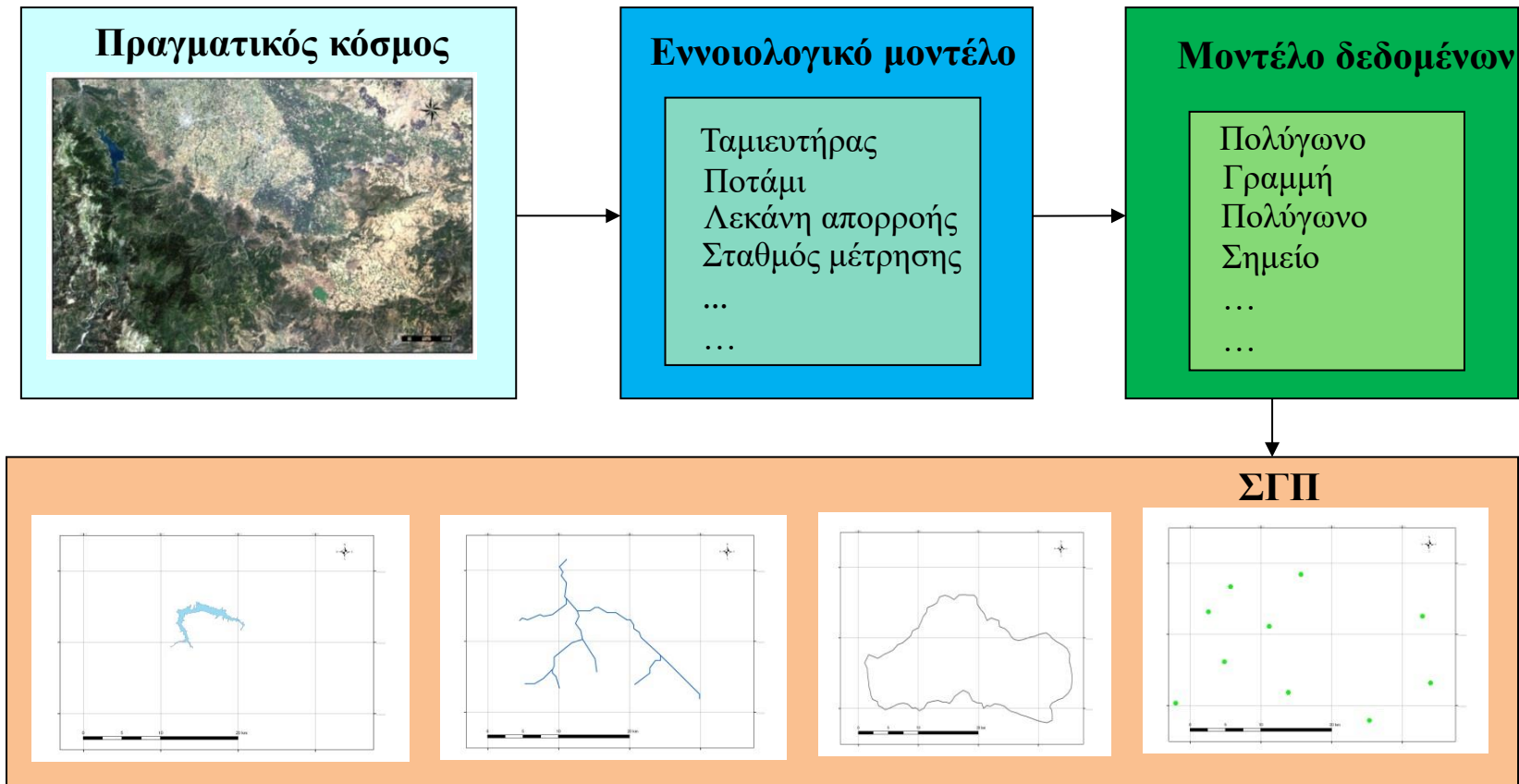
Βασικά μοντέλα δεδομένων

Χαρακτηριστικά μεγέθη, ιδιότητες

Πίνακες δεδομένων

ΣΓΠ – Γενικά

- ❑ Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ) (Geographic Information System, GIS) είναι κάθε πληροφοριακό σύστημα αποθήκευσης, διαχείρισης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης χωρικών δεδομένων



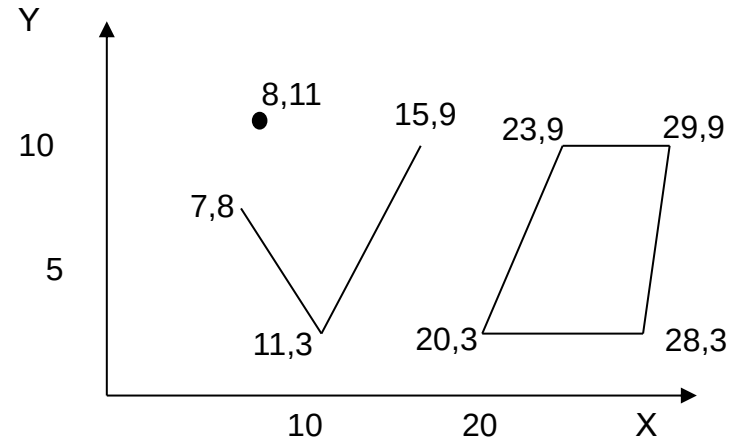
ΣΓΠ – Γενικά

Βασικά μοντέλα δεδομένων

❑ Διανυσματικά (vector)

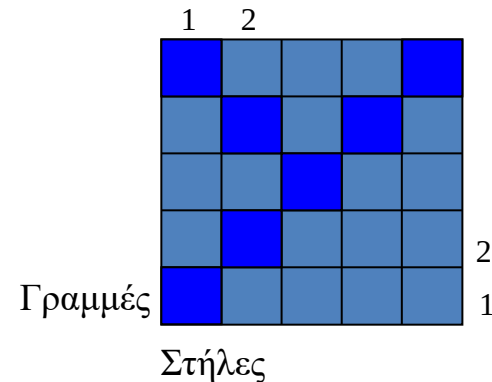
Χρησιμοποιούνται για να αποδοθούν οντότητες με καλά ορισμένα σχήματα.

Οι οντότητες ορίζονται από μία σειρά συντεταγμένων που αποδίδει το σχήμα και τη θέση τους



❑ Ψηφιδωτής διαμέρισης (raster)

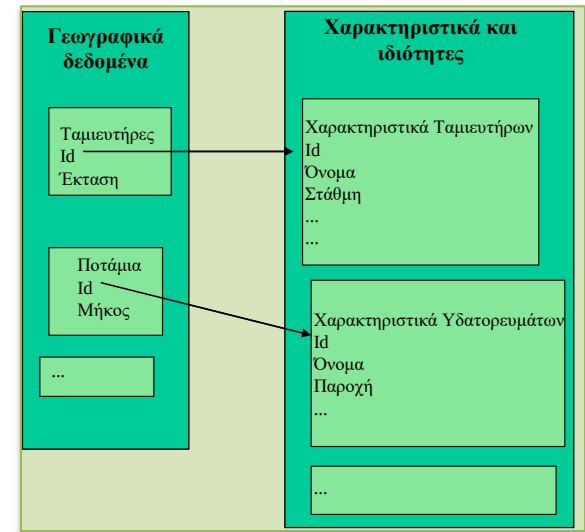
Αναπαριστούν φαινόμενα σε χώρο δύο διαστάσεων διαμερίζοντας τον σε γραμμές και στήλες



ΣΓΠ – Γενικά

Χαρακτηριστικά μεγέθη, ιδιότητες και πίνακες δεδομένων

- ❑ Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των γεωγραφικών αντικειμένων αποθηκεύονται σε αρχεία ή βάσεις δεδομένων
- ❑ Συνήθως χρησιμοποιείται ένα κοινό πεδίο-κλειδί για να συνδέσει τη γεωγραφική με την οποιαδήποτε άλλη πληροφορία



Οι Πίνακες Δεδομένων περιέχουν:

- ❑ Μεταβλητά αριθμητικά μεγέθη, προέρχονται από μετρήσεις ή υπολογισμούς, π.χ. 10 (mm)
- ❑ Σταθερά μεγέθη, αποτελούν σταθερό χαρακτηριστικό της οντότητας, π.χ. 4 (αντλίες)
- ❑ Κωδικοποιημένα μεγέθη, αναφέρονται με κωδικούς σε άλλα μεγέθη, π.χ. 1 (Λίμνη)
- ❑ Κείμενα, περιγράφουν το αντικείμενο, π.χ. Αχελώος (όνομα)
- ❑ Ημερομηνίες, όπου γίνονται καταγραφές, π.χ. 01/01/2000 (μέτρηση παροχής)
- ❑ Ειδικά πεδία για φωτογραφίες, βίντεο, πολυμέσα

2. Επεξεργασίες επιπέδων γεωγραφικής πληροφορίας

Επεξεργασίες σε διανυσματικά επίπεδα

Επεξεργασίες σε επίπεδα ψηφιδωτής διαμέρισης

Επεξεργασίες επιπέδων γεωγραφικής πληροφορίας

Επεξεργασίες σε διανυσματικά επίπεδα

- Γεωμετρικές: Σύγκριση της γεωμετρίας δύο ή περισσότερων επιπέδων

Είναι ίσα



Το ένα περιέχει
το άλλο



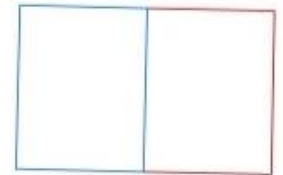
Το ένα διασχίζει
το άλλο



Το ένα επικαλύπτει το
άλλο

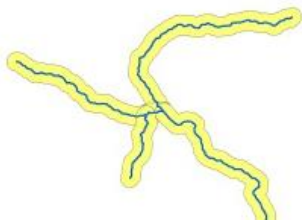


Το ένα ακουμπά το
άλλο

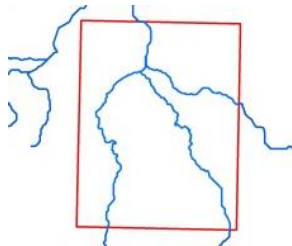


- Τοπολογικές: Χωρικές πράξεις πάνω σε δύο ή περισσότερα επίπεδα.

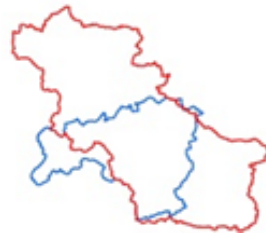
Ζώνη



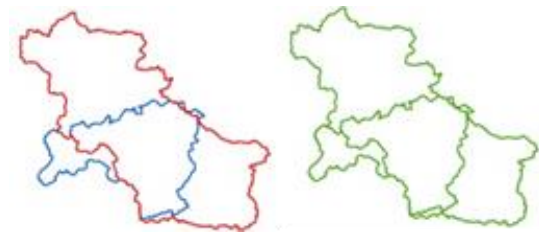
Επιλογή



Τομή



Ένωση

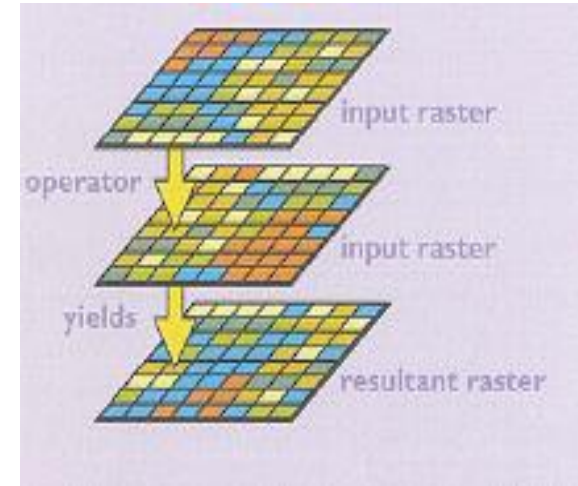


Επεξεργασίες επιπέδων γεωγραφικής πληροφορίας

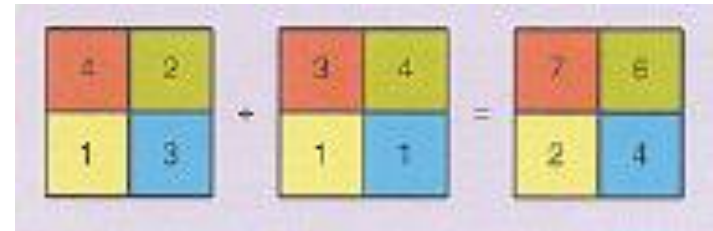
Επεξεργασίες σε επίπεδα ψηφιδωτής διαμέρισης

Σε δύο ή περισσότερα επίπεδα
εφαρμόζονται αριθμητικοί ή λογικοί
τελεστές

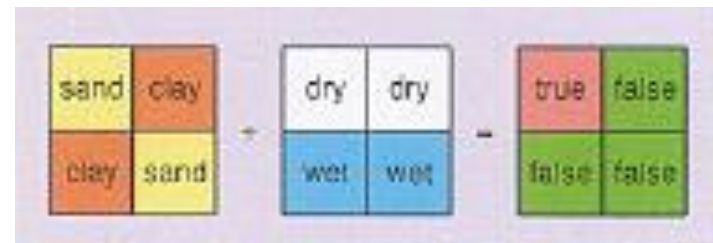
(map algebra, raster calculator)



- Αριθμητικοί τελεστές
(+, -, *, /, cos, sin, sqrt, ...)



- Λογικοί τελεστές
(And, Or, Xor, Not, >, <,)



3. *Σύνδεση ΣΓΠ με αρχεία και βάσεις δεδομένων*

Σύνδεση με κοινό πεδίο (κλειδί)

Οπτικοποίηση χωρικής κατανομής δεδομένων

Σύνδεση ΣΓΠ με αρχεία και βάσεις δεδομένων

Σύνδεση με κοινό πεδίο (κλειδί)

Για να συνδεθεί η χωρική πληροφορία που αποθηκεύεται στο ΣΓΠ με την πληροφορία που αποθηκεύεται σε λογιστικά φύλλα, αρχεία κειμένου ή πίνακες βάσεων δεδομένων, χρησιμοποιείται ένα κοινό πεδίο-κλειδί.

Βροχομετρικοί σταθμοί (ΣΓΠ)

Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις (excel)

Table

Rain_Station

FID	Shape *	NameGR
0	Point	ΑΓΝΑΝΤΑ
1	Point	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ
2	Point	ΠΕΡΤΟΥΛΙ
3	Point	ΘΕΟΔΩΡΙΑΝ
4	Point	ΕΛΑΘΗ
5	Point	ΚΑΤΑΦΥΤΟ

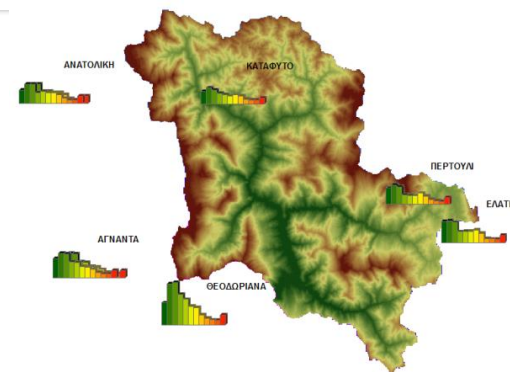
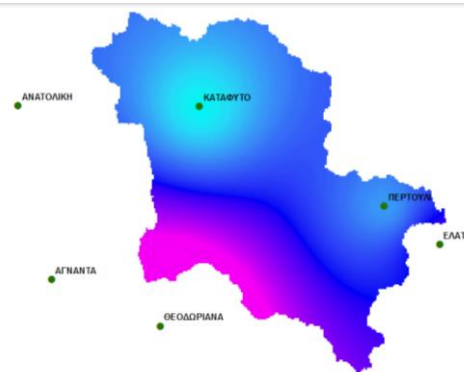
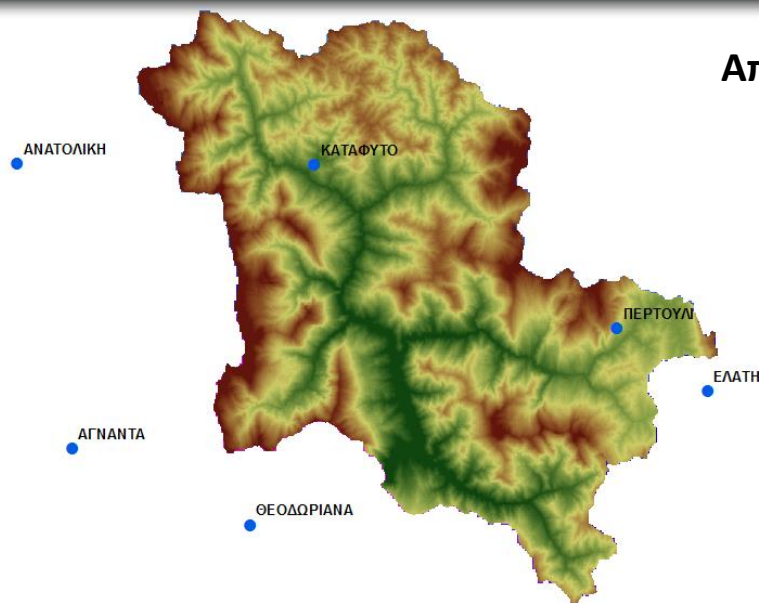
Σύνδεση πινάκων

N10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Okt	Noe	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Year		
0	194,1	249,0	246,0	163,3	157,8	117,2	109,4	86,0	58,3	44,4	40,6	76,7	1467,6	ΑΓΝΑΝΤΑ	
1	138,8	194,0	197,0	111,6	123,9	111,2	109,3	86,5	52,2	36,2	35,1	76,1	1082,8	ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ	
2	214,3	222,2	206,7	112,1	114,5	115,3	130,5	93,7	42,5	37,6	34,9	74,9	1342,5	ΕΛΑΘΗ	
3	127,5	167,5	144,9	108,6	99,1	82,8	93,7	85,0	46,9	42,0	45,5	65,7	963,6	ΚΑΤΑΦΥΤΟ	
4	168,4	197,7	178,8	99,3	89,7	87,8	114,1	85,3	48,9	38,4	31,9	73,2	1086,1	ΠΕΡΤΟΥΛΙ	
5	223,5	415,2	430,6	308,2	257,6	185,1	173,1	100,4	67,2	49,1	46,8	97,0	2218,6	ΘΕΟΔΩΡΙΑΝ	

Απεικόνιση χωρικής κατανομής
ετήσιας βροχόπτωσης

Απεικόνιση σημειακών
μηνιαίων βροχοπτώσεων



Σύνδεση ΣΓΠ με αρχεία και βάσεις δεδομένων

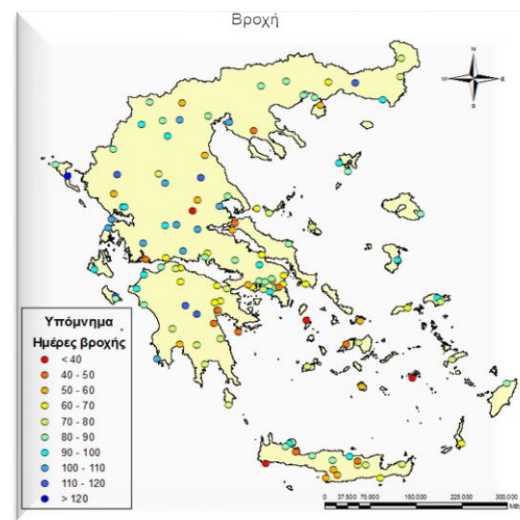
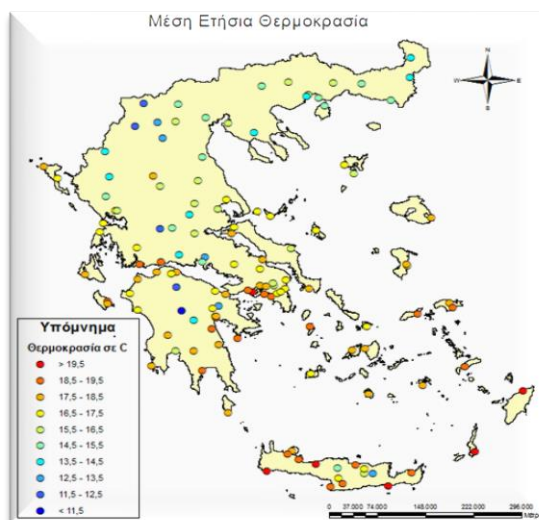
Οπτικοποίηση χωρικής κατανομής δεδομένων

Χωρικά δεδομένα



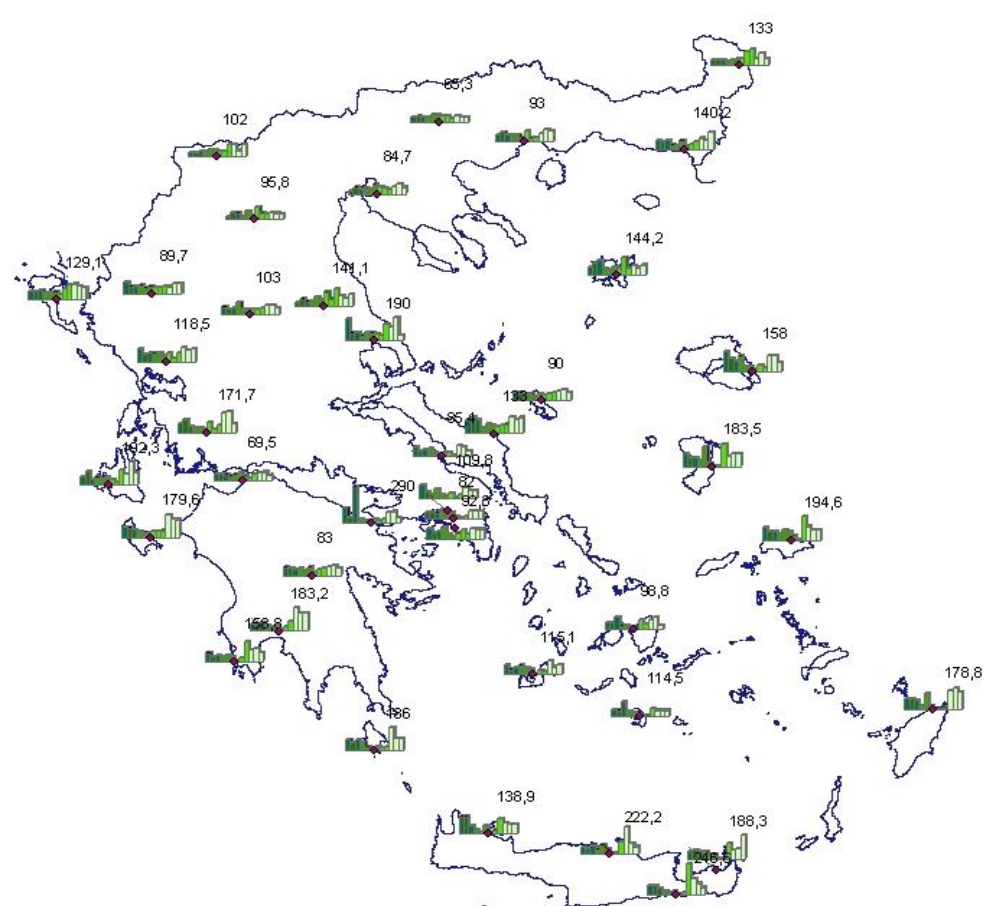
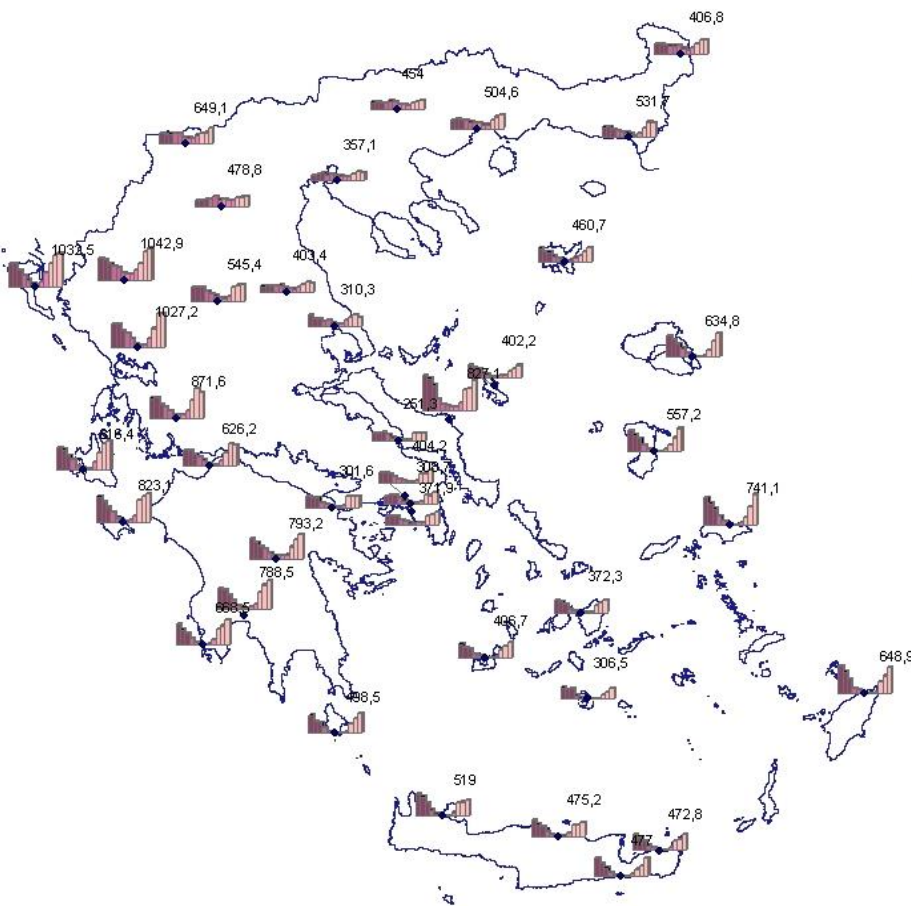
Περιγραφικά δεδομένα

Shape	Id	Stathmos	Ε	Ν	ΜΕΘ	ΑΜΟ	ΑΕΘ	ΜΑΜΟ	ΜΑΕΘ	ΣΧΥΓΡ	ΗΛΙΟΦ	ΜΕΦ	ΒΡΟΧ	ΜΗΒ
Point	2	Αγχαλας	2	16.2	20	10.4	46.2	-9.8	27.6	5.1	65.9	2489.5	3.7	500
Point	3	Αίγινα	3	19.4	22	14	41.2	-1	27.2	10.1	60.8	<Null>	3	380.9
Point	4	Αίγιο	4	18.1	22	11.7	44.1	-9.5	27.5	7.5	78.6	<Null>	3.1	649.1
Point	5	Αθήνας	5	18.1	21	14.8	39.2	-7.8	26.1	10.7	58.8	<Null>	3.7	613.1
Point	6	Αλιανόβρο	6	15	19	9.1	39	-14	24.9	2.4	67.6	2330	3.8	553.2
Point	7	Αλιερας	7	16.7	21	9.9	44.8	-11.8	29.1	4	62.5	2532	3.6	582.5
Point	8	Ανδρούσα	8	16.3	20	12.1	44.4	-6	26.8	7.3	62.5	<Null>	3.1	513.5
Point	9	Ανδραβίδα	9	17.2	2	11.3	39.8	-5	27	6	71.9	2795.6	3.2	805
Point	10	Ανιάρας	10	15.1	19	11.8	40.2	-4.4	26.8	6.8	66.4	<Null>	3.5	1077.4
Point	11	Αραβας	11	17.8	21	12.2	41.2	-3.8	27	6.9	68.9	2653.5	3.2	688.2
Point	12	Αράβουρα	12	13.2	17	7.8	39.4	-11	24.4	1.9	69.7	<Null>	2.9	500.9
Point	13	Αργολική	13	18.1	21	14.1	40.8	-0.4	25.7	9.9	69	2786.2	3.1	820
Point	14	Αρτα Πάλη	14	17.2	22	11.9	41	-7.2	27.7	6.9	67	2717.5	3.3	1084.6
Point	15	Αρτα Χαλκή	15	16.4	22	10.3	39.6	-7.8	27.3	4.5	70.4	2583.3	3.2	1064.7
Point	16	Αστρας	16	18.5	22	13.3	44	-4	28.7	8	60.9	<Null>	2.1	489.3
Point	17	Αστυπάλαι	17	18.2	21	13.5	40.2	-5	26	10.3	71.8	<Null>	3.4	<Null>
Point	18	Αυλιαντες	18	17.7	21	12.8	36.2	-1.8	25	9.1	70.7	<Null>	2.8	1728.6
Point	19	Βάρος	19	18.4	23	10.8	43	-2.8	29.1	8.9	63.3	<Null>	4	923
Point	20	Βέλο Κοριν	20	17.5	22	11.2	43.8	-3.2	27.9	6.5	65.5	2715.4	3.3	475.9
Point	21	Βόλος	21	17.1	2	12.6	44.2	-8.2	27.1	7.8	67.2	<Null>	3.3	420.4
Point	22	Βυθία	22	11.1	16	3.1	35	-15.8	22.5	-2.4	66	<Null>	3.7	1132.2
Point	23	Γέρης	23	18.5	23	12.6	45.2	-2.4	28.8	7.8	60.2	<Null>	2.8	529.5
Point	24	Γύφσο	24	18.4	2	12.3	41.6	-3	27	8.9	66.2	<Null>	2.1	790.6
Point	25	Δελφίνα	25	14.6	18	8.5	41.3	-9.4	24.9	2.8	61.3	<Null>	3.1	474.5
Point	26	Δελφολίσι	26	17.9	2	11.3	46	-5	28.4	6.4	62.9	<Null>	2.9	831.2
Point	27	Δολομίδες	27	14	17	9.8	39.4	-15	24.9	3.7	62.7	<Null>	3.5	571.4
Point	28	Δράμα	28	15.7	20	9.4	41.6	-13.8	26.2	3.9	66.3	<Null>	3.7	508.6
Point	29	Εδέσσα	29	14.8	19	10	37.8	-9	25.1	5	64.3	<Null>	3.6	540
Point	30	Ελευσίνα	30	18.3	22	13.2	48	-5	28.2	8	59.7	<Null>	3.2	372.9
Point	31	Ελληνικό	31	18.5	2	14.3	42	-3.2	26.9	9.3	60.5	2770.6	3.4	364.8
Point	32	Ζακύνθος	32	19.6	21	14.4	42.4	-0.1	26.2	10	69.1	<Null>	3.2	986.5
Point	33	Ζάκυνθος	33	17.9	22	12	42.2	-4	28.4	7	73.3	2517.4	3.2	774
Point	34	Ζάρος	34	17.4	21	12.2	42.4	-3.8	27.6	7.3	60	<Null>	2.2	790.7
Point	35	Ηράκλειο	35	18.7	21	14.7	42	0.2	28.5	10.3	63	2720.4	3.3	483.2



Σύνδεση ΣΓΠ με αρχεία και βάσεις δεδομένων

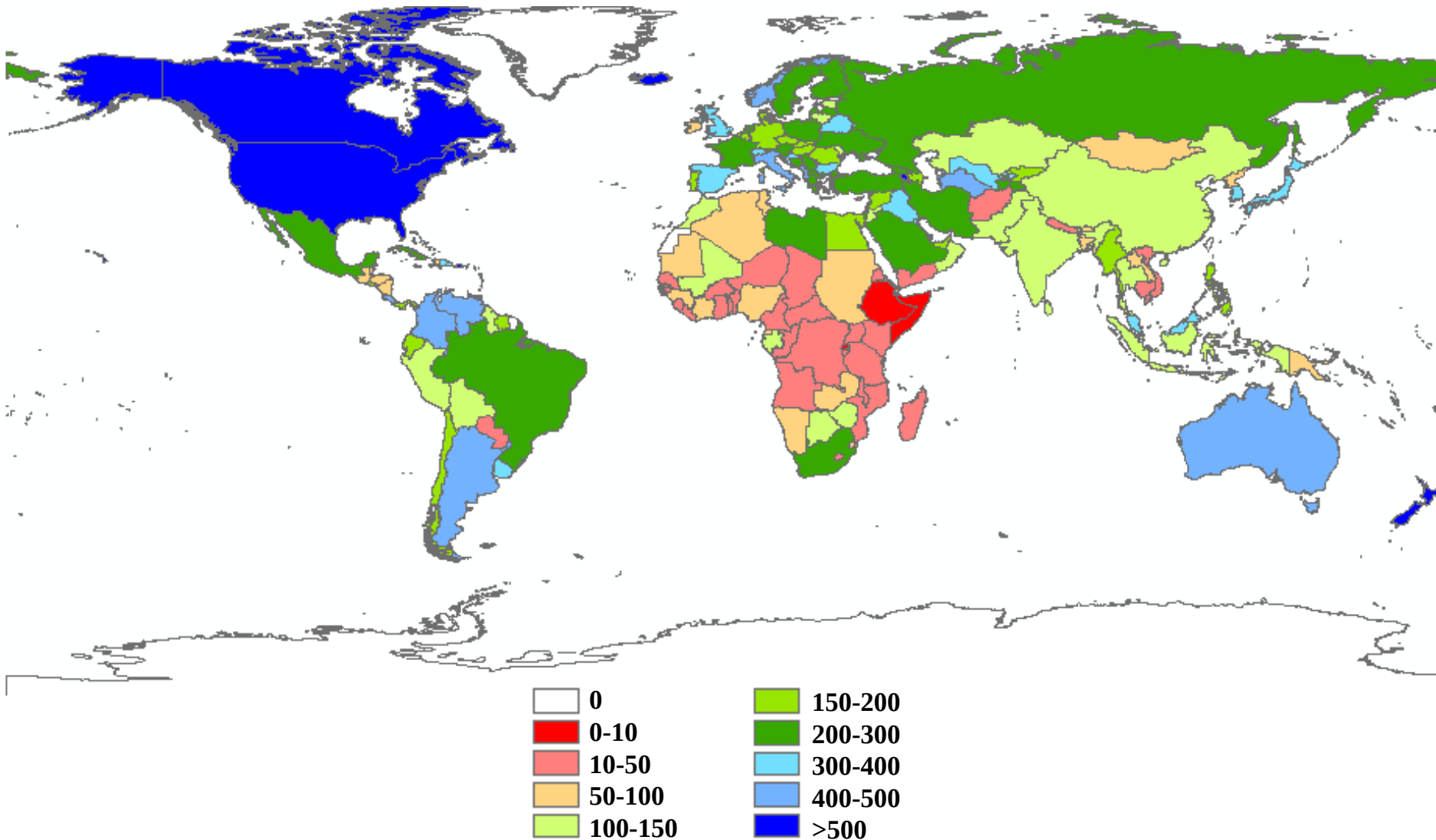
Οπτικοποίηση χωρικής κατανομής περιγραφικών δεδομένων



Σύνδεση ΣΓΠ με αρχεία και βάσεις δεδομένων

Οπτικοποίηση χωρικής κατανομής περιγραφικών δεδομένων

Κατανάλωση νερού για οικιακή χρήση (l/c/d)



4. Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής

Δημιουργία “υδρολογικά σωστού” ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων

Διεύθυνση ροής και συγκέντρωση ροής

Χάραξη λεκάνης απορροής

Δημιουργία υδρογραφικού δικτύου

Υψόμετρα, κλίσεις, προσανατολισμός

Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής

Δημιουργία “υδρολογικά σωστού” ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων

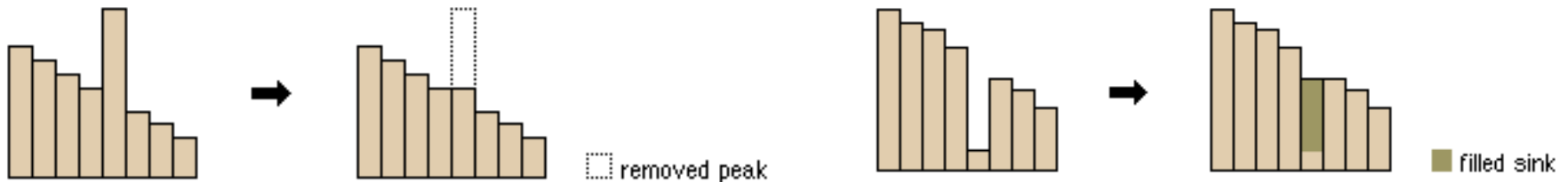
Οι υδρολογικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στα ΣΓΠ για τη δημιουργία λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου εφαρμόζονται σε ένα ψηφιδωτό (raster) υψομέτρων. Σε αυτό το πρωτογενές επίπεδο (Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων, ΨΜΥ, DEM) γίνονται οι απαραίτητες επεξεργασίες, ώστε να προκύψει ένα “υδρολογικά σωστό” ψηφιδωτό.

☐ Εύρεση κοιλοτήτων (sink) και κορυφών (peak)

Εφαρμόζεται στο ΨΜΥ και εντοπίζει τις ψηφίδες που έχουν χαμηλότερο ή μεγαλύτερο υψόμετρο και από τις οκτώ γειτονικές τους

☐ Εξάλειψη κοιλοτήτων (fill)

Εφαρμόζεται στο ΨΜΥ και εξαλείφει τις κοιλότητες και τις κορυφές



Πηγή σχημάτων: ESRI, ArcGIS Help

Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής

Διεύθυνση ροής και συγκέντρωση ροής

□ Διεύθυνση ροής (flow direction)

Εφαρμόζεται στο ψηφιδωτό υψομέτρων και υπολογίζει για κάθε ψηφίδα τη διεύθυνση όπου θα κατευθυνθεί η ροή

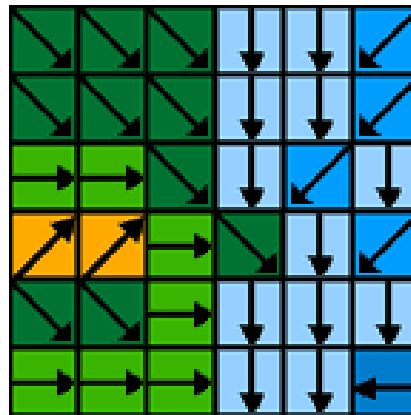
□ Συγκέντρωση ροής (flow accumulation)

Εφαρμόζεται στο ψηφιδωτό διεύθυνσης ροής και υπολογίζει για κάθε ψηφίδα τον αριθμό των ψηφίδων που απορρέουν σε αυτήν

Υψόμετρα

78	72	69	71	58	49
74	67	56	49	46	50
69	53	44	37	38	48
64	58	55	22	31	24
68	61	47	21	16	19
74	53	34	12	11	12

Διεύθυνση ροής



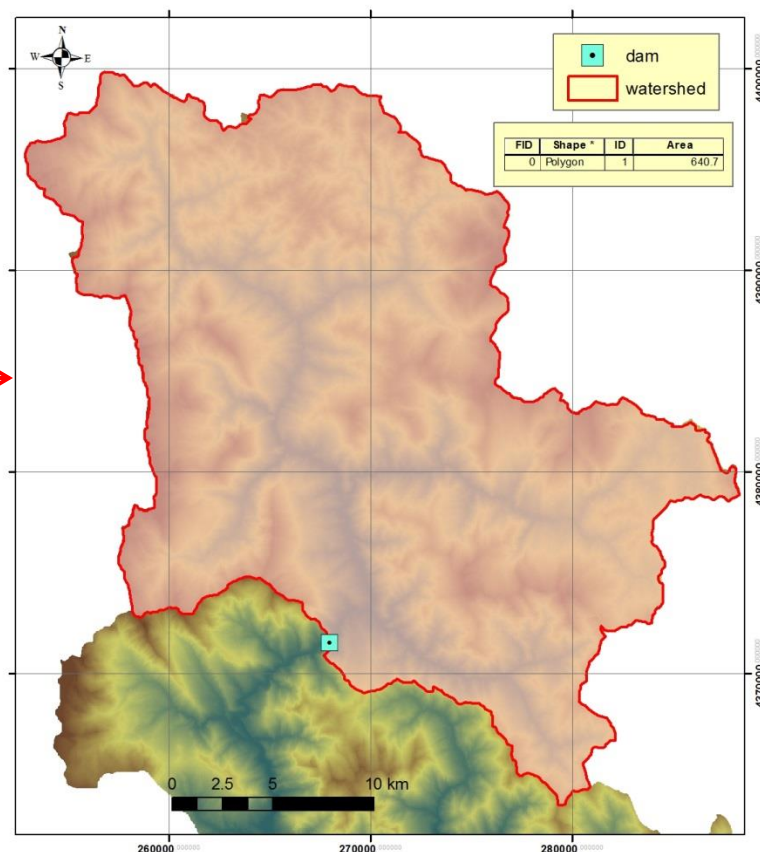
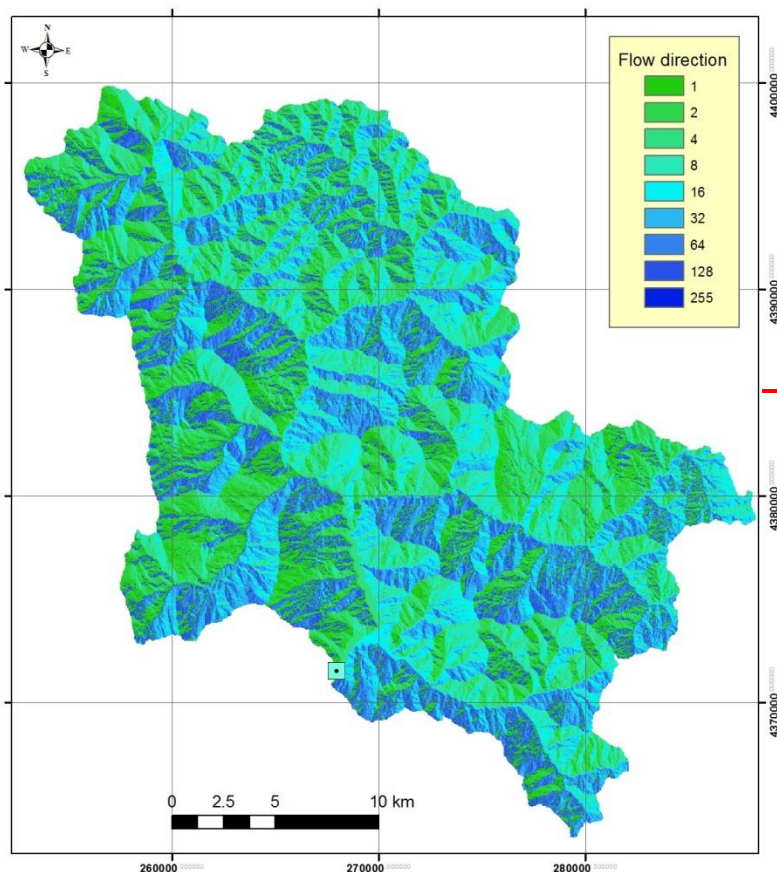
Συγκέντρωση ροής

0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής

Χάραξη λεκάνης απορροής

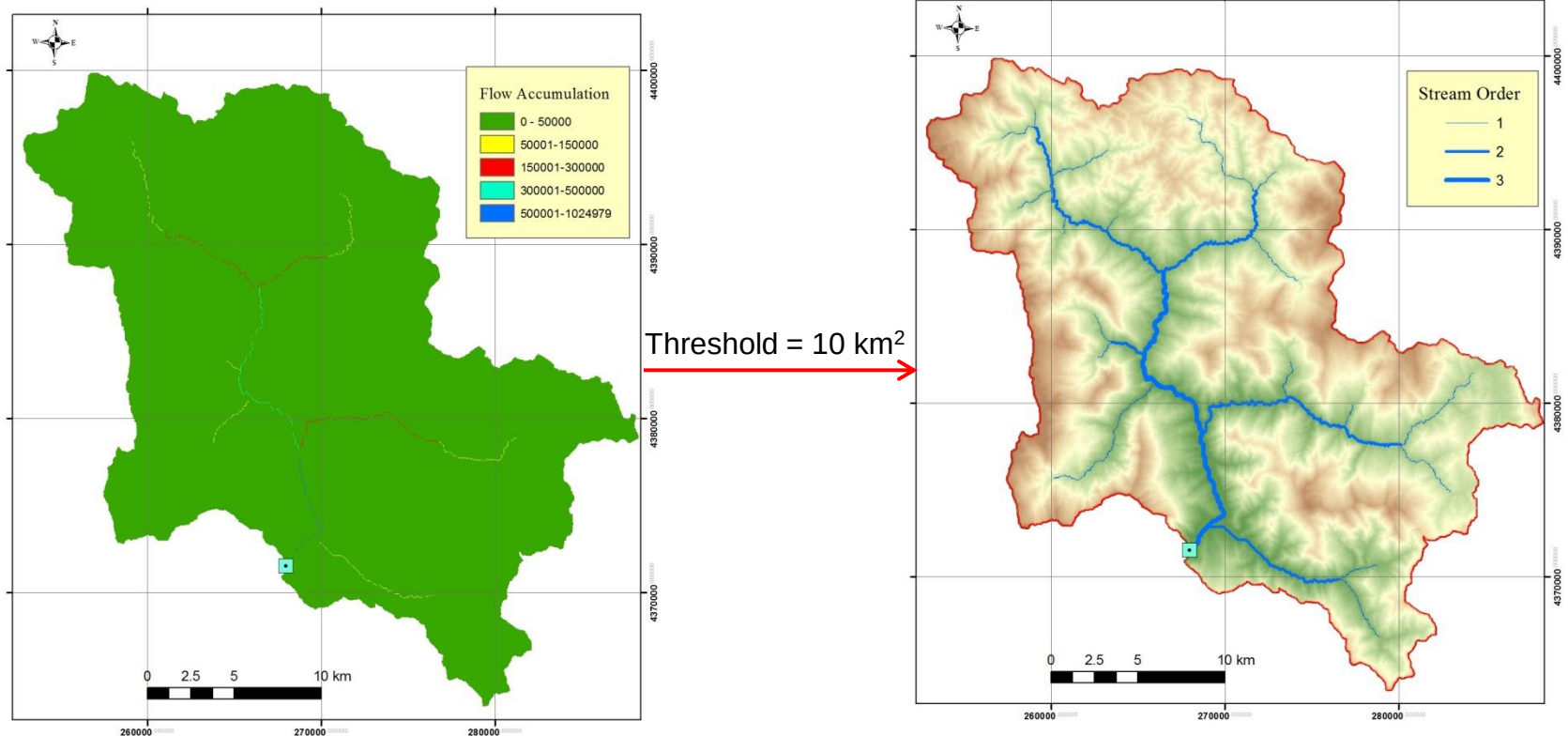
Προσδιορίζονται σημεία στο χώρο και δημιουργούνται οι ανάντη λεκάνες απορροής (watershed) με βάση τη διεύθυνση ροής



Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής

Δημιουργία υδρογραφικού δικτύου

Το υδρογραφικό δίκτυο δημιουργείται από το επίπεδο συγκέντρωσης ροής με ορισμό του ελάχιστου αριθμού (κατώφλι) ψηφίδων που επιλέγεται για τον σχηματισμό υδατορεύματος



Γεωμορφολογικά μεγέθη λεκάνης απορροής

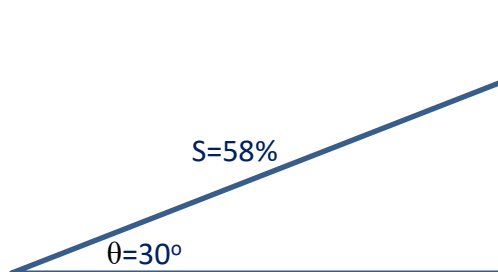
Υψόμετρα, κλίσεις, προσανατολισμός

Μοίρες κλίσης (degrees)

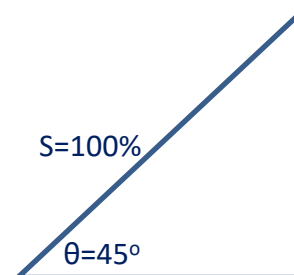
$$\tan(\theta)=h/d$$

Ποσοστό κλίσης (percent)

$$P(\%)=(h/d)*100$$



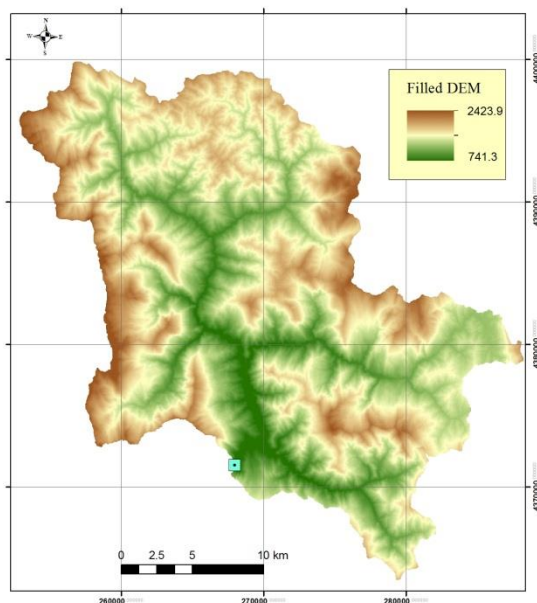
Υψομετρική
διαφορά (h)



Απόσταση (d)

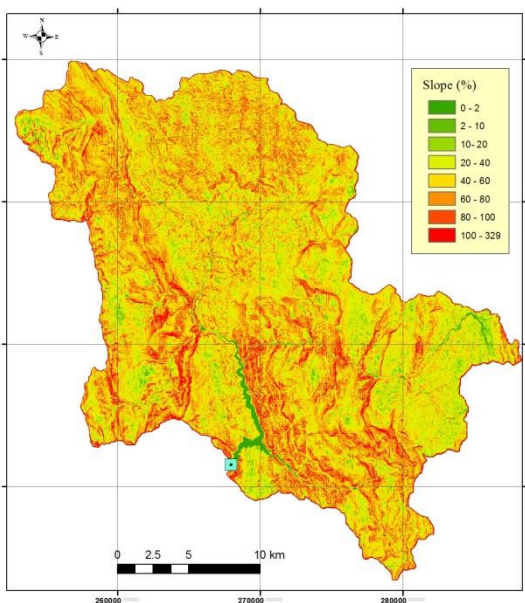
Ψηφιδωτό υψομέτρων

Μέσο υψόμετρο: 1403.26 m



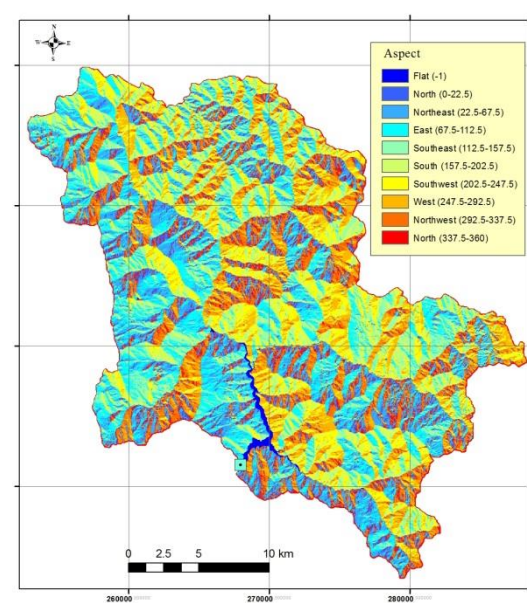
Ψηφιδωτό κλίσης (%)

Μέση κλίση: 51.1 %



Ψηφιδωτό προσανατολισμού (°)

Μέσος προσανατολισμός: 170.2°



5. Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Πολύγωνα Thiessen

Μέθοδοι ψηφιδωτής διαμέρισης

- Γενικά
- Μεθοδολογία
- Παράμετροι
- Πλεονεκτήματα

Μέθοδος σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων

Ισοτιμικές καμπύλες

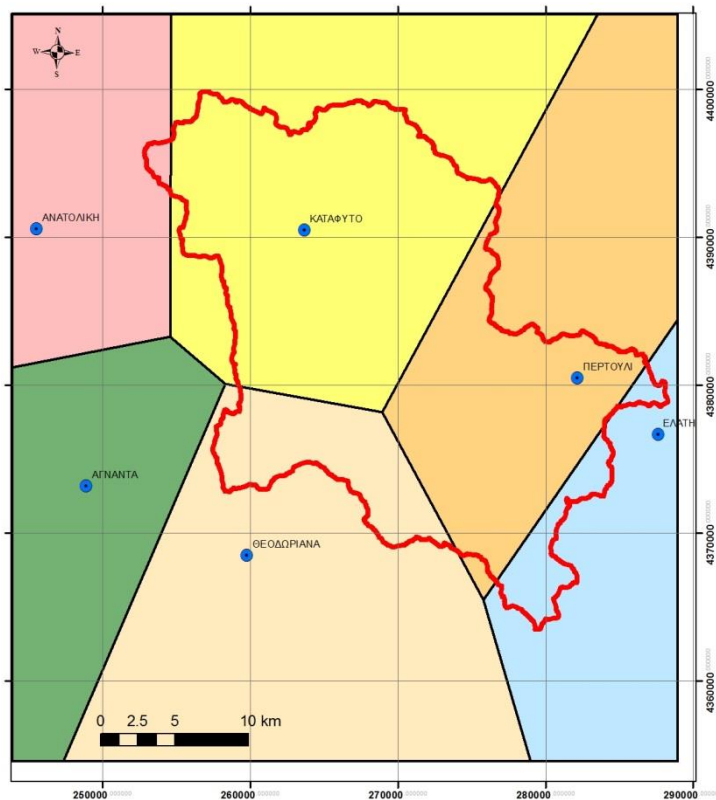
Γεωστατιστική

Χωρική μεταβλητότητα- ημιμεταβλητόγραμμα

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Πολύγωνα Thiessen

Υπολογίζεται το βάρος κάθε σταθμού, δηλαδή η έκταση της επιφάνειας που βρίσκεται πλησιέστερα σε κάθε σταθμό, προς τη συνολική έκταση της λεκάνης. Το άθροισμα των βαρών ισούται με 1.



Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Μέθοδοι ψηφιδωτής διαμέρισης - Γενικά

- ❑ Οι σημειακές τιμές που ολοκληρώνονται σε επιφάνεια μπορεί να είναι στιγμιαίες, μέσες ή αθροιστικές για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια
- ❑ Η περιοχή ολοκλήρωσης διαμερίζεται σε στοιχειώδεις ψηφίδες και υπολογίζεται η τιμή της μεταβλητής που αντιστοιχεί στο κέντρο κάθε ψηφίδας. Η τιμή στην επιφάνεια προκύπτει, ως ο μέσος όρος των τιμών όλων των ψηφίδων
- ❑ Οι μέθοδοι διακρίνονται σε ακριβούς παρεμβολής (**exact interpolation**) και εξομάλυνσης (**smoothing**), ανάλογα με το αν η επιφάνεια διατηρεί ή όχι τις μετρημένες σημειακές τιμές
- ❑ Μία άλλη κατηγοριοποίηση διαχωρίζει τις μεθόδους σε στατιστικές-στοχαστικές (**statistical-stochastic**) και προσδιοριστικές (**deterministic**). Οι πρώτες βασίζονται στην αρχή της μείωσης των σφαλμάτων παρεμβολής ενώ οι δεύτερες παράγουν επιφάνειες με την χρήση μαθηματικών σχέσεων (πολυώνυμα κλπ). Πλεονέκτημα των στατιστικών μεθόδων είναι ότι υπολογίζουν το σφάλμα παρεμβολής σε κάθε σημείο.

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Μέθοδοι ψηφιδωτής διαμέρισης - Μεθοδολογία

- Οι τιμές της μεταβλητής σε κάθε στοιχείο του ψηφιδωτού υπολογίζονται από τις μετρημένες τιμές με βάση τη σχέση:

$$P_n = \sum_{k=1}^K a_{nk} P_k$$

όπου: P_n η υπολογισμένη βροχόπτωση στο n στοιχείο

P_k η μετρημένη βροχόπτωση στο σημείο k

a_{nk} το βάρος του σταθμού k για τον υπολογισμό του σημείου n και

K ο συνολικός αριθμός των σημείων μέτρησης.

Οι περισσότερες μεθοδολογίες ορίζουν το άθροισμα των βαρών a_{nk} ίσο με τη μονάδα

- Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση P δίδεται από τις υπολογισμένες τιμές του ψηφιδωτού από τη σχέση:

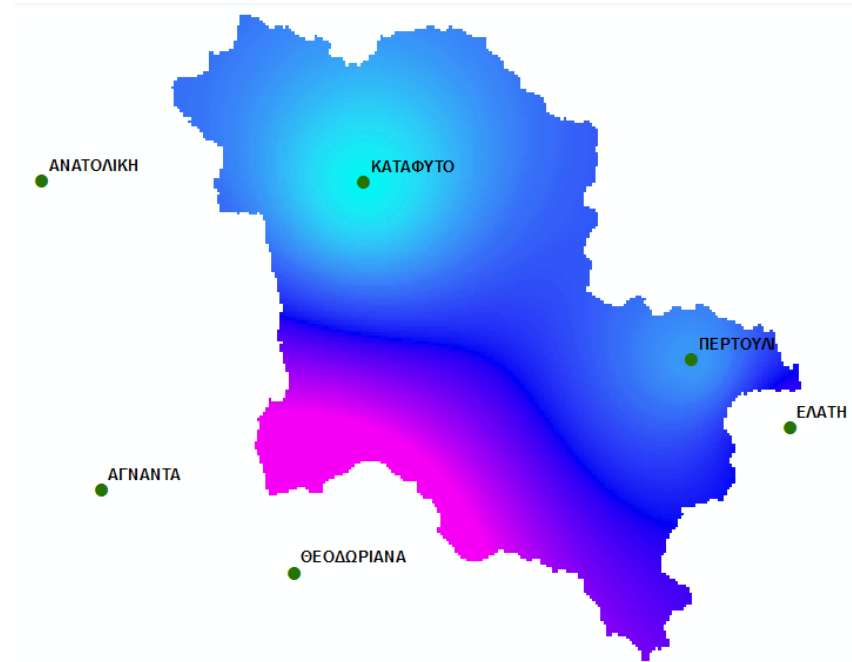
$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n$$

όπου: N ο συνολικός αριθμός των στοιχείων του ψηφιδωτού

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Μέθοδοι ψηφιδωτής διαμέρισης - Παράμετροι

- ❑ **Διάσταση στοιχειώδους επιφάνειας.** Συνήθως λαμβάνεται από $1/2$ έως $1/10$ της μέσης απόστασης μεταξύ των σημείων μέτρησης
- ❑ **Προσδιορισμός σημείων επιρροής κάθε ψηφίδας.** Η επιλογή των σημείων που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό γίνεται με δύο μεθόδους: (α) στον υπολογισμό της τιμής συμμετέχουν τα σημεία που βρίσκονται μέσα σε μια προκαθορισμένη και σταθερή ακτίνα και (β) ορίζεται ένας σταθερός αριθμός των πλησιέστερων σημείων που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της τιμής
- ❑ **Οπτικοποίηση επιφανειών.** Γίνεται αντιστοίχιση μιας χρωματικής κλίμακας σε προσδιορισμένες κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής. Στη συνέχεια παράγεται ένας χάρτης γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής, όπου η κάθε ψηφίδα έχει το χρώμα που αντιστοιχεί στην τιμή του. Οι χρωματικές κλίμακες διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: (α) αυτές που περιλαμβάνουν διαφορετικές αποχρώσεις του ίδιου χρώματος και συνήθως η απόχρωση σκουραίνει όσο οι τιμές της μεταβλητής μεγαλώνουν και (β) αυτές που περιλαμβάνουν διαφορετικά χρώματα (συνήθως δύο ή τρία).



Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Μέθοδοι ψηφιδωτής διαμέρισης - Πλεονεκτήματα

- ❑ Άμεση δημιουργία της επιφάνειας της μεταβλητής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ανεξάρτητα από την έλλειψη ορισμένων σημειακών μετρήσεων (ωστόσο οι ελλείψεις αυτές προκαλούν μείωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων)
- ❑ Καλύτερη αντίληψη της γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής, με τη βοήθεια της χρωματικής απεικόνισης και δυνατότητα άμεσου εντοπισμού περιοχών με ιδιαίτερο κλιματικό καθεστώς (υγρό, θερμό, κλπ.)
- ❑ στα σημεία της επιφάνειας όπου δεν υπάρχουν σημειακές μετρήσεις στατιστικής επεξεργασίας πολλών τέτοιων κανάβων που αφορούν στην ίδια μεταβλητή και χρονικό βήμα
- ❑ Δυνατότητα χειρισμού των ψηφιδωτών σε συνδυασμό με άλλες επιφάνειες της ίδιας διακριτότητας που αφορούν μορφολογικά, εδαφολογικά ή γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής με σκοπό τη δημιουργία μοντέλων βροχής-απορροής ή υδρογραφημάτων

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Μέθοδος σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων

Η παρεμβολή γίνεται με τη σχέση:

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_2 + \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} h_N$$

όπου :

h η τιμή της μεταβλητής στη ζητούμενη θέση

N ο αριθμός των σημείων που συμμετέχουν

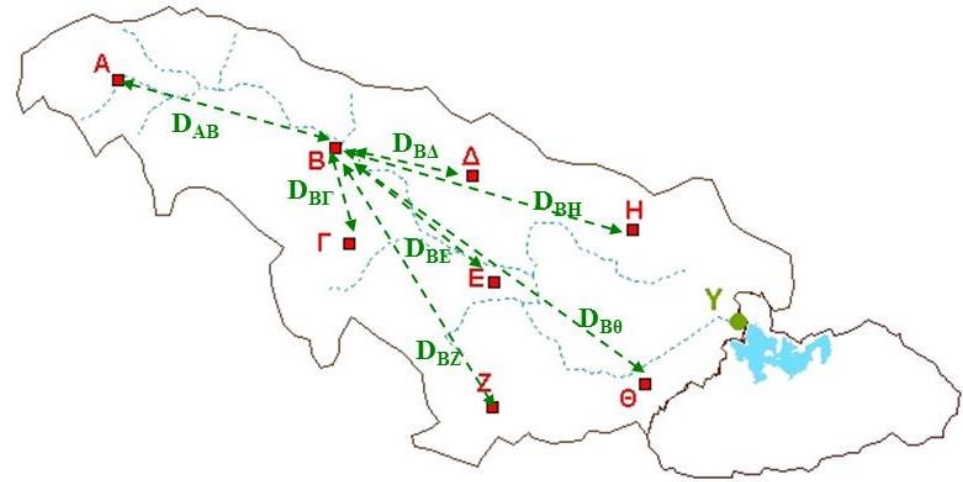
$h_1, h_2, h_3, \dots, h_N$ οι σημειακές μετρήσεις στα σημεία 1, 2, 3, ..., N

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_N$ οι αποστάσεις του κυττάρου από τα σημεία 1, 2, 3, ..., N

k ο συντελεστής επιρροής της απόστασης

Η τιμή του εκθέτη k συνήθως λαμβάνεται 1 ή 2.

Εκτίμηση τιμής σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου



P : βροχόπτωση (σε mm)

D : απόσταση μεταξύ σταθμών (σε m)

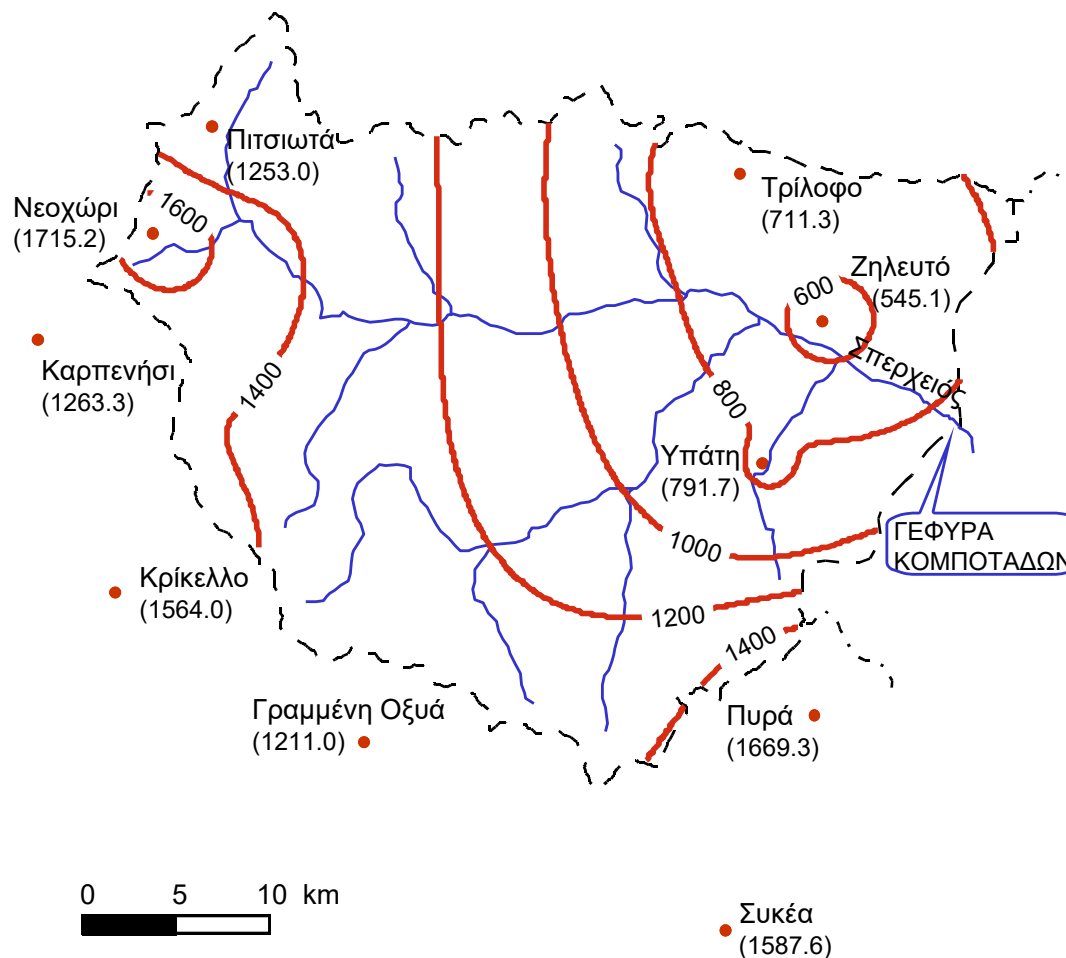
k : 2

$$P_B = \frac{1/D_{AB}^2}{\sum D} * P_A + \frac{1/D_{\Gamma B}^2}{\sum D} * P_{\Gamma} + \frac{1/D_{\Delta B}^2}{\sum D} * P_{\Delta} + \frac{1/D_{EB}^2}{\sum D} * P_E + \frac{1/D_{ZB}^2}{\sum D} * P_Z + \frac{1/D_{HB}^2}{\sum D} * P_H + \frac{1/D_{\Theta B}^2}{\sum D} * P_{\Theta}$$

$$\sum D = \frac{1}{D_{AB}^2} + \frac{1}{D_{\Gamma B}^2} + \frac{1}{D_{\Delta B}^2} + \frac{1}{D_{EB}^2} + \frac{1}{D_{ZB}^2} + \frac{1}{D_{HB}^2} + \frac{1}{D_{\Theta B}^2}$$

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Ισοτιμικές καμπύλες



Μέσες ετήσιες ισοϋέτιες καμπύλες της λεκάνης Σπερχειού ανάντη Γ. Κομποτάδων
(Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997)

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Γεωστατιστική

Με τον όρο **γεωστατιστική** ορίζεται ένα σύνολο στατιστικών τεχνικών που σχετίζονται με μεταβλητές που μεταβάλλονται στο χώρο. Οι τεχνικές αυτές βασίζονται στην υπόθεση ότι η χωρική διακύμανση της μεταβλητής είναι τυχαία, οπότε χρησιμοποιούν στατιστικές μεθοδολογίες για οποιαδήποτε εκτίμηση προκύπτει από τις σημειακές μετρήσεις της μεταβλητής.

Σημαντικό **πλεονέκτημα των γεωστατιστικών μεθόδων** είναι ότι ποσοτικοποιούν και τελικά ελαχιστοποιούν το σφάλμα εκτίμησης. Ωστόσο, οι μέθοδοι είναι αρκετά πολύπλοκες στην εφαρμογή τους, η οποία προϋποθέτει και χρήση κατάλληλων υπολογιστικών προγραμμάτων.

Η γεωστατιστική ανάλυση περιλαμβάνει δύο κύριες φάσεις:

- (α) την χωρική ανάλυση που περιλαμβάνει την επιλογή και προσαρμογή ενός μοντέλου που περιγράφει την χωρική μεταβλητότητα των σημειακών μετρήσεων, και
- (β) την βέλτιστη γραμμική αμερόληπτη εκτίμηση (best linear unbiased estimation-BLUE) που σχετίζεται με τον υπολογισμό των εκτιμητριών των αγνώστων ως γραμμικών συναρτήσεων των μετρήσεων. Οι εκτιμήτριες είναι αμερόληπτες, έχουν την ελάχιστη μεταβλητότητα, ενώ για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιείται η μοντελοποίηση της χωρικής μεταβλητότητας.

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Χωρική μεταβλητότητα- ημιμεταβλητόγραμμα

Η ανάλυση με την κατάρτιση ημιμεταβλητογράμματος εφαρμόζεται στην περίπτωση που διατίθενται σημειακές μετρημένες τιμές της μεταβλητής $z(\mathbf{x})$, όπου το $\mathbf{x}$ συμβολίζει ένα διανυσματικό σύστημα δύο διαστάσεων.

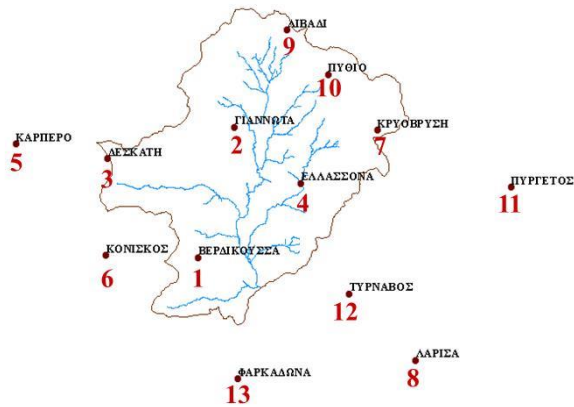
Σε ένα πλήθος n σημειακών μετρήσεων στο χώρο μπορούν να υπολογιστούν $n(n-1)/2$ ζεύγη από τη διαφορά $[z(\mathbf{x}_i) - z(\mathbf{x}_j)]^2$ και την απόσταση $|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j|$. Η σχεδίαση της διαφοράς αυτής συναρτήσει της απόστασης, είναι το **πρωτογενές (raw)** ημιμεταβλητόγραμμα.

Για κατάρτιση του **πειραματικού (experimental)** ημιμεταβλητογράμματος απαιτείται η κατάτμηση του άξονα των αποστάσεων σε διαδοχικά διαστήματα. Το k διάστημα είναι $[h1_k, h2_k]$ και περιέχει N_k ζεύγη τιμών $z(\mathbf{x}_i)$ και $z(\mathbf{x}_j)$ για τα οποία ισχύει $h1_k < |\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j| < h2_k$. Για κάθε διάστημα υπολογίζεται η παράσταση:

$$\gamma(h_k) = \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} [z(x_i) - z(x_j)]^2$$

όπου: i ο αριθμός των ζευγών που ανήκουν στο διάστημα. Το ημιμεταβλητόγραμμα σχεδιάζεται με βάση τις τιμές της γ ενώ το κάθε διάστημα $[h1_k, h2_k]$ αντιπροσωπεύεται από την τιμή $(h2_k - h1_k)/2$.

Χωρική μεταβλητότητα- ημιμεταβλητόγραμμα

[illegible]

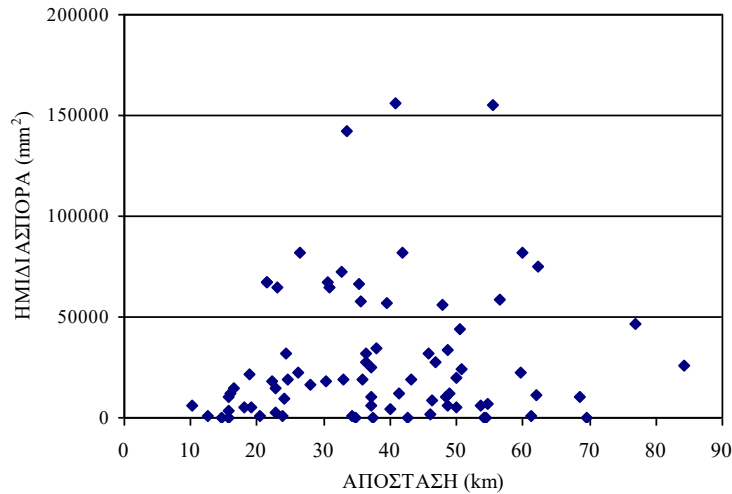
ΣΤΑΘΜΟΣ	X (m)	Y (m)	ΕΤΟΣ
ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ	327102	4405255	813,3
ΓΙΑΝΝΩΤΑ	333296	4427329	558,9
ΔΕΣΚΑΤΗ	311800	4422012	692,6
ΕΛΑΣΣΟΝΑ	344494	4417838	554,8
ΚΑΡΠΕΡΟ	296193	4424528	634,3
ΚΟΝΙΣΚΟΣ	311401	4405624	812,8
ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ	357491	4426838	656,6
ΛΑΡΙΣΑ	363919	4387859	418,5
ΛΙΒΑΔΙ	342182	4443797	704,5
ΠΥΘΙΟ	349135	4436253	628,5
ΠΥΡΓΕΤΟΣ	380116	4417196	795,6
ΤΥΡΝΑΒΟΣ	352688	4399169	527,0
ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	333800	4384747	553,5

[illegible]

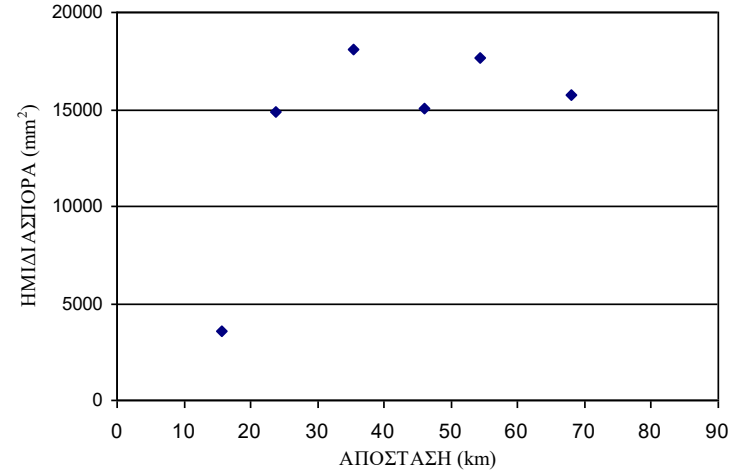
Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών μετρήσεων

Χωρική μεταβλητότητα- ημιμεταβλητόγραμμα

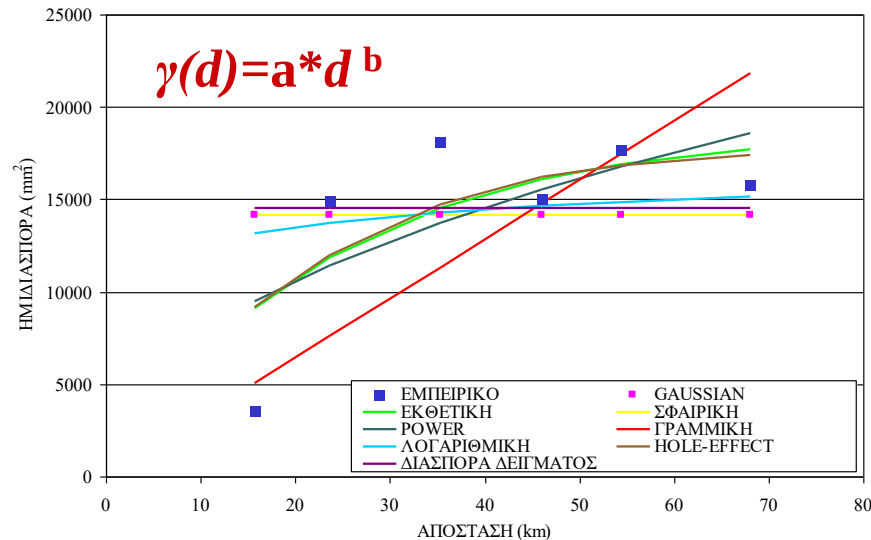
Πρωτογενές (raw)



Πειραματικό (experimental)



Προσαρμογή συναρτήσεων ημιδιασποράς $\gamma(d)$ με την απόσταση d



6. Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Βασικά μεγέθη

Παράγοντες που επιδρούν στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία

Άμεση – διάχυτη ακτινοβολία

Γωνία πρόσπτωσης ηλιακών ακτινών

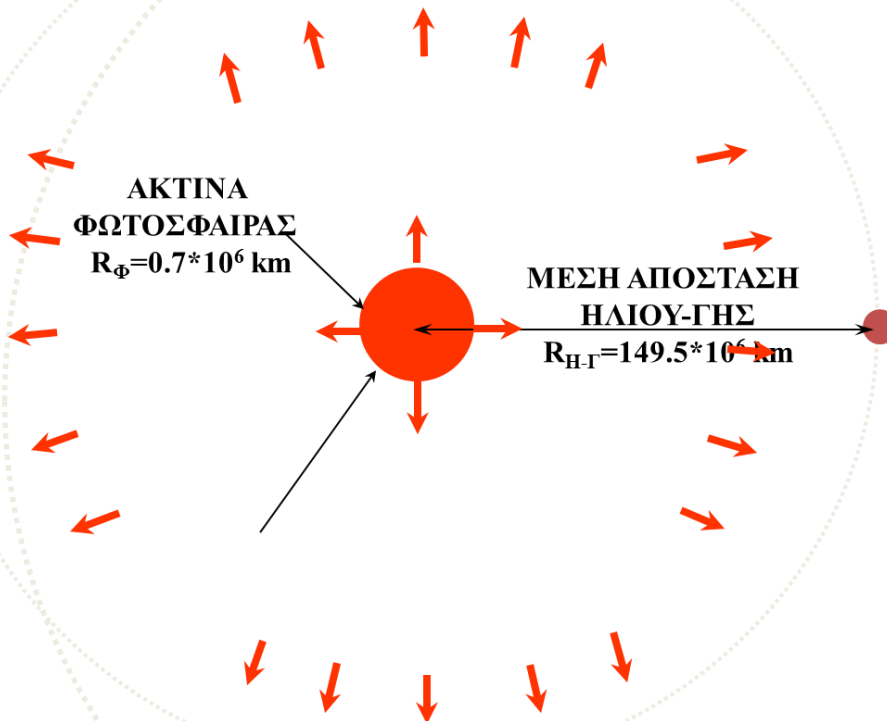
Επίδραση αναγλύφου στη γωνία πρόσπτωσης

Δυνητική ηλιακή ακτινοβολία

Ηλιακή ακτινοβολία και ώρες ηλιοφάνειας - Εφαρμογή

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Βασικά μεγέθη



ΙΣΧΥΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

$$I_H = E N_{\Gamma} \cdot E \Pi_{\Gamma-H} = 3.9 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑ

$$E N_{\Phi} = I_H / E \Pi_{\Phi} = 6.3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑΣ

$$E N_{\Phi} = \sigma \cdot T^4, T \approx 5780 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗ ΓΗ (ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ)

$$E N_{\Gamma} = 1367 \text{ W/m}^2$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΦΑΙΡΑΣ

$$E \Pi_{\Gamma-H} = 4 \cdot \pi \cdot R_{H-\Gamma}^2 = 2.8 \cdot 10^{17} \text{ km}^2$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΦΩΤΟΣΦΑΙΡΑΣ

$$E \Pi_{\Phi} = 4 \cdot \pi \cdot R_{\Phi}^2 = 6.2 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$$

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Παράγοντες που επιδρούν στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία



Εξερχόμενη ηλιακή ενέργεια

Εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα

Υψόμετρο ηλίου

Εξαρτάται από το χρόνο (ώρα, ημέρα) και το γεωγραφικό πλάτος

Ηλιοφάνεια

Εξαρτάται από τη νεφοκάλυψη και τη δομή της ατμόσφαιρας

**Απόσταση
Γης - Ηλίου**

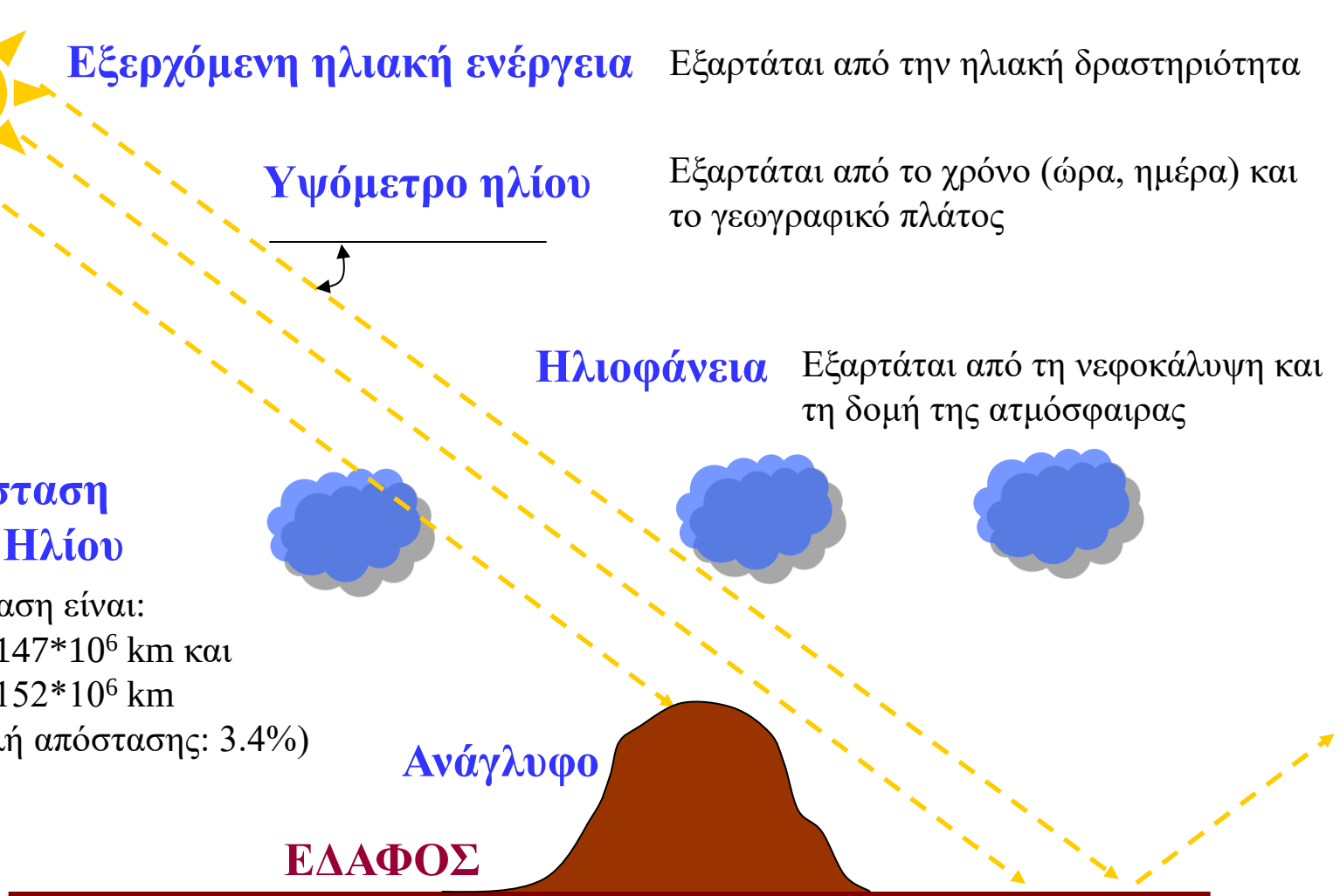
Η απόσταση είναι:
στις 3/1 $147 \cdot 10^6$ km και
στις 4/7 $152 \cdot 10^6$ km
(μεταβολή απόστασης: 3.4%)

Ανάγλυφο

ΕΔΑΦΟΣ

Ανακλαστικότητα επιφάνειας

Εξαρτάται από την επιφάνεια (νερό: 0.06, έδαφος: 0.25, χιόνι: 0.95)

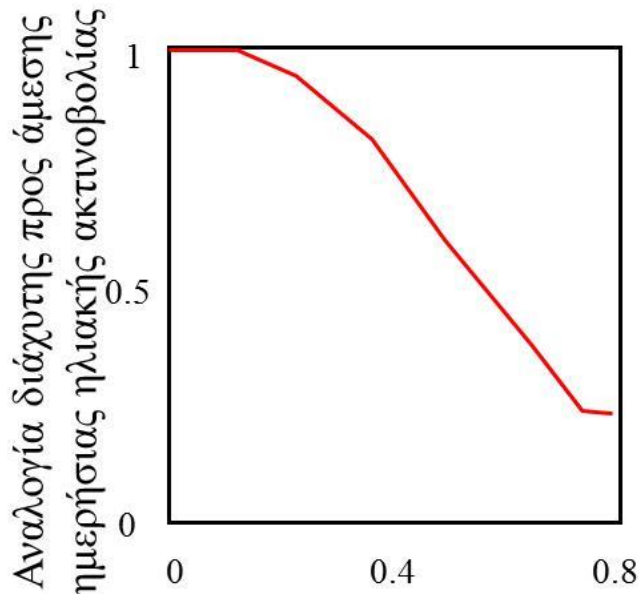


Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Άμεση – διάχυτη ακτινοβολία

Άμεση (direct): Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς να σκεδαστεί στην ατμόσφαιρα
Εξαρτάται από:

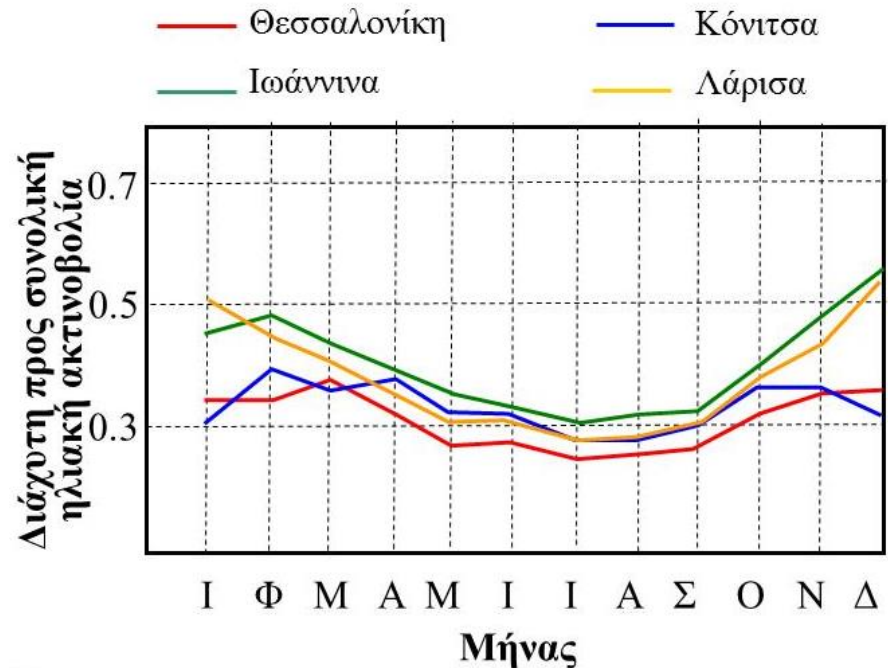
- ❑ Τη διαπερατότητα της ατμόσφαιρας
- ❑ το ύψος του ηλίου
- ❑ την απόσταση του ηλίου
- ❑ το υψόμετρο της θέσης
- ❑ την κλίση της επιφάνειας



Διαπερατότητα της ατμόσφαιρας

Διάχυτη (diffuse): Η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνση της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα.
Εξαρτάται εκτός από τα προηγούμενα και από:

- ❑ την ανακλαστικότητα του εδάφους
- ❑ το ποσό και το είδος των νεφών
- ❑ τη σύνθεση των σωματιδίων και των αερίων της ατμόσφαιρας



Πηγή: B. D. Katsoulis, A Comparison of Several Diffuse Solar Radiation, Theor. Appl. Climatol. 44, 181-186 (1991)

Εκκεντρότητα – ύψος - αζιμούθιο

Diagram illustrating Earth's elliptical orbit around the Sun. The Sun is at one focus, and Earth is shown at two positions: 4 July (left) and 3 January (right). The distances from the Sun to Earth are labeled as $D_1 \approx 152 \times 10^6 \text{ km}$ and $D_2 \approx 147 \times 10^6 \text{ km}$ respectively. The diagram also shows the Sun's radiation field, with arrows indicating the direction of radiation, and the Earth's position relative to the Sun's radiation field.

$$d = (D_{mean}/D_j)^2$$

D_j η απόσταση γης - ηλίου την ημέρα J

21 Μαρτίου
Ημέρα 80

(40° N, 80, 12)

(40° N, 355, 12)

(40° N, 355, 17)

(40° N, 80, 18)

(40° N, 172, 19)

21 Ιουνίου
Ημέρα 172

W

S

N

21 Δεκεμβρίου
Ημέρα 355

(40° N, 355, 8)

(40° N, 80, 7)

(40° N, 172, 6)

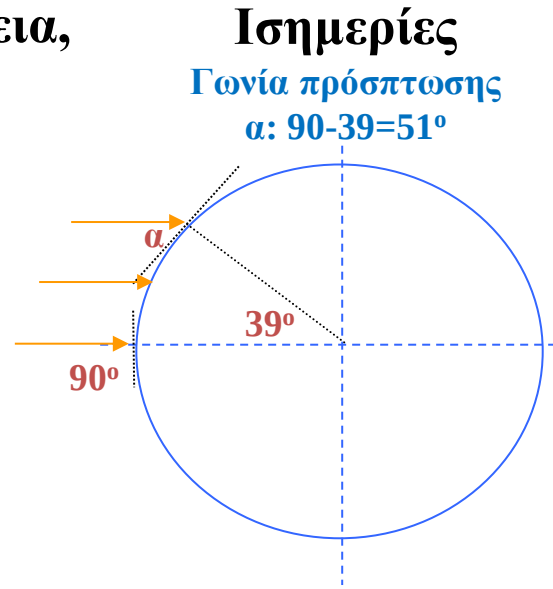
E

- Γεωγραφικό πλάτος
- Ημέρας
- Ώρα της ημέρας

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

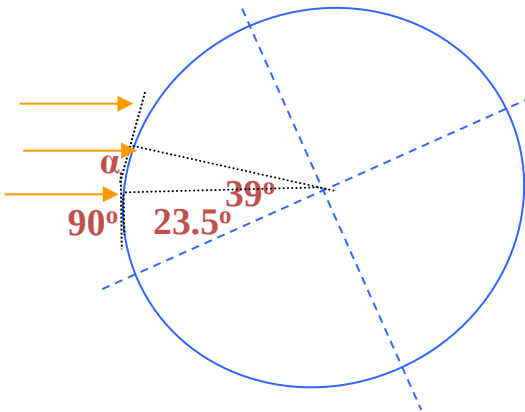
Γωνία πρόσπτωσης ηλιακών ακτινών

Μεσημέρι, επίπεδη επιφάνεια,
γεωγραφικό πλάτος 39°



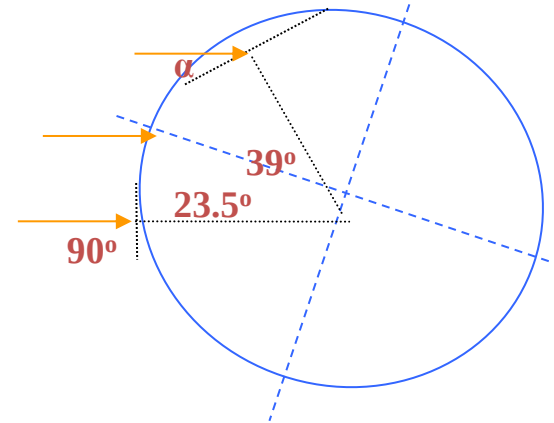
Θερινό ηλιοστάσιο

Γωνία πρόσπτωσης
 $\alpha: 90-(39-23.5)=73.5^\circ$



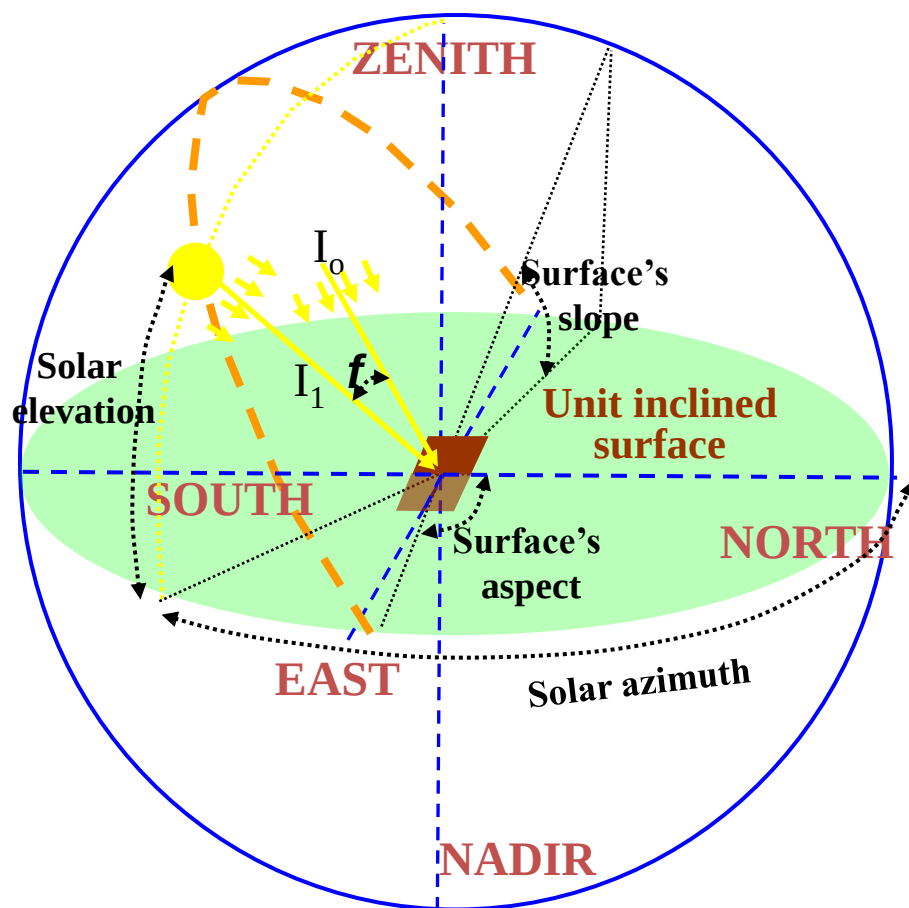
Χειμερινό ηλιοστάσιο

Γωνία πρόσπτωσης
 $\alpha: 90-(39+23.5)=27.5^\circ$



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Παράγοντες που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας



Αζιμούθιο ηλίου (Solar azimuth, azm)

Η γωνία μεταξύ: (α) του επιπέδου που περνάει από τον ήλιο, τον παρατηρητή και το zenith του και (β) της γραμμής που συνδέει τον παρατηρητή και το Βορρά. Η γωνία μετριέται από το Βορρά στη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες (0-360).

Υψόμετρο ηλίου (Solar elevation, elv)

Η γωνία μεταξύ: (α) της γραμμής του ορίζοντα του παρατηρητή και (β) της γραμμής που συνδέει τον παρατηρητή και τον ήλιο. Η γωνία μετριέται από τον ορίζοντα προς τα πάνω σε μοίρες (0-90).

Κλίση επιφάνειας (Surface Slope, Slp)

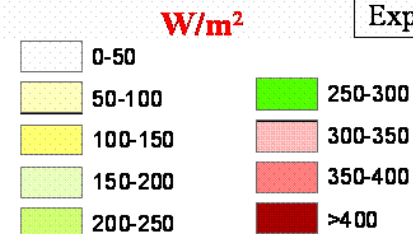
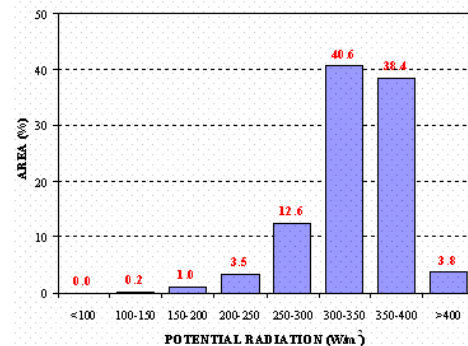
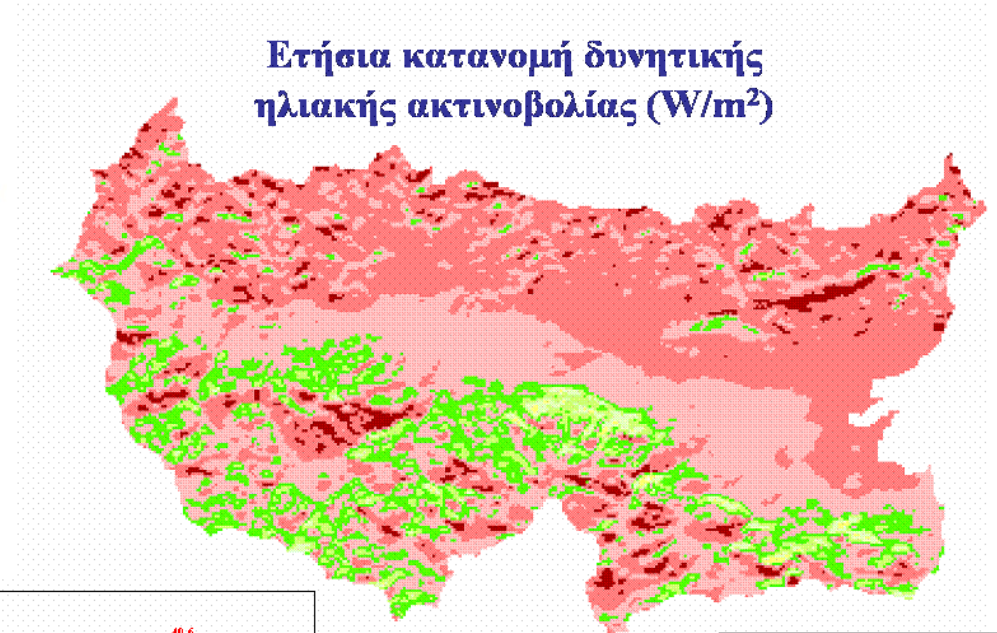
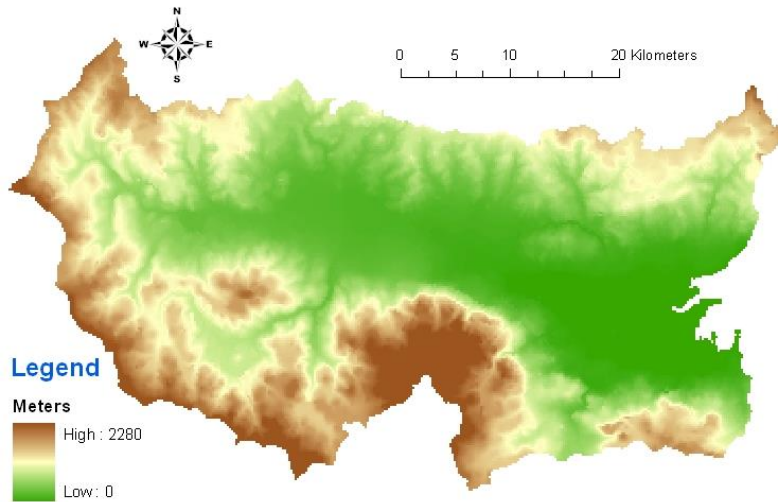
Η κλίση της επιφάνειας είναι η μεγαλύτερη κλίση από κάθε ψηφίδα προς τις οκτώ γειτονικές της. Η γωνία μετριέται σε μοίρες (0-90).

Προσανατολισμός επιφάνειας (Surface Aspect, Asp)

Η διεύθυνση που 'βλέπει' κάθε ψηφίδα. Η γωνία μετριέται από το Βορρά στη φορά των δεικτών του ρολογιού σε μοίρες (0-360).

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Επίδραση αναγλύφου στη γωνία πρόσπτωσης

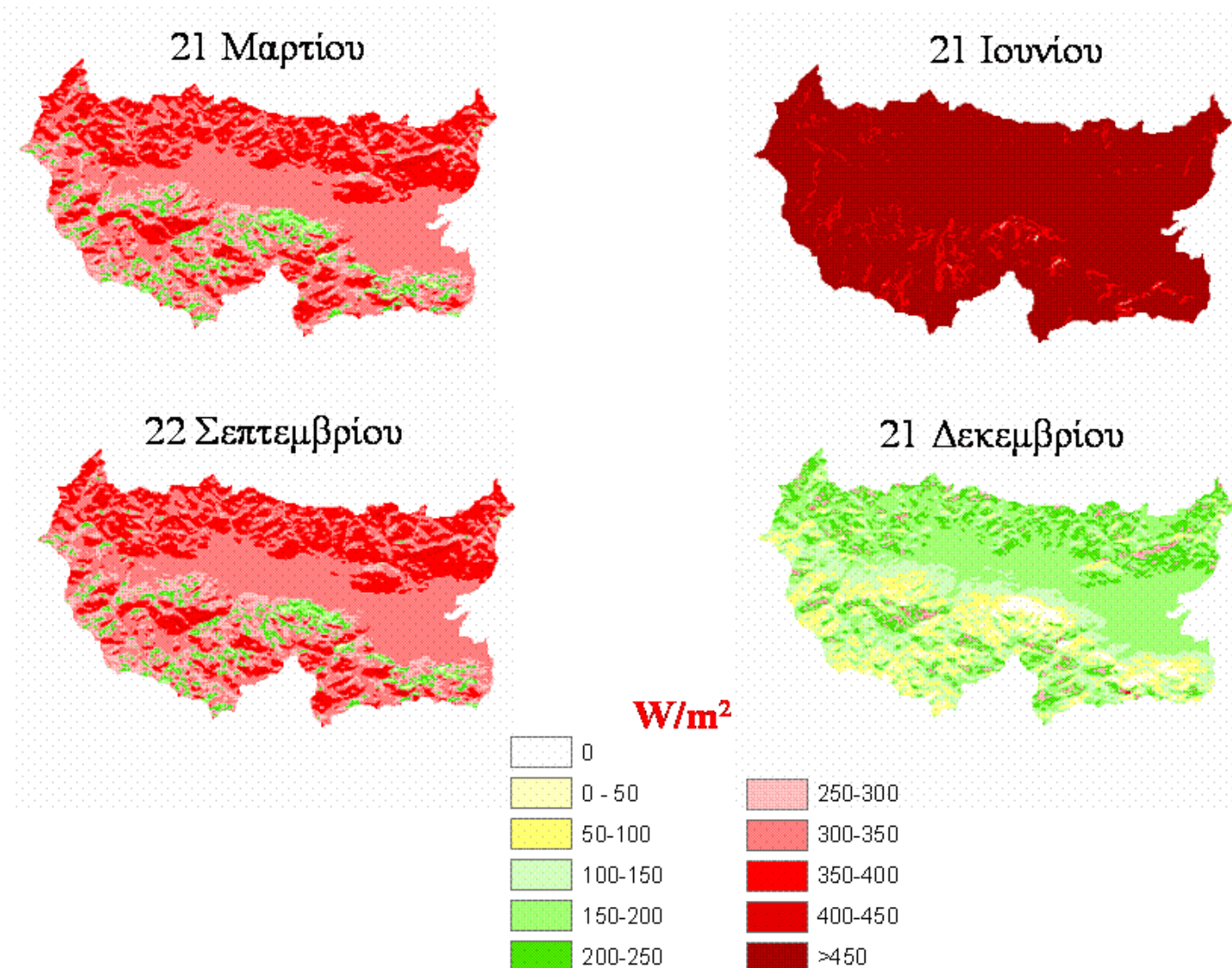


Calculated mean: 323
Expected mean: 334

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

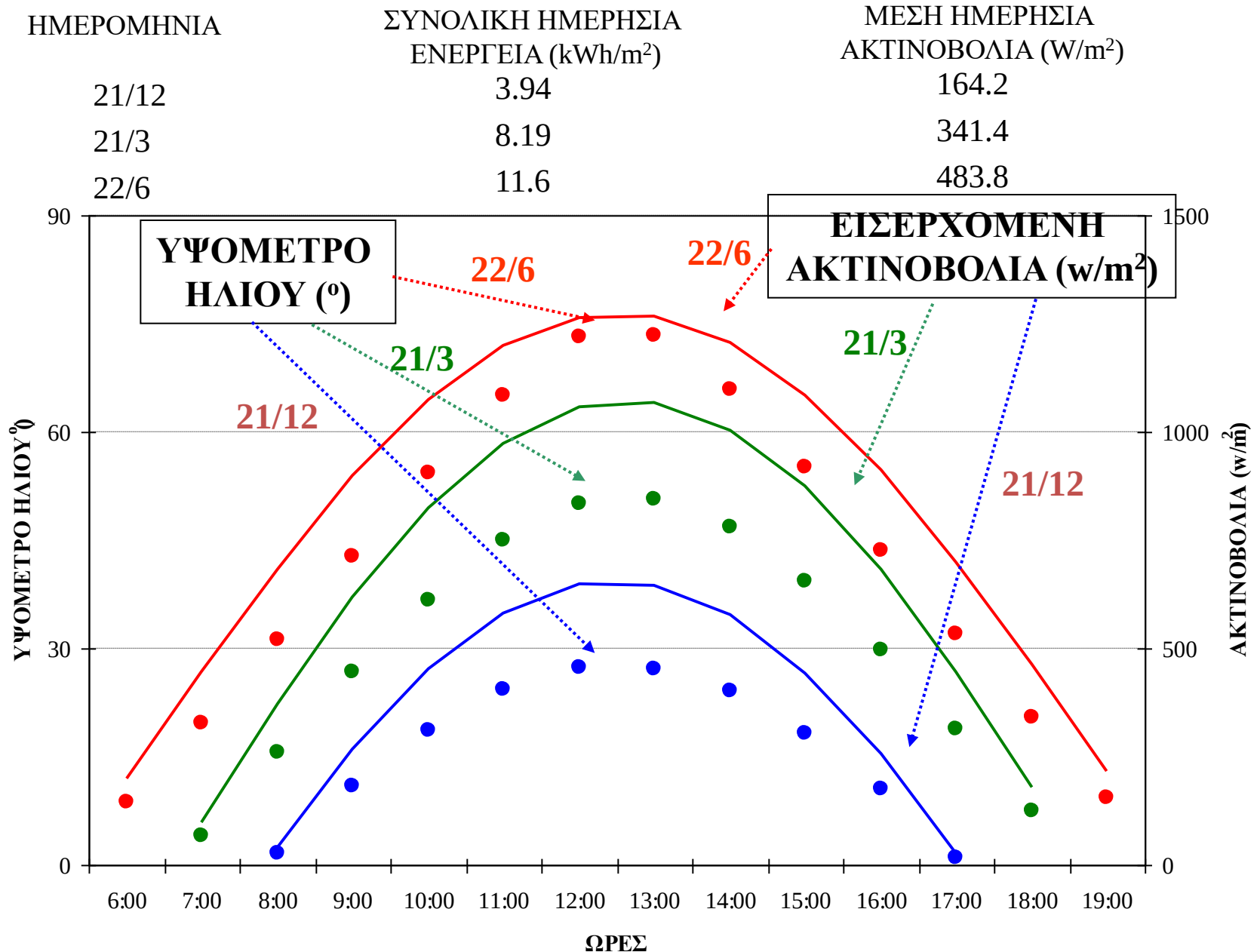
Επίδραση αναγλύφου στη γωνία πρόσπτωσης

Ημερήσιες κατανομές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Υψόμετρο ήλιου και εισερχόμενη ακτινοβολία σε επίπεδη επιφάνεια στις 39°



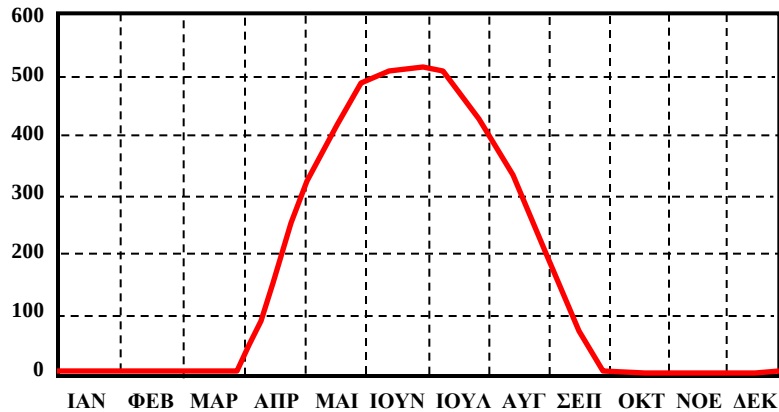
**Ημερησία ηλιακή
ακτινοβολία στο
εξωτερικό όριο της
ατμόσφαιρας (W/m^2)**



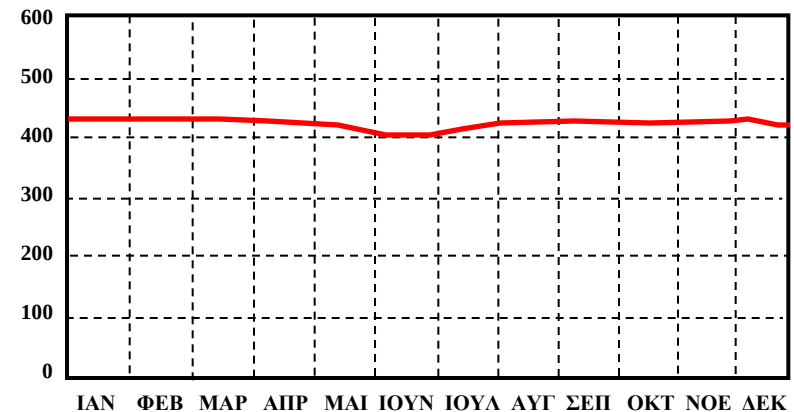
Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας (W/m^2)

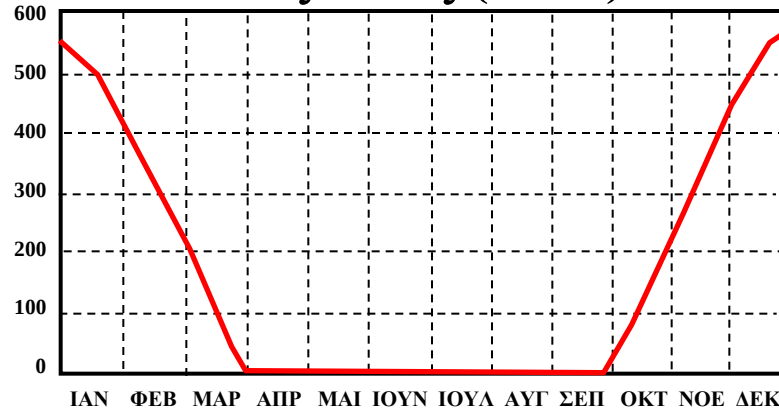
Βόρειος πόλος (90° B)



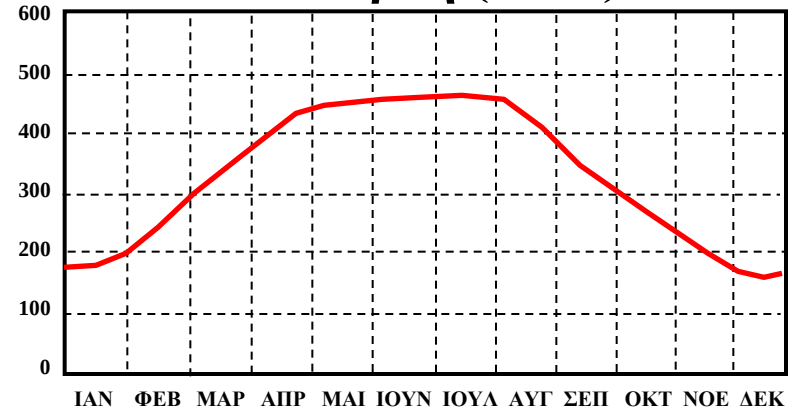
Ισημερινός (0°)



Νότιος πόλος (90° N)

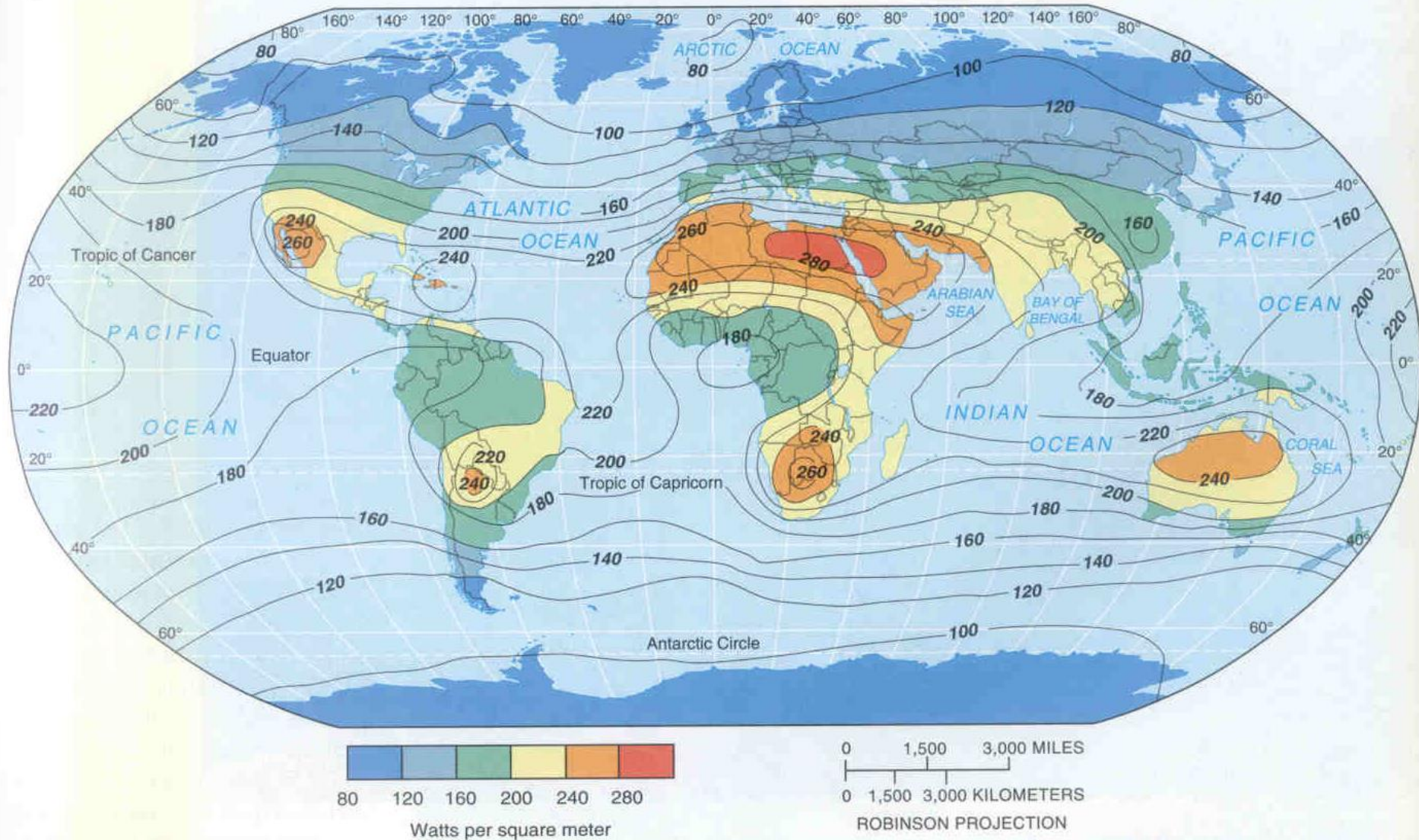


Νέα Υόρκη (40° B)



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος (W/m^2)



Πηγή: Christopherson, 2000

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

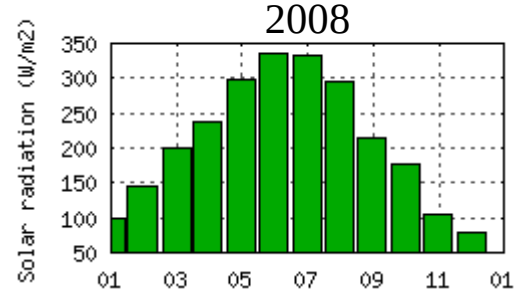
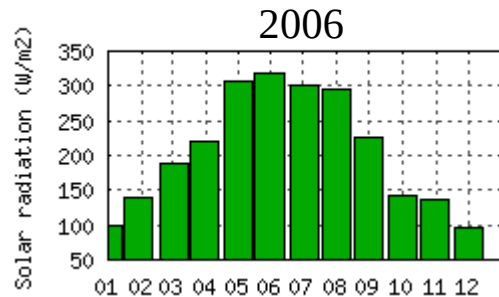
Ηλιακή ισχύς και ενέργεια στο έδαφος

	Βόρεια Ελλάδα		Αιγαίο		Κρήτη	
	kWh/m ²	W/m ²	kWh/m ²	W/m ²	kWh/m ²	W/m ²
ΙΑΝ	60	81	62	83	74	100
ΦΕΒ	75	112	81	120	93	138
ΜΑΡ	113	152	130	175	145	195
ΑΠΡ	132	183	173	241	189	262
ΜΑΙΟΣ	161	216	223	300	232	312
ΙΟΥΝ	181	251	249	346	254	353
ΙΟΥΛ	190	255	254	341	261	351
ΑΥΓ	171	230	227	305	235	316
ΣΕΠ	131	183	174	242	186	258
ΟΚΤ	94	126	121	162	134	180
ΝΟΕ	60	83	71	99	83	115
ΔΕΚ	49	65	52	70	65	87
ΕΤΟΣ	1416	161	1817	207	1951	222

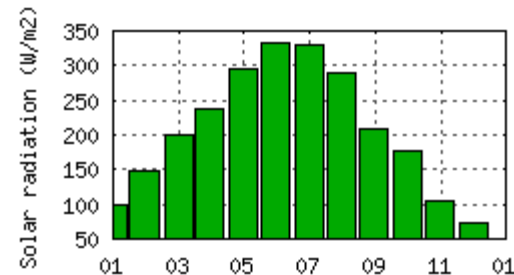
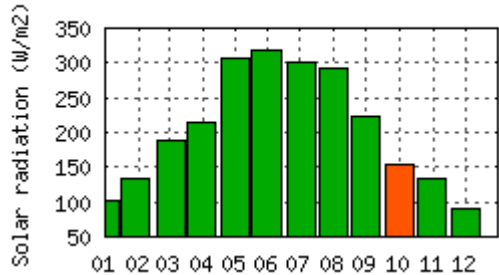
Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην Αττική

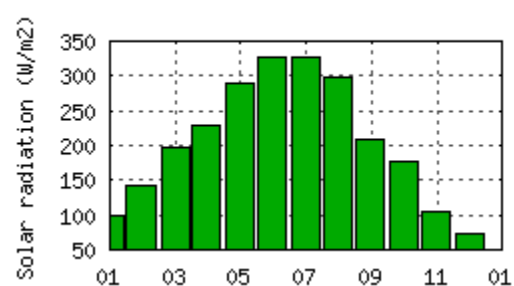
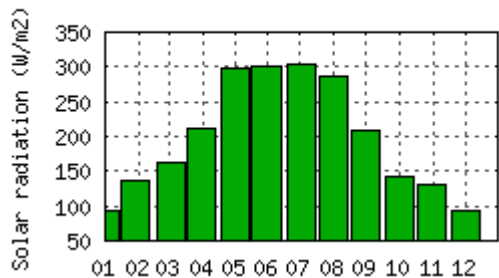
Αγ. Κοσμάς



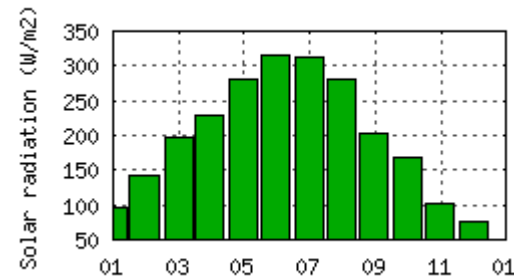
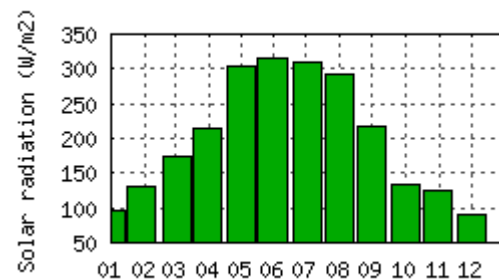
Ψυτάλλεια



Μενίδι



Ηλιούπολη



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Δυνητική ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)

$$I = I_o * d * \cos f$$

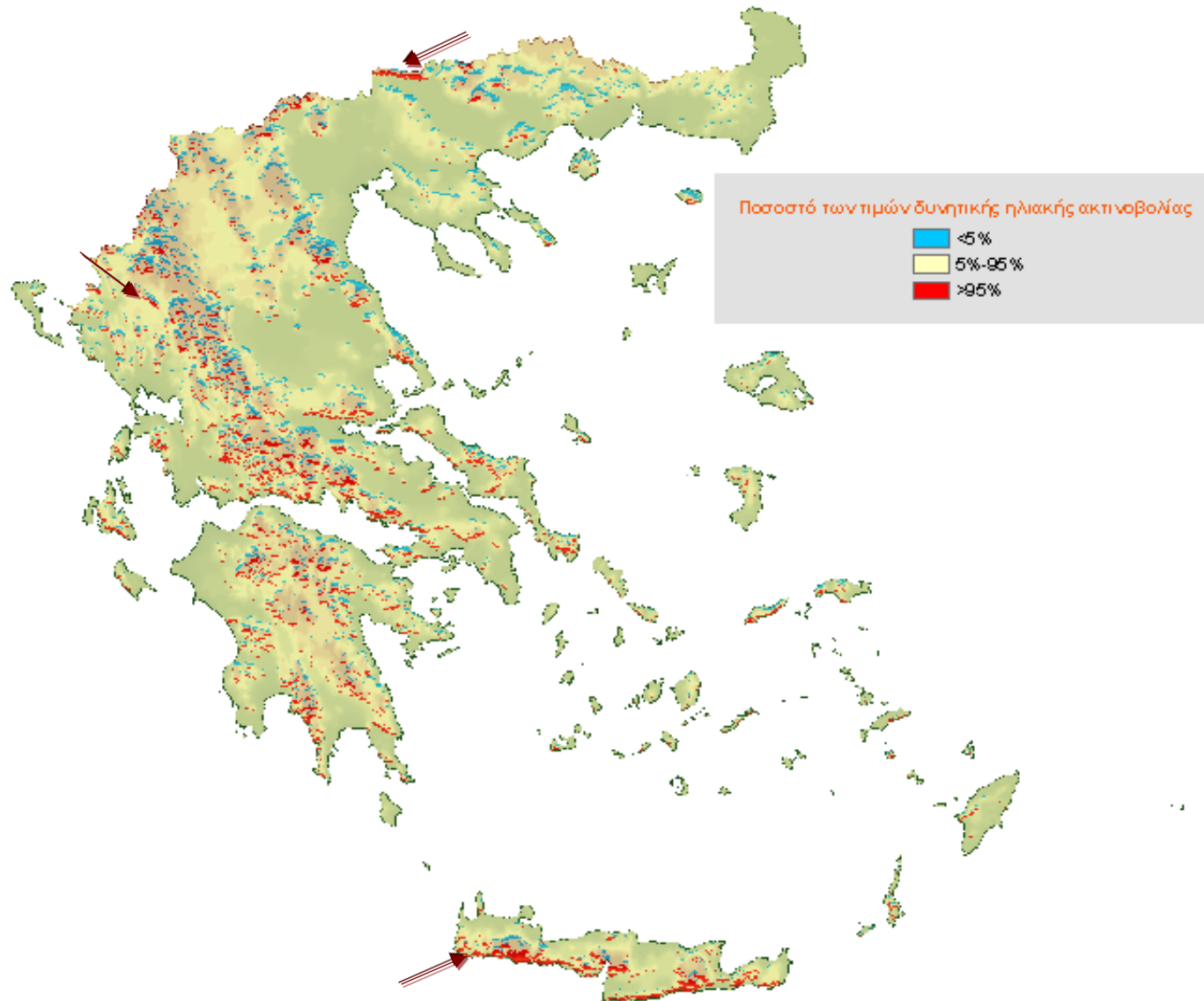
$$I_o \approx 1367 \text{ W/m}^2$$

$$\begin{aligned} \cos f = & \sin Azm * \cos Elv * \cos(90 - Slp) * \sin Asp + \\ & \cos Azm * \cos Elv * \cos(90 - Slp) * \cos Asp + \\ & \sin Elv * \sin(90 - Slp) \end{aligned}$$

$$d = 1 + 0.034 * \cos(2 * \pi * J / 365 - 0.05)$$

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Δυνητική ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

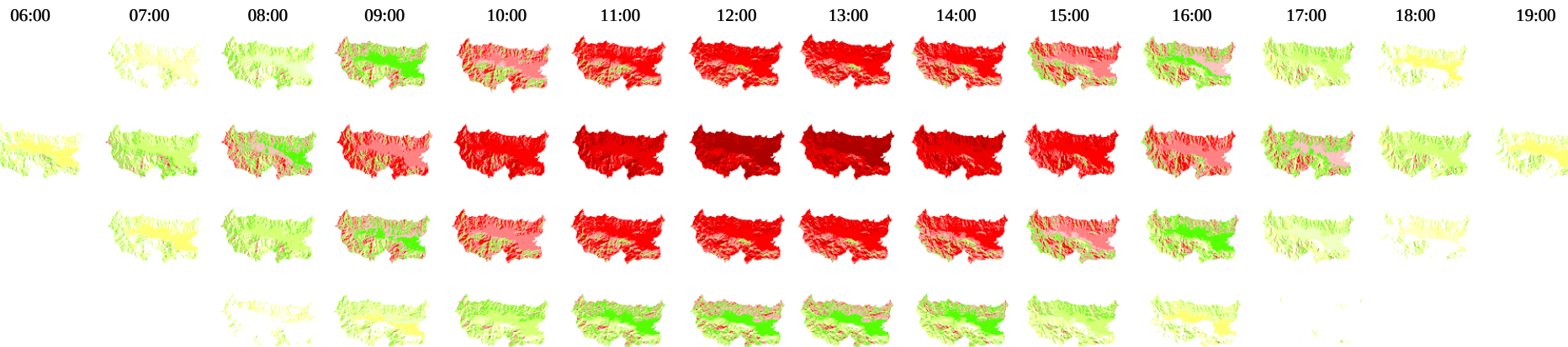
Ωριαίες κατανομές δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας (% I_0)

Μάρτιος 21, Julian Day 80

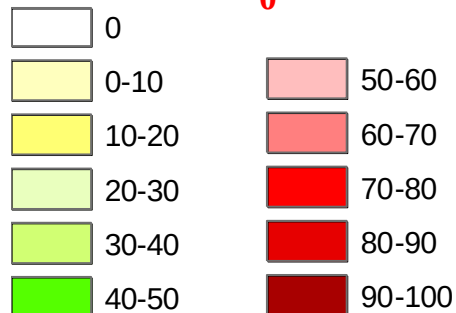
Ιούνιος 21, Julian Day 173

Σεπτέμβριος 22, Julian Day 265

Δεκέμβριος 21, Julian Day 355



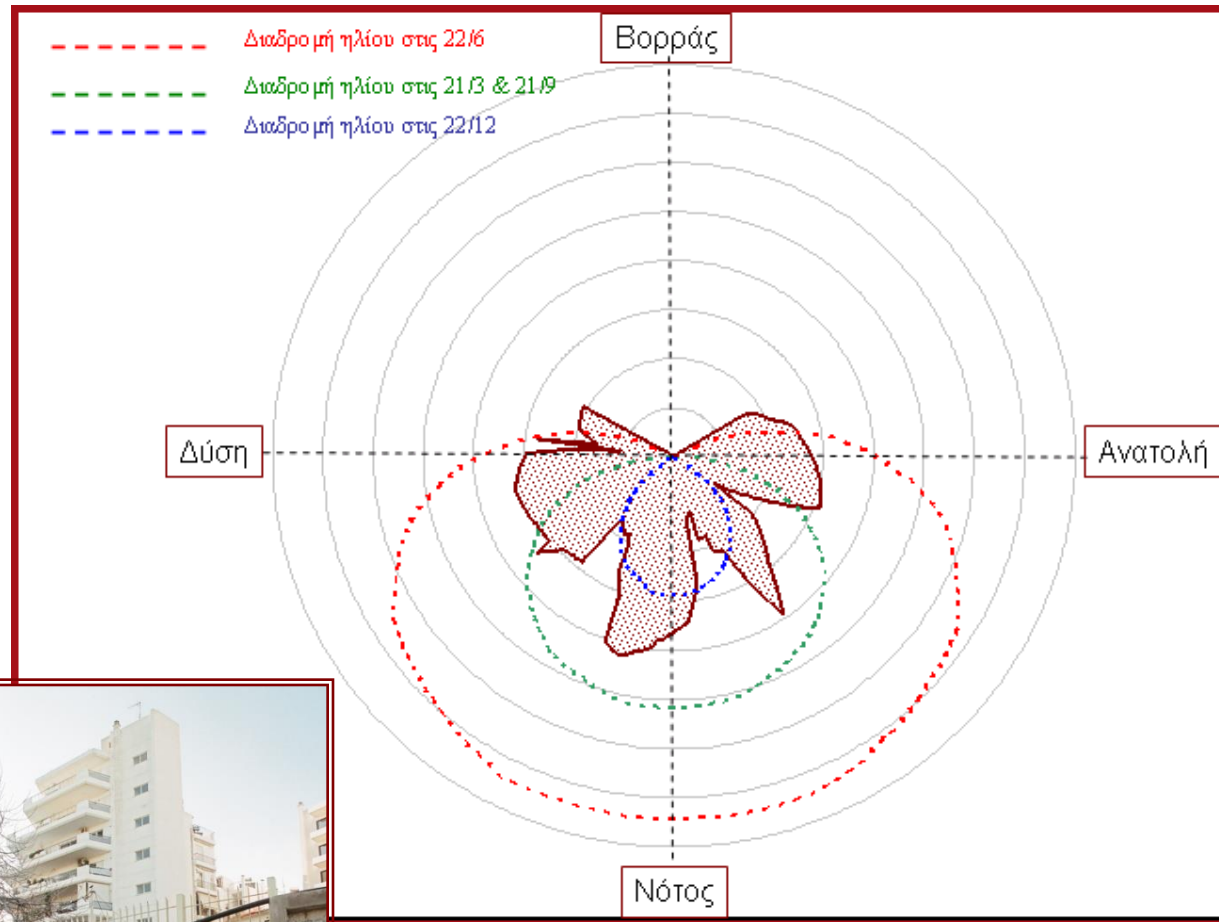
% I_0



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Εκτίμηση δυνητικής ηλιακής ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον

ΜΗΝΑΣ	Δείκτης I_E / I_0
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,41
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,74
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,79
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,83
ΜΑΙΟΣ	0,88
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,92
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,93
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,83
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,80
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,70
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,34
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,26
ΕΤΟΣ	0,77



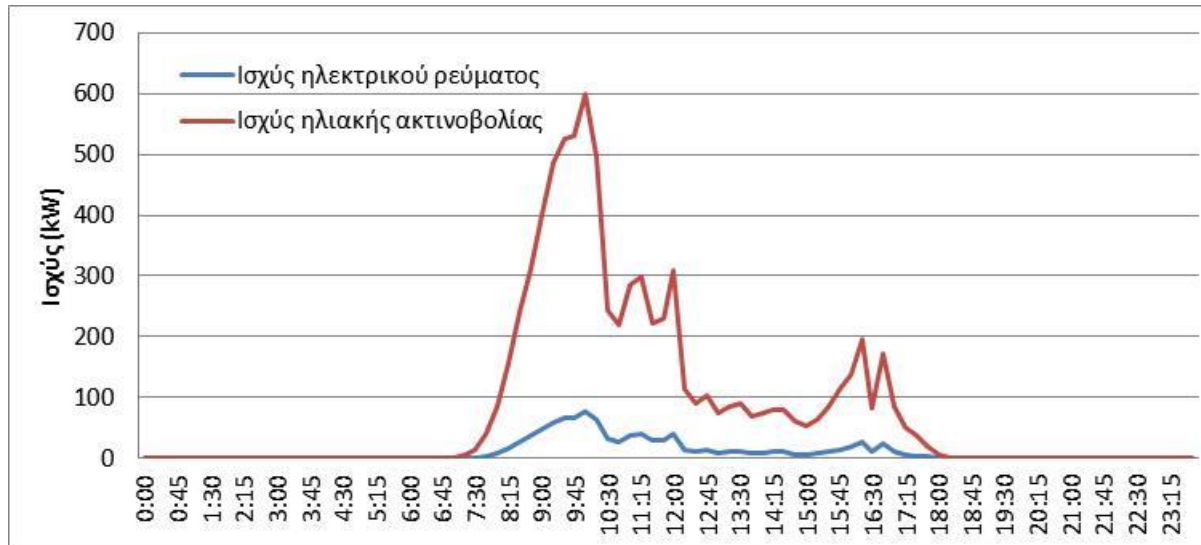
Σε αστικό περιβάλλον παρατηρείται επιπλέον σκίαση από διάφορα εμπόδια

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Απόδοση φωτοβολταϊκών



21/6/2013



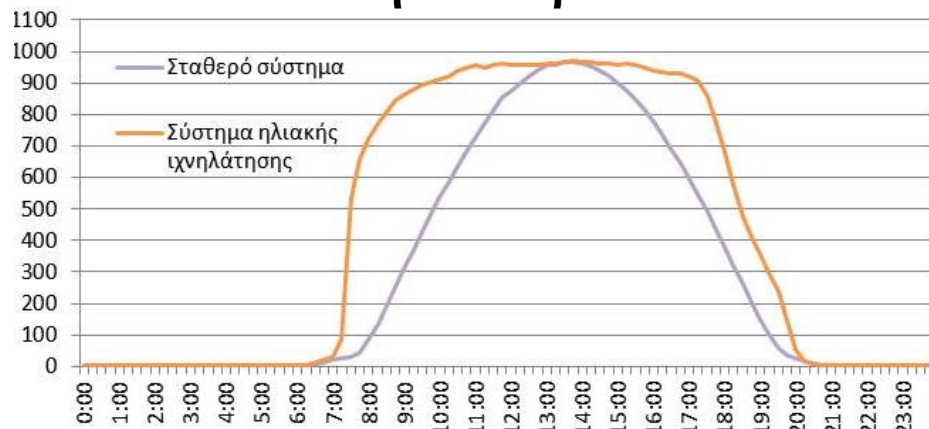
17/2/2013

Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

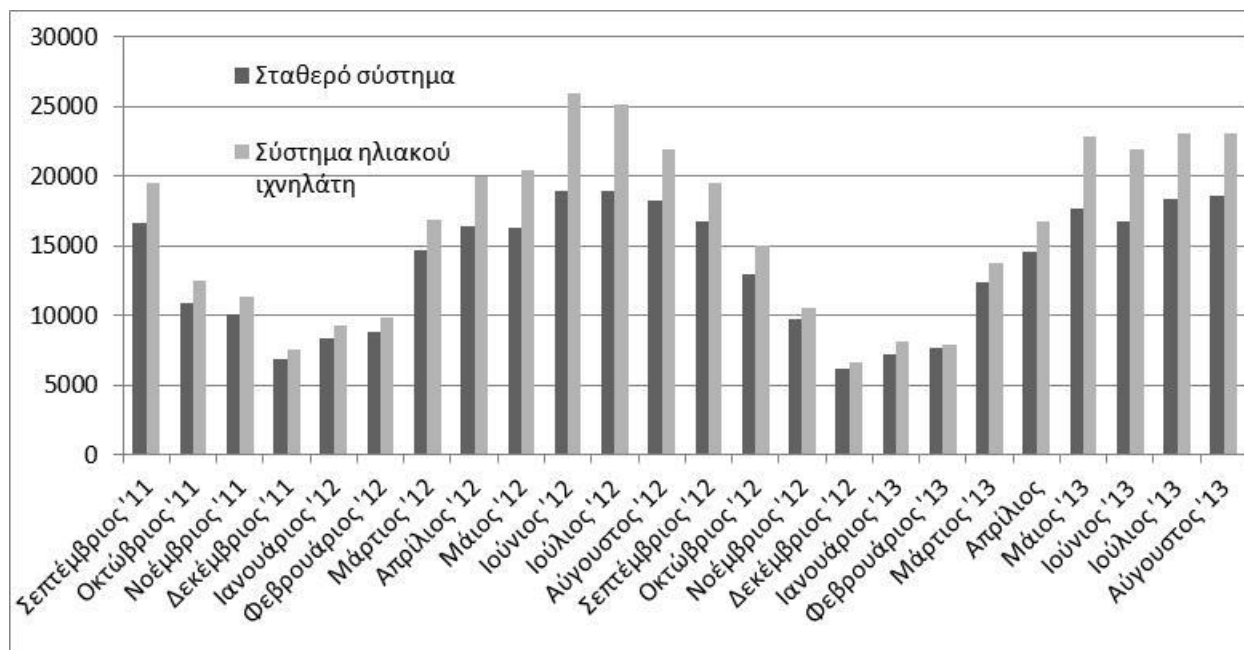
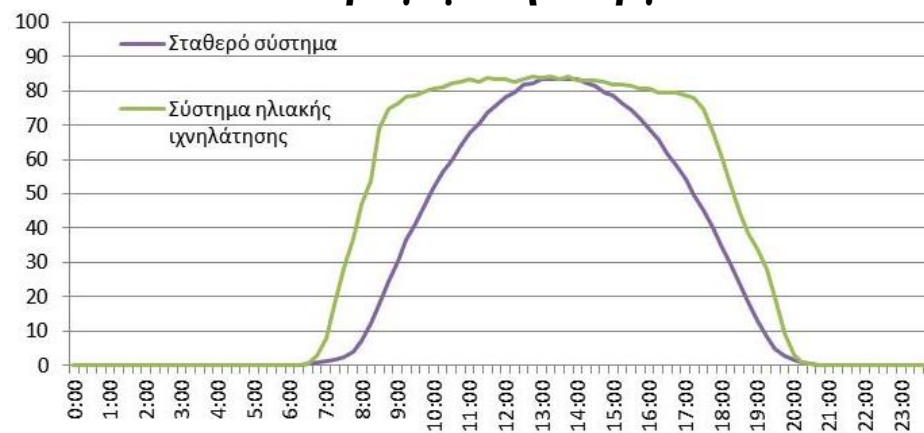
Απόδοση φωτοβολταϊκών

Σύγκριση σταθερών συστημάτων με συστήματα ηλιακής ιχνηλάτησης

Ηλιακή ακτινοβολία

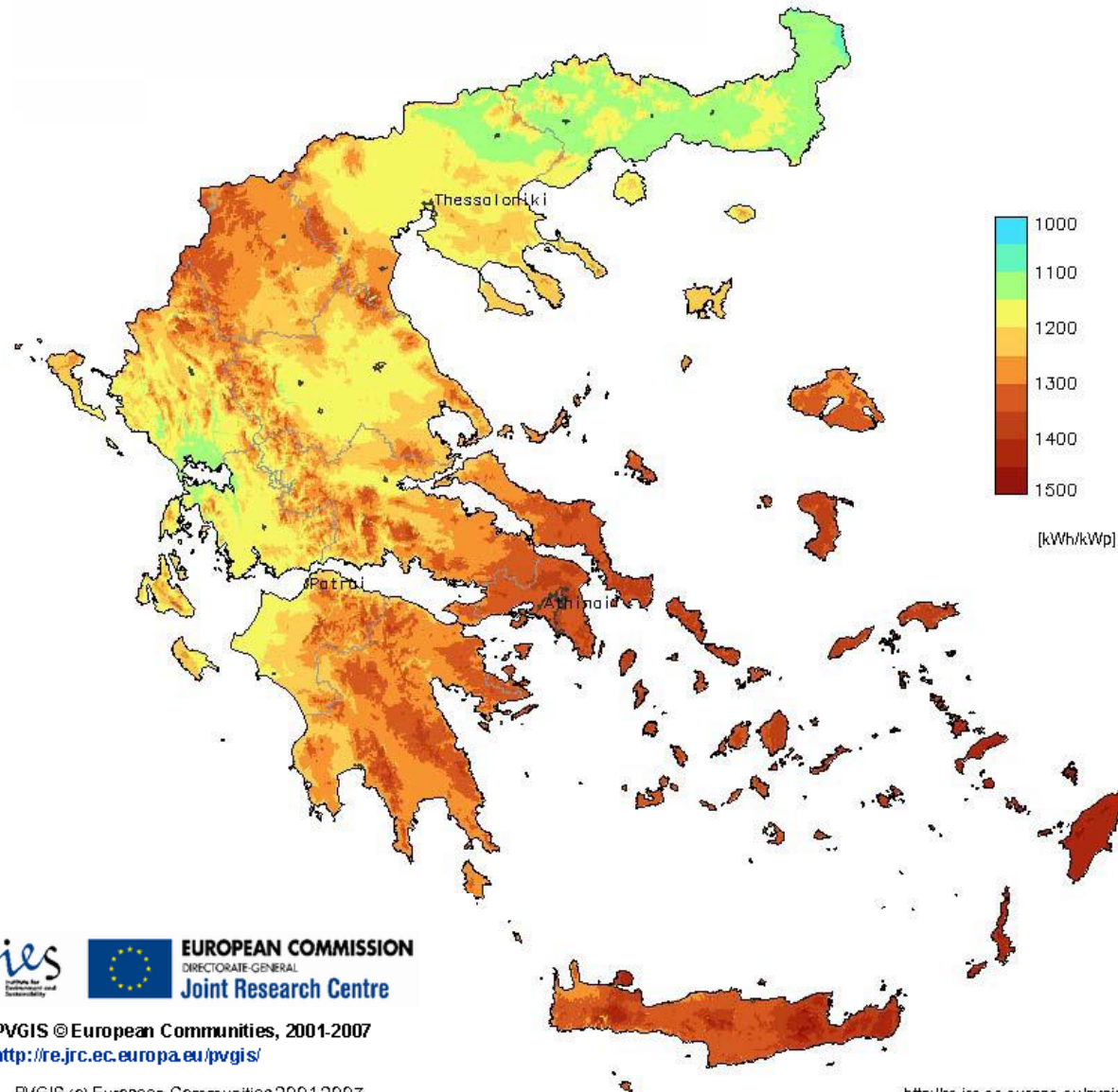


Παραγόμενη ενέργεια



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/ kWp)
(για φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετημένο στη βέλτιστη κλίση)



Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας

Ηλιακή ακτινοβολία και ώρες ηλιοφάνειας - Εφαρμογή

Area Solar Radiation

Input raster

Output global radiation raster

Latitude (optional)

45

Sky size / Resolution (optional)

200

Time configuration (optional)

Multiple days in a year

Date/Time settings

Year: 2016

Start day: 5

End day: 160

Day interval (optional)

14

Hour interval (optional)

0.5

☐ Create outputs for each interval (optional)

Topographic parameters

Radiation parameters

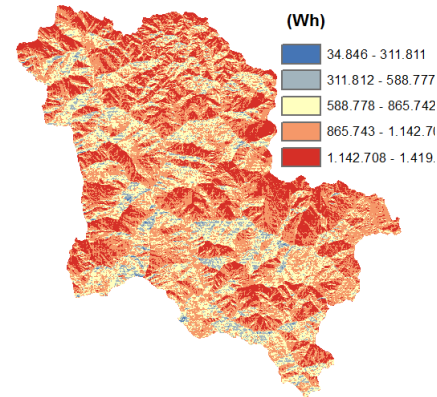
Optional outputs

Area Solar Radiation

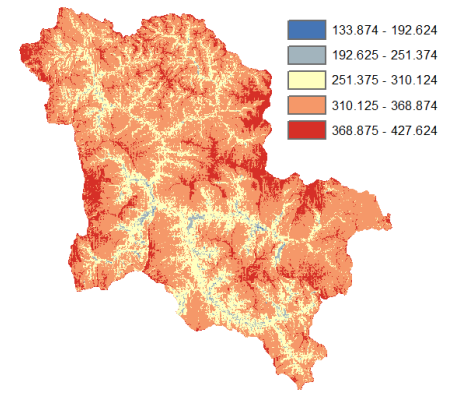
Derives incoming solar radiation from a raster surface

OK Cancel Environments... << Hide Help Tool Help

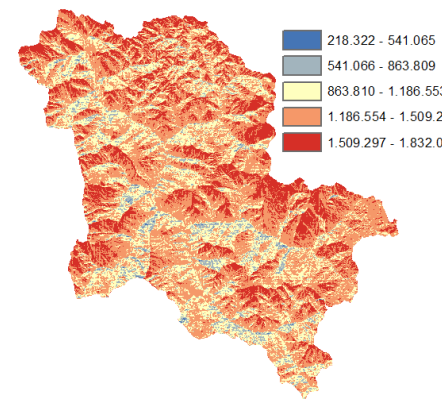
Άμεση



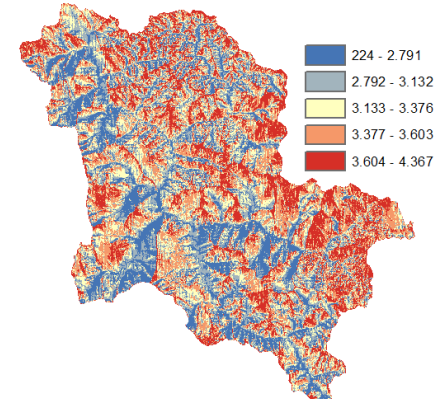
Διάχυτη



Συνολική



Ετήσια ηλιοφάνεια (h)



7. Στερεοαπορροή

Γενικά

Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (RUSLE)

Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής

Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους

Τοπογραφικός συντελεστής

Συντελεστής διαχείρισης γης

Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης

RUSLE – Δεδομένα από το Ευρωπαϊκό Κέντρο ESDAC

RUSLE – Εφαρμογή

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Γενικά

- ❑ Στερεοαπορροή (sediment yield) είναι η ποσότητα των φερτών που διέρχεται από μία διατομή σε έναν ορισμένο χρόνο. Συνδέεται με τις φυσικές διεργασίες της εδαφικής διάβρωσης, της στερεομεταφοράς και της απόθεσης των φερτών.
- ❑ Εδαφική απώλεια (soil loss) είναι η ποσότητα εδαφικού υλικού που απομακρύνεται από μία εδαφική έκταση σε ορισμένο χρόνο.
- ❑ Στερεοπαροχή (sediment discharge) είναι ο ρυθμός μεταφοράς των φερτών από μία διατομή (βάρος/χρόνο)
- ❑ Φορτίο (load) είναι το σύνολο των φερτών που μετακινείται σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο και εκφράζεται σε μονάδες μάζας ή βάρους. Διακρίνεται: α) με βάση το μηχανισμό μεταφοράς, σε φορτίο σε σύρση (bed load) και φορτίο σε αιώρηση (suspended load) και β) με βάση την προέλευση του υλικού, σε φορτίο υλικού κοίτης (bed sediment load) και φορτίο απόπλυσης (wash load)
- ❑ Η πλέον διαδεδομένη μεθοδολογία υπολογισμού της στερεοαπορροής είναι με χρήση **συντελεστή στερεοαπορροής** (SDR, Sediment delivery ratio) στην εκτιμημένη **εδαφική απώλεια της λεκάνης**. Ο συντελεστής δείχνει το ποσοστό της απώλειας που καταλήγει στις θέσεις απόθεσης. Έχουν δοθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις που τον συνδέουν με την έκταση της λεκάνης. Μία ευρέως διαδεδομένη σχέση είναι του Vanoni (1975) που μελέτησε δεδομένα από 300 λεκάνες σε διάφορες χώρες:

$$SDR = 0.42 A^{-0.125}$$

Όπου: A η έκταση της λεκάνης σε mi^2

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (RUSLE)

- Η μέθοδος της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας αρχικά αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ (*Wischmeier & Smith, 1965*) για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης σε μέση ετήσια κλίμακα. Χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως από τους μελετητές σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις, αφού έχει ενσωματωθεί σε διάφορα λογισμικά διαχείρισης υδατικών πόρων.
- Σύμφωνα με την μέθοδο η εδαφική διάβρωση συνδέεται: με τη ραγδαιότητα της βροχόπτωσης, την επιφανειακή στρώση του εδάφους, την τοπογραφία, το είδος και τον τρόπο καλλιέργειας, και τις πρακτικές ελέγχου
- Σύμφωνα με την τροποποιημένη Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (RUSLE) (*Renard et al., 1997*) η ετήσια εδαφική απώλεια δίνεται από την εξίσωση:

$$A = R K L S C P$$

όπου:

A: Εδαφική απώλεια, σε τόνους ανά εκτάριο ανά έτος (t/ha/year)

R: Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής (MJ mm/ha h year)

K: Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους (t ha h/ha MJ mm)

LS: Τοπογραφικός συντελεστής, αδιάστατος

C: Συντελεστής διαχείρισης της κάλυψης γης, αδιάστατος (από 0 έως 1)

P: Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης, αδιάστατος (από 0 έως 1)

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής

Για τον υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχής (rainfall erosivity factor) R , ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Επιλέγονται τα ισχυρά επεισόδια βροχής (συνολικό ύψος μεγαλύτερο από 12 mm)
2. Για κάθε επεισόδιο υπολογίζονται τα παρακάτω:
 - Ύψος h_t (mm) και ένταση βροχής i_t (mm/h)
 - Ειδική κινητική ενέργεια επιμέρους διαστήματος επεισοδίου e_t (MJ/ha mm) από τη σχέση: $e_t = 0.29 [1 - 0.72 \exp(-0.05 i_t)]$
 - Κινητική ενέργεια επιμέρους διαστήματος επεισοδίου E_t (MJ/ha) από τη σχέση: $E_t = h_t e_t$
 - Συνολική κινητική ενέργεια του επεισοδίου E (MJ/ha) από τη σχέση: $E = \sum E_t$
 - Μέγιστη ένταση βροχής διάρκειας 30 λεπτών i_{30} (mm/h)
 - Συντελεστής διαβρωτικότητας επεισοδίου R_e (MJ mm/ha h) από τη σχέση: $R_e = E i_{30}$
3. Υπολογίζονται οι μηνιαίοι και ετήσιοι συντελεστές διαβρωτικότητας αθροίζοντας τους συντελεστές διαβρωτικότητας των επιμέρους επεισοδίων

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους

- Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους (soil erodibility factor) K (t ha h/ha MJ mm), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$100K = [2.1 \cdot 10^{-4} (12-OM)M^{1.14} + 3.25(s-2) + 2.5(p-3)]$$

όπου:

- OM : οργανική ουσία (%)
- M : δομή επιφανειακής στρώσης $[(100-Ac) (L+Arm f)]$
με: Ac ποσοστό αργίλου, L ποσοστό ιλύος, $Arm f$ ποσοστό άμμου
- s : εδαφική δομή, με τιμές από 1 (πολύ λεπτόκοκκη δομή) μέχρι 4 (τεμαχισμένη ή πλακώδης δομή)
- p : διαπερατότητα εδάφους

(Το αποτέλεσμα πρέπει να διαιρεθεί με 7.59 για μετατροπή σε μονάδες SI)

- Στην βιβλιογραφία δίνονται πίνακες που προέρχονται από εμπειρικές παρατηρήσεις και συσχετίζουν τον συντελεστή K με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης.

TEXT	Dominant surface textural class. (Present in: STU)	% clay	% silt	% sand	K
0	No information	-	-	-	
9	No texture (histosols, ...)	-	-	-	
1	Coarse (clay < 18 % and sand > 65 %)	9	8	83	0.0115
2	Medium (18% < clay < 35% and sand > 15%, or clay < 18% and 15% < sand < 65%)	27	15	58	0.0311
3	Medium fine (clay < 35 % and sand < 15 %)	18	74	8	0.0438
4	Fine (35 % < clay < 60 %)	48	48	4	0.0339
5	Very fine (clay > 60 %)	80	20	0	0.0170

Πηγή: Van der Knijff et al., 2000

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Τοπογραφικός συντελεστής

- ❑ Ο τοπογραφικός συντελεστής (Length-Steepness factor) LS, είναι ένα μέτρο του μήκους και της κλίσης των κλιτύων στη λεκάνη.
- ❑ Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές εξισώσεις υπολογισμού του, με περισσότερο διαδεδομένες τις παρακάτω:

- Wischmeier and Smith (1978)

$$LS = (\lambda / 22.13)^n (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2)$$

Όπου:

λ : το μήκος της κλίσης (m),

S : η κλίση (%)

n : παράμετρος που εξαρτάται από την κλίση ($n = 0.2$ για $S < 1\%$, 0.3 για $1\% \leq S \leq 3.5\%$, 0.4 για $3.5\% \leq S \leq 5\%$ και 0.5 για $S > 5\%$)

- Mitasova and Mitas (2001)

$$LS = (m+1)(A/22.13)^m (\sin \beta / 0.09)^n$$

Όπου:

A : η έκταση της ανάντη λεκάνης (m^2),

β : η γωνία κλίσης ($^\circ$)

m (0.4 έως 0.6) και n (1.0 έως 1.3) παράμετροι που συνδέονται με τον τύπο της διάβρωσης (επιφανειακή ή αυλακωτή)

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Συντελεστής διαχείρισης γης

❑ Ο συντελεστής διαχείρισης γης (Cover Management factor) C , εκφράζει την επίδραση του είδους των καλλιεργειών και των πρακτικών διαχείρισης του εδάφους στην παραγωγή εδαφικής διάβρωσης.

❑ Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM$$

Όπου: PLU : συντελεστής πρότερης χρήσης γης (Prior Land Use)

CC : συντελεστής φυτοκάλυψης (Canopy Cover)

SC : συντελεστής κάλυψης της επιφάνειας (Surface Cover)

SR : συντελεστής τραχύτητας εδάφους (Surface Roughness)

SM : συντελεστής εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture)

Όλοι οι συντελεστές είναι αδιάστατοι με τιμές 0-1. Κάθε ένας να υπολογίζεται από σχετικές αναλυτικές σχέσεις (Βαχαβιώλος, 2014)

❑ Στη βιβλιογραφία δίνονται πίνακες που σχετίζουν τον συντελεστή C με τις χρήσεις γης κατά CORINE

Κάλυψη γης	C
Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.001
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.26
Μεταβατικές δασώδεις - θαμνώδεις εκτάσεις	0.02
Δάσος κωνοφόρων	0.045
Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη	0.3
Σκληροφυλλική βλάστηση	0.025
Φυσικοί βοσκότοποι	0.3
Ελαιώνες	0.19
Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία μαζί με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.125

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

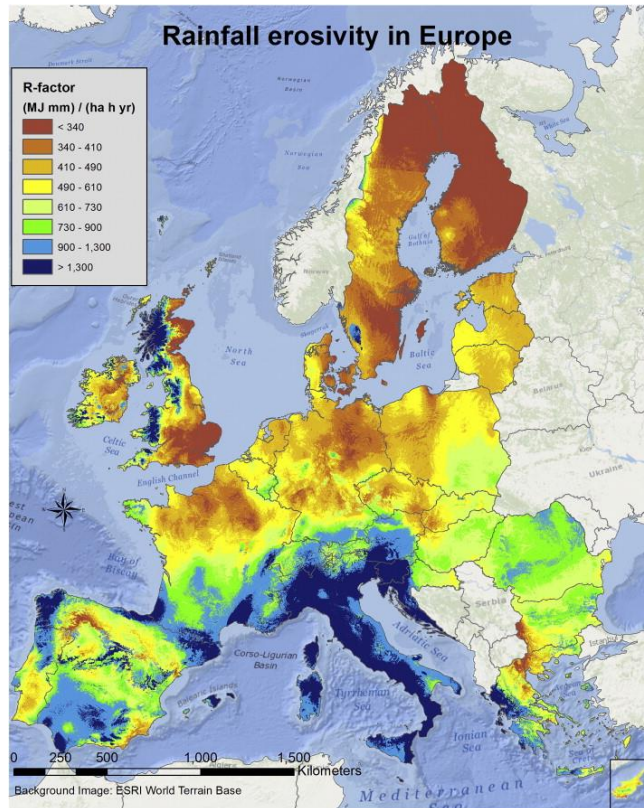
Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης

- ❑ Ο συντελεστής ελέγχου διάβρωσης (Support Practice factor) P , δείχνει την επίδραση των καλλιεργητικών πρακτικών στην απομείωση της εδαφικής διάβρωσης.
- ❑ Ο συντελεστής P λαμβάνει τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 1 (όταν δεν υπάρχει καμία υποστηρικτική πρακτική). Ειδικότερα:
 - $P = 0.6 - 0.9$ για καλλιέργεια παράλληλα με τις ισοϋψείς
 - $P = 0.3 - 0.45$ για λωρίδες εναλλασσόμενων καλλιεργειών
 - $P = 0.12 - 0.18$ για χρήση αναβαθμίδων

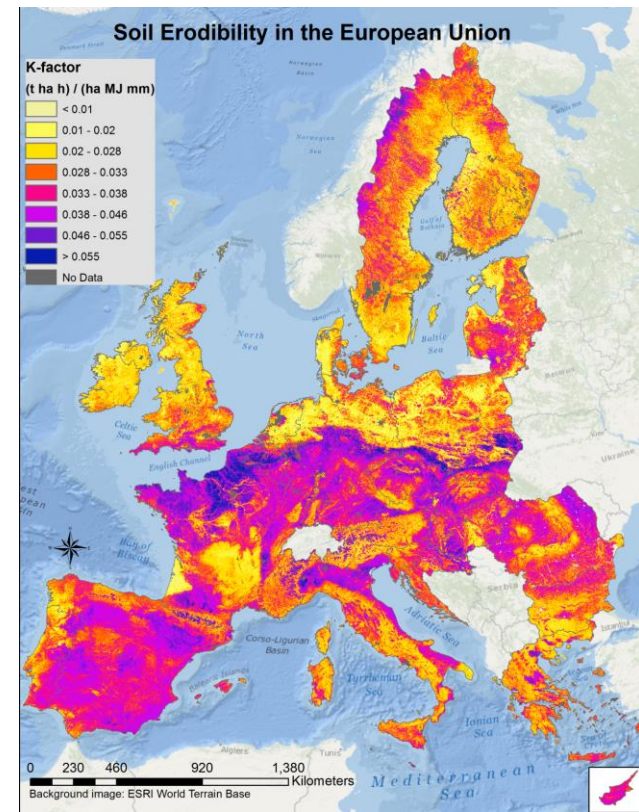
Εκτίμηση Στερεοαπορροής

RUSLE– Δεδομένα από ESDAC

- Το European Soil Data Centre (ESDAC) διαθέτει ελεύθερα σύνολα δεδομένων με τις τιμές των συντελεστών που χρησιμοποιούνται στην RUSLE, για όλη την Ευρώπη (<http://esdac.jrc.ec.europa.eu/>)



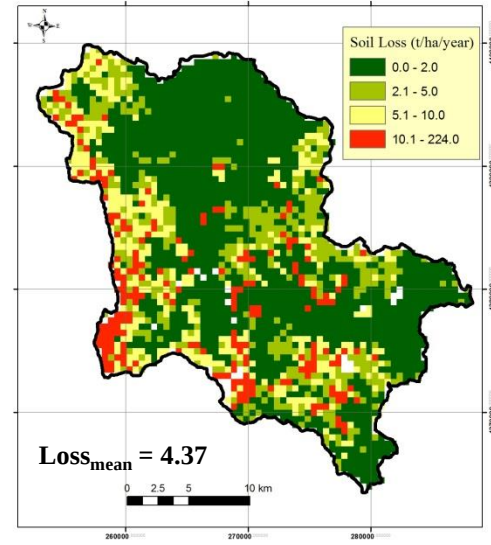
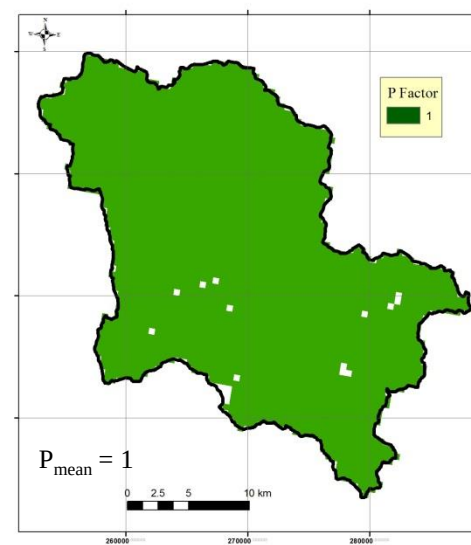
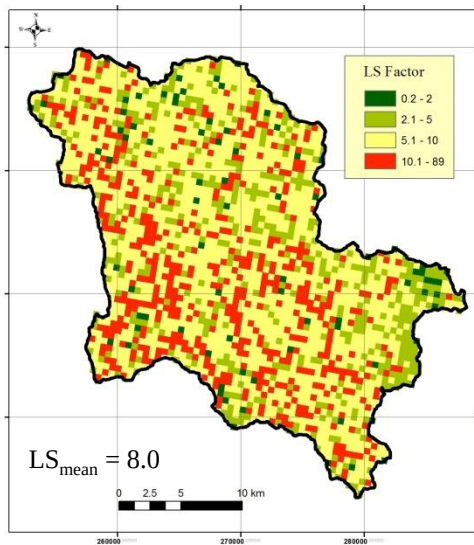
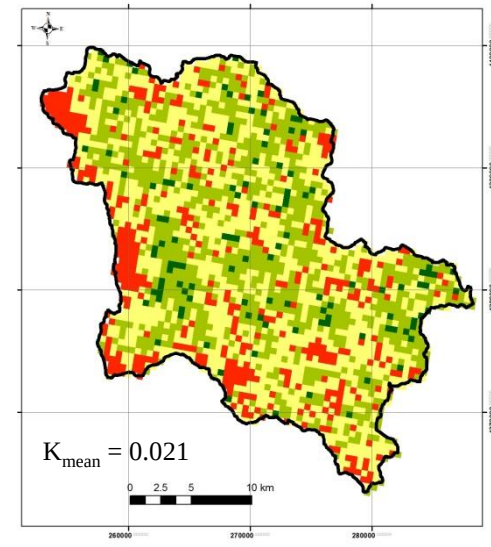
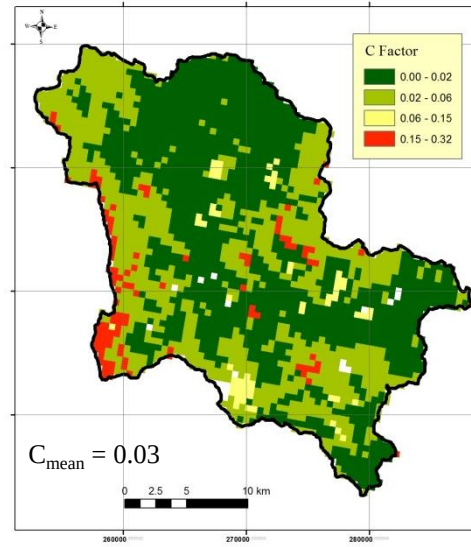
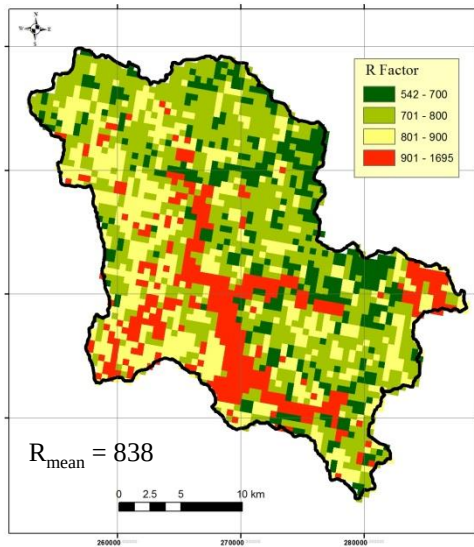
Πηγή: Panagos, P. et al., Rainfall erosivity in Europe, Science of The Total Environment, Volume 511, 2015



Πηγή: Panagos, P. et al., Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, Science of Total Environment, 2014

Εκτίμηση Στερεοαπορροής

RUSLE – Εφαρμογή



8. Πλημμυρογραφήματα

Γενικά

Επίδραση της γεωμορφολογίας στο πλημμυρογράφημα

Επίδραση της κλίσης στα χαρακτηριστικά πλημμύρας

Φυσικό πλαίσιο

Χαρακτηριστικά μεγέθη

Υπολογισμός ενεργούς βροχόπτωσης

Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥ)

- Γενικά
- Παραμετρικό ΜΥ
- Κατάρτιση ΜΥ με ψηφιδωτά δεδομένα

Υπολογισμός παροχής με ψηφιδωτά δεδομένα

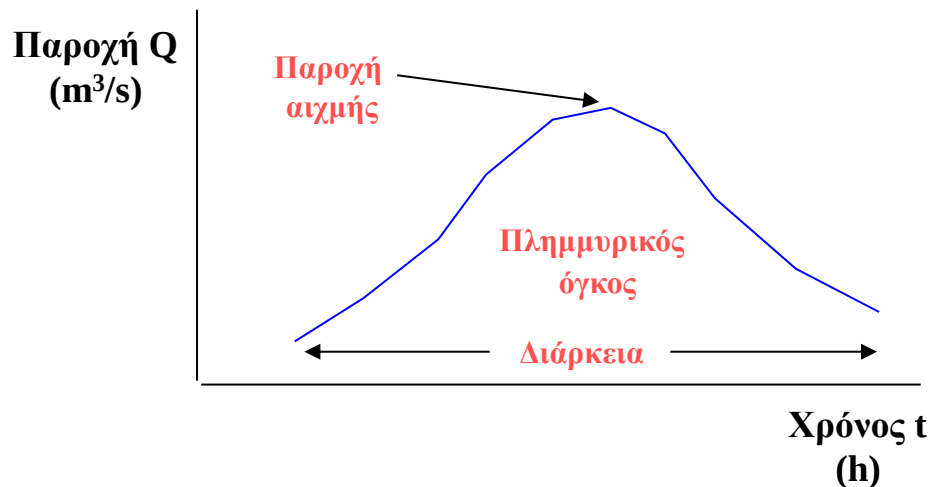
Εκτίμηση ΜΥ με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών – Εφαρμογή

Εκτίμηση παροχής με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών - Εφαρμογή

Πλημμυρογραφήματα

Γενικά

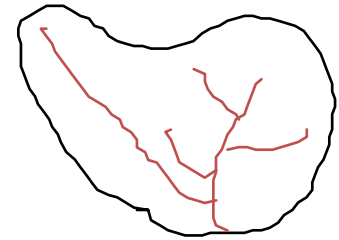
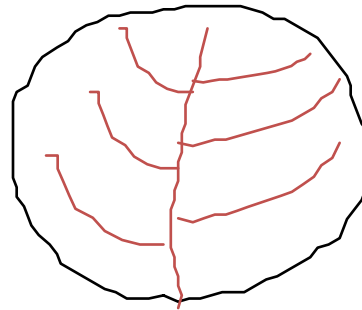
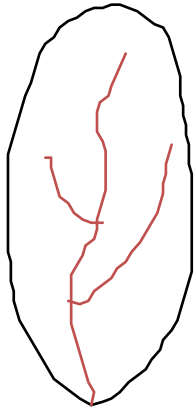
- ❑ Τα τρία κύρια μεγέθη της πλημμύρας είναι:
 - η παροχή αιχμής και η αντίστοιχη στάθμη στο υδατόρευμα
 - ο πλημμυρικός όγκος
 - η χρονική διάρκεια
- ❑ Τα μεγέθη των πλημμυρών συνδέονται με τα χαρακτηριστικά:
 - της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, ένταση)
 - της λεκάνης απορροής (έκταση, αποθηκευτικότητα, χρόνος συγκέντρωσης)
 - των υδατορευμάτων (διατομή, κλίση, τραχύτητα)



Πλημμυρογραφήματα

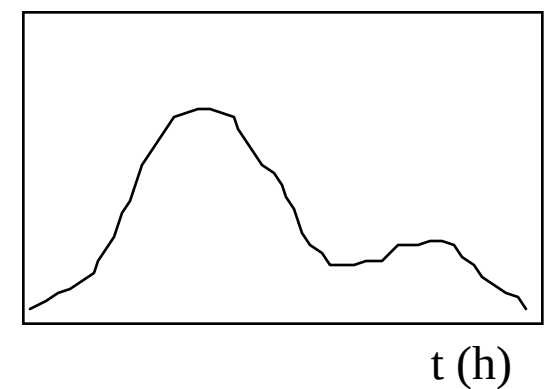
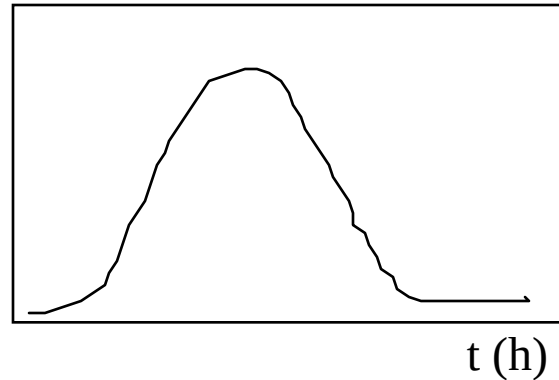
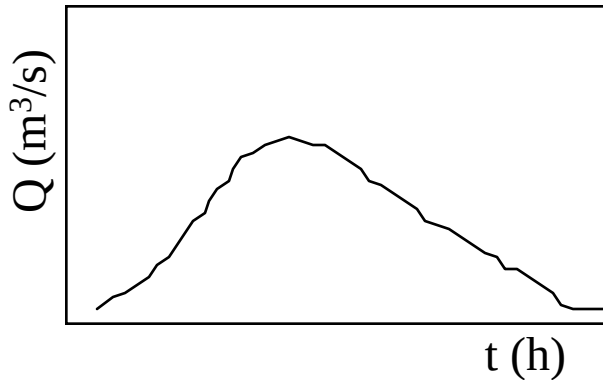
Επίδραση της γεωμορφολογίας στο πλημμυρογράφημα

Λεκάνες απορροής με εμβαδόν A



Πλημμυρογραφήματα για ενεργό βροχόπτωση σταθερής έντασης i και διάρκειας d

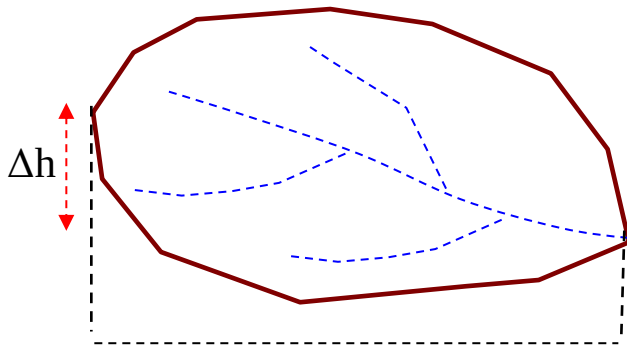
$$V = A i d$$



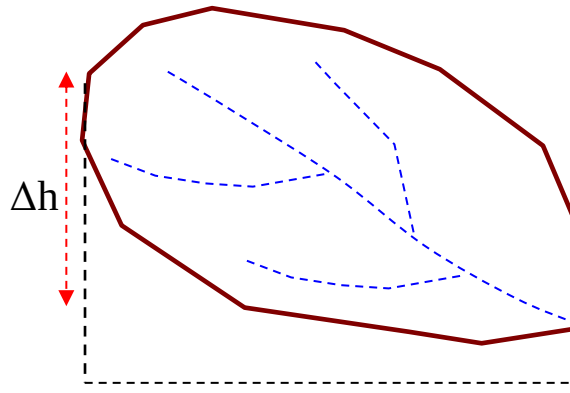
Πλημμυρογραφήματα

Επίδραση της κλίσης στα χαρακτηριστικά πλημμύρας

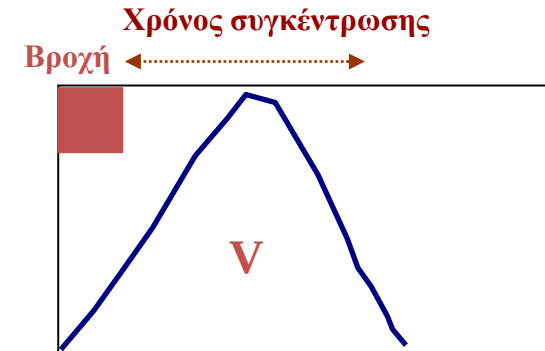
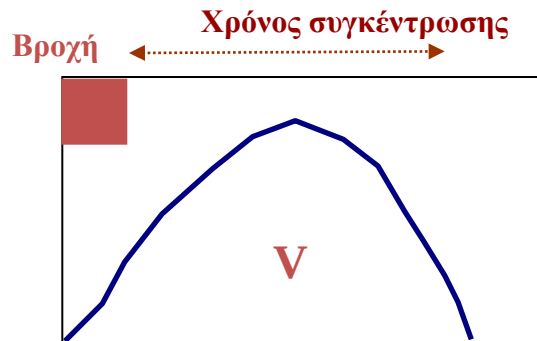
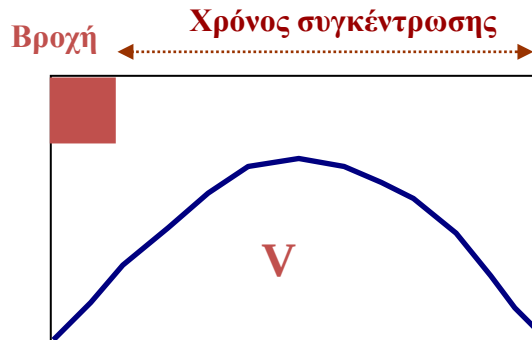
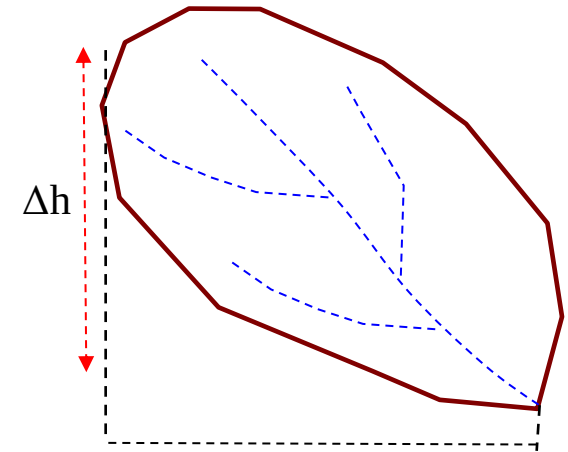
Μικρή κλίση
Μεγάλος χρόνος συγκέντρωσης



Μέτρια κλίση
Μέτριος χρόνος συγκέντρωσης

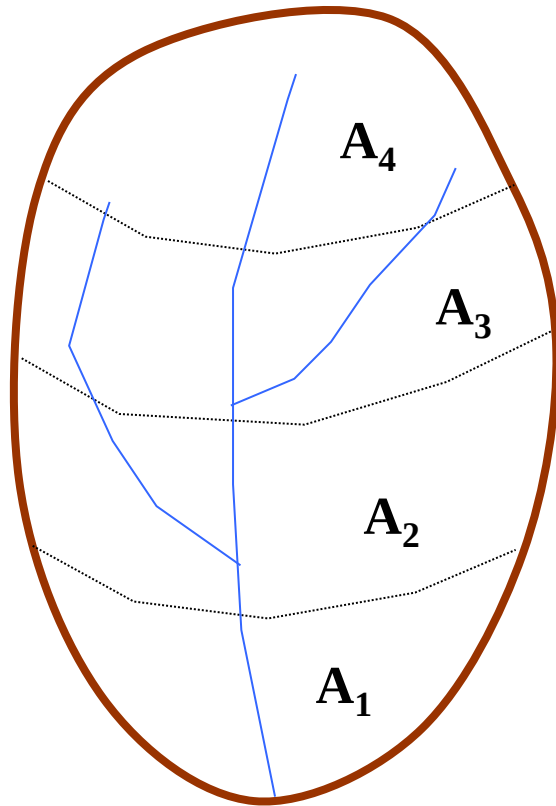


Μεγάλη κλίση
Μικρός χρόνος συγκέντρωσης

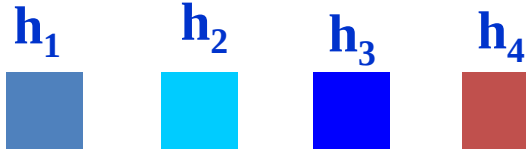


Πλημμυρογραφήματα

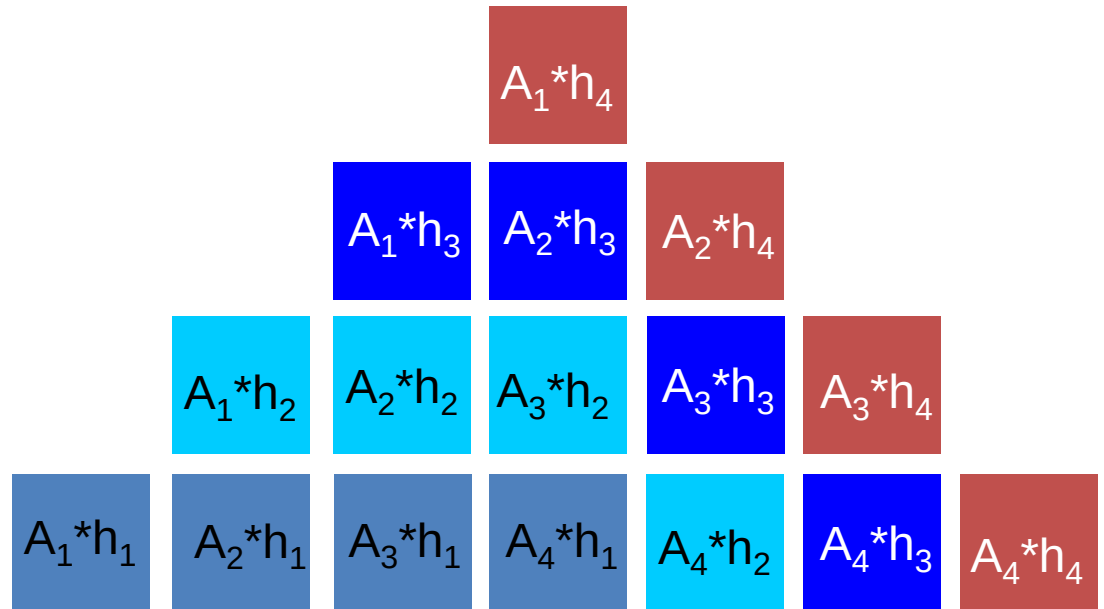
Φυσικό πλαίσιο



Βροχόπτωση



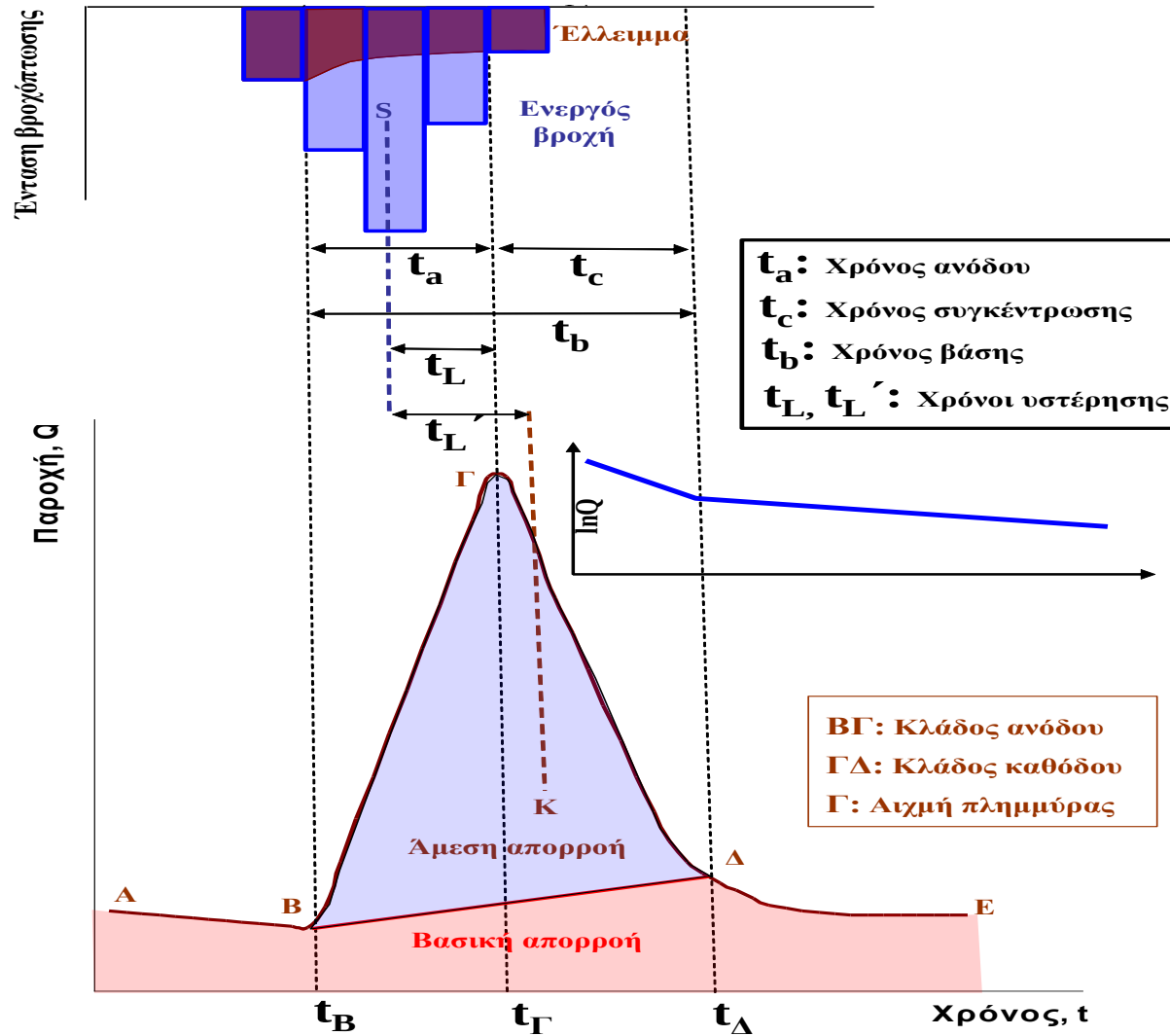
Όγκος απορροής



Χρόνος

Πλημμυρογραφήματα

Χαρακτηριστικά μεγέθη



Πλημυρογραφήματα

Υπολογισμός ενεργούς βροχόπτωσης

- Η ενεργός (ωφέλιμη) βροχή είναι η διαφορά μεταξύ της ποσότητας των κατακρημνισμάτων και της ποσότητας που αποθηκεύεται στο έδαφος
- Σύμφωνα με την ευρέως διαδεδομένη μεθοδολογία της NRCS η αποθηκευτικότητα του εδάφους δίνεται από τον τύπο:

$$S(mm) = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Όπου: CN παράμετρος (με τιμές από 0-100) που εξαρτάται από: τον τύπο εδάφους, τις χρήσεις γης και τις προηγούμενες από τη βροχόπτωση συνθήκες εδαφικής υγρασίας

Τύποι εδαφών

- A:** Μεγάλοι ρυθμοί διήθησης (π.χ. αμμώδη και χαλικώδη)
- B:** Μέσοι ρυθμοί διήθησης (π.χ. αμμώδης πηλός)
- C:** Μικροί ρυθμοί διήθησης (π.χ. αργιλοπηλός)
- D:** Πολύ μικροί ρυθμοί διήθησης (π.χ. Πλαστικές άργιλοι)

Παραδείγματα τιμής CN για διάφορες χρήσεις γης και συνθήκες υγρασίας τύπου II

Χρήση γη	Τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
Λιβάδια	30-68	58-79	71-86	78-89
Δάση	25-45	55-66	70-77	77-83
Οικιστικές περιοχές	51-77	68-85	79-90	84-92
Δρόμοι	72-98	82-98	87-98	89-98

Τύποι προηγούμενων συνθηκών εδαφικής υγρασίας (με βάση τη βροχή των τελευταίων 5 ημερών)

- I: Ξηρές συνθήκες CN_I (βροχή < 13 mm ή < 35 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
- II: Μέσες συνθήκες CN_{II} (βροχή μεταξύ 13 και 38 mm ή μεταξύ 35 και 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
- III: Υγρές συνθήκες CN_{III} (βροχή > 38 mm ή > 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)

$$CN_I = \frac{0.42CN_{II}}{1 - 0.0058CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 + 0.013CN_{II}}$$

Πλημμυρογραφήματα

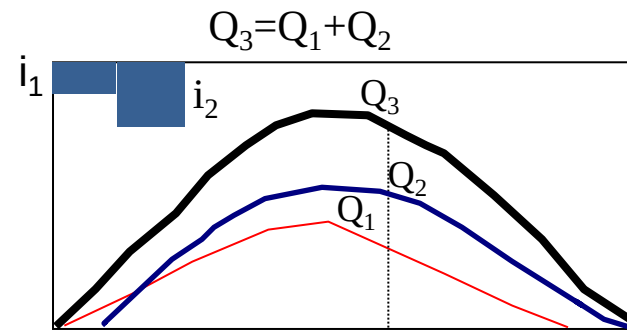
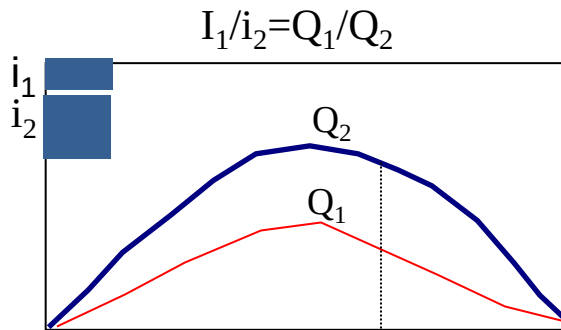
Μοναδιαίο Υδρογράφημα - Γενικά

❑ Παραδοχές

- Σε μια υδρολογική λεκάνη, βροχές ίσης διάρκειας που προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση ανεξάρτητα από την ένταση της βροχής
- Σε μια υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μια συγκεκριμένη βροχή είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές
- Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει χρονικά αμετάβλητη

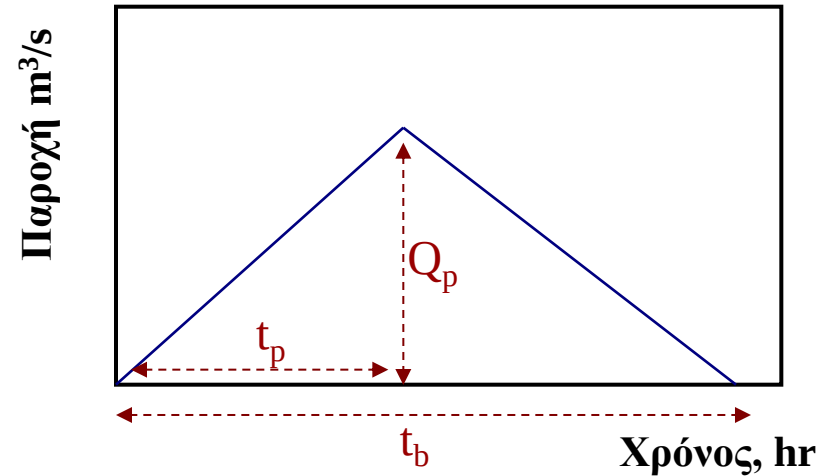
❑ Αρχές

- Αρχή της αναλογίας: Δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής έντασης δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση ενώ ο λόγος των παροχών σε κάθε χρονικό βήμα είναι ίσος με το λόγο των εντάσεων των βροχών
- Αρχή της επαλληλίας: Το συνολικό υδρογράφημα που προκύπτει από διαδοχικές βροχοπτώσεις είναι το άθροισμα των παροχών των επιμέρους υδρογραφημάτων



Πλημμυρογράφημα

Μοναδιαίο Υδρογράφημα - Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας



$$t_b = 2.52 t_p$$

$$10 \text{ mm } A \text{ km}^2 = 0.5 t_b \text{ h } Q_p \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow$$

$$Q_p \text{ m}^3/\text{s} = 0.01 \text{ m } A 10^6 \text{ m}^2 / (0.5 \cdot 2.52 t_p \cdot 3600 \text{ s}) \Rightarrow$$

$$Q_p = 2.2 A / t_p$$

t_p

χρόνος ανόδου σε hr

Q_p

παροχή αιχμής σε m³/s

t_b

χρόνος βάσης σε hr

A

έκταση λεκάνης απορροής σε km²

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

$$t_b = 7 \text{ hr } A = 100 \text{ km}^2$$

$$V \text{ βροχής} = 10 \text{ mm} * 100 \text{ km}^2 = 1 * 10^6 \text{ m}^3$$

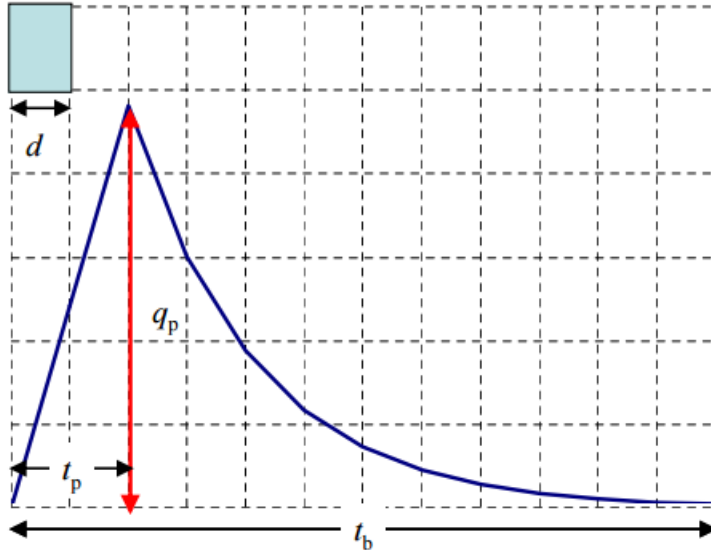
$$V \text{ απορροής} = 0.5 * t_b \text{ hr} * Q_p \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow Q_p \text{ m}^3/\text{s} = 1 * 10^6 \text{ m}^3 / (0.5 * 7 * 3600 \text{ s}) \Rightarrow Q_p = 79.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Πλημμυρογραφήματα

Μοναδιαίο Υδρογράφημα – Παραμετρικό ΜΥ

Μέθοδος Ευστρατιάδη κ.α.*

(<http://deucalionproject.itia.ntua.gr/>)



Ο **χρόνος ανόδου** εκφράζεται ως: $t_p = d / 2 + \beta t_c$

Ο **χρόνος βάσης** δίνεται από τη σχέση: $t_b = d + \gamma t_c$

Όπου:

t_c ο χρόνος συγκέντρωσης, και

β, γ παράμετροι με $0 < \beta < 1$ και $\gamma \geq 1$

(δεν έχει φυσικό νόημα η θεώρηση χρόνου βάσης μικρότερη του χρόνου συγκέντρωσης)

Οι χρόνοι t_p και t_b στρογγυλεύονται ώστε να εκφράζονται ως ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας d ,

$$T_p = \text{ROUND}(t_p / d) d$$

$$T_b = \text{ROUND}(t_b / d) d$$

Για $t \leq T_p$ (ανοδικός κλάδος υδρογραφήματος), οι παροχές υπολογίζονται από τη σχέση: $u(t) = q_p t / T_p$ όπου q_p η παροχή αιχμής του ΣΜΥ.

Για $t > T_p$ (καθοδικός κλάδος υδρογραφήματος), οι παροχές υπολογίζονται από την αντίστροφη εκθετική σχέση: $u(t) = q_p \exp(-k t / T_b)$ όπου k τέτοια ώστε για $t = T_b$ η παροχή να είναι ίση με μια ελάχιστη τιμή q_0 , δηλαδή $u(T_b) = q_0$.

Από τη σχέση προκύπτει ο αναλυτικός υπολογισμός του **συντελεστή στείρευσης k** : $k = -\ln(q_0 / q_p)$

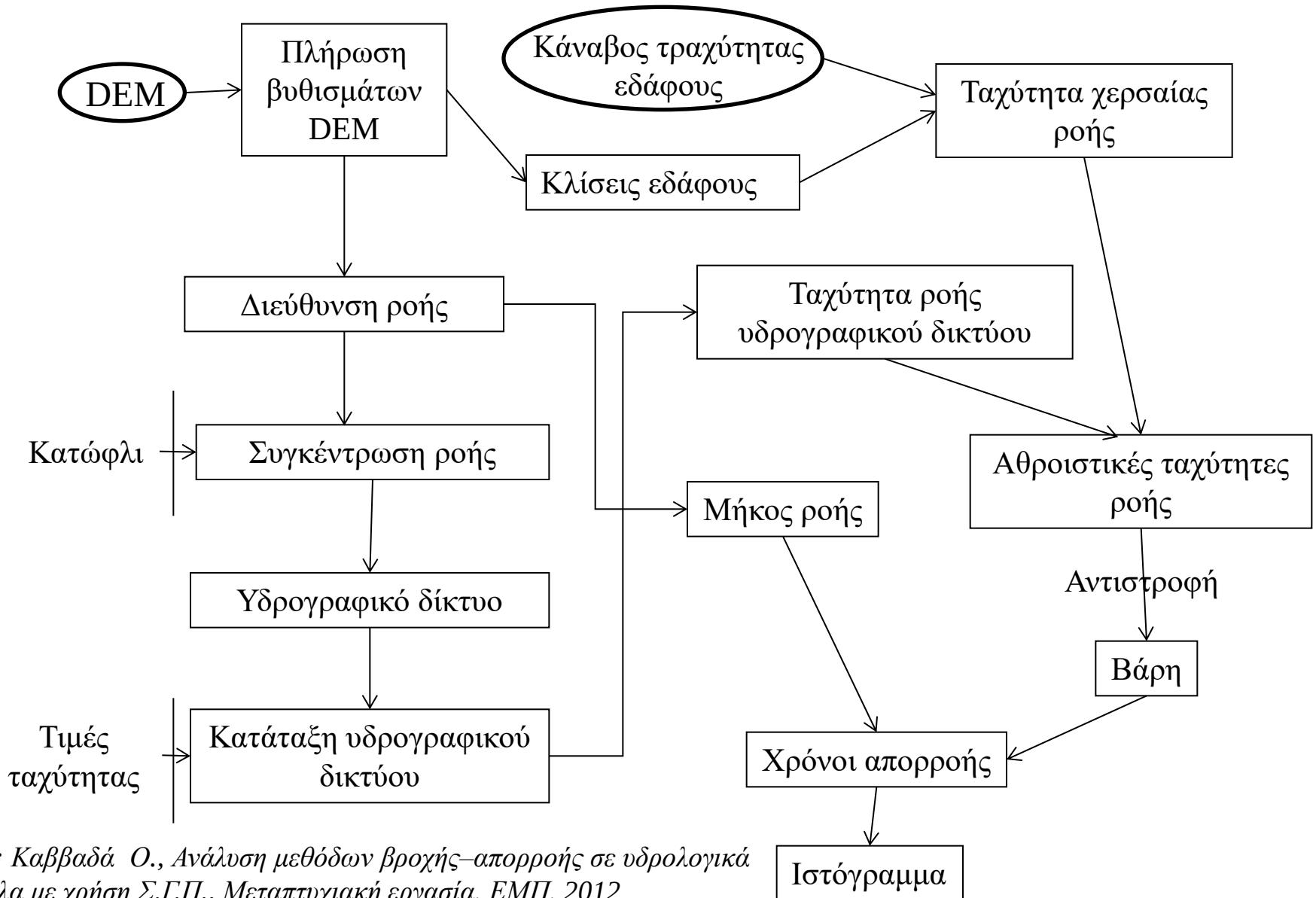
Η παροχή στο πέρας του χρόνου βάσης λαμβάνεται συμβατικά ίση με $q_0 = 0.01 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Η παροχή αιχμής q_p προκύπτει από την εξίσωση του όγκου του ΣΜΥ με τον όγκο της μοναδιαίας βροχής $V_0 = h_0 A$, όπου $h_0 = 10 \text{ mm}$ το ύψος της μοναδιαίας βροχής και A η έκταση της λεκάνης. Για τον υπολογισμό της **παροχής αιχμής q_p** δεν υπάρχει αναλυτική σχέση, και επιλύεται αριθμητικά.

*Ευστρατιάδης, Α., Α. Κουκουβίνος, Ε. Μιχαηλίδης, Ε. Γαλιούνα, Κ. Τζούκα, Α. Δ. Κούσης, Ν. Μανάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, Τεχνική έκθεση περιγραφής περιοχικών σχέσεων εκτίμησης χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών, ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων,

Πλημμυρογραφήματα

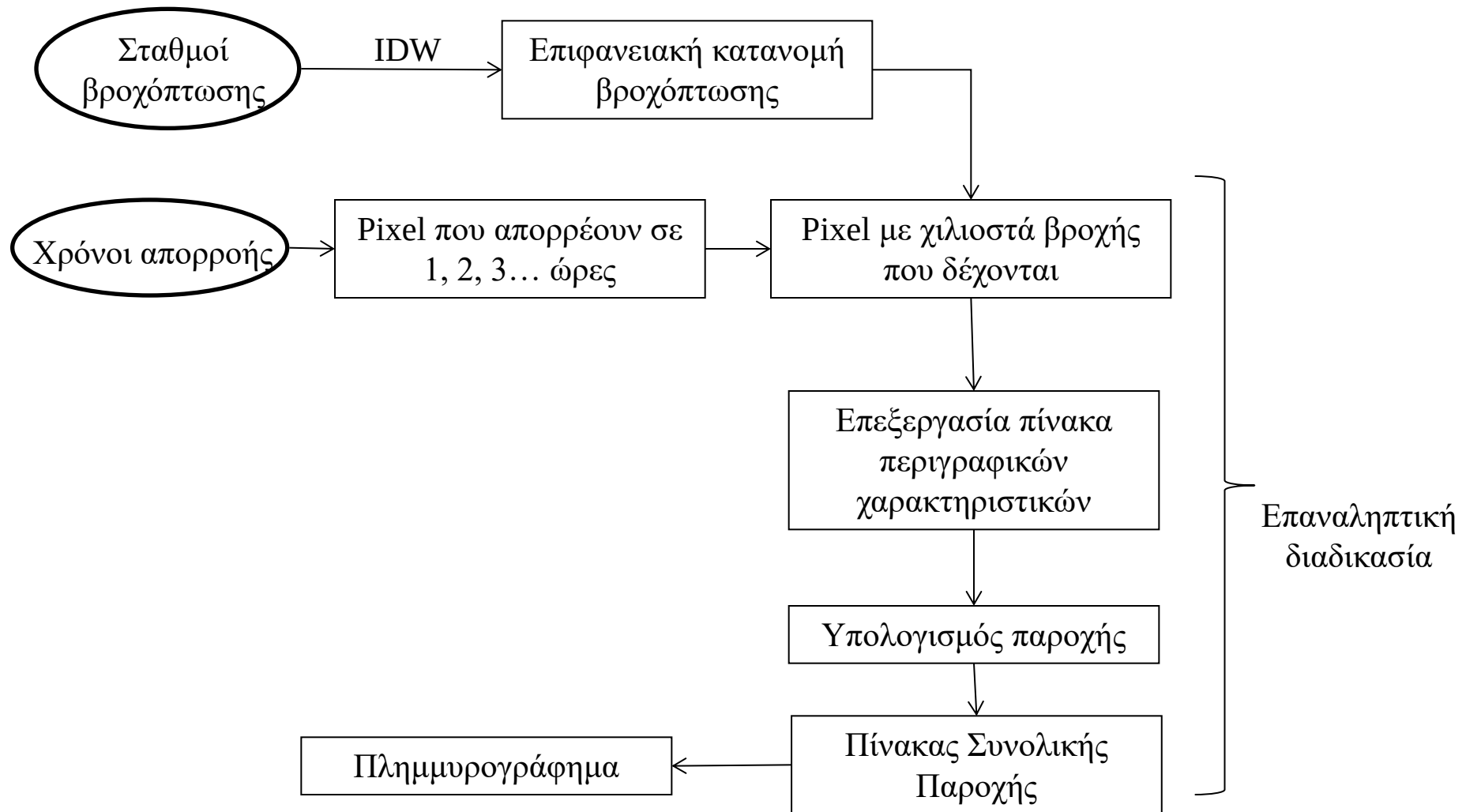
Κατάρτιση μοναδιαίου υδρογραφήματος με ψηφιδωτά δεδομένα



Πηγή: Καββαδά Ο., Ανάλυση μεθόδων βροχής-απορροής σε υδρολογικά μοντέλα με χρήση Σ.Γ.Π., Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, 2012

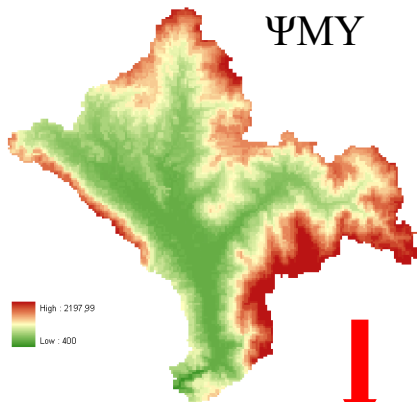
Πλημμυρογραφήματα

Υπολογισμός παροχής με ψηφιδωτά δεδομένα

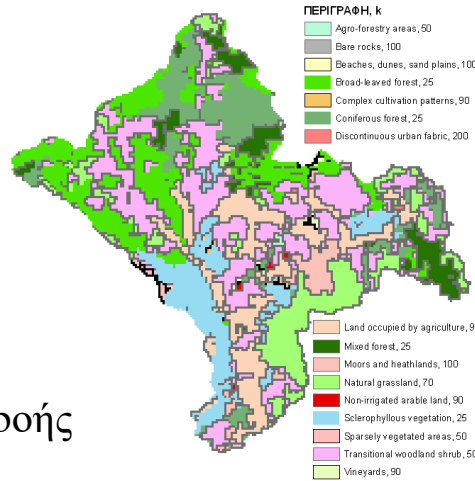


Πλημμυρογραφήματα

Εκτίμηση ΜΥ με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών - Εφαρμογή



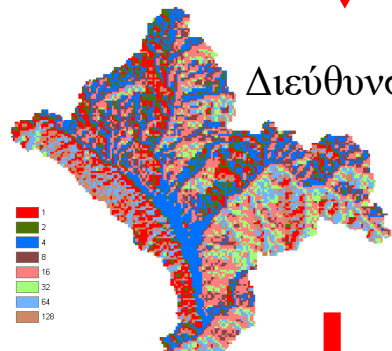
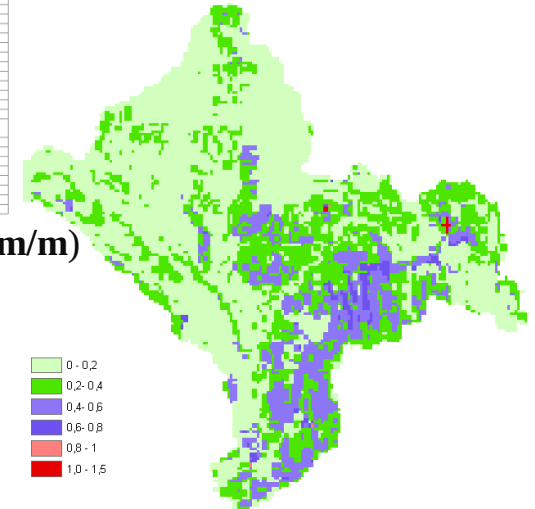
Χρήσεις γης



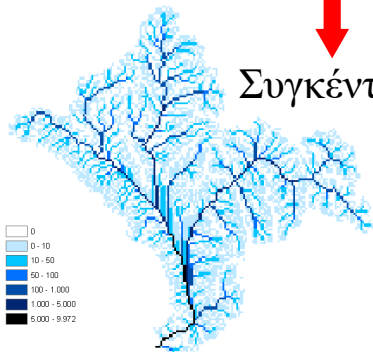
Ταχύτητες εκτός υδρογραφικού δικτύου

Κατηγορία, Κόστος, Costes 2006	Κοιτίδα	k (m/s)
Στεγνή πεδινή απορροή	111	0,34
Διασκορπισμένη πεδινή απορροή	112	0,22
Βραχονησίδες & μαλακά βότσα	121	0,22
Ορεινά και πεδινόβραχιαία έδαφος	122	0,34
Ελάση, θαλάσσιος	123	0,34
Ασφάλτος	124	0,34
Μη πεδινότητα ορεινή γη	211	1,46
Μόνιμα κρηάσματα γη	212	2,79
Ορεινόβραχια έδαφος και στείρες με σκληρούς καρπούς	222	2,79
Ελάση	223	2,79
Βοσκήλια	231	2,13
Επίστρωση ασφάλτου και λίθων	241	2,79
Σκληρά πεδινότητα και λίθων	242	2,79
Γη και ασφάλτος από γαλανά με σημαντικές ποσότητες ασφάλτου	243	1,55
Ασφαλτοστρώματα	311	1,55
Ασφαλτοστρώματα	312	1,55
Μερικά έδαφος	313	0,70
Φύκια και χαρμάνια	322	2,13
Συμπαγμένη έδαφος (βασάλτη)	323	1,55
Μεταβλητά έδαφος - θαλάσσιος ακτή	324	1,55
Διασκορπισμένα έδαφος	332	3,07
Ελάση με κρηάματα	333	1,46

$$V \text{ (m/s)} = k S^{1/2} \text{ (m/m)}$$

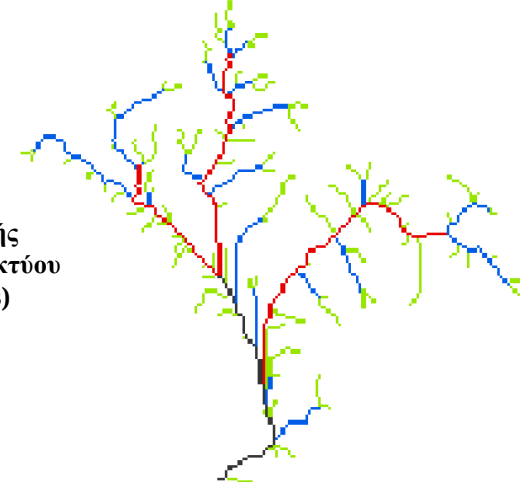


Τάξεις και ταχύτητες υδρογραφικού δικτύου



Ταχύτητες ροής
υδρογραφικού δικτύου
ανά τάξη (m/s)

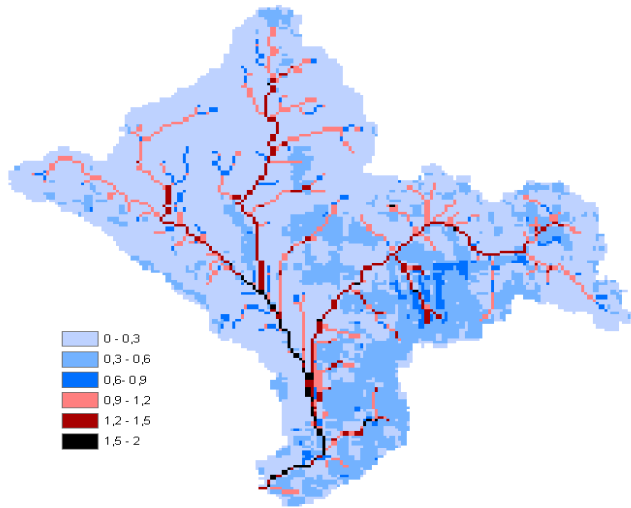
1	0.8
2	1
3	1.2
4	1.4



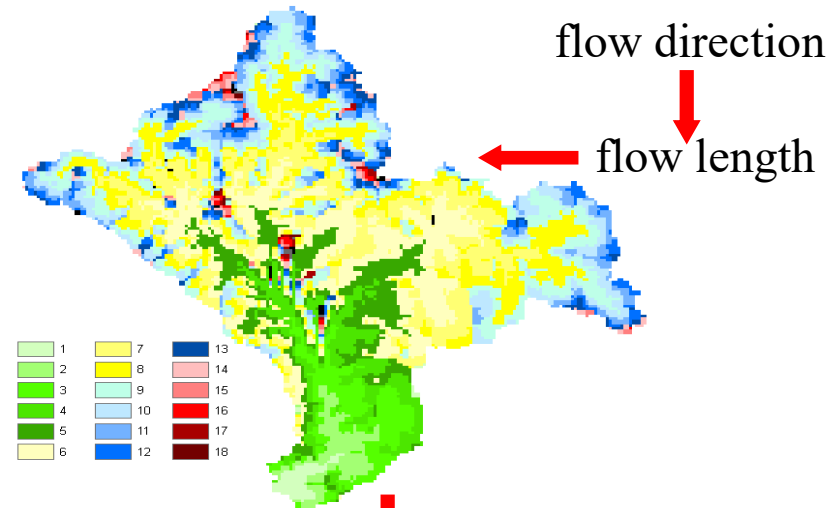
Πλημμυρογραφήματα

Εκτίμηση ΜΥ με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών - Εφαρμογή

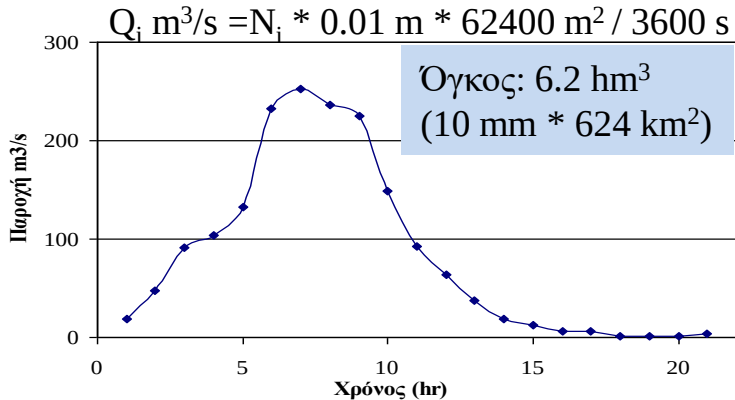
Συνολικές ταχύτητες ροής (m/s)



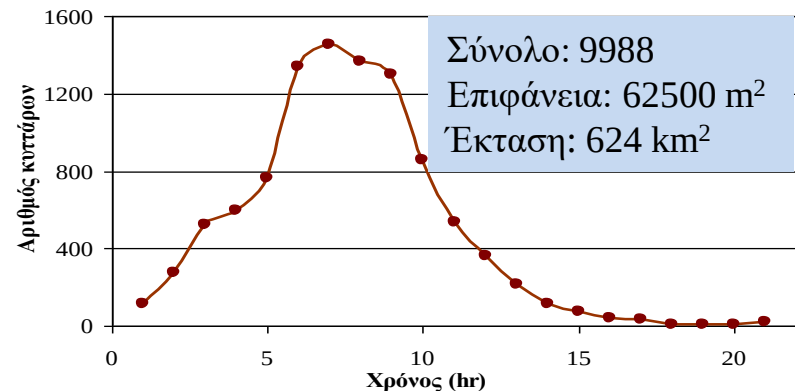
Χρόνοι απορροής (h)



Μοναδιαίο υδρογράφημα 1h



Αριθμός ψηφίδων που απορρέουν κάθε ώρα

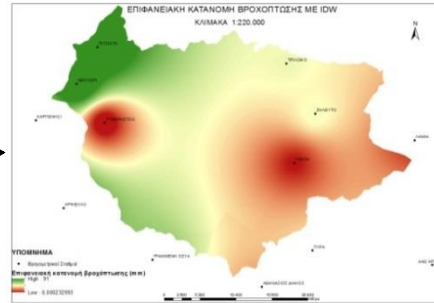


Πλημμυρογράφημα

Εκτίμηση παροχής με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών - Εφαρμογή



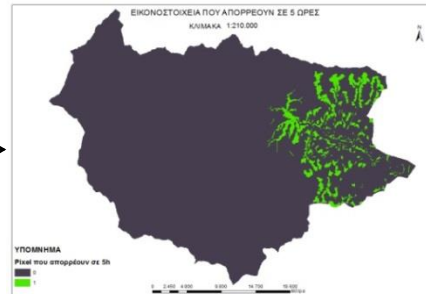
ΣΤΑΘΜΟΙ



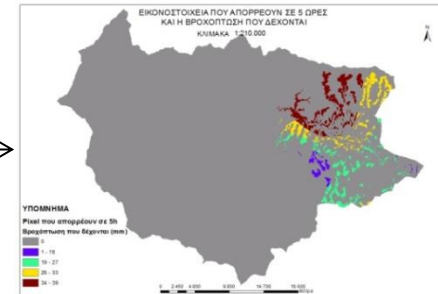
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ



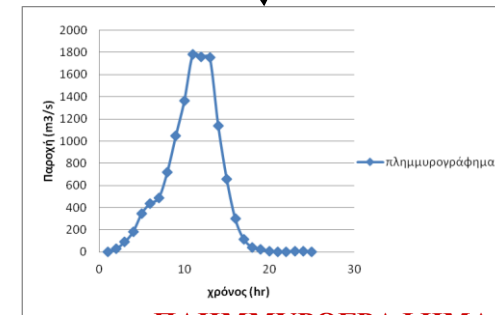
ΧΡΟΝΟΙ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



ΑΠΟΡΡΟΗ ΣΕ 5h



ΑΠΟΡΡΟΗ ΣΕ 5h με mm βροχής



ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Πηγή: Καββαδά Ο., Ανάλυση μεθόδων βροχής – απορροής σε υδρολογικά μοντέλα με χρήση Σ.Γ.Π., Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, 2012