

1.ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ



1. Ο Υδρολογικός κύκλος



2. Λεκάνες απορροής (Λ.Α.)



3. Υδρογραφικά δίκτυα



4. Κατακρημνίσεις

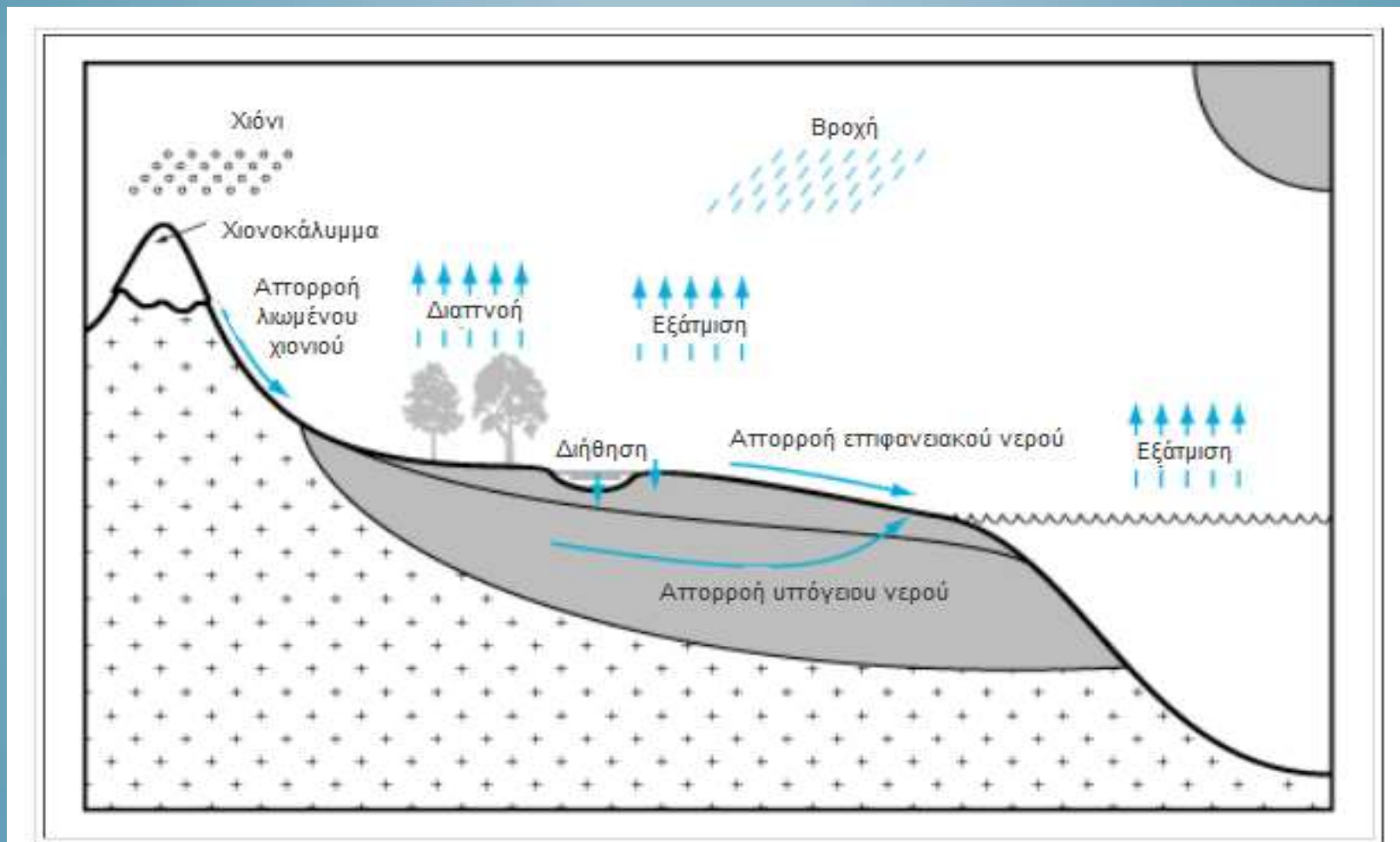


5. Εξατμισοδιαπνοή



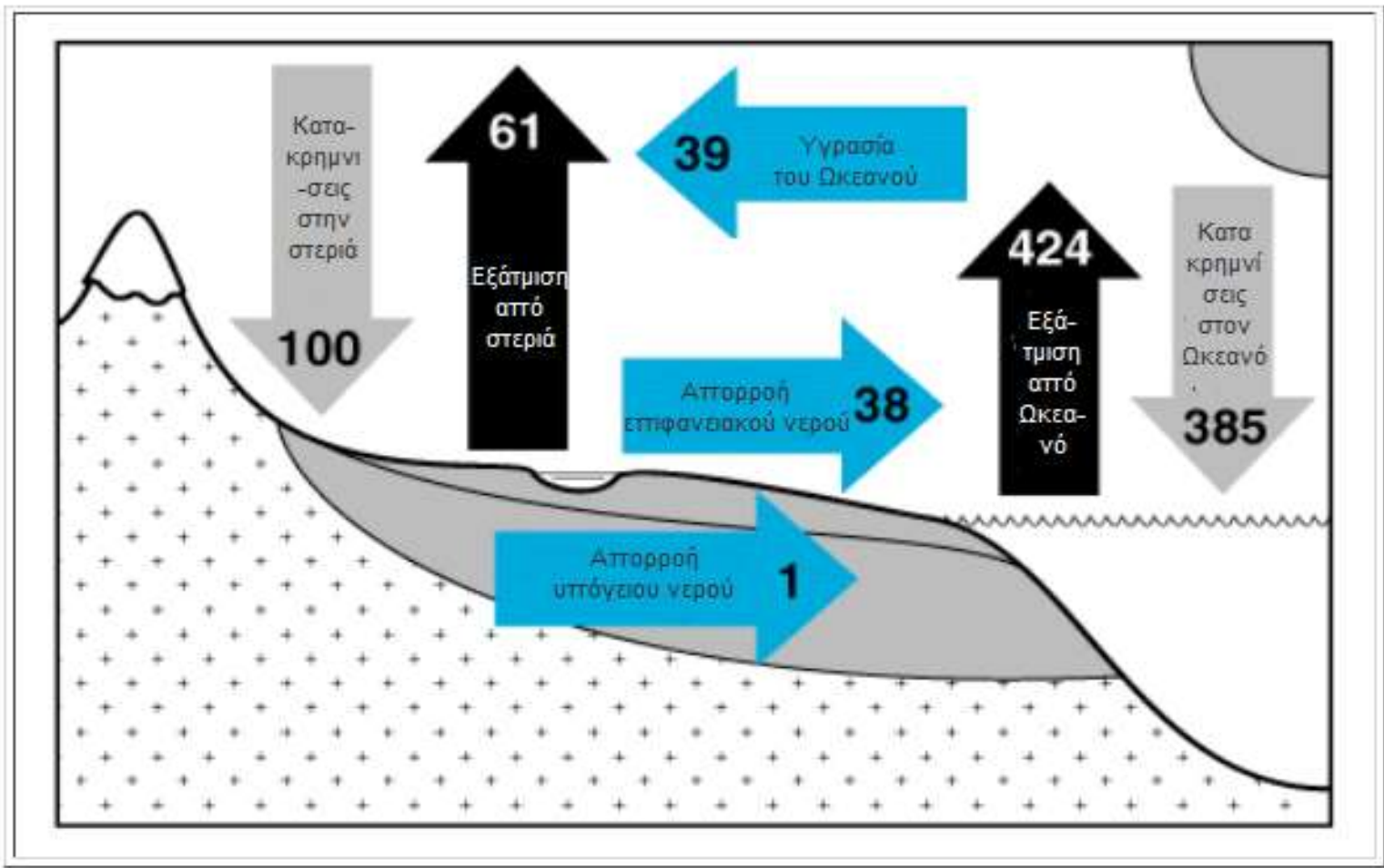
6. Ισοζύγιο Λ.Α.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ



Η θεμελιώδης έννοια της υδρολογίας είναι ο **υδρολογικός κύκλος** – η πλανητικής κλίμακας διεργασία ανακύκλωσης που μεταφέρει το νερό (σε υγρή, στερεά και αέρια φάση) στην ατμόσφαιρα, στις ηπείρους και στους ωκεανούς. Σε αυτή την άεναη διαδικασία, κάθε 'στάδιο' μπορεί να θεωρείται και ως ένα ρεζερβουάρ όπου το νερό αποθηκεύεται προσωρινά.

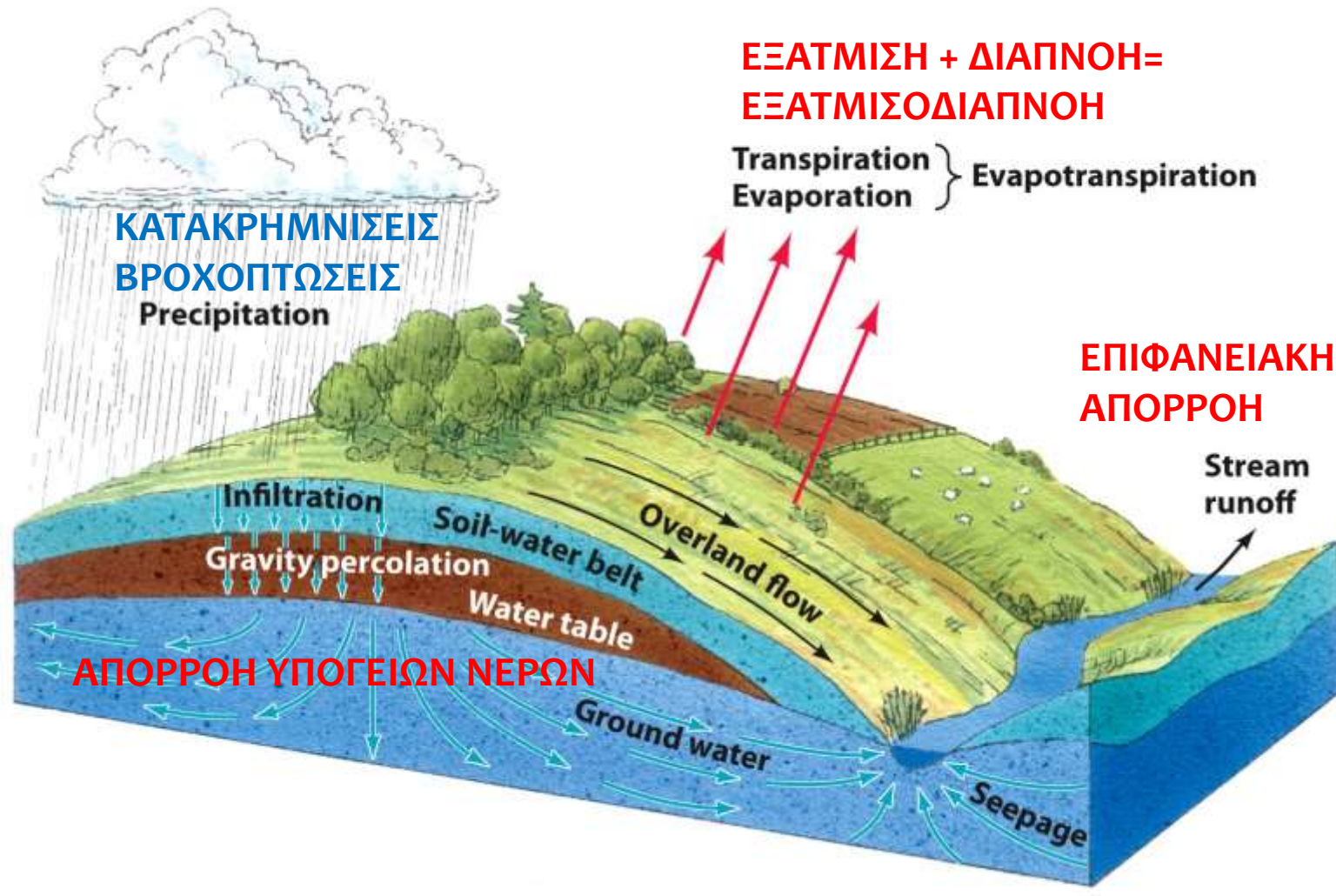
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ



Τα μαύρα βέλη απεικονίζουν ροές προς την ατμόσφαιρα, τα γκρίζα ροές προς ωκεανό ή στεριά και τα μπλέ απεικονίζουν πλευρικές ροές. Πηγή: Maidment (1993).

ΜΟΝΑΔΑ: ΚΥΒΙΚΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ



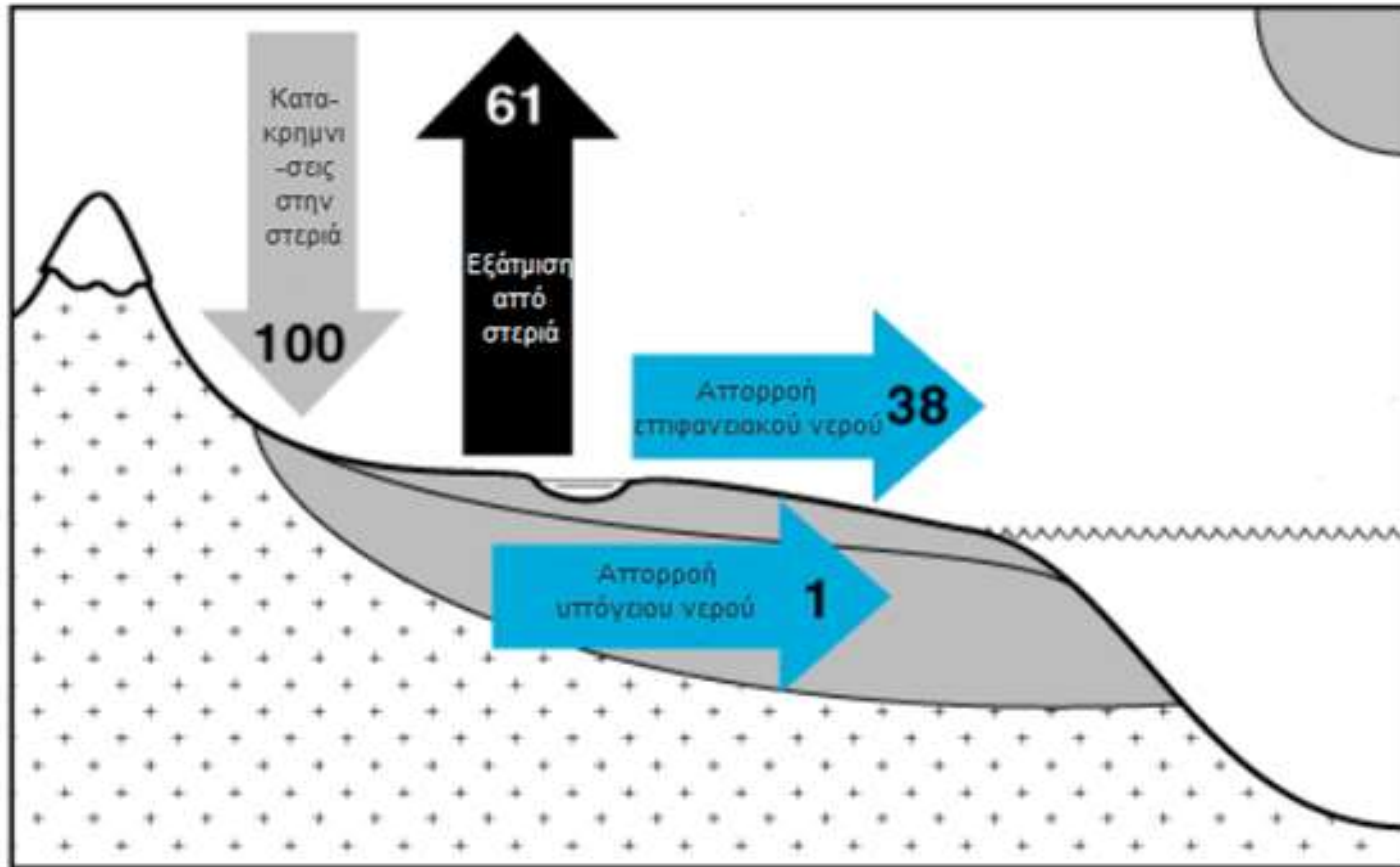
Το νερό από την ριζική ζώνη μπορεί να επιστρέψει στην ατμόσφαιρα με την εξάτμιση ή την διαπνοή των φυτών.
Ένα τμήμα του διηθούμενου νερού διαπερνά την ριζική ζώνη και φτάνει στην ζώνη του υπόγειου νερού.

Από την βροχή κάποιο νερό βυθίζεται στο έδαφος με την διήθηση. Από αυτό, ένα τμήμα κατακρατείται προσωρινά στην ζώνη του ριζοστρώματος (soil-water belt) όπου και χρησιμοποιείται από τα φυτά.

Όποτε η βροχή είναι δυνατή το νερό κυλάει στην επιφάνεια του εδάφους σαν επιφανειακή απορροή (overland flow). Σε περιόδους παρατεταμένων βροχών ή γρήγορου λιωσίματος των χιονιών η επιφανειακή απορροή τροφοδοτεί κατ' ευθείαν τα υδατορεύματα.

Οι κατακρημνίσεις στις ηπείρους είτε απορρέουν στην επιφάνεια σαν ποτάμια είτε διεισδύουν στο έδαφος (διήθηση). Από το διηθούμενο νερό κάποιο εξατμίζεται με την εξατμοδιαπνοή (διαπνοή: η απώλεια νερού από την αναπνοή των φυτών) και κάποιο φτάνει μέχρι τον υδροφόρο ορίζοντα και γίνεται υπόγειο νερό.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ



Στις Ηπείρους, κατά μέσο όρο η απορροή είναι το 40% της κατακρήμνισης. Το υπόλοιπο 60% «χάνεται» στην εξάτμιση και την διαπνοή. Αυτός ο λόγος (0,40) λέγεται συντελεστής απορροής. Ο συντελεστής απορροής διαφέρει από τόπο σε τόπο και από χρονική περίοδο σε χρονική περίοδο.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

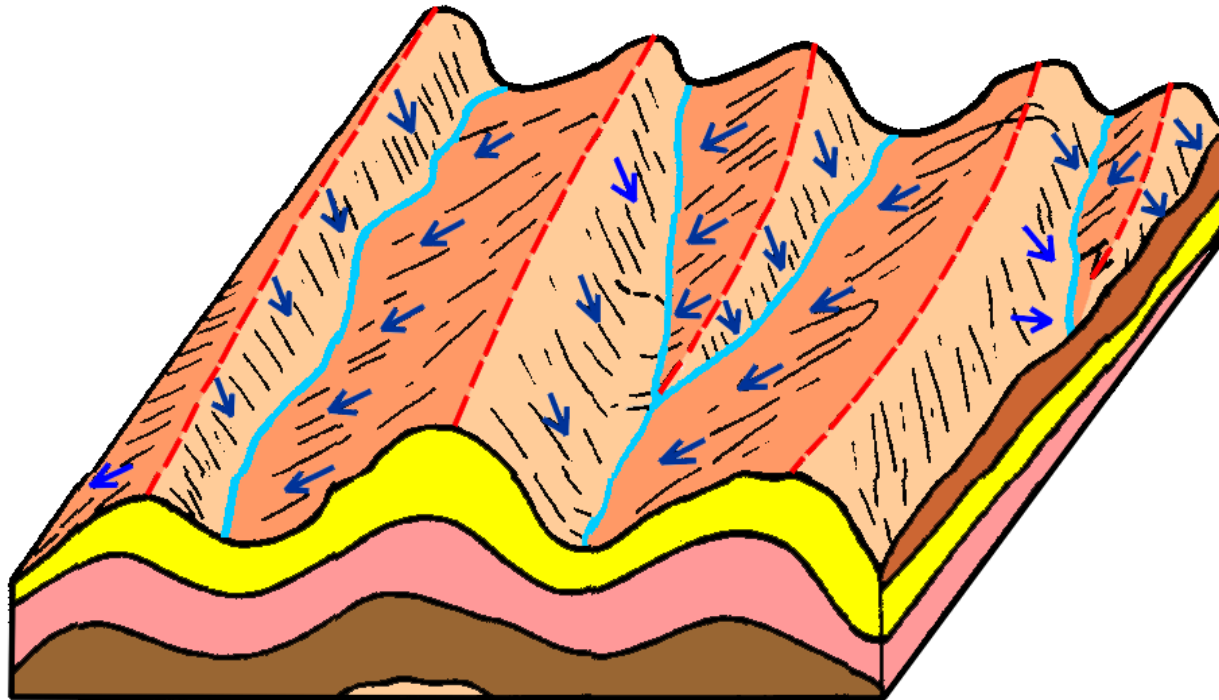
Παγκόσμιοι μέσοι όροι




Πηγή: Maidment (1993).

| Ήπειρος | Επιφάνεια (km ²) | \bar{p} (mm) | \bar{r}_i (mm) | $\bar{e}t$ (mm) | Συντελεστής \bar{r}_i/\bar{p} απορροής |
|------------------|---------------------------------|----------------|------------------|-----------------|---|
| Africa | 30.3×10^6 | 690 | 140 | 550 | 0.20 |
| Asia | 45×10^6 | 720 | 290 | 430 | 0.40 |
| Australia | 8.7×10^6 | 740 | 230 | 510 | 0.31 |
| Europe | 9.8×10^6 | 730 | 320 | 410 | 0.44 |
| North America | 20.7×10^6 | 670 | 290 | 380 | 0.43 |
| South America | 17.8×10^6 | 1650 | 590 | 1060 | 0.36 |

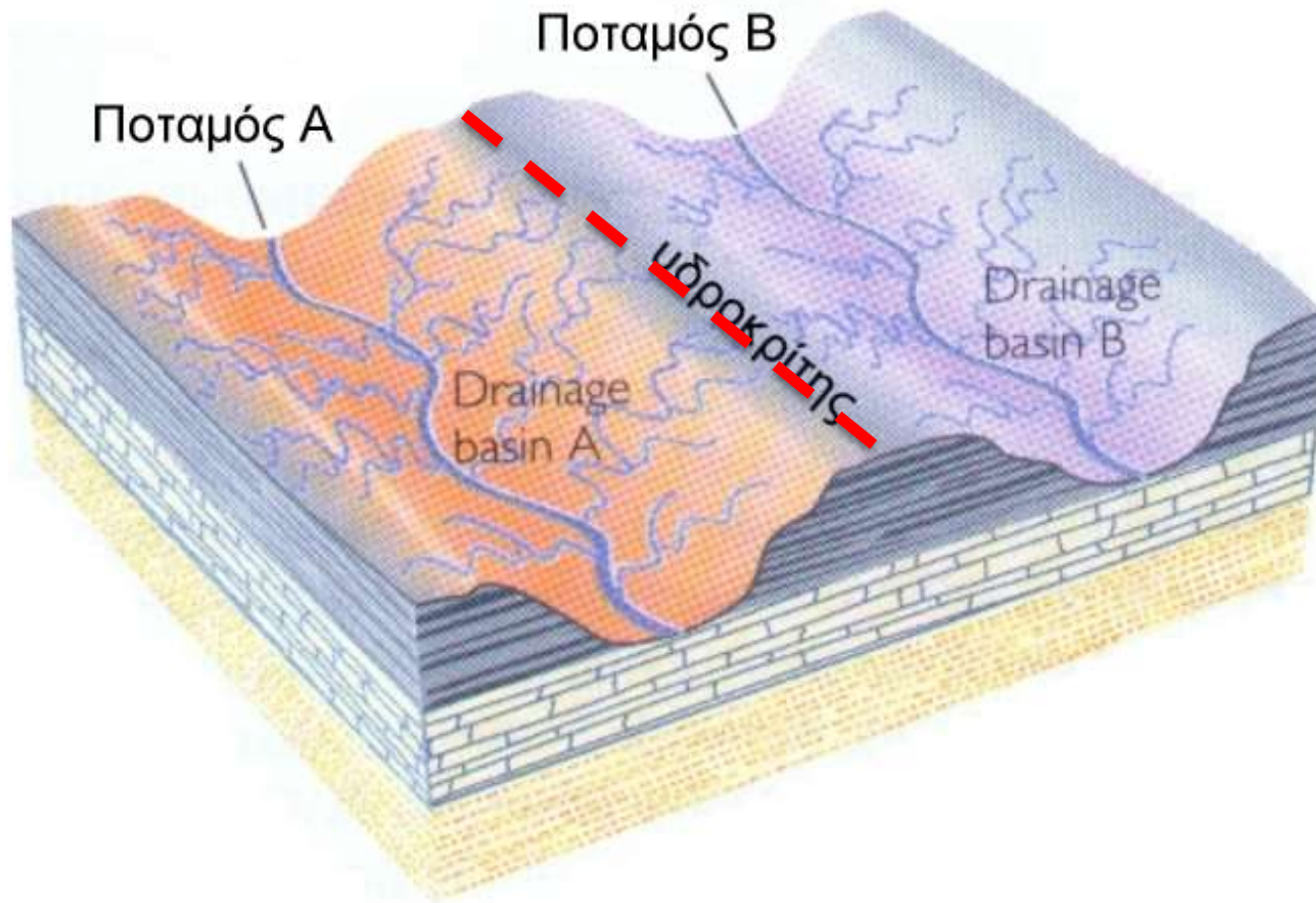
Συνηθίζουμε να μετράμε την βροχή σε χιλιοστά (ύψος βροχής). Έτσι, για να βρούμε τον όγκο του νερού που έχει πέσει σε κάποιο χρονικό διάστημα, ας πούμε ενός χρόνου, πολλαπλασιάζουμε το ύψος της βροχής επί το εμβαδό την επιφάνειας (για να πάρουμε κυβικά μέτρα θα τα μετατρέψουμε και τα δύο σε μέτρα).

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



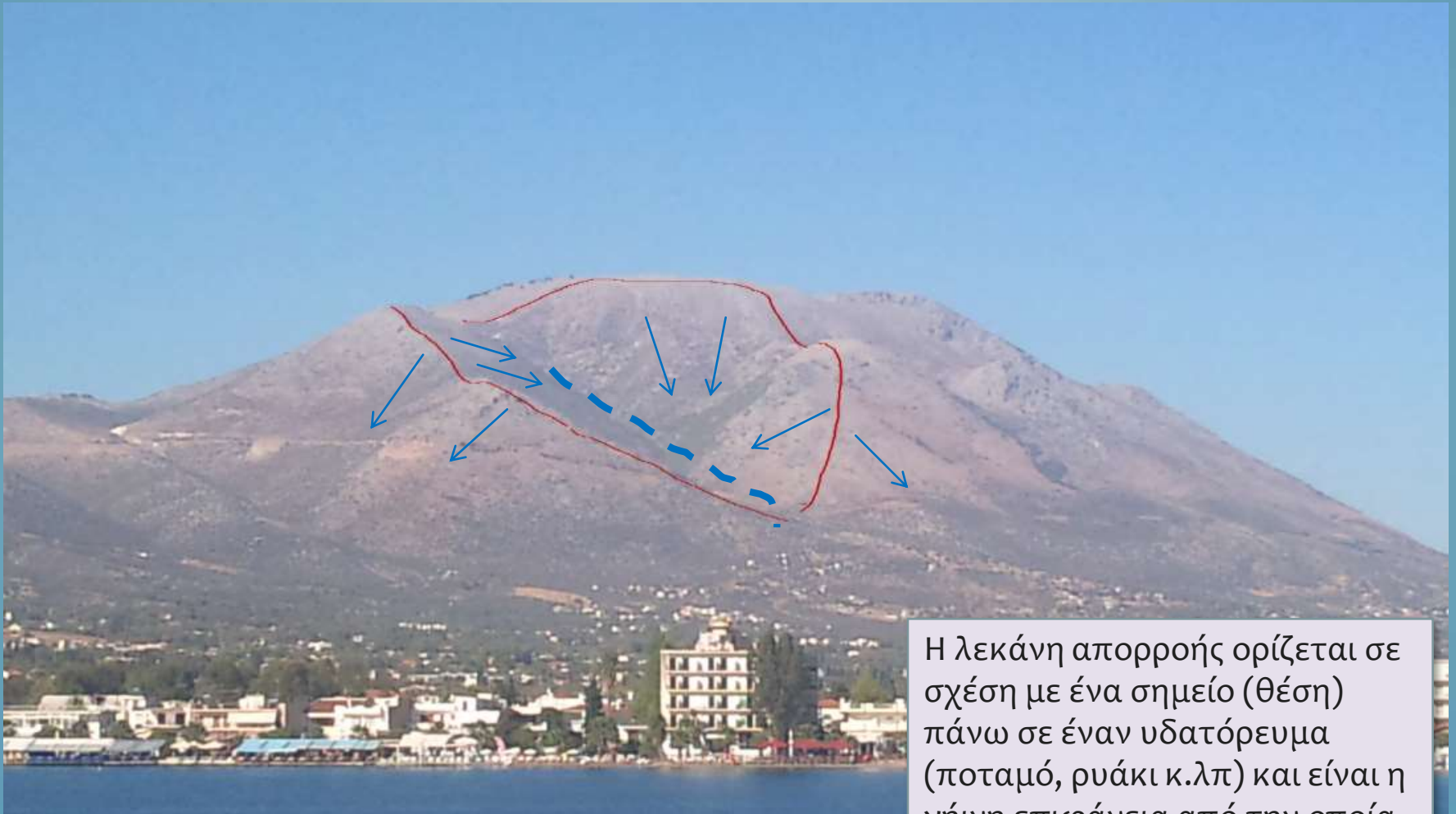
-  Ποτάμια ρεύματα
-  Υδροκρίτης
-  Επιφανειακή ροή

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



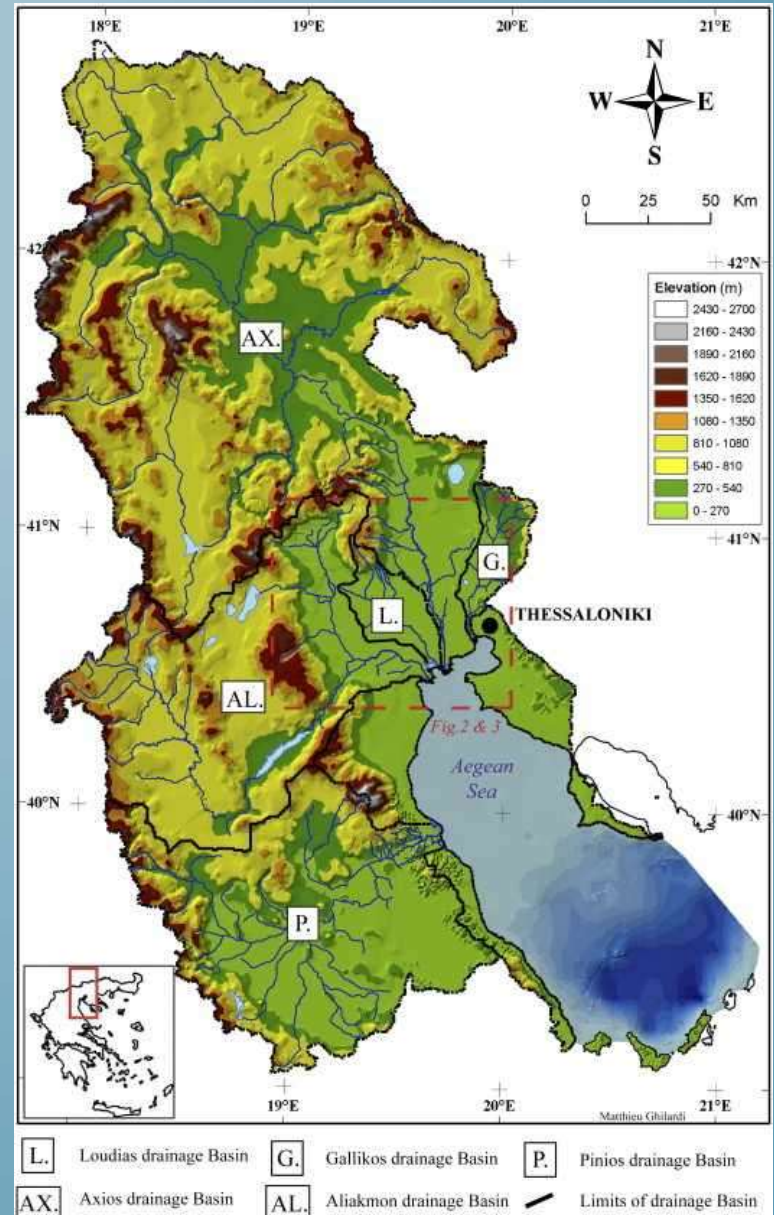
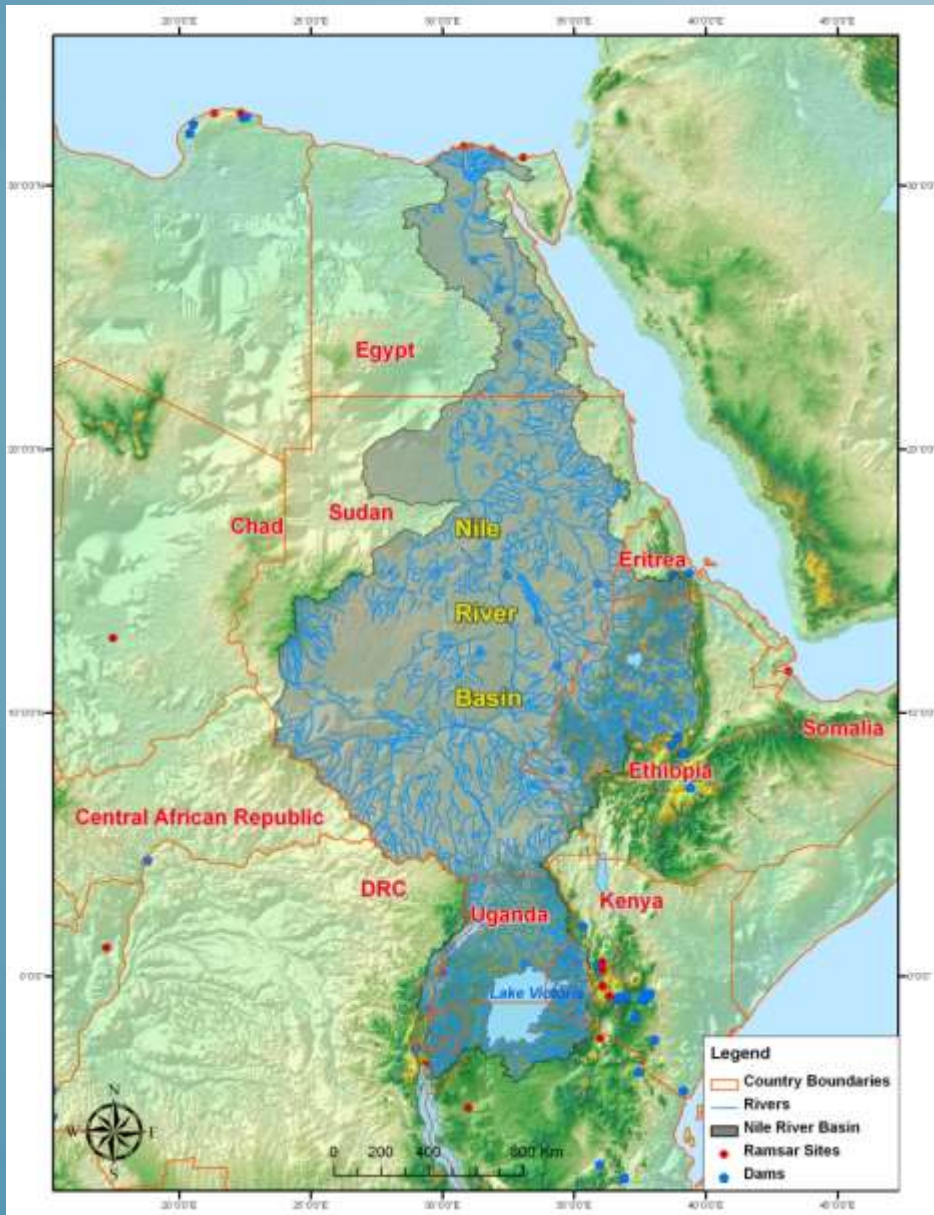
ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

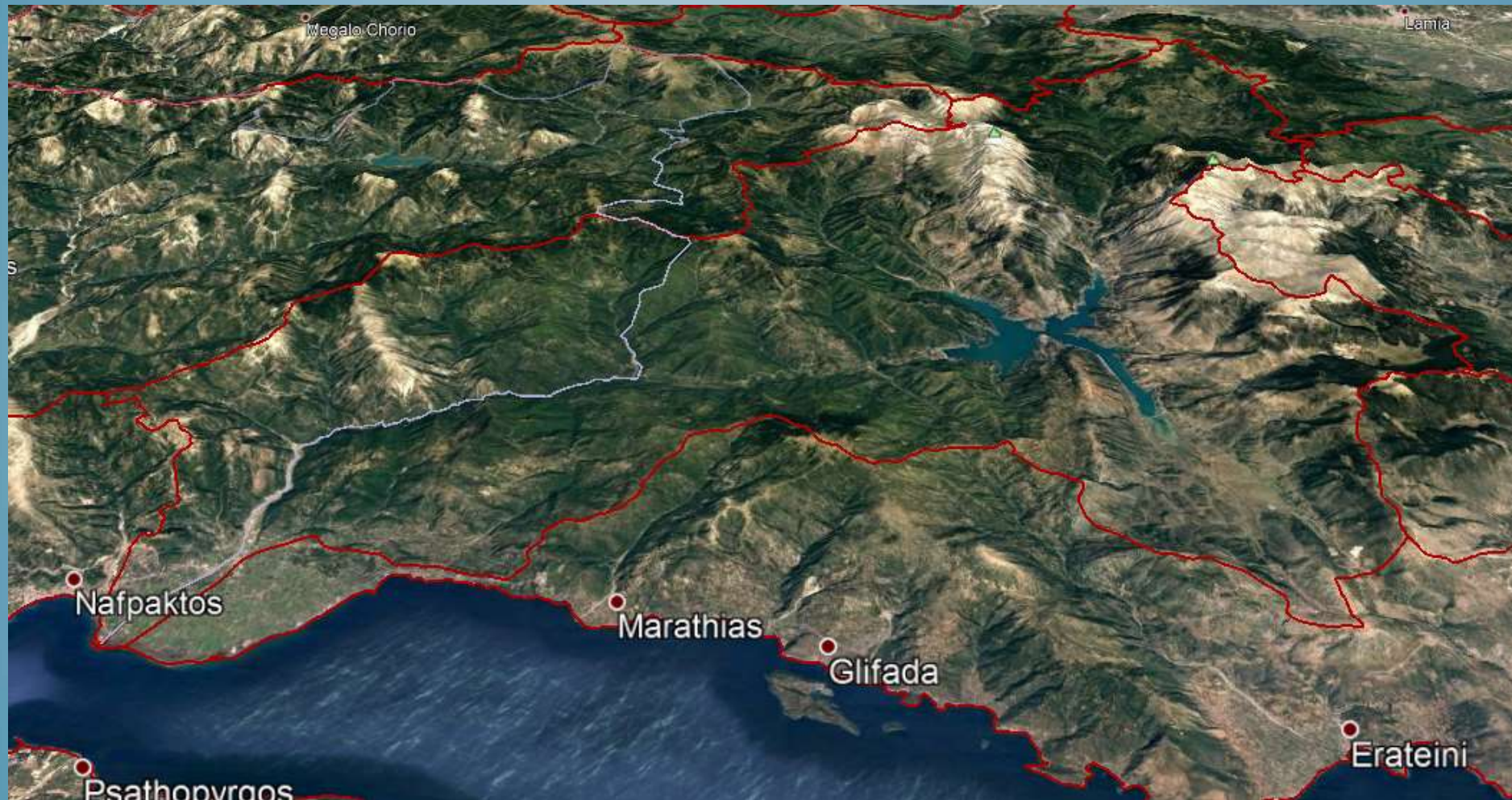


Η λεκάνη απορροής ορίζεται σε σχέση με ένα σημείο (θέση) πάνω σε έναν υδατόρευμα (ποταμό, ρυάκι κ.λπ) και είναι η γήινη επιφάνεια από την οποία το νερό, ρέοντας επιφανειακά, θα συρρεύσει στη συγκεκριμένη θέση.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

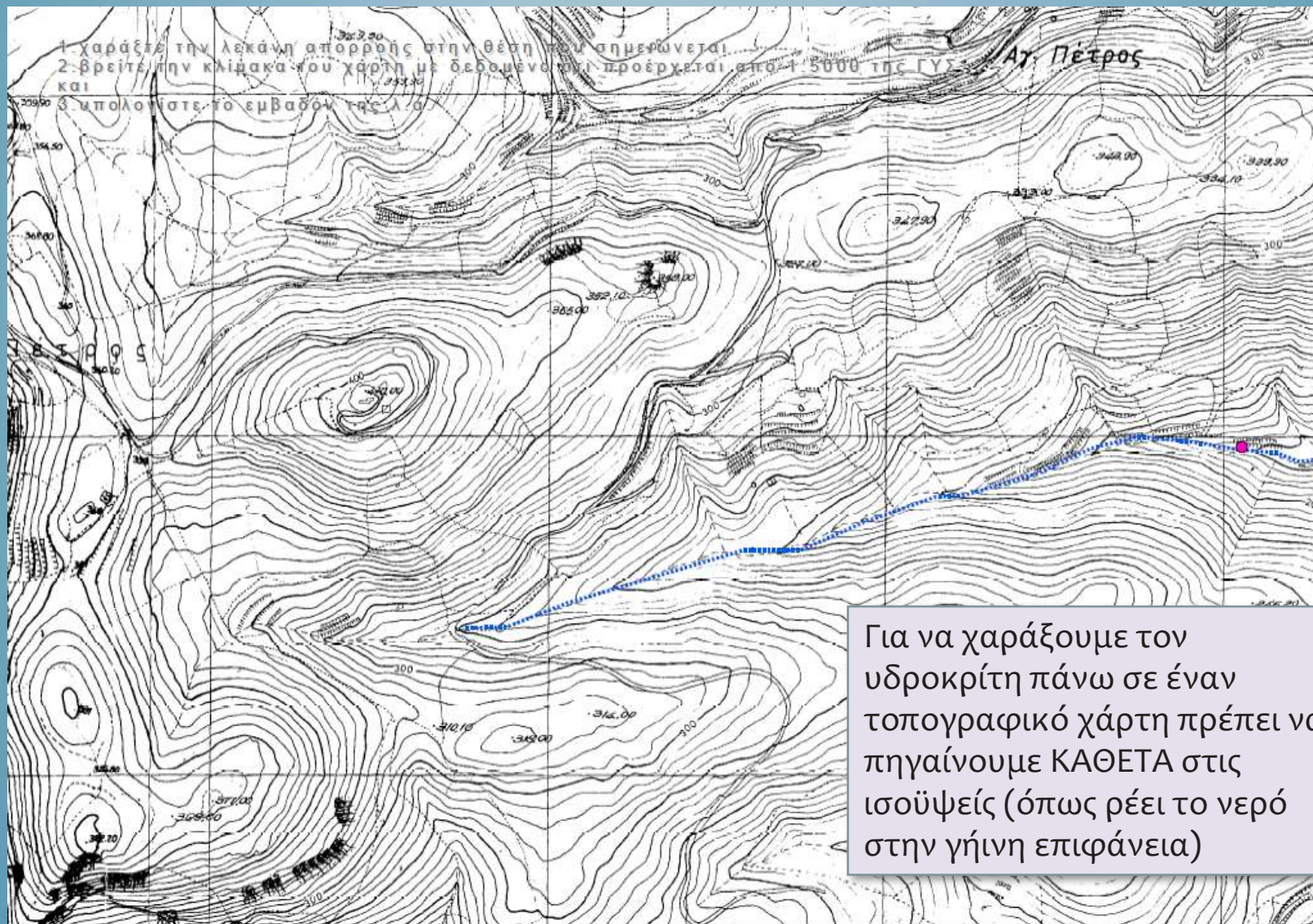


ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



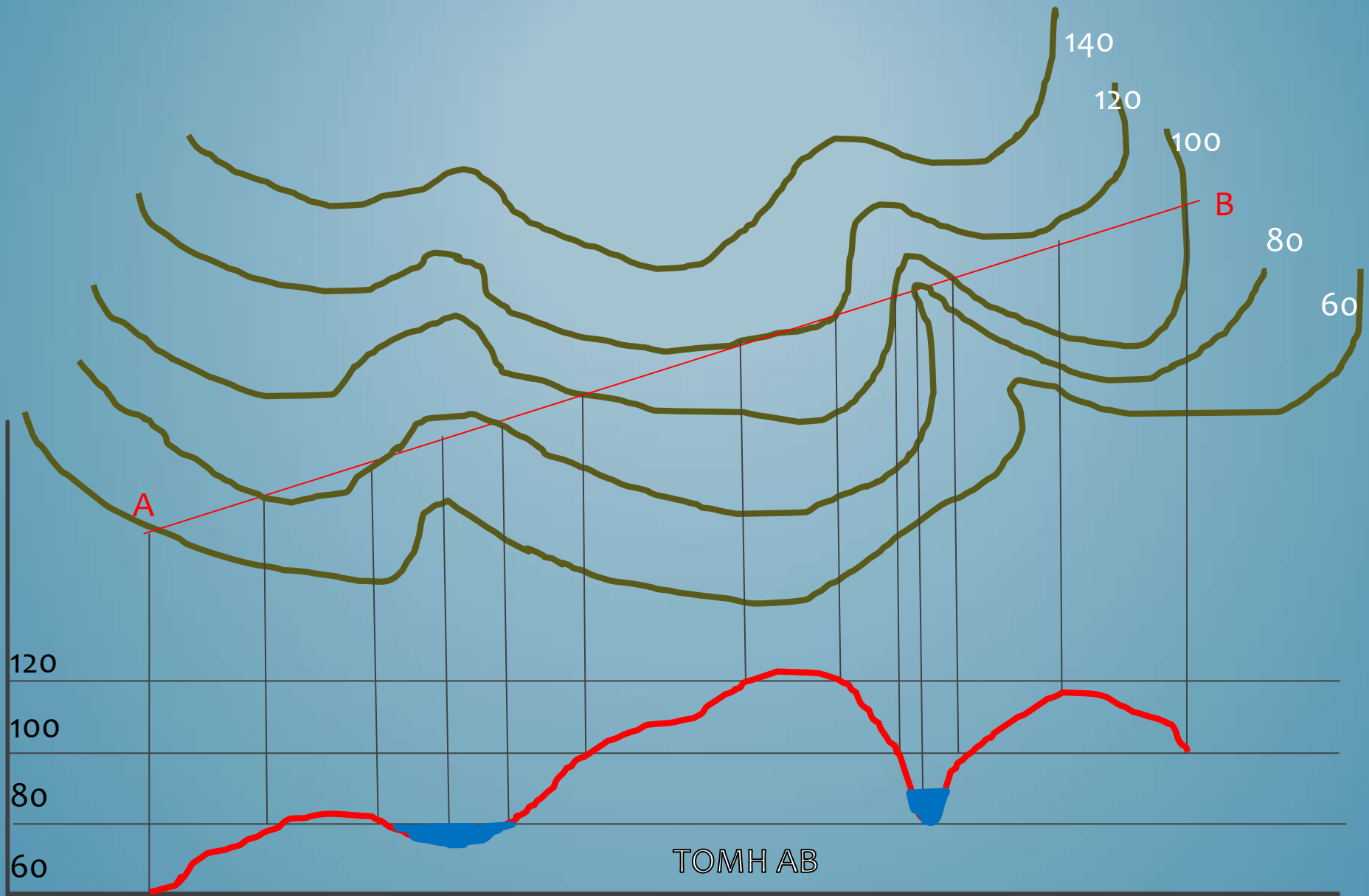
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΟΡΦΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

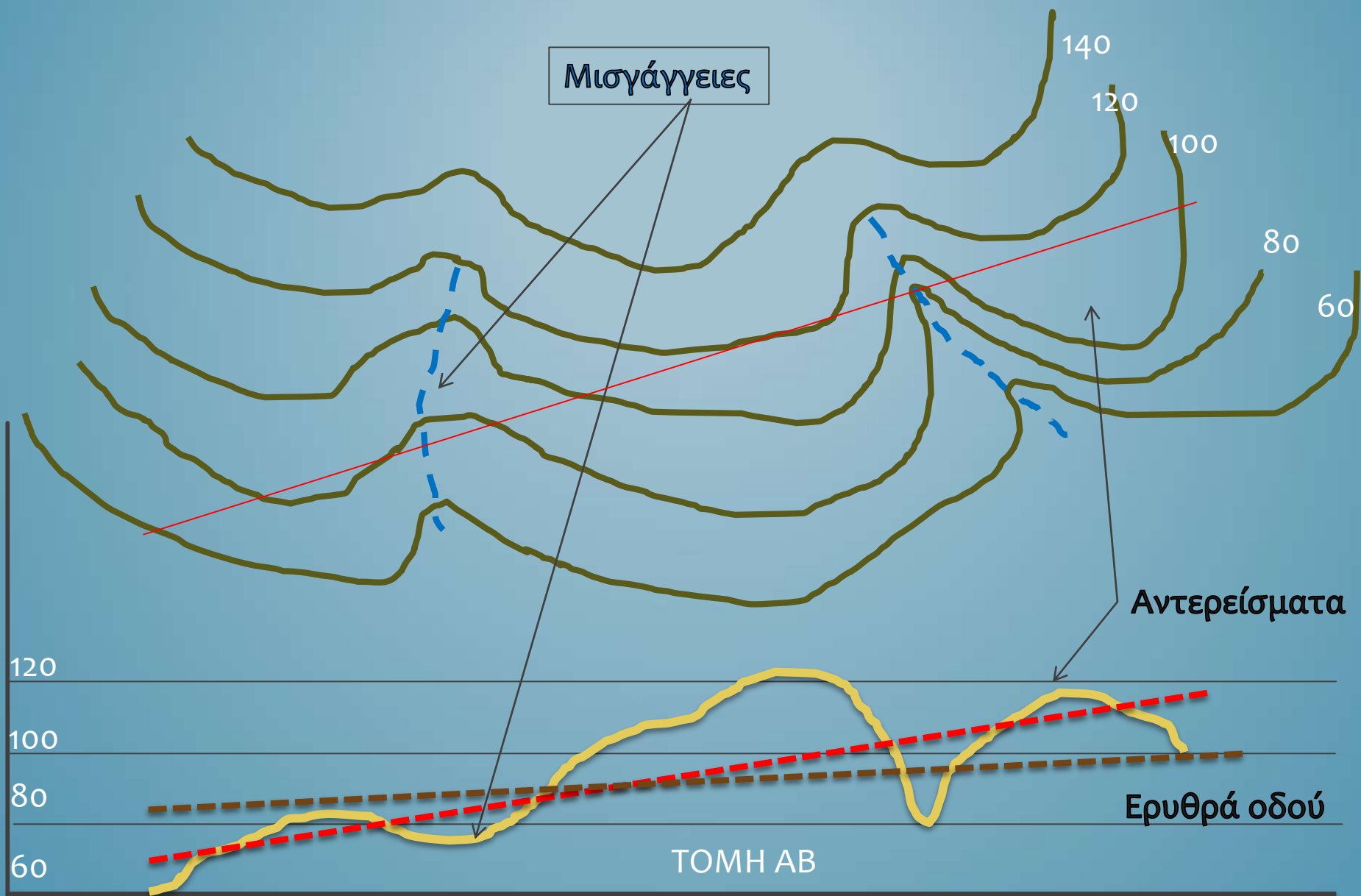


ΧΑΡΑΞΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ

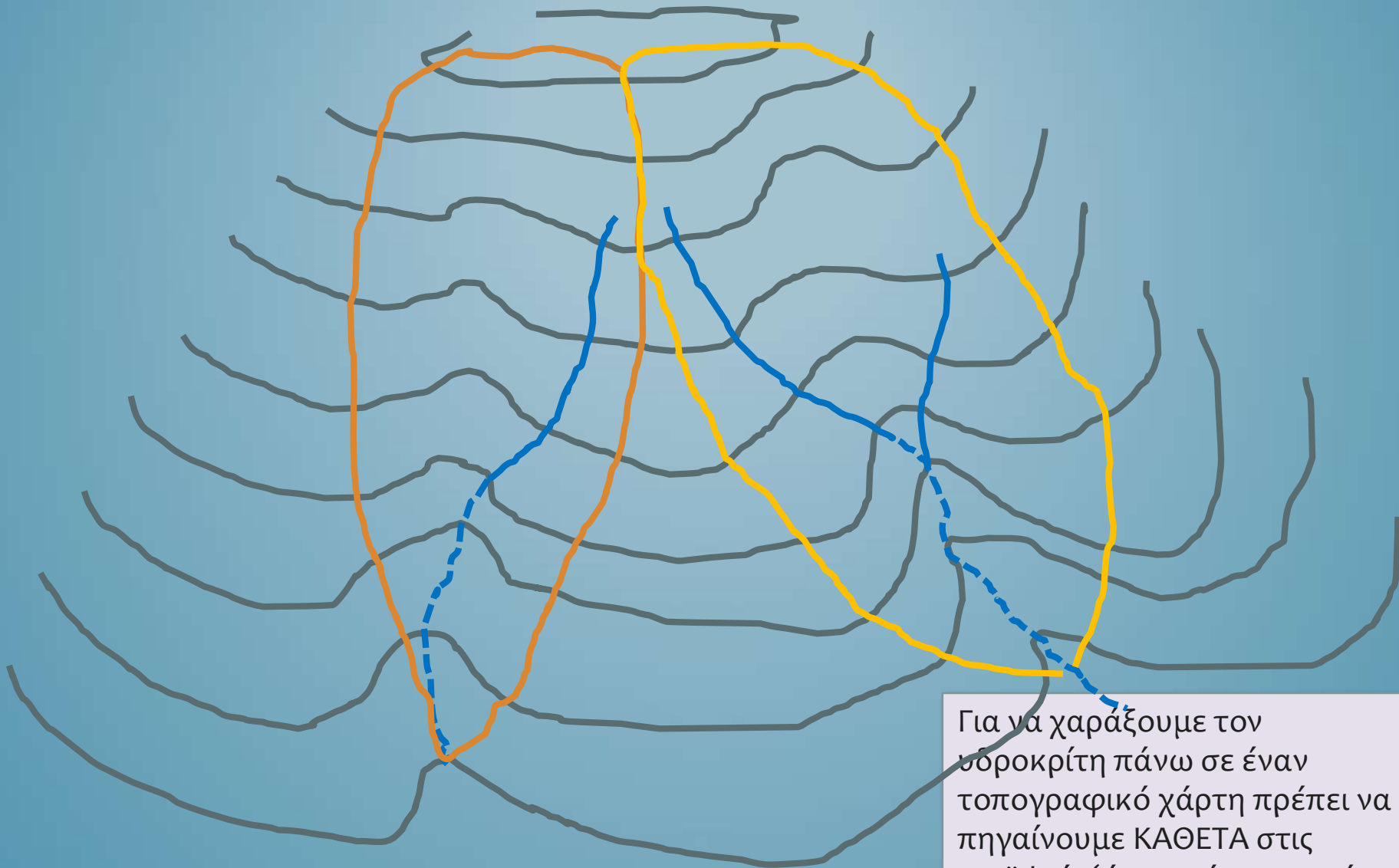
ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



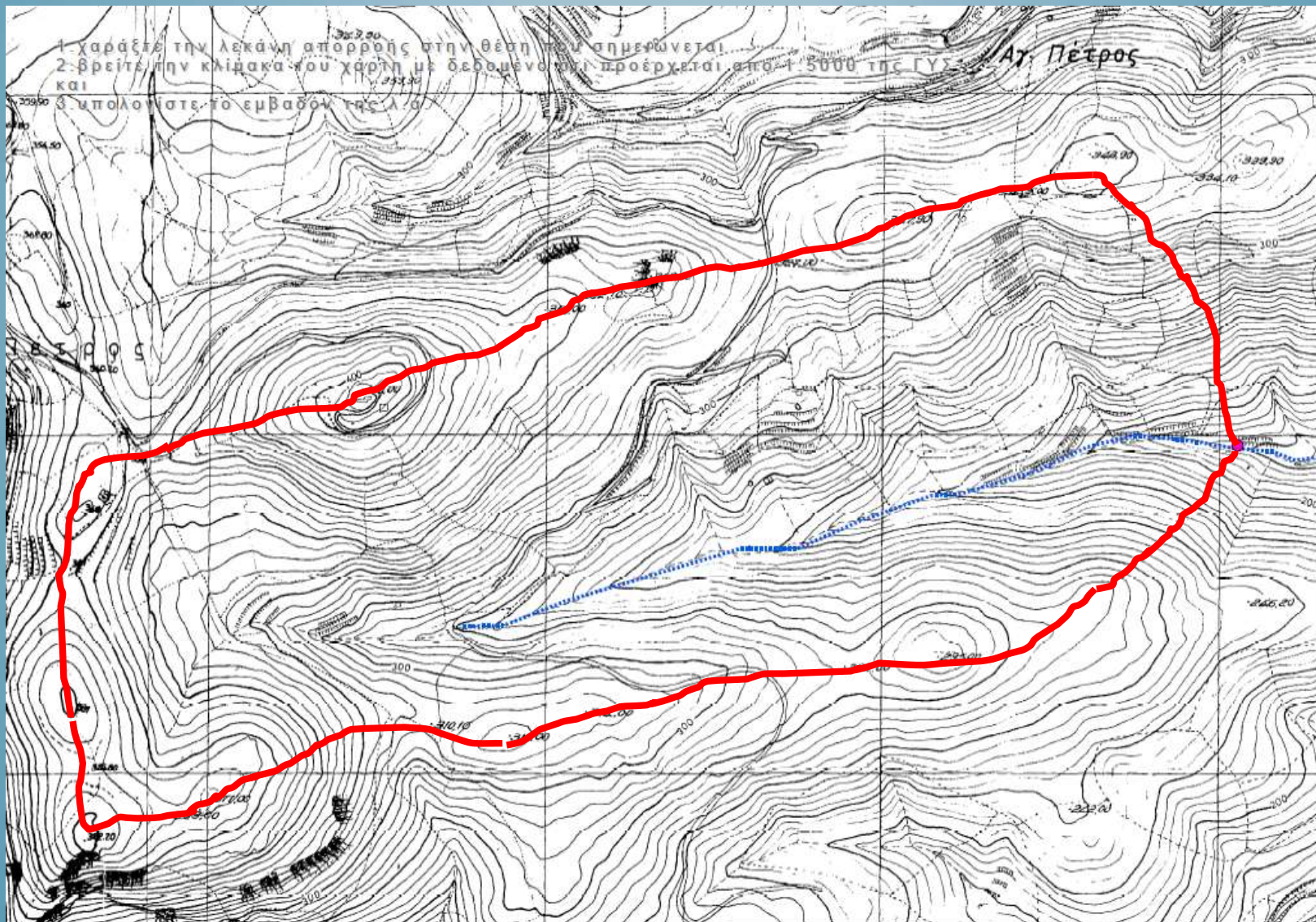
ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



ΧΑΡΑΞΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ

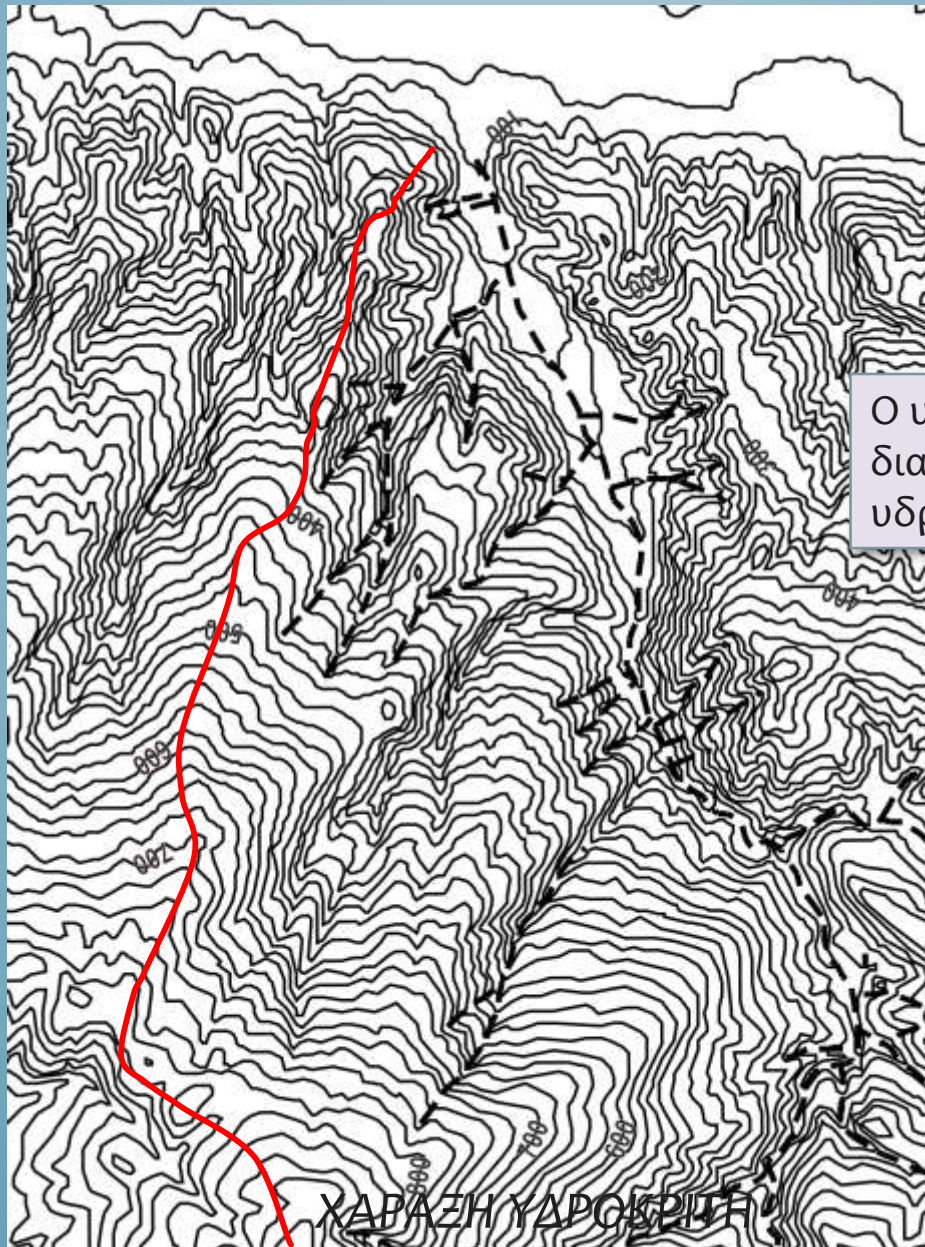
Για να χαράξουμε τον υδροκρίτη πάνω σε έναν τοπογραφικό χάρτη πρέπει να πηγαίνουμε ΚΑΘΕΤΑ στις ισοϋψείς (όπως ρέει το νερό στην γήινη επιφάνεια)

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



ΧΑΡΑΞΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ

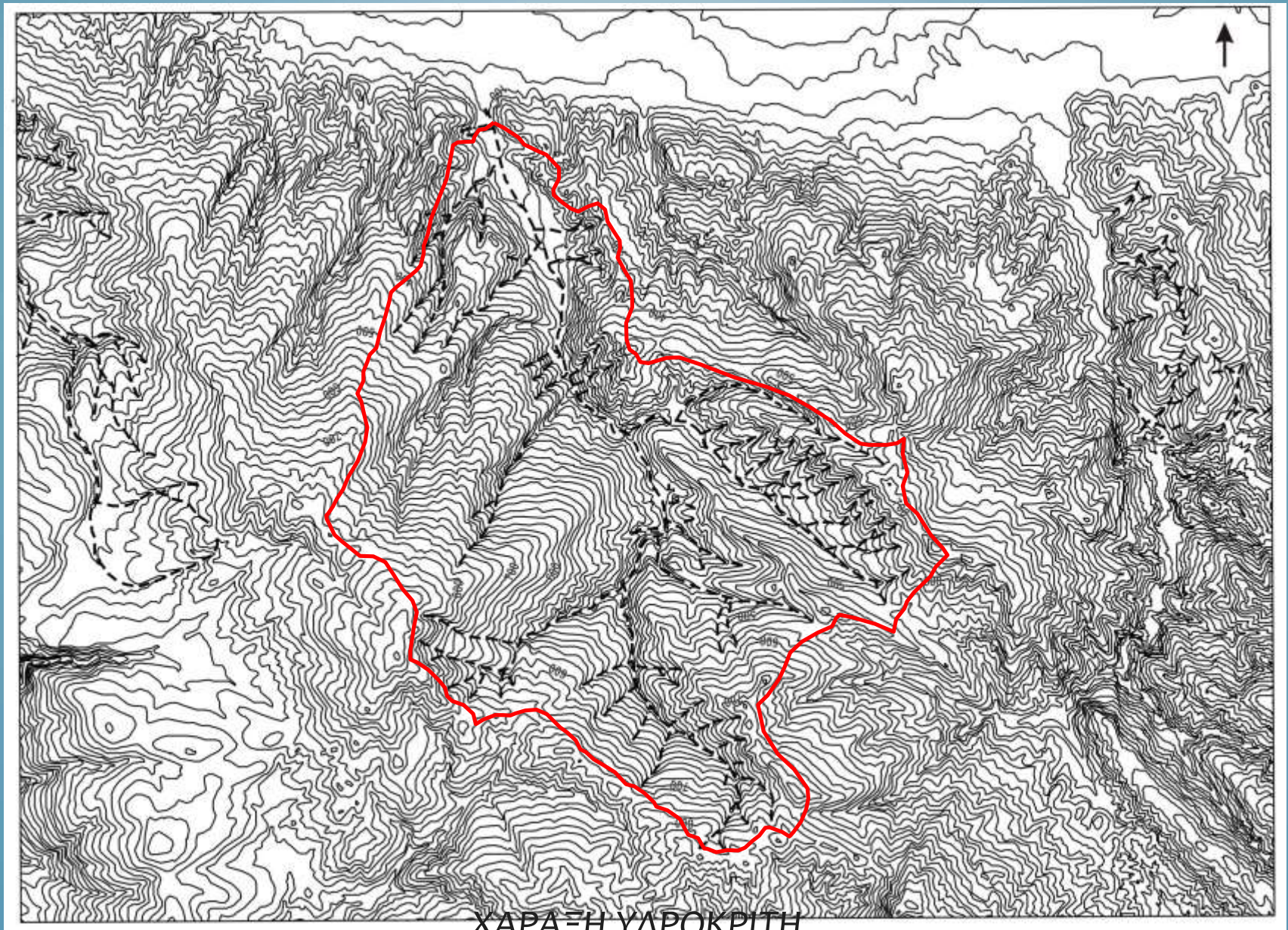
ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



Ο υδροκρίτης ΔΕΝ μπορεί να διασταυρώνεται με το υδρογραφικό δίκτυο.

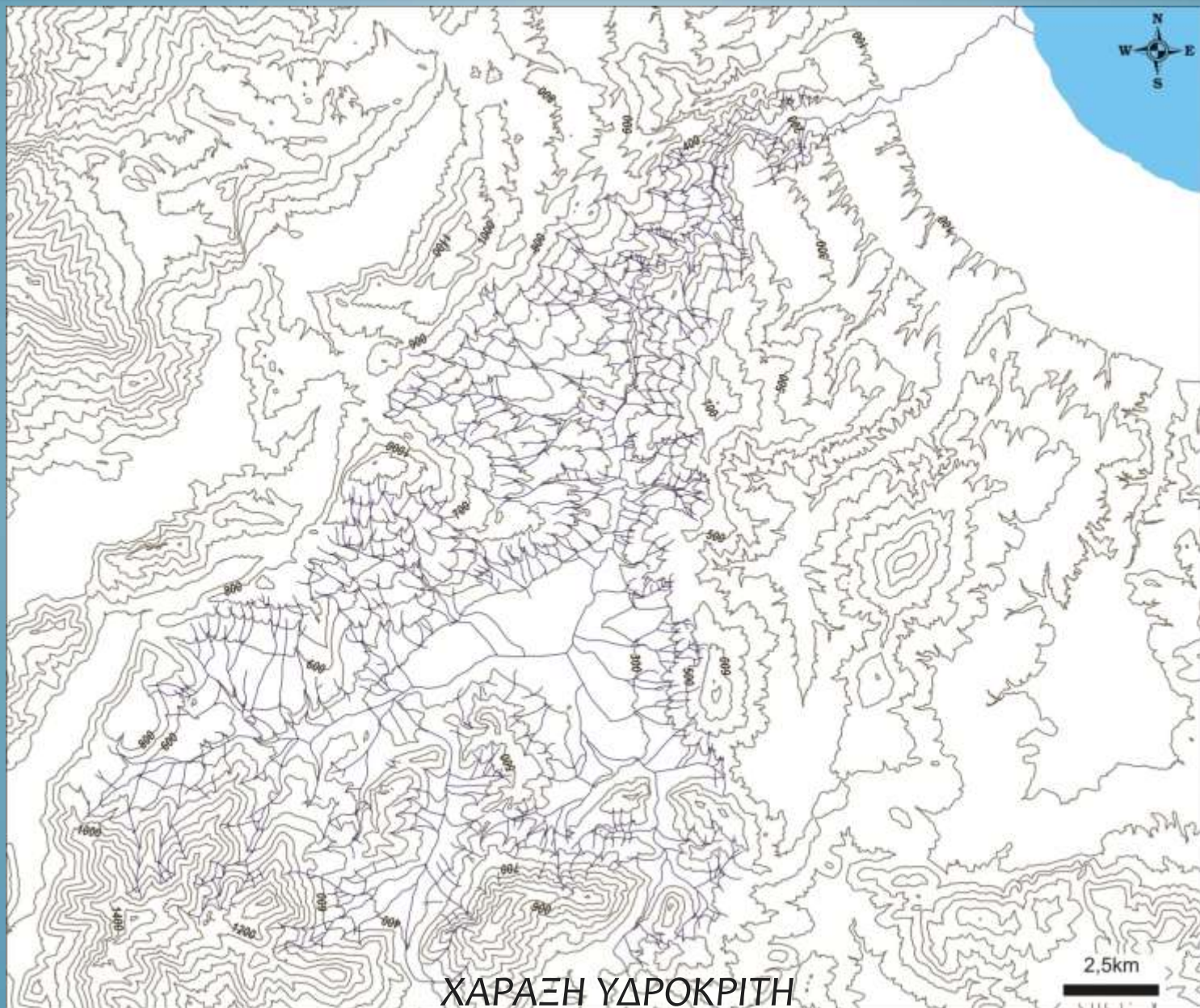
ΧΑΡΑΞΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗΣ

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

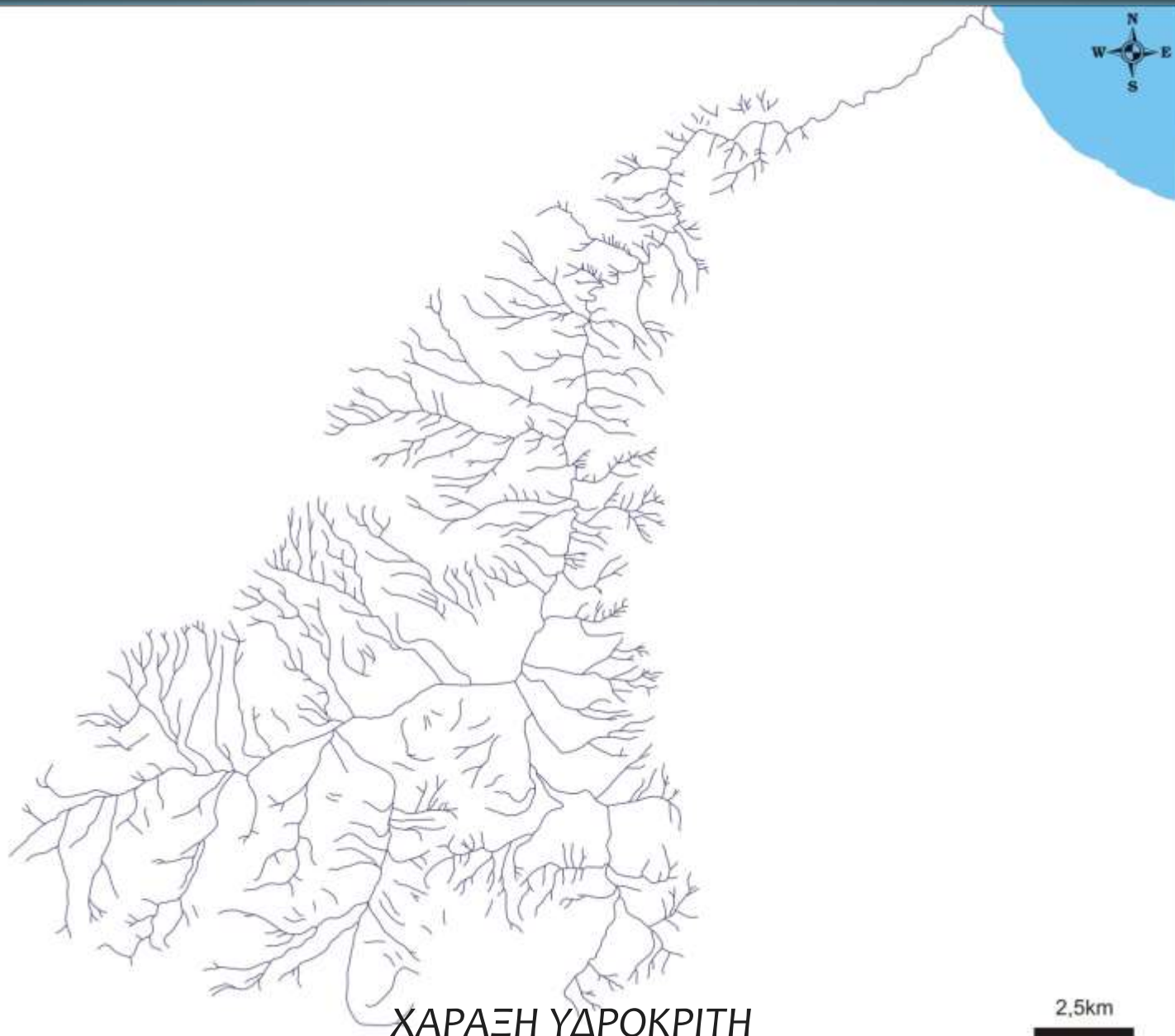


ΧΑΡΤΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



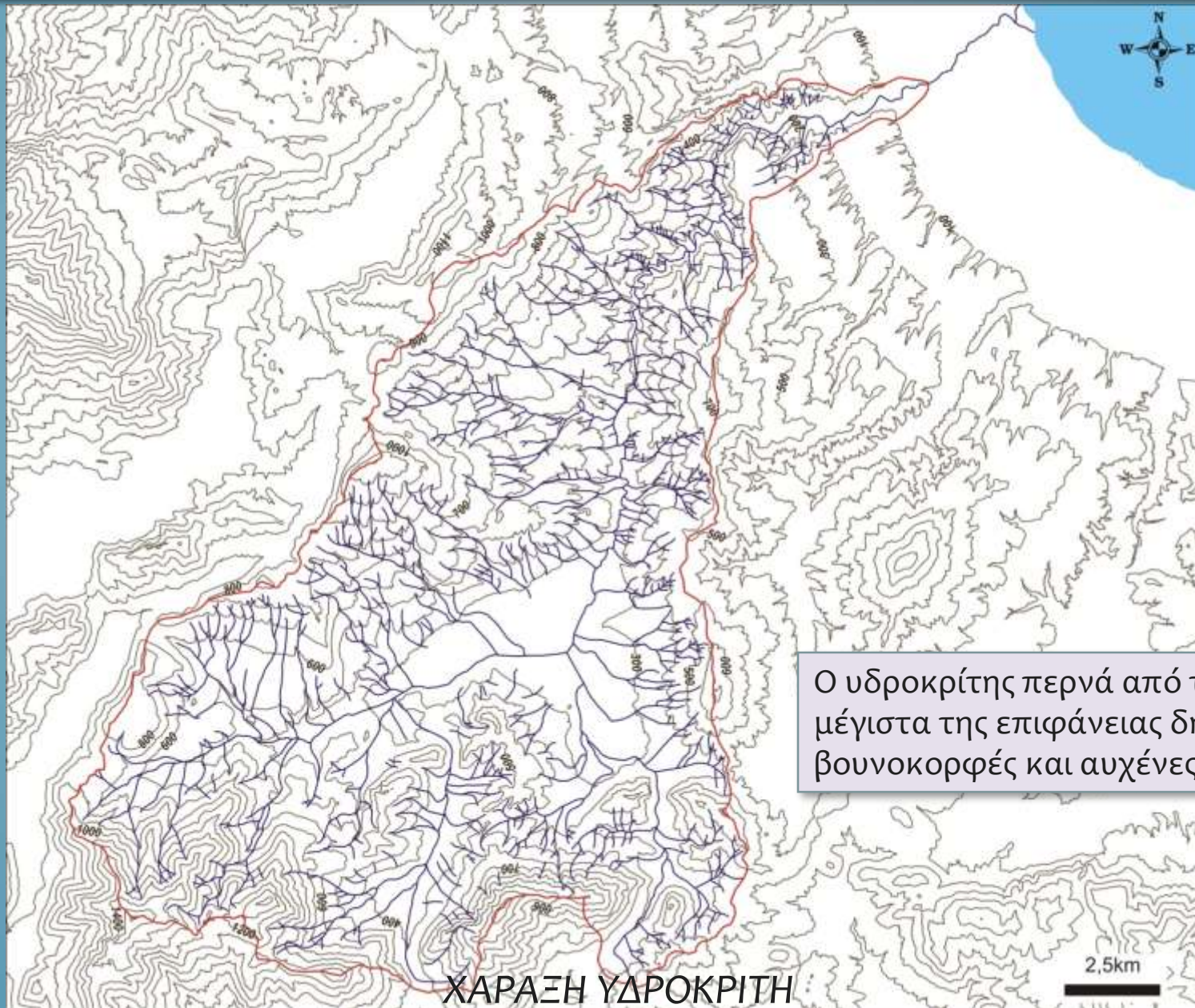
ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



ΧΑΡΑΞΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ

2,5km

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



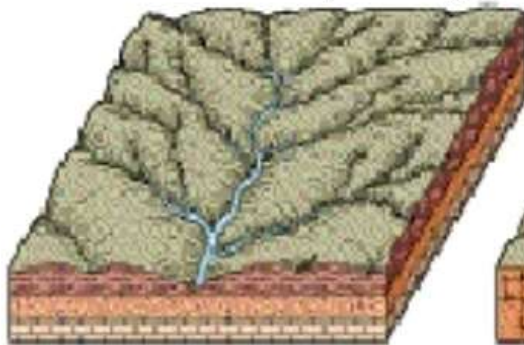
Ο υδροκρίτης περνά από τοπικά μέγιστα της επιφάνειας δηλαδή βουνοκορφές και αυχένες.

ΧΑΡΑΞΗ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ

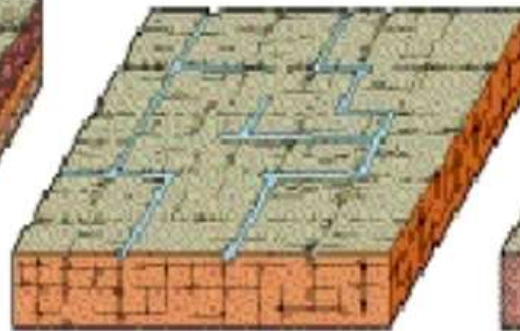
ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Τύποι υδρογραφικών δικτύων

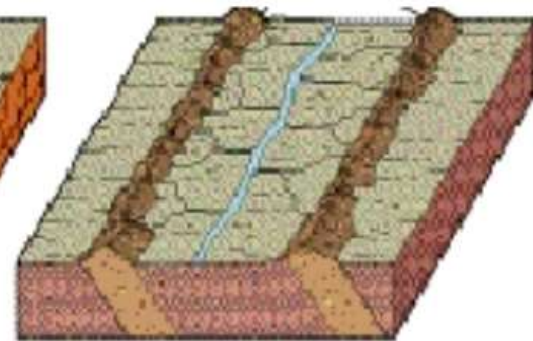
Δενδριτικός



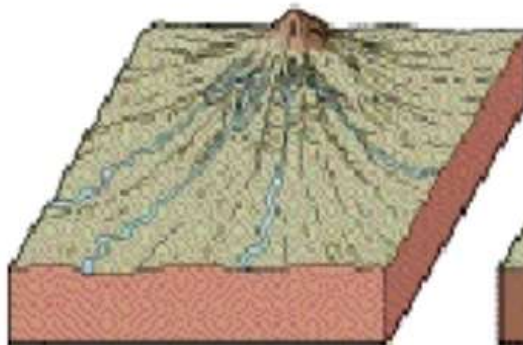
Ορθογώνιος



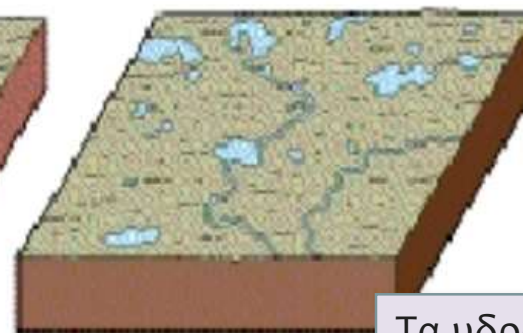
Κλιμακωτός



Ακτινωτός



Ανώμαλος



Τα υδρογραφικά δίκτυα μας φανερώουν την υποκείμενη γεωλογία της λεκάνης απορροής.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



Τα υδρογραφικά δίκτυα μοιάζουν με ουλές ή ρυτίδες στην γήινη επιφάνεια.

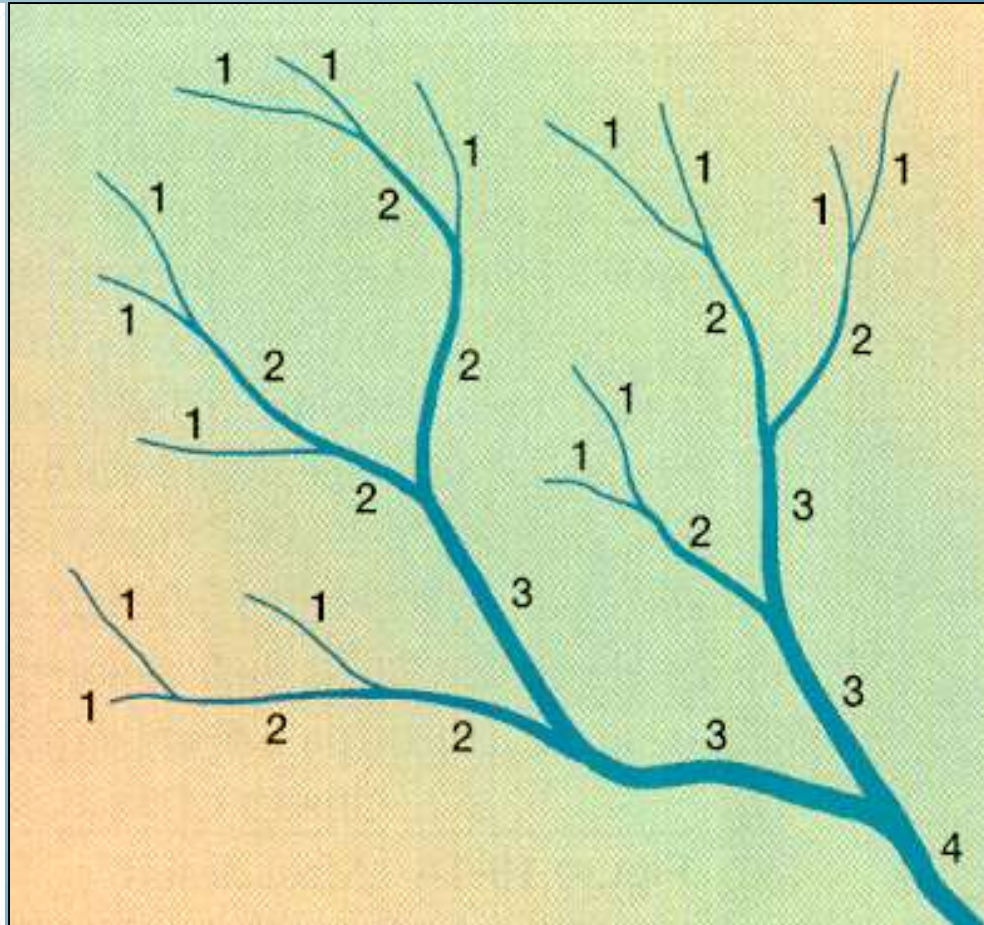
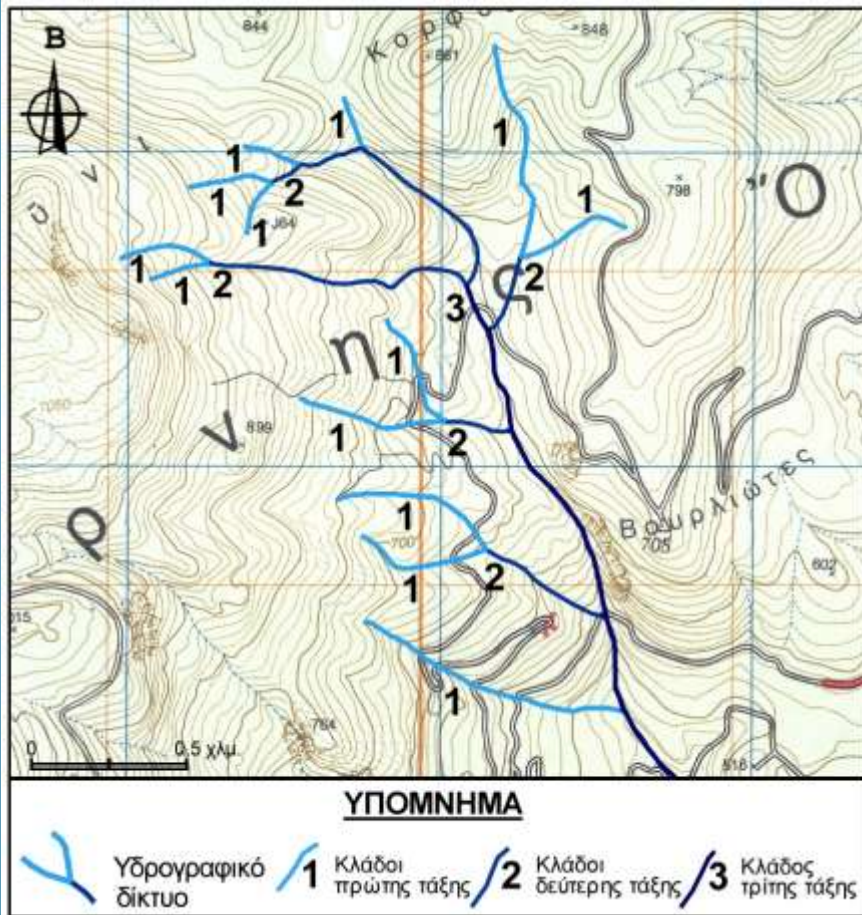
ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



Ο ποταμός Colorado έχει σκάψει το παχύ στρώμα των ιζημάτων για εκατομμύρια χρόνια δημιουργώντας έτσι το σημερινό Grand Canyon.

ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ



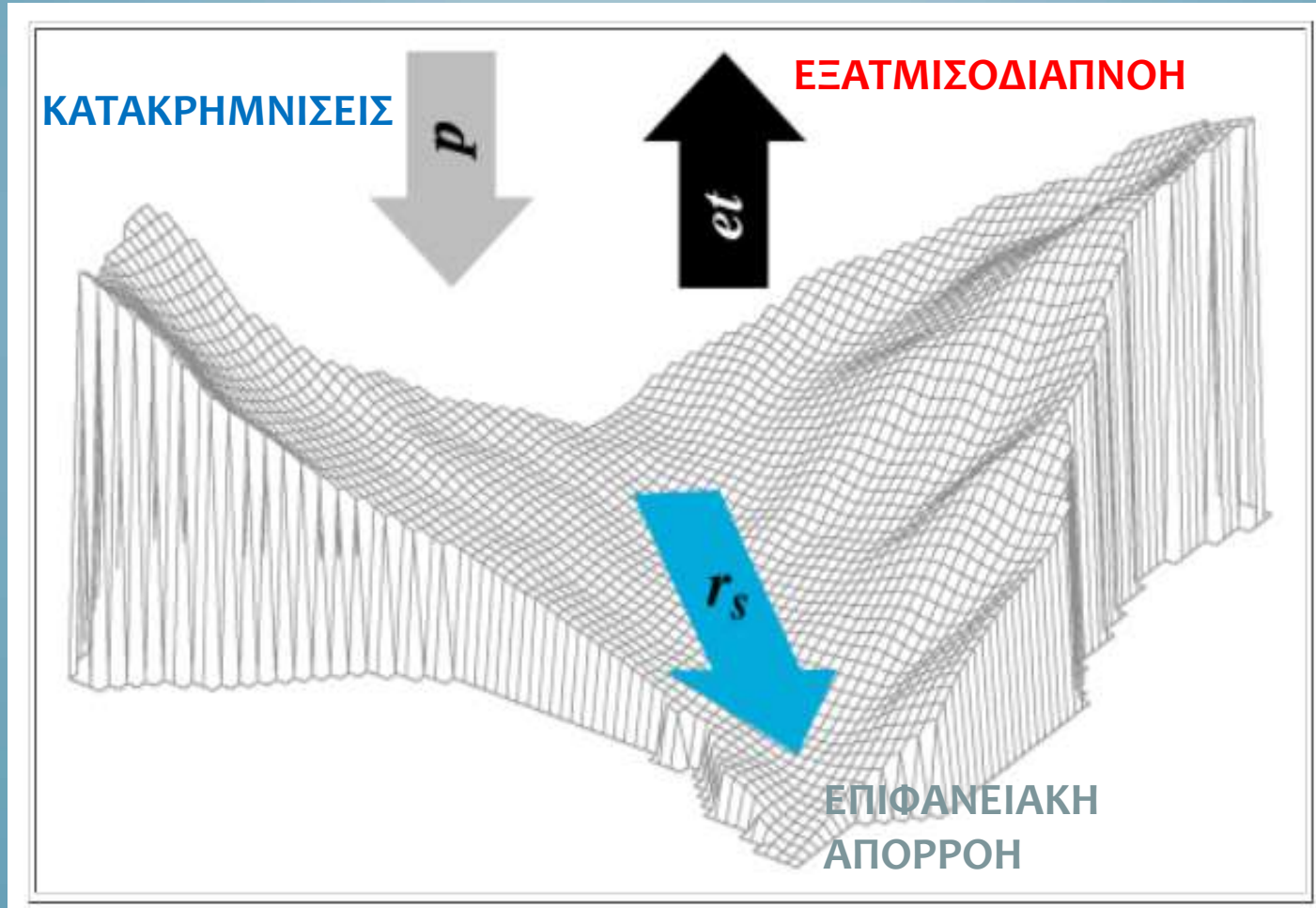
Η τοπολογία των υδρογραφικών στοιχείων μας φανερώνει την «ωριμότητα» του ποταμού σε σχέση με τον γεωλογικό χρόνο.

ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

ΤΙ ΜΑΘΑΜΕ

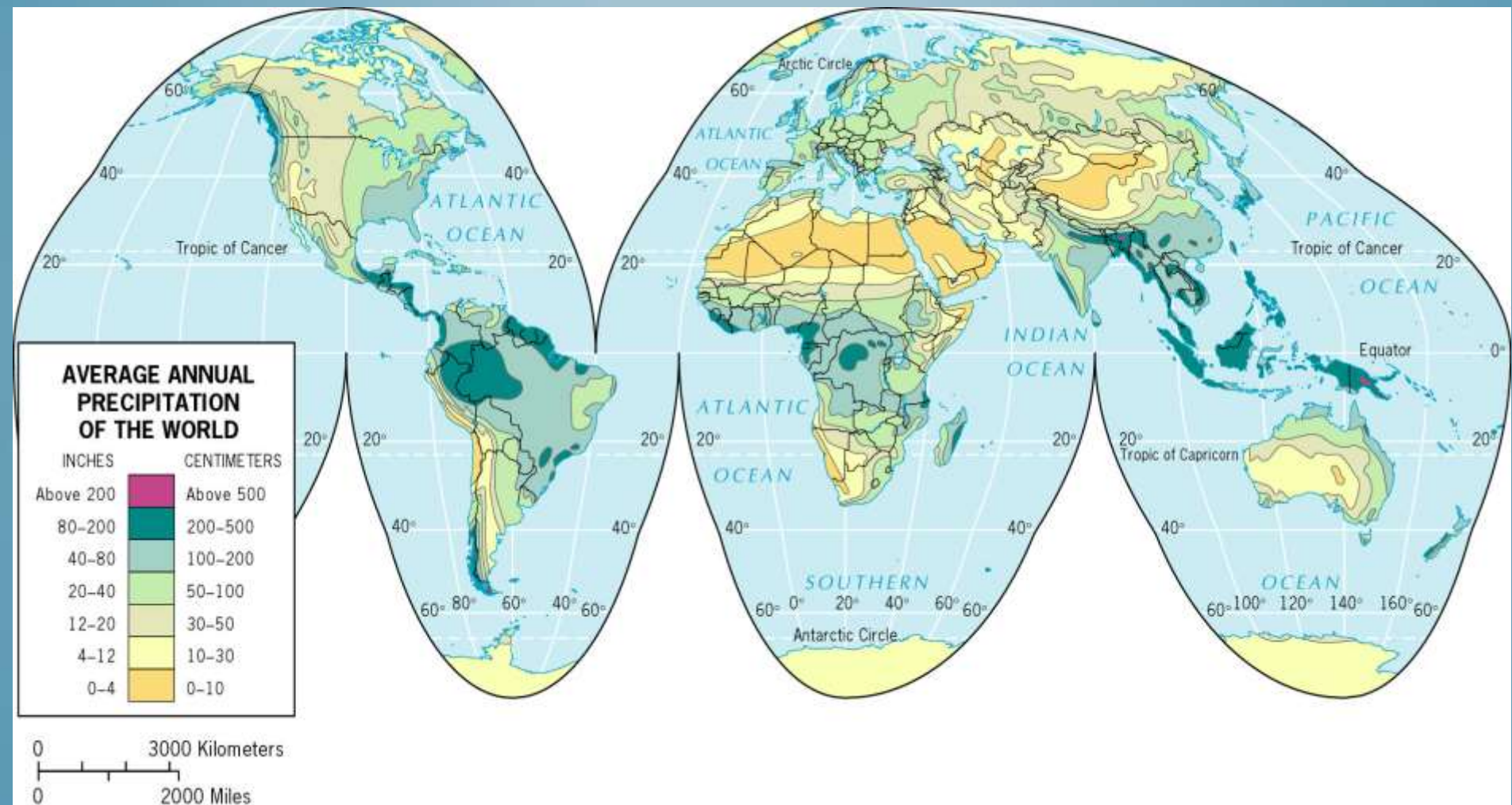
- Τι είναι η λεκάνη απορροής, ο υδροκρίτης και το υδρογραφικό δίκτυο.
- Να χαράζουμε τον υδροκρίτη μιας ΛΑ.
- Απαραίτητα δεδομένα: τοπογραφικός χάρτης της περιοχής και το σημείο εξόδου του υδατορεύματος.

ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ



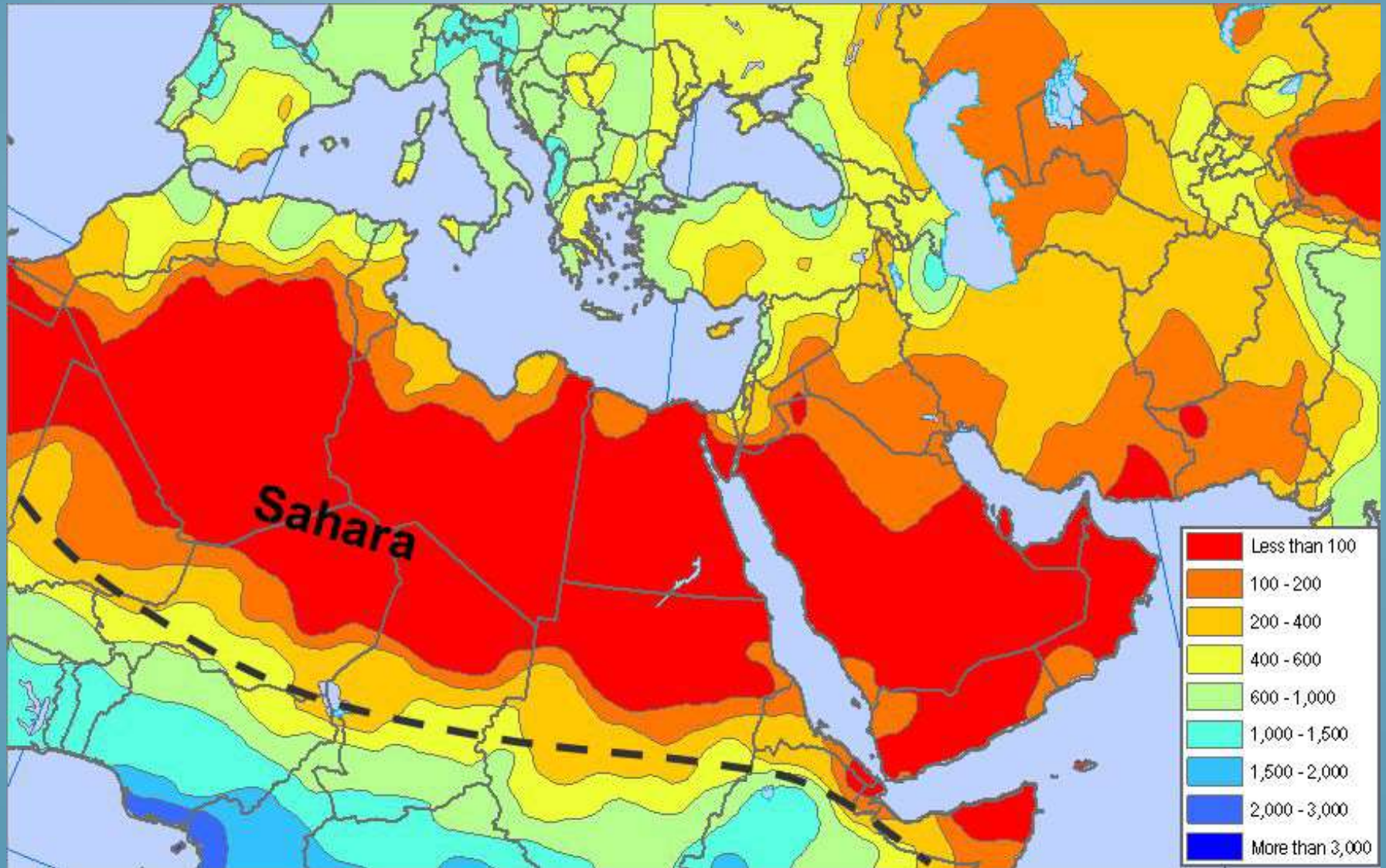
$$p = et + r_s$$

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



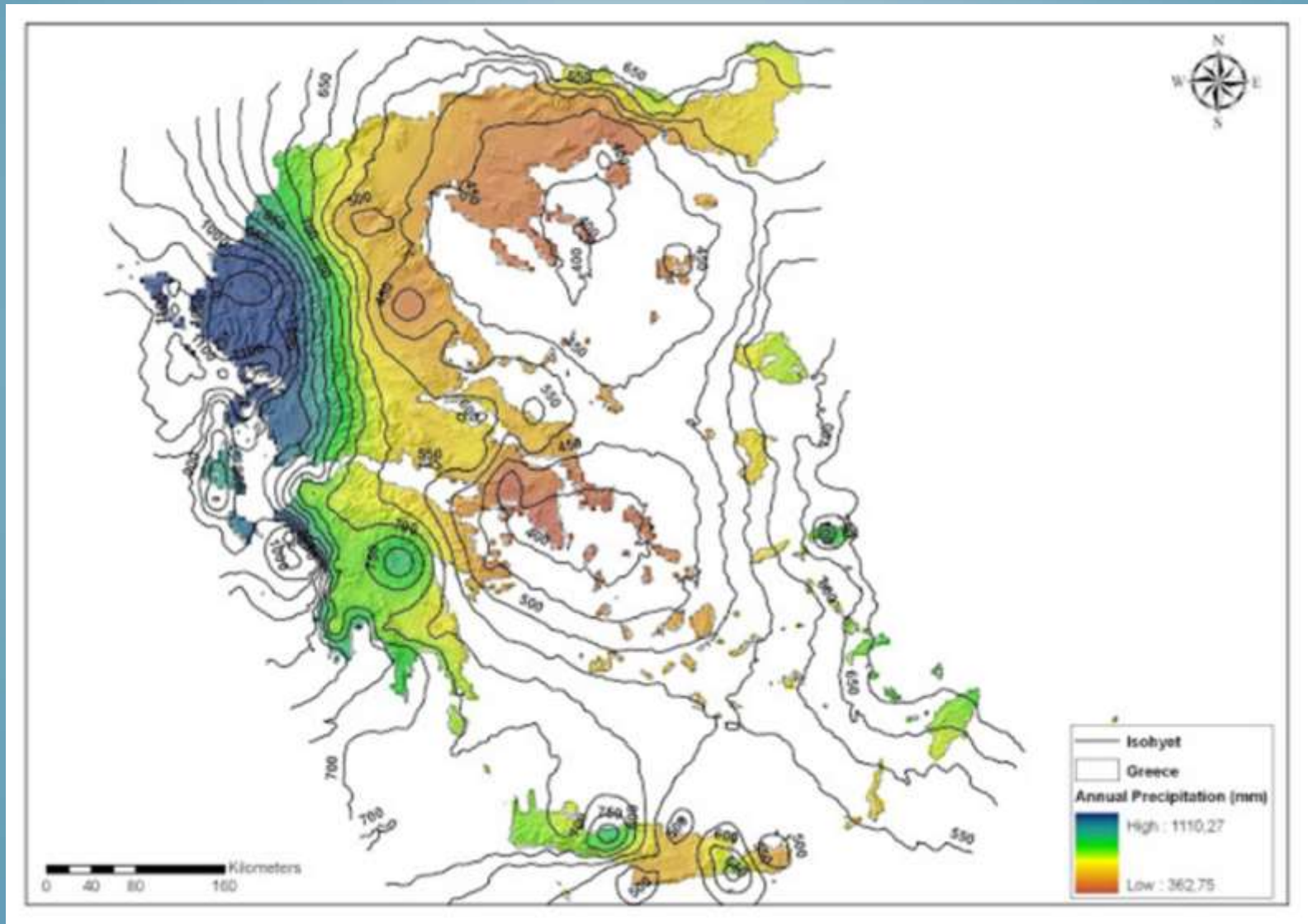
ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΕ ΜΕΣΟΓΕΙΟ, Β.ΑΦΡΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΣΗ ΑΝΑΤΟΛΗ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

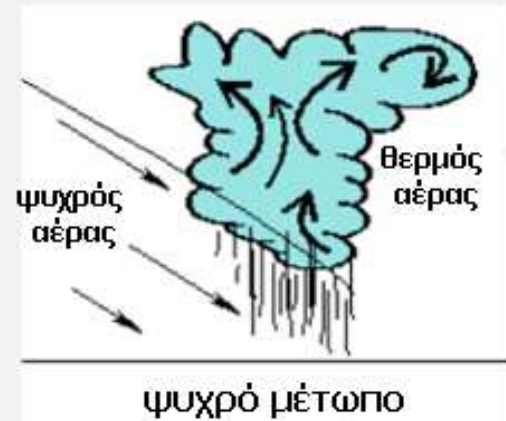


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



Μετωπική:
δύο αέριες μάζες
με διαφορετικές
θερμοκρασίες
έρχονται σε
επαφή
(ψυχρά και θερμά
μέτωπα)

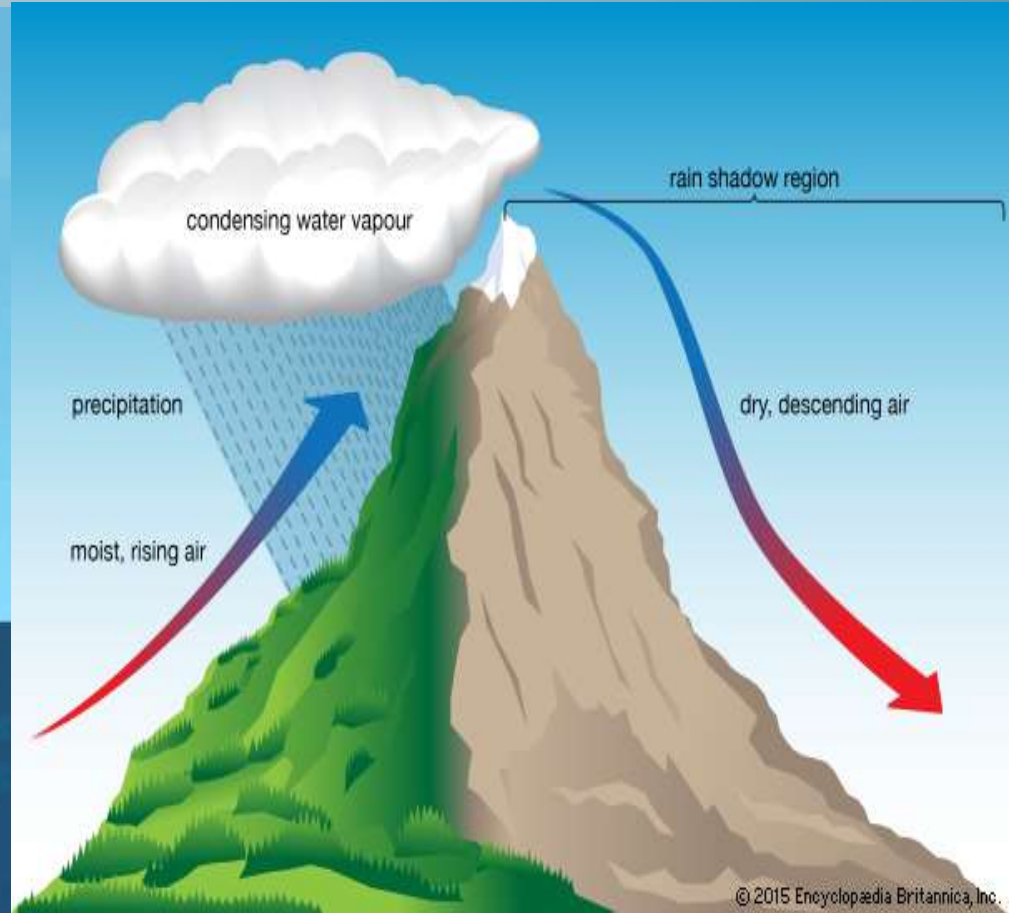
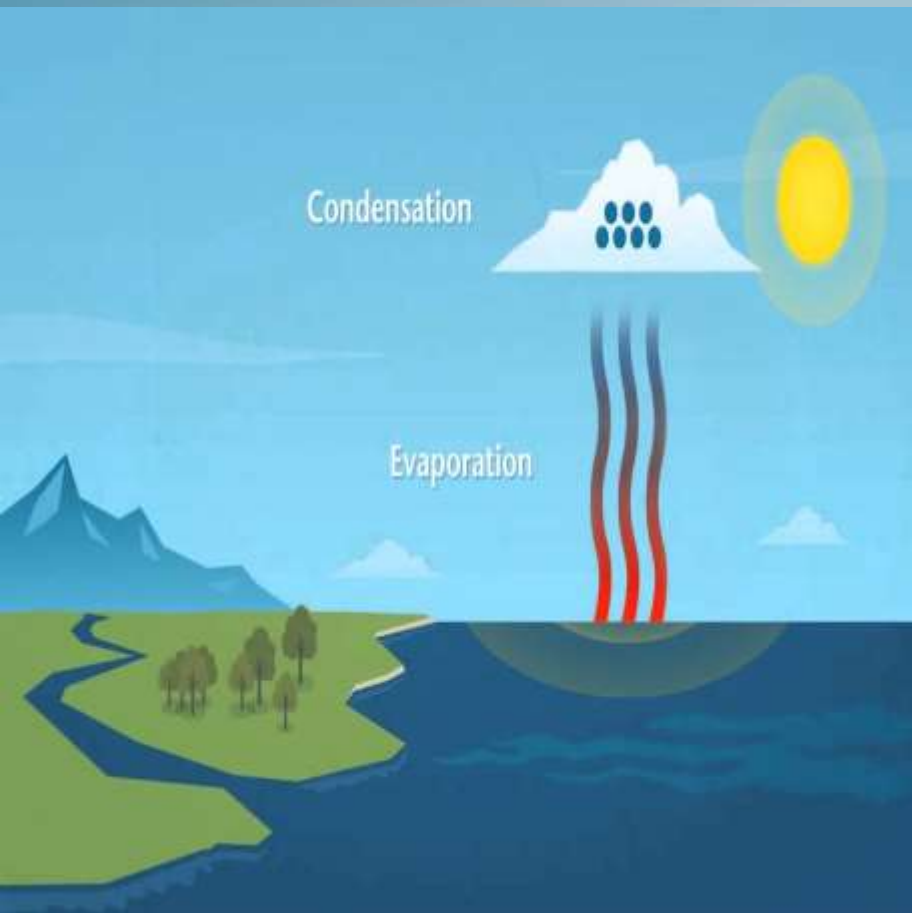


Θερμική:
γειτονικά
στρώματα
υγρού αέρα
ανυψώνονται
λόγω
θέρμανσης



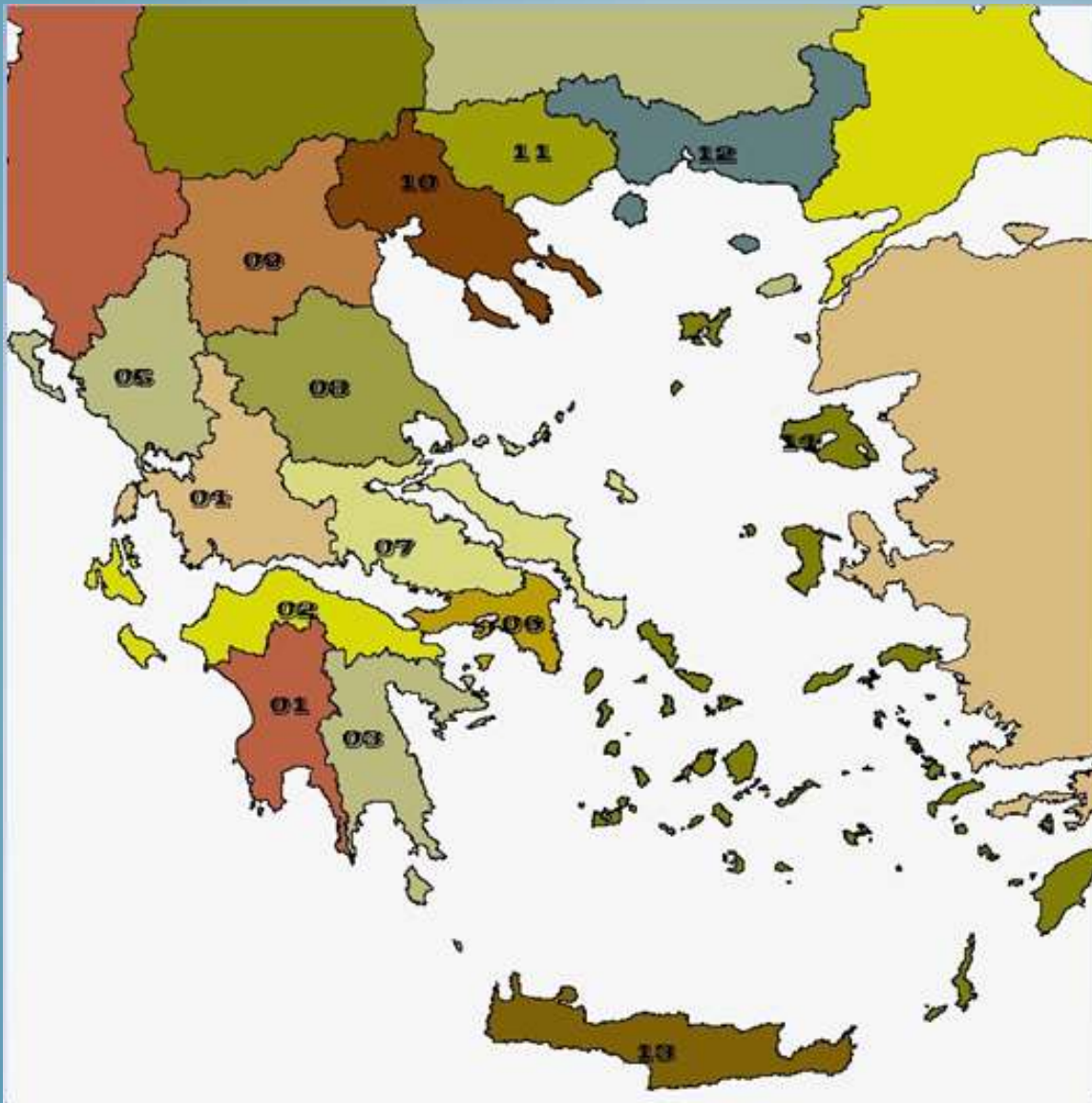
Ορογραφική:
Τα βουνά
αναγκάζουν
τις υγρές
αέριες μάζες
να ανυψωθούν
μέχρι να
επέλθει
κορεσμός στην
προσηνεμη
πλευρά

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΤΥΠΟΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)

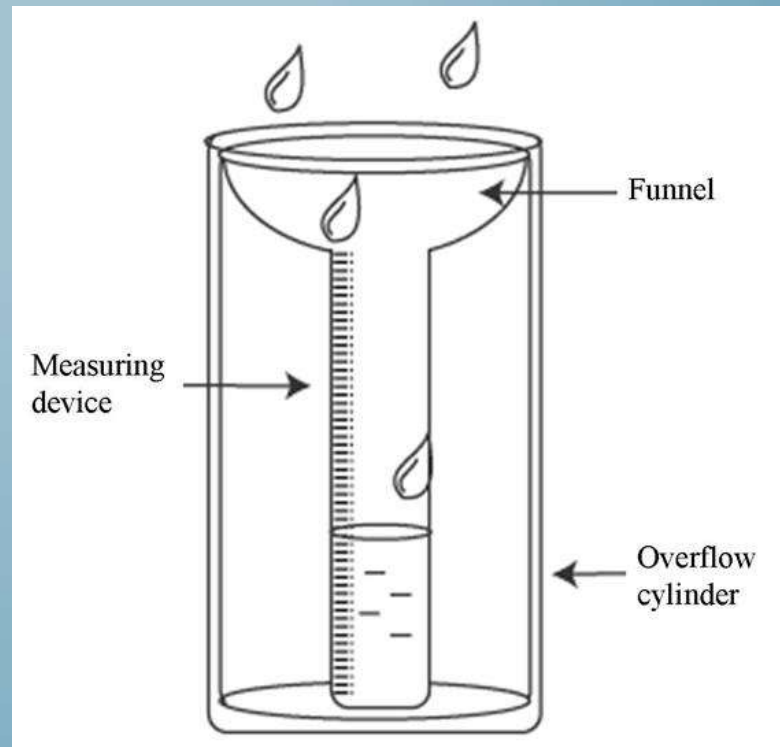
1. 878
2. 703
3. 808
4. 1150
5. 1319
6. 410
7. 830
8. 858
9. 638
10. 577
11. 609
12. 694
13. 753

Refur

ΥΔΑΤΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΑΠΛΑ ΔΟΧΕΙΑ = ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΑ



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ = ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΙ

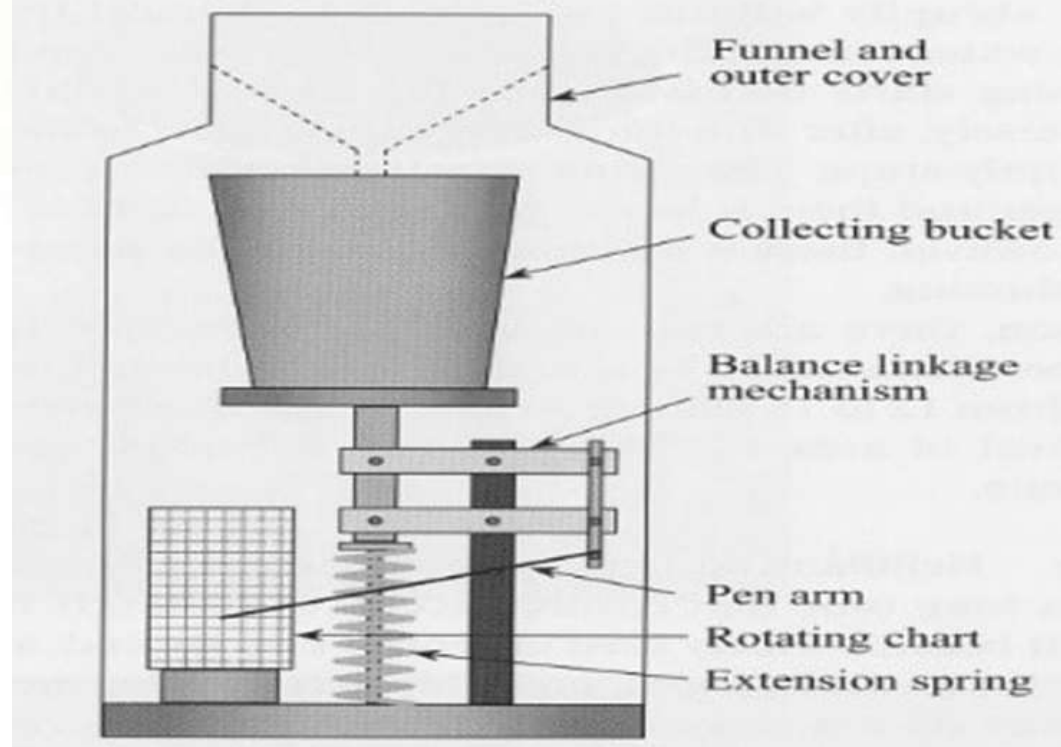
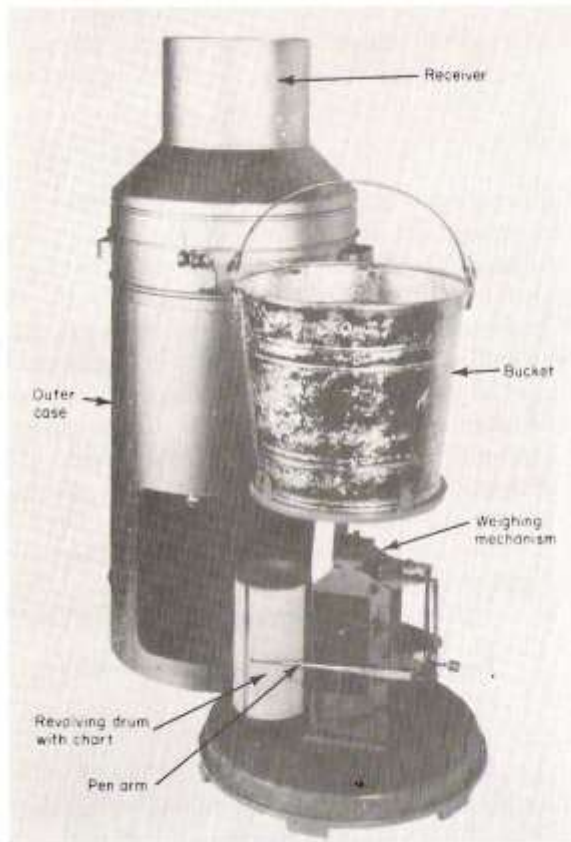
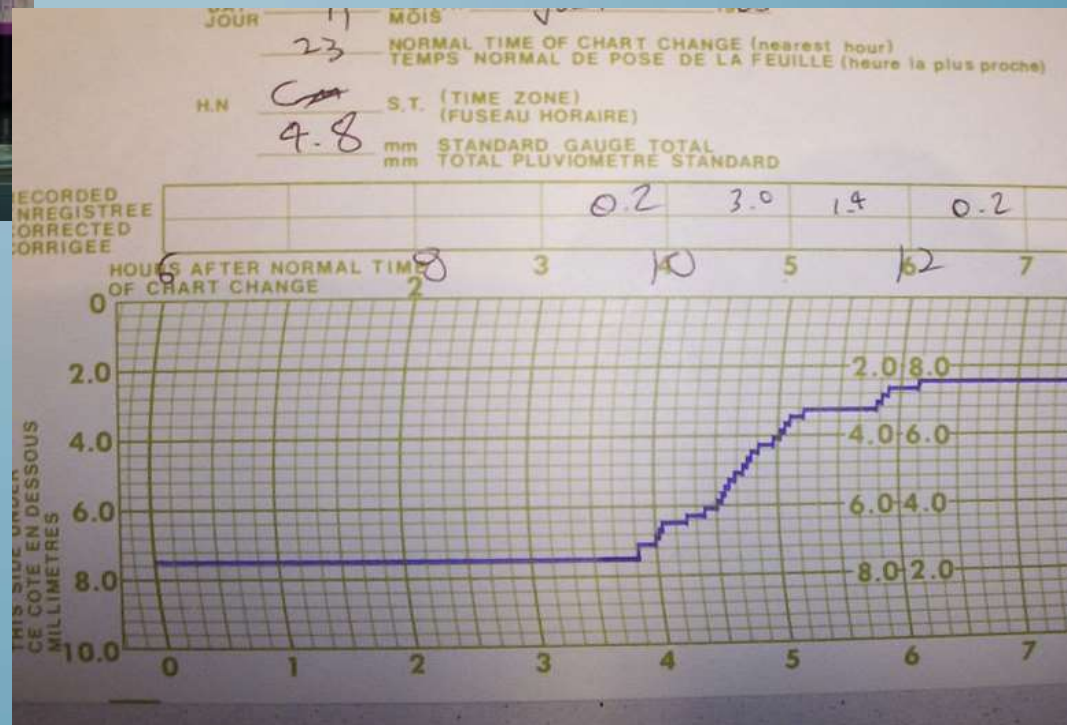
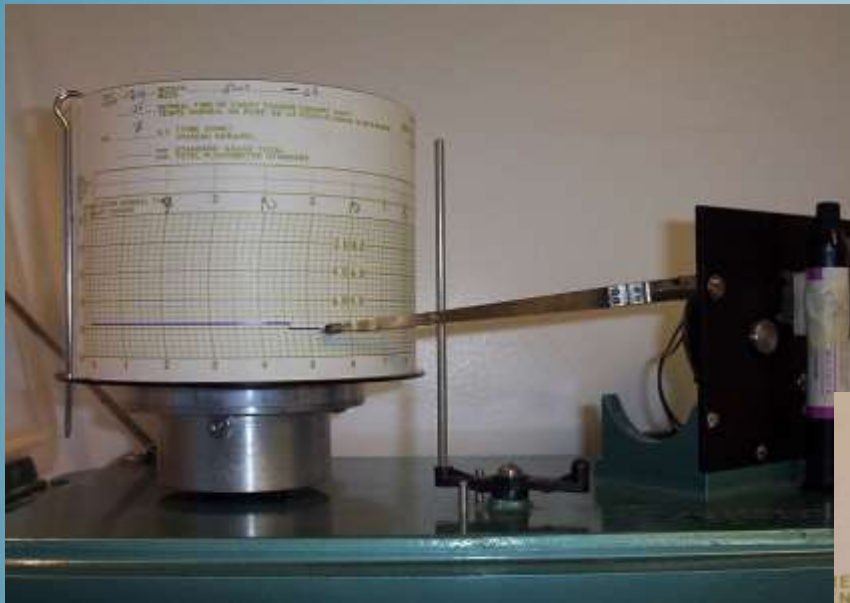


Figure 3-3 Weighing-type precipitation gage, 12-in dual traverse. (Belfort Instrument Co.)

ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

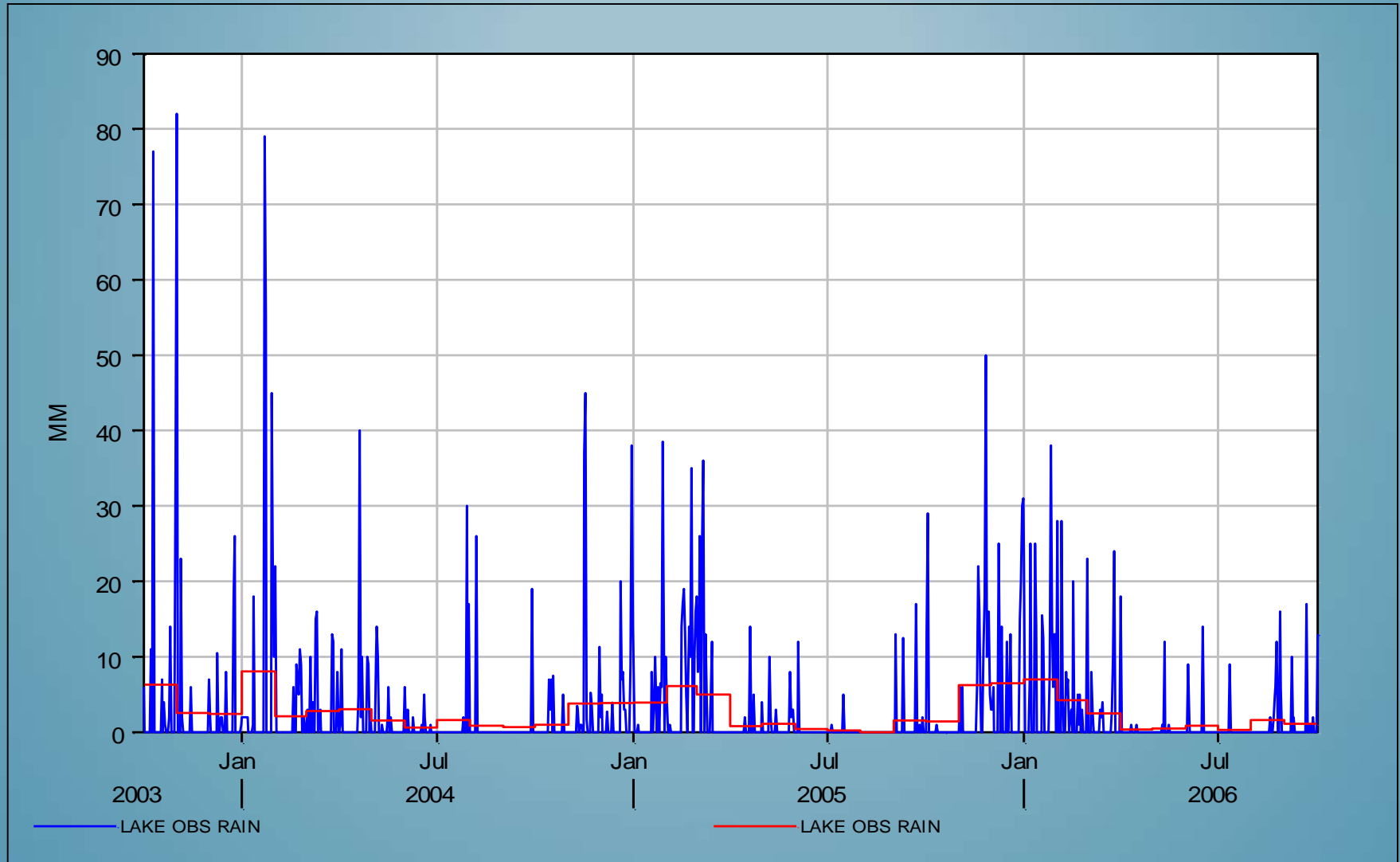
ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ = ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΙ



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΥΕΤΟΓΡΑΦΗΜΑ - ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΗΜΑ



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

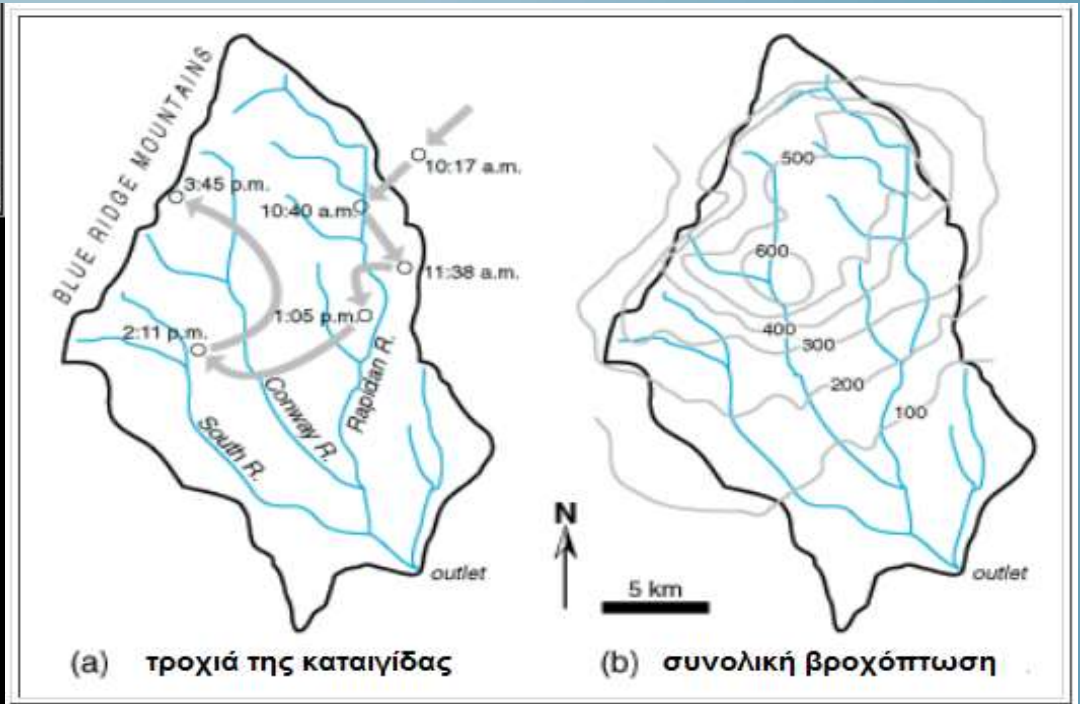
ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΝΤΑΡ



ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΝΔΡΟ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



Μετρούμενες μεταβλητές
(εκτός βροχόπτωσης)

1. Θερμοκρασία
2. Σχετική υγρασία
3. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου
4. Ατμοσφαιρική πίεση
5. Ηλιοφάνεια
6. Ηλιακή ακτινοβολία

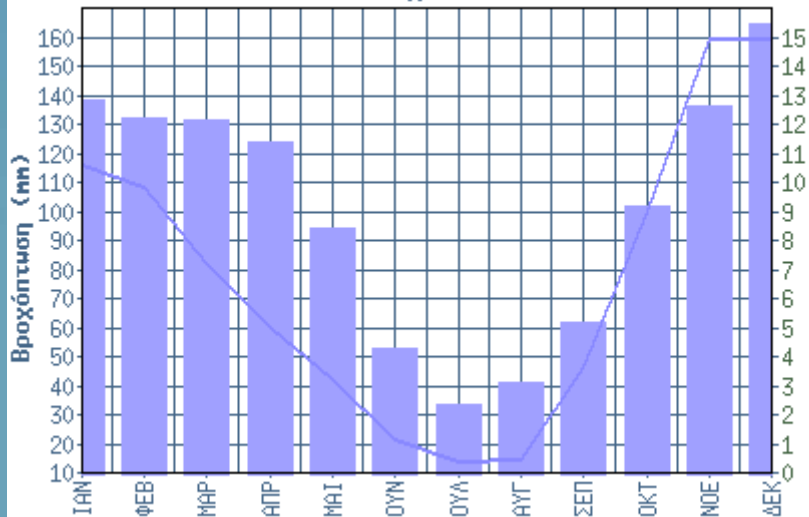
ΟΡΓΑΝΑ

1. Βροχόμετρο
2. Ανεμόμετρο
3. Πυρηνόμετρο
4. Θερμόμετρο
5. Βαρόμετρο

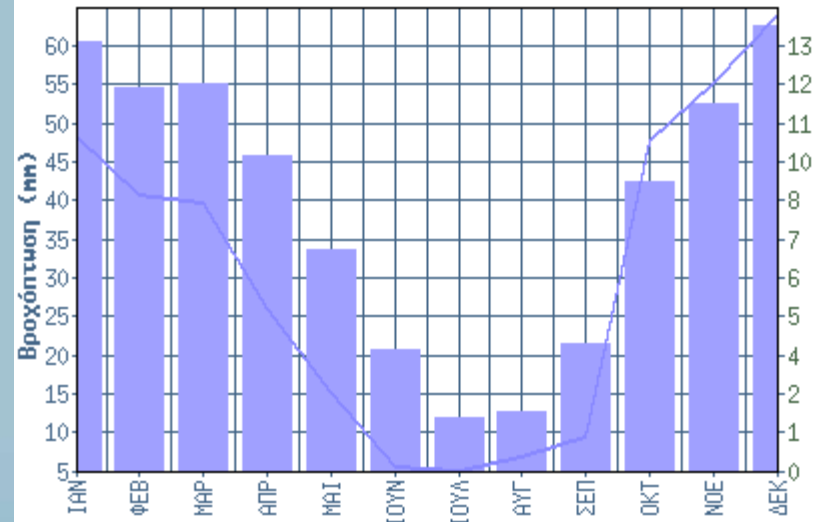
ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΚΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΟΡΝΟΥ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

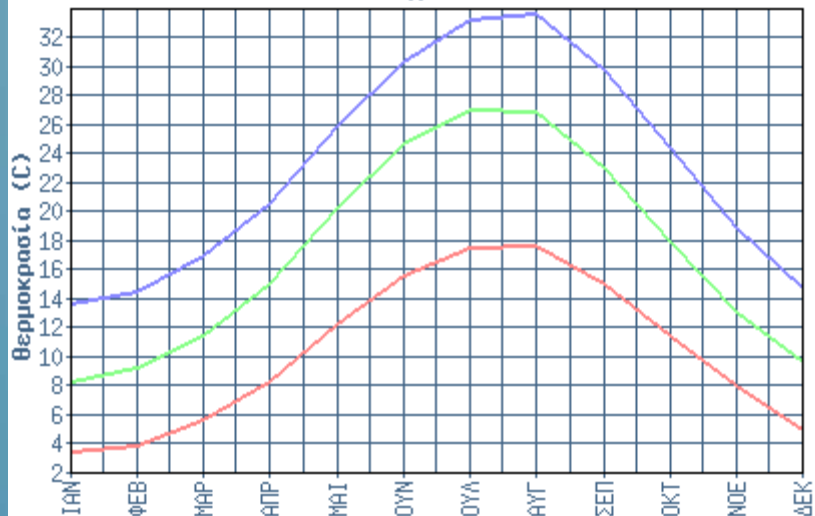
Αγρίνιο



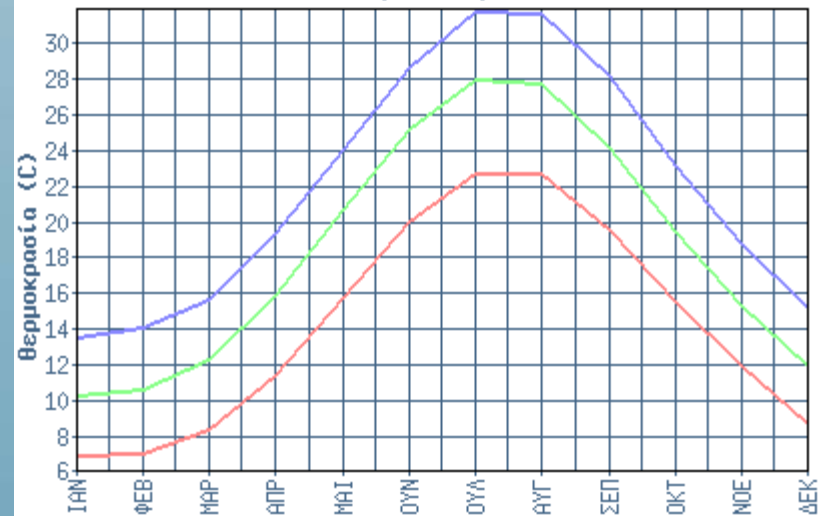
Αθήνα Ελληνικό



Αγρίνιο

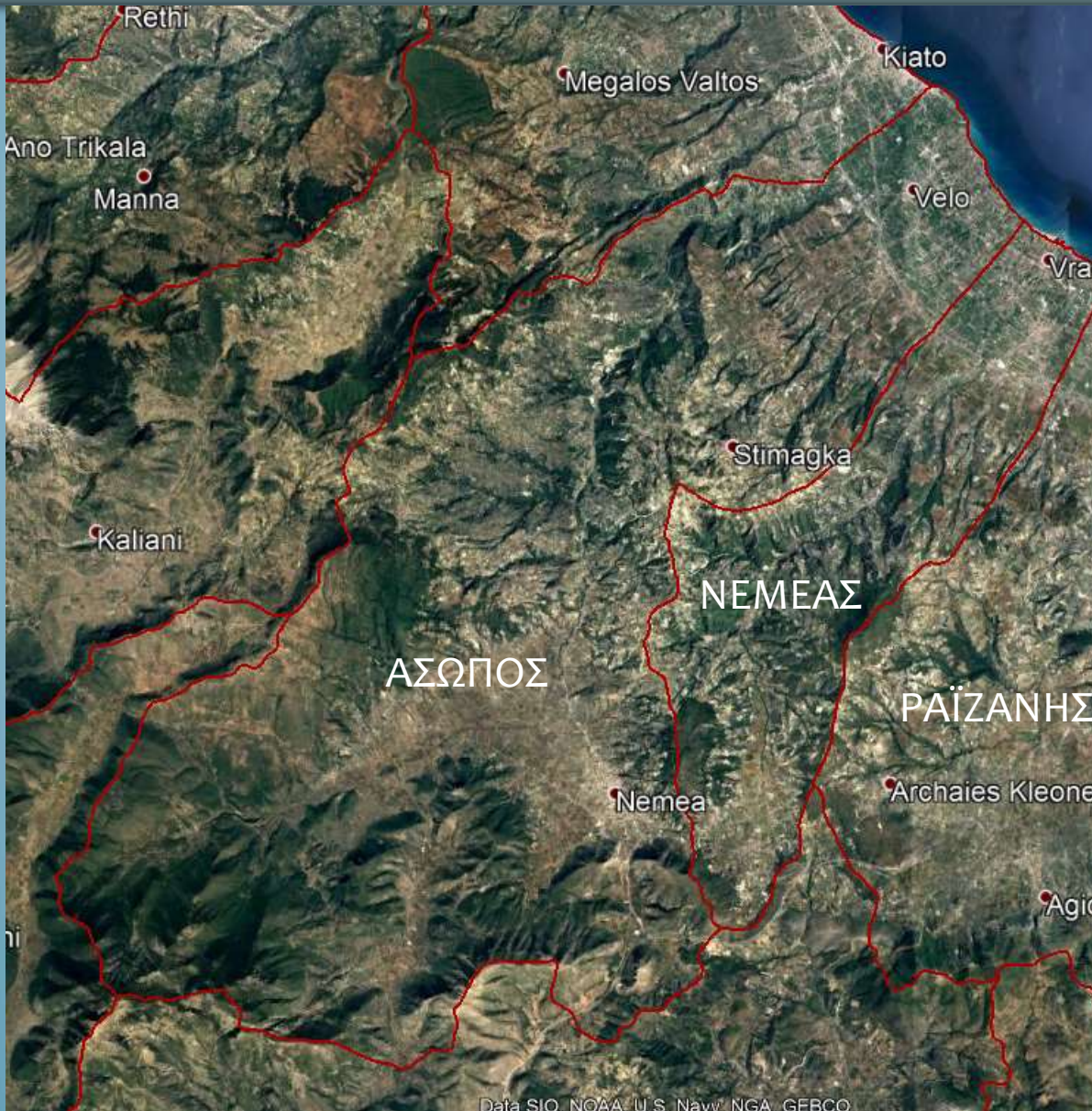


Αθήνα Ελληνικό



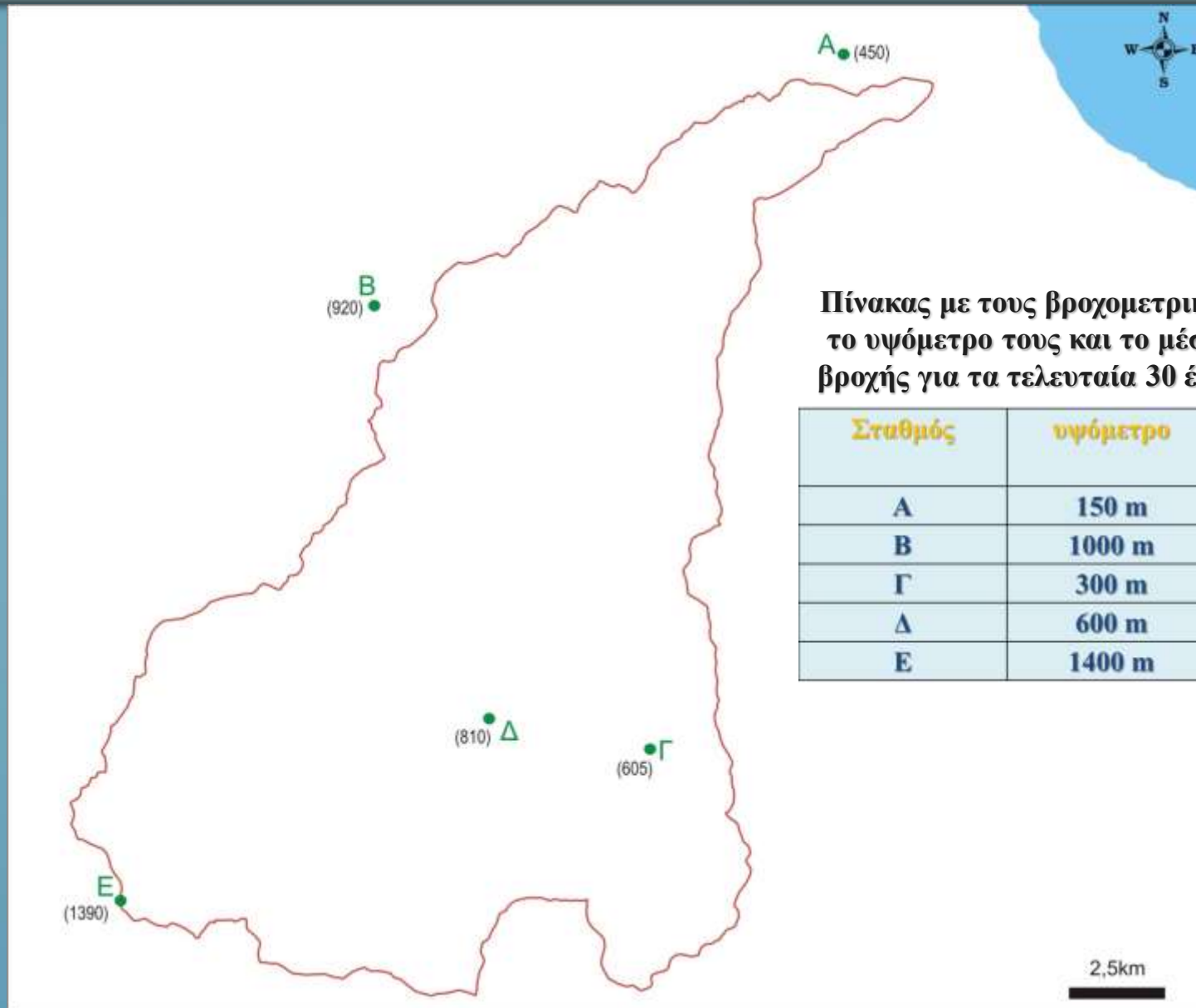
ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΛΕΚΑΝΗ ΑΣΩΠΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ Β. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

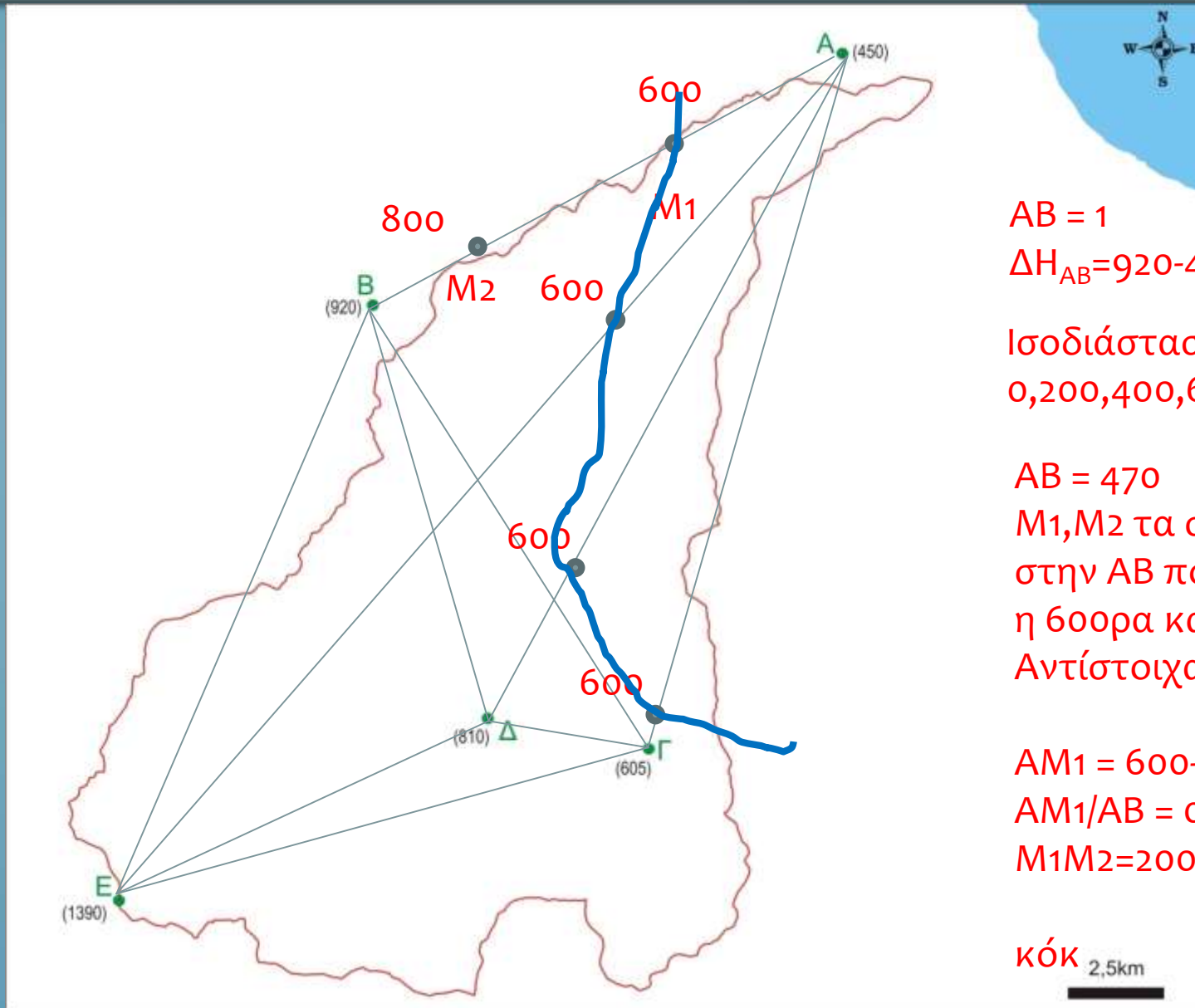


Πίνακας με τους βροχομετρικούς σταθμούς, το υψόμετρο τους και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για τα τελευταία 30 έτη (1981-2011).

| Σταθμός | υψόμετρο | Μέσο ετήσιο ύψος βροχής |
|---------|----------|-------------------------|
| A | 150 m | 450 mm |
| B | 1000 m | 920 mm |
| Γ | 300 m | 605 mm |
| Δ | 600 m | 810 mm |
| E | 1400 m | 1390 mm |

ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΥΨΕΤΙΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



$$AB = 1$$
$$\Delta H_{AB} = 920 - 450 = 470$$

Ισοδιάσταση = 200 χιλ.
0,200,400,600 κλπ

AB = 470
M1, M2 τα σημεία πάνω
στην AB που περνά
η 600α και η 800α
Αντίστοιχα

$$AM1 = 600 - 450 = 150$$
$$AM1/AB = 0,32$$
$$M1M2 = 200/470 = 0,42$$

κόκ 2,5km

ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΥΨΕΤΙΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

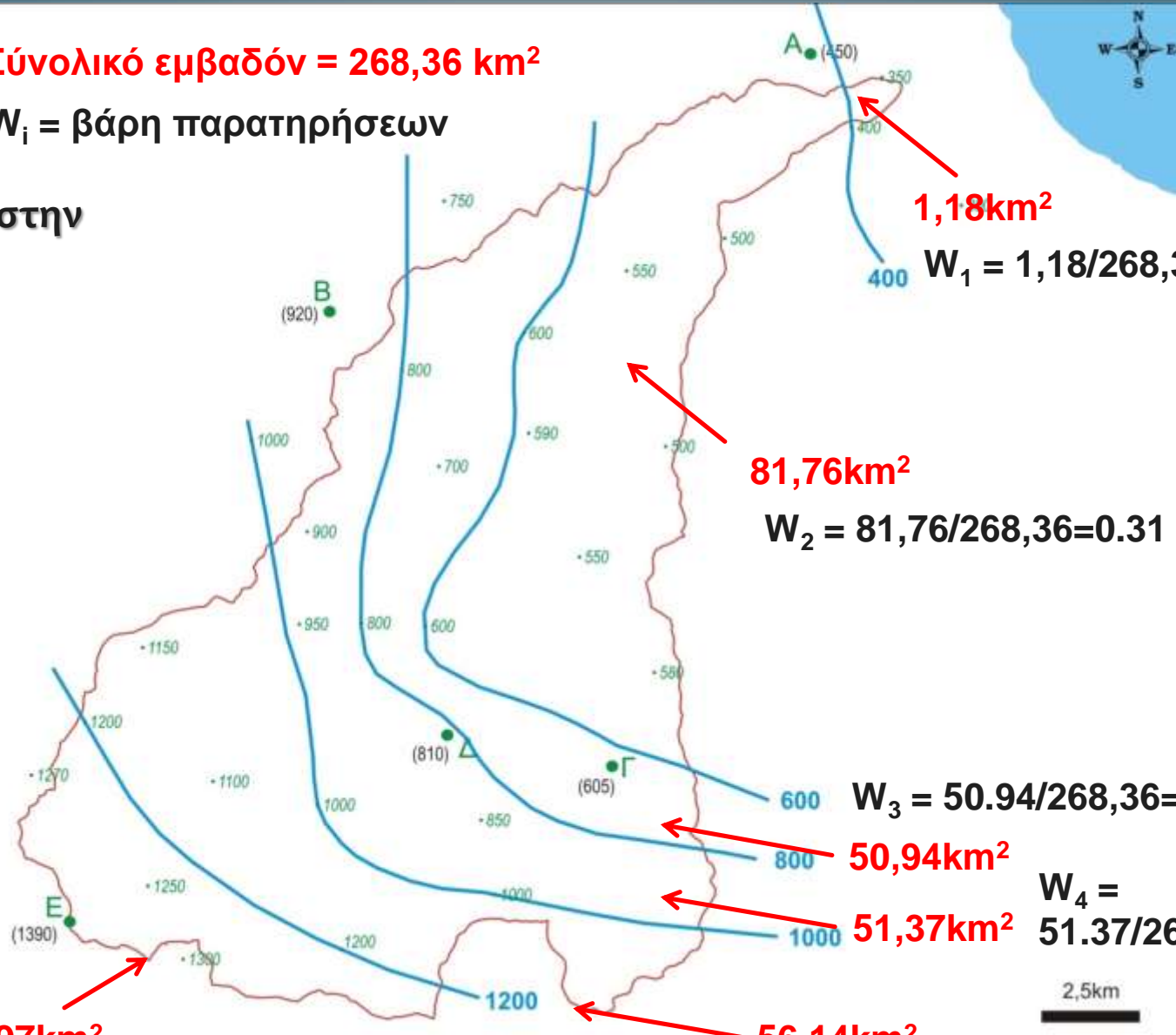
Σύνολικό εμβαδόν = 268,36 km²

W_i = βάρη παρατηρήσεων

Βροχόπτωση στην
λεκάνη =
 $0.31 \cdot 500 +$
 $0.19 \cdot 700 +$
 $0.19 \cdot 900 +$
 $0.21 \cdot 1100 +$
 $0.10 \cdot 1300 =$
820 mm

$W_6 =$
 $26.97/268,36 =$
0.10

26,97km²



1,18km²

$W_1 = 1,18/268,36 = 0.004$

81,76km²

$W_2 = 81,76/268,36 = 0.31$

$W_3 = 50.94/268,36 = 0.19$

50,94km²

$W_4 =$

51,37km²

$51.37/268,36 = 0.19$

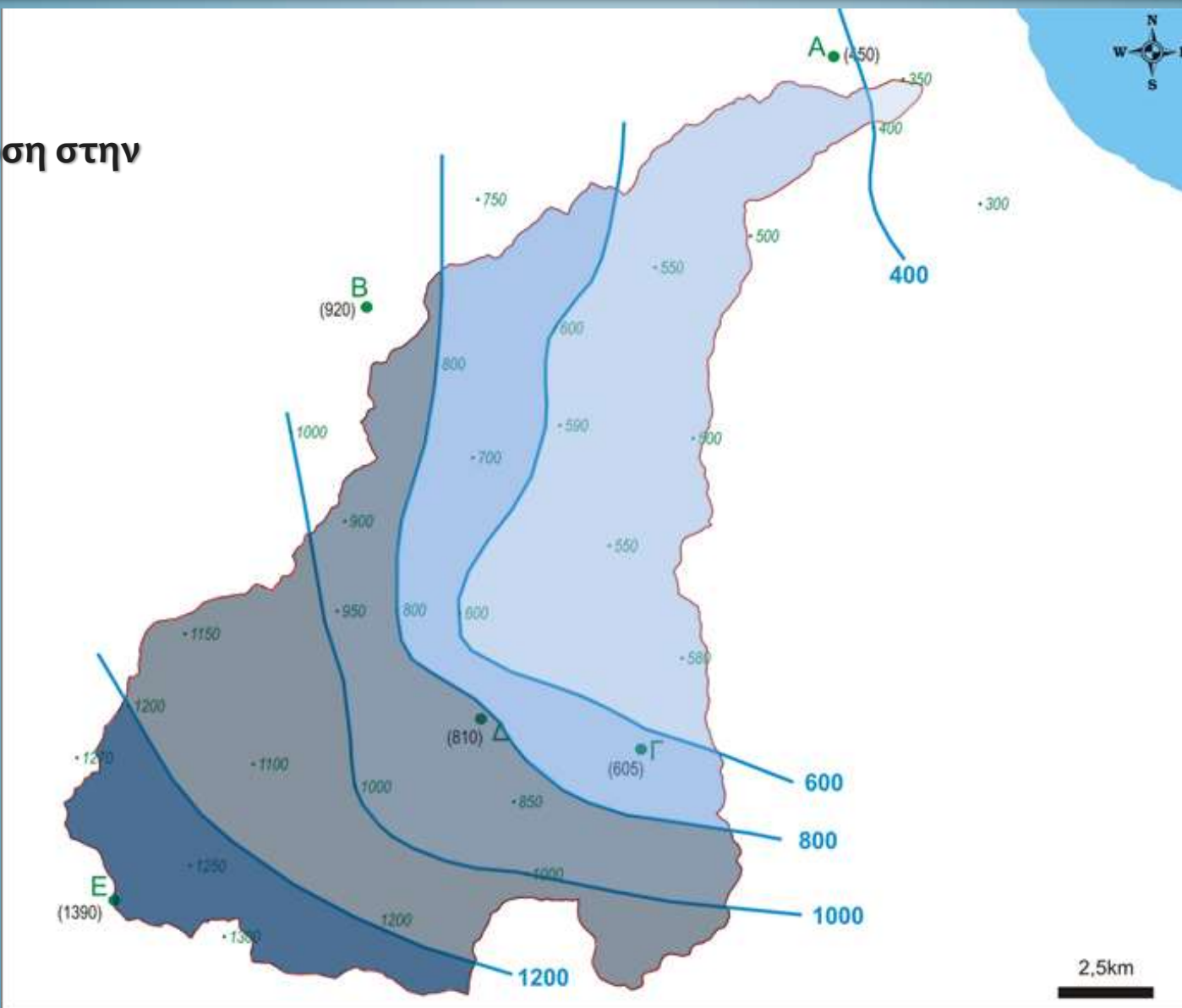
56,14km²

$W_5 = 50.94/268,36 = 0.21$

ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΪΕΤΙΩΝ

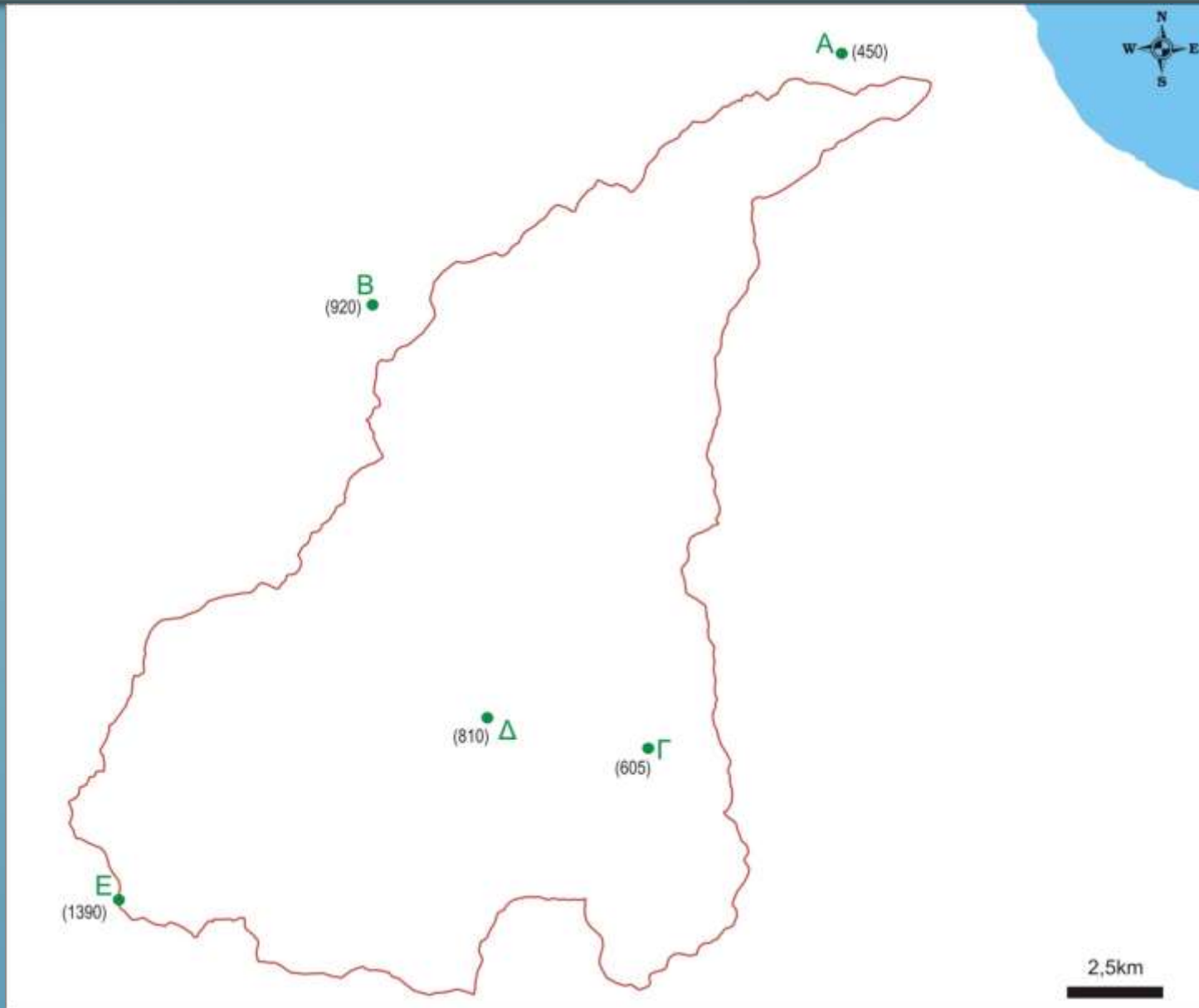
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

Βροχόπτωση στην
λεκάνη =
 $0.31 \cdot 500 +$
 $0.19 \cdot 700 +$
 $0.19 \cdot 900 +$
 $0.21 \cdot 1100 +$
 $0.10 \cdot 1300 =$
820 mm



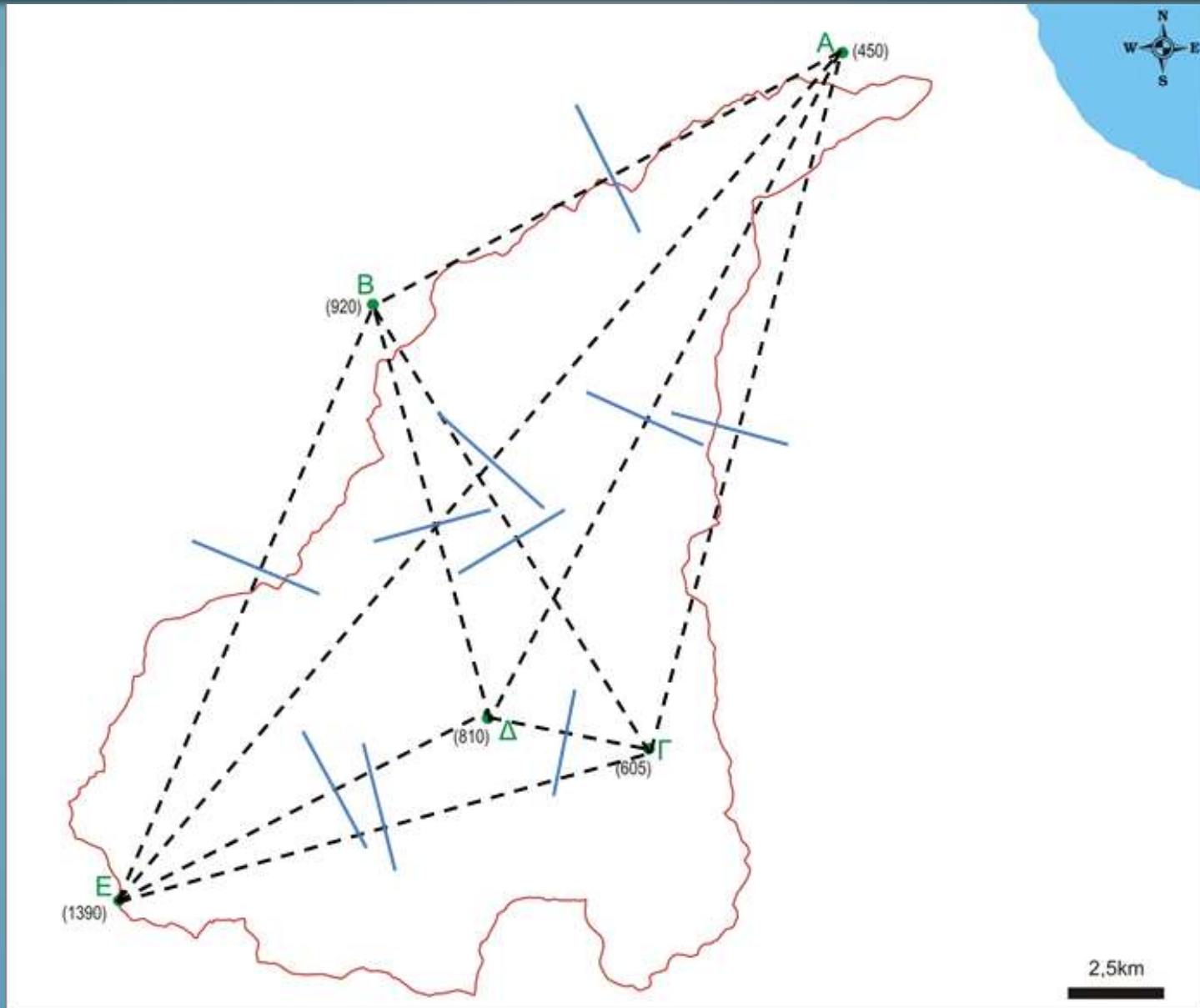
ΜΕΘΟΔΟΣ ΙΣΟΪΕΤΙΩΝ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ



ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

Σύνολικό εμβαδόν = 268,36 km²

A (450)



Βροχόπτωση στην
λεκάνη =
0.11*450 +
0.22*920 +
0.19*605 +
0.28*810 +
0.20*1390 =
867 mm

27,45 km²

$$W_A = 27,54/268,36=0.11$$

B (920)

$$W_B = 59,03/268,36=0.22$$

59,03 km²

75,87 km²

$$W_\Gamma = 52,13/268,36=0.19$$

$$W_E = 53,88/268,36 = 0.20$$

$$W_\Delta = 75,87/268,36 = 0.28$$

(810) Δ

(605) Γ

53,88 km²

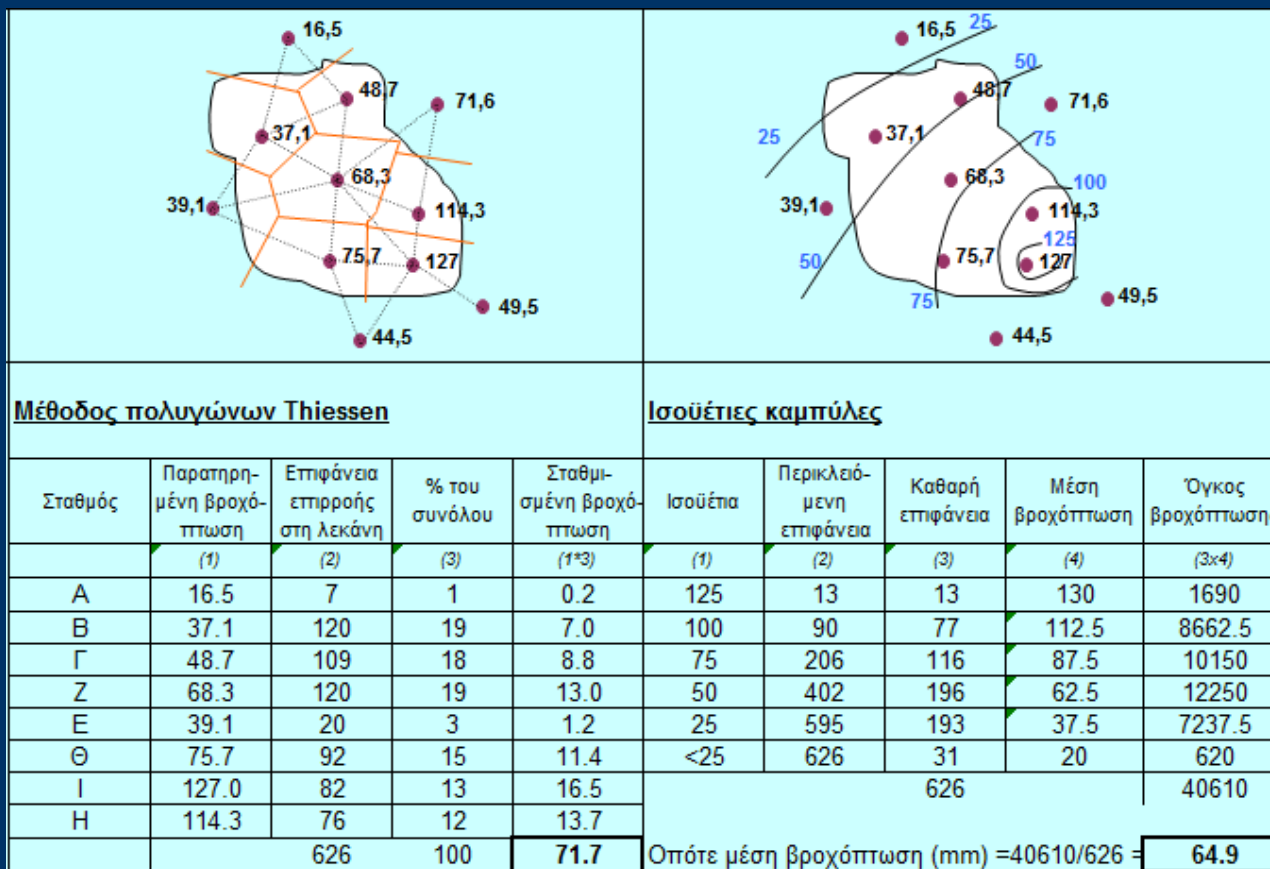
52,13 km²

E (1390)

2,5km

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ THIESSEN

ΟΠΟΤΕ ΘΕΛΟΥΜΕ ΝΑ ΒΓΑΛΟΥΜΕ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΜΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΛΑ) ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΒΥ ΣΤΑΘΜΩΝ) ΕΦΑΡΜΟΖΟΥΜΕ ΜΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ



Τέτοιες είναι οι 2 μέθοδοι που μάθαμε. Υπάρχουν όμως και άλλες.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑ

Με τον όρο βροχοβαθμίδα εννοούμε τη μεταβολή του ύψους βροχής ανά μονάδα μεταβολής του υψόμετρου (συνήθως ανά 100 μέτρα).

Ο όρος είναι ανάλογος με την θερμοβαθμίδα : μεταβολη της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψομέτρου

Η θερμοβαθμίδα είναι περίπου ίδια σε όλον τον πλανήτη = $6.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά χιλιόμετρο

Δεν συμβαίνει το ίδιο με την βροχοβαθμίδα η οποία έχει έντονο τοπικό χαρακτήρα και άρα πρέπει να υπολογίζεται ανά περίπτωση

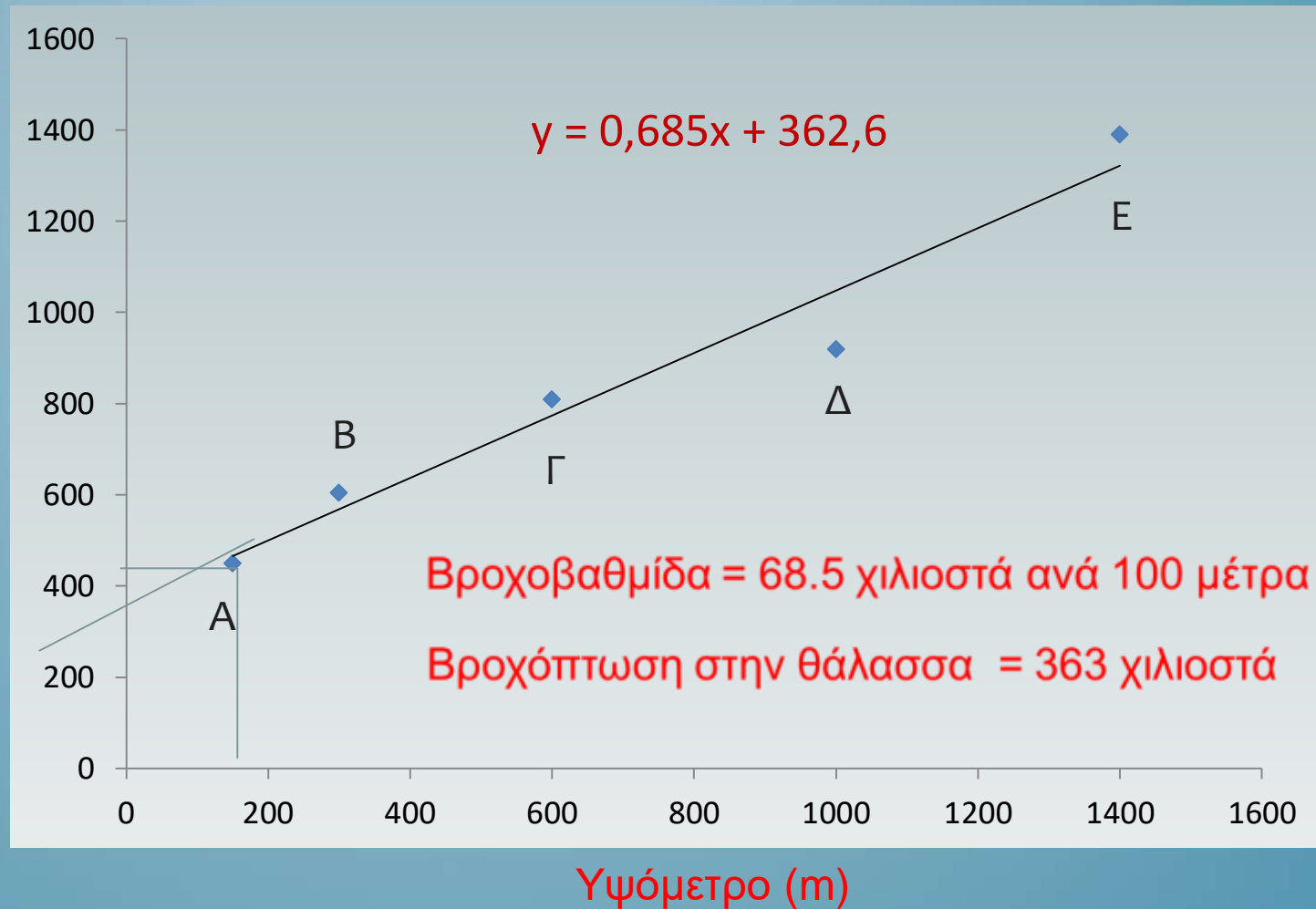
ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑ

μεταβολή του ύψους βροχής ανά μονάδα μεταβολής του υψόμετρου

Ύψος
βροχής
(mm)

| Σταθμός | Υψόμετρο | Μέσο ετήσιο ύψος βροχής |
|---------|----------|-------------------------|
| A | 150 | 450 |
| B | 1000 | 920 |
| Γ | 300 | 605 |
| Δ | 600 | 810 |
| E | 1400 | 1390 |



ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑ

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑ

Με τον όρο βροχοβαθμίδα εννοούμε τη μεταβολή του ύψους βροχής ανά μονάδα μεταβολής του υψόμετρου (συνήθως ανά 100 μέτρα).

Για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας απαιτούνται τα απόλυτα υψόμετρα των βροχομετρικών σταθμών και τα αντίστοιχα ύψη βροχών. Με αυτά κατασκευάζουμε την καμπύλη μεταβολής του ύψους βροχής συναρτήσεως του υψόμετρου των σταθμών, τοποθετώντας στον άξονα των τετμημένων το υψόμετρο των σταθμών και στον άξονα των τεταγμένων το ύψος βροχής. Η κλίση της καμπύλης μας δίνει τη βροχοβαθμίδα (β) και υπολογίζεται γραφικά από το διάγραμμα. Η μαθηματική έκφραση της καμπύλης είναι μια εξίσωση της μορφής

$$y = \beta x + \alpha$$

και παριστάνει μια ευθεία γραμμή όπου το y αντιπροσωπεύει το ύψος βροχής σε υψόμετρο x , το β τη βροχοβαθμίδα και το α το ύψος βροχής σε απόλυτο υψόμετρο μηδέν (0), δηλαδή στην επιφάνεια της θάλασσας.

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

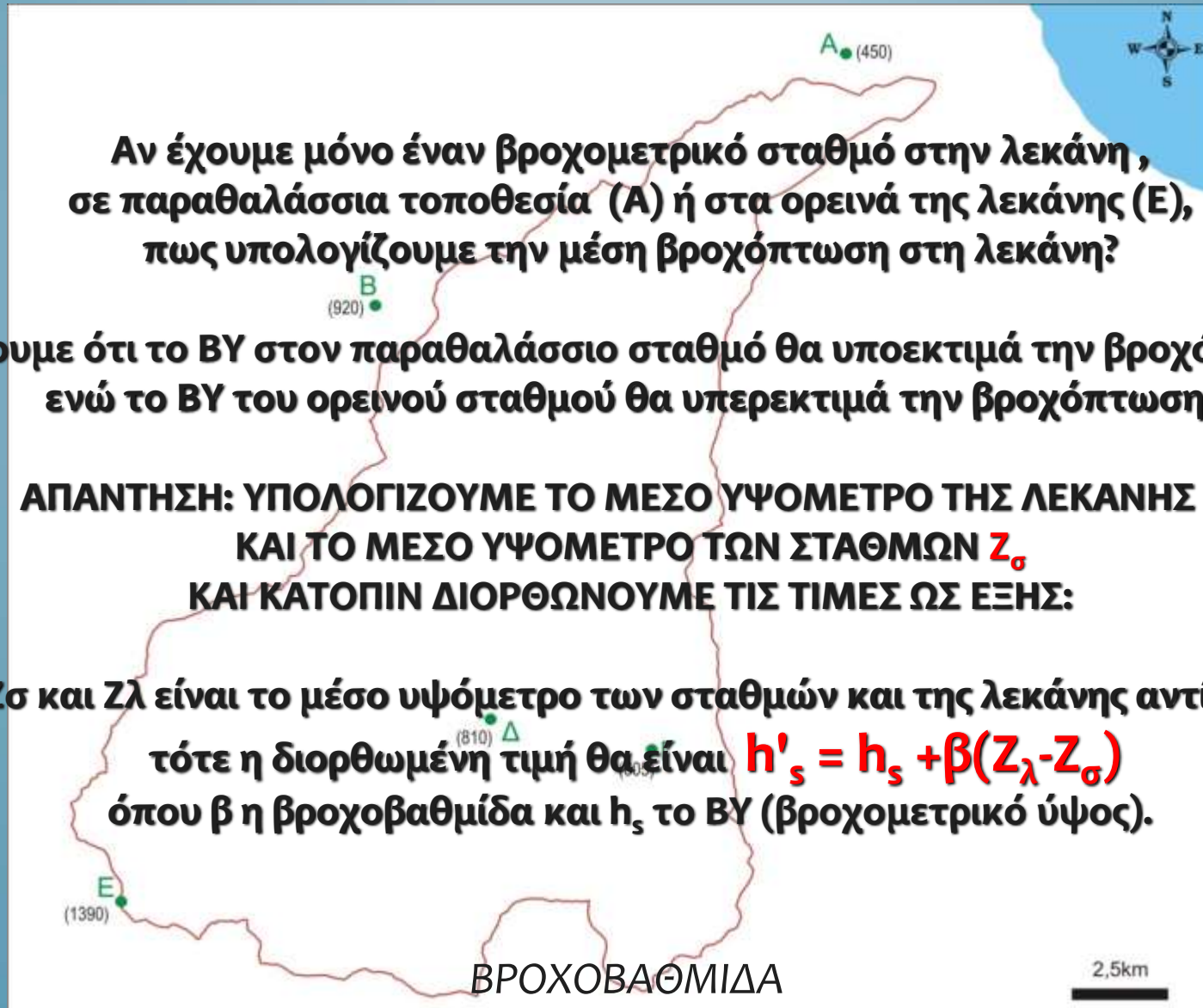
ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑ

Αν έχουμε μόνο έναν βροχομετρικό σταθμό στην λεκάνη, σε παραθαλάσσια τοποθεσία (A) ή στα ορεινά της λεκάνης (E), πως υπολογίζουμε την μέση βροχόπτωση στη λεκάνη?

Ξέρουμε ότι το ΒΥ στον παραθαλάσσιο σταθμό θα υποεκτιμά την βροχόπτωση ενώ το ΒΥ του ορεινού σταθμού θα υπερεκτιμά την βροχόπτωση.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΥΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ Z_λ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ Z_σ ΚΑΙ ΚΑΤΟΠΙΝ ΔΙΟΡΘΩΝΟΥΜΕ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΩΣ ΕΞΗΣ:

Αν Z_σ και Z_λ είναι το μέσο υψόμετρο των σταθμών και της λεκάνης αντίστοιχα τότε η διορθωμένη τιμή θα είναι **$h'_s = h_s + \beta(Z_\lambda - Z_\sigma)$** όπου β η βροχοβαθμίδα και h_s το ΒΥ (βροχομετρικό ύψος).



ΤΙ ΜΑΘΑΜΕ

- Τα όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης, τους τύπους των βροχοπτώσεων καθώς και την κατανομή τους στον πλανήτη και στην Ελλάδα.

- Δύο μεθόδους υπολογισμού της μέσης βροχόπτωσης σε μία ΛΑ:
1. μέθοδος ισοϋετιών καμπυλών και 2. μέθοδος πολυγώνων επιρροής Thiessen.

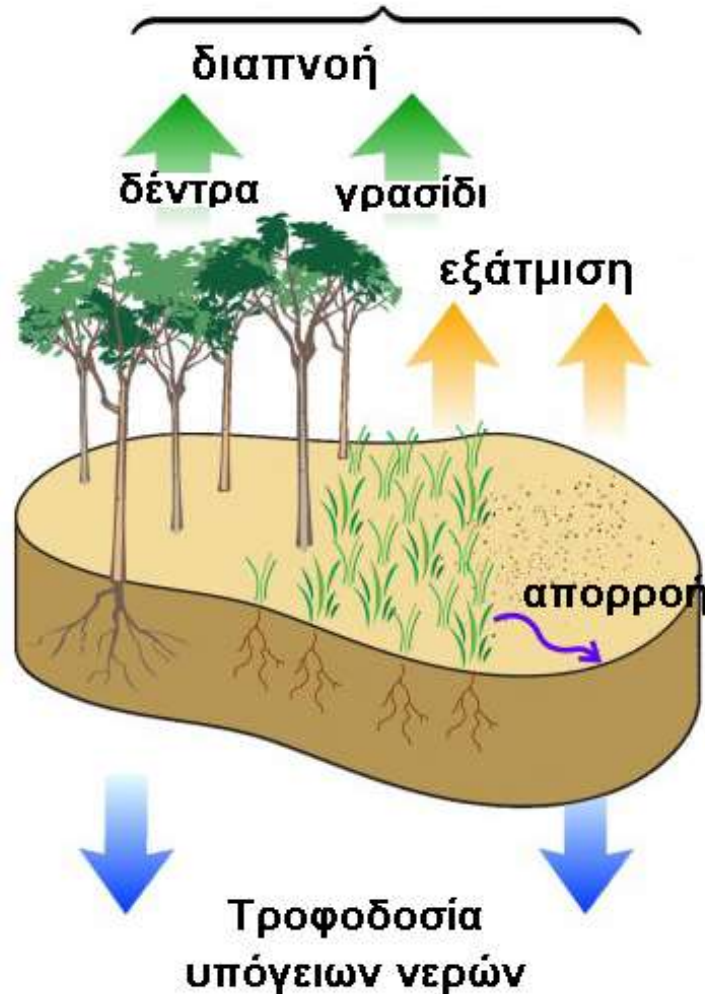
- Τι είναι η βροχοβαθμίδα και πως υπολογίζεται. Επίσης, πως την χρησιμοποιούμε για να διορθώνουμε τυχόν ελλειπή δεδομένα.

- Απαραίτητα δεδομένα: θέση και υψόμετρο βροχομετρικών σταθμών καθώς και η μέση βροχόπτωση του καθενός σταθμού.

- ΑΣΚΗΣΗ 1η ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑΣ

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

εξατμισοδιαπνοή =
εξάτμιση + διαπνοή

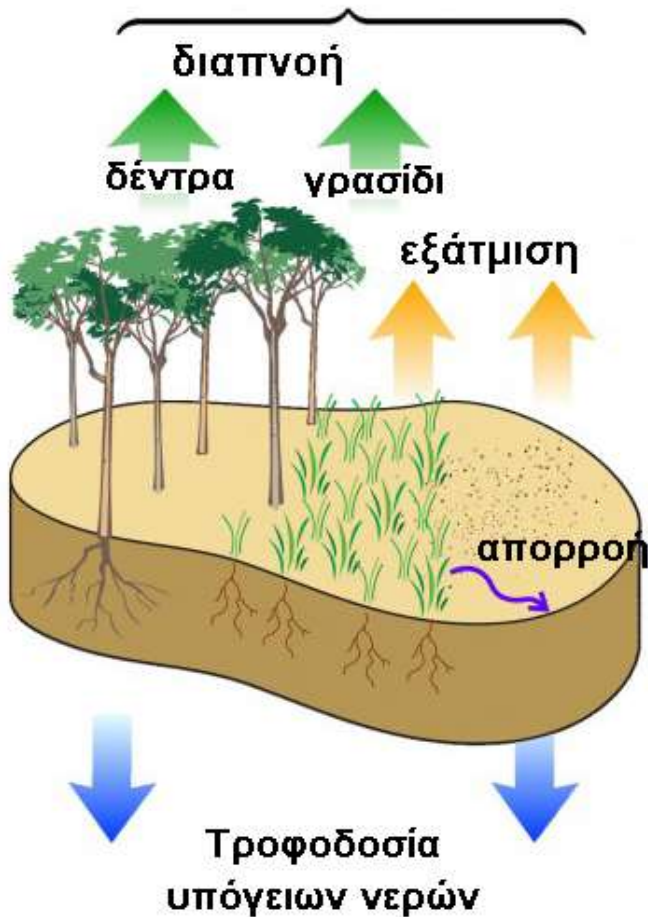


Ο όρος **εξατμισοδιαπνοή** περιγράφει όλες τις διεργασίες με τις οποίες το νερό σε υγρή μορφή πάνω ή κοντά στην γήινη επιφάνεια γίνεται υδρατμός.

Στην πράξη είναι αδύνατο να ξεχωρίσουμε την **εξάτμιση** (από υγρές επιφάνειες) από την **διαπνοή** (εξάτμιση του νερού εντός των φυτών), και επομένως εστιάζουμε στο συνολικό αποτέλεσμα, την εξατμισοδιαπνοή (*et*).

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

εξατμισοδιαπνοή =
εξάτμιση + διαπνοή



- Τα δύο συστατικά που χρειάζονται για την αλλαγή φάσης του νερού από υγρό ή στερεό σε ατμό είναι **ενέργεια** και **νερό**. Δηλαδή, η εξατμισοδιαπνοή είναι εκεί που συναντώνται η διαθεσιμότητα νερού στην επιφάνεια της γης με την διαθεσιμότητα ενέργειας στον ίδιο χώρο.
- Η ενέργεια παράγεται από την **ηλιακή ακτινοβολία** και το νερό κατά κανόνα από τις **τοπικές κατακρημνίσεις**. Επειδή τόσο η ηλιακή ενέργεια όσο και το νερό είναι απαραίτητα για να έχουμε εξάτμιση (και διαπνοή), κάποιες φορές η διαθεσιμότητα της ενέργειας θα περιορίζει τους ρυθμούς της εξατμοδιαπνοής ενώ άλλες φορές θα την περιορίζει η διαθεσιμότητα του νερού.
- Σε σχέση με την διαθεσιμότητα του νερού, βλέπουμε ότι η εξατμισοδιαπνοή είναι μια **αμφίδρομη διεργασία** όπου δηλαδή η ποσότητα του διαθέσιμου νερού επηρεάζει τον ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής η οποία με την σειρά της επηρεάζει την ποσότητα του νερού που θα είναι διαθέσιμο στην συνέχεια.

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Όλη η ύλη διαθέτει εσωτερική ενέργεια E_u [$M L^2 T^{-2}$] που οφείλεται στην κινητική και δυναμική ενέργεια που συνδέεται με τα μόρια. Η εσωτερική ενέργεια είναι μια εκτατική ιδιότητα (εξαρτάται από την ποσότητα του υλικού) και μετριέται σε μονάδες calories ή joules. Υπάρχουν διάφοροι τύποι εσωτερικής ενέργειας.

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με την αισθητή θερμότητα και την λανθάνουσα θερμότητα (ενέργεια).

1. Η **αισθητή θερμότητα** είναι το τμήμα αυτό της εσωτερικής ενέργειας που είναι ανάλογο με την θερμοκρασία. Όπως λέει και το όνομά της, αυτή είναι η θερμότητα που αισθάνεται κανείς με την επαφή ή το άγγιγμα. Η **ειδική θερμότητα**¹¹ c_p [$L^2 \Theta^{-1} T^{-2}$] είναι ένα μέτρο του πόσο η εσωτερική ενέργεια ενός σώματος αλλάζει με την θερμοκρασία:

$$(2.5) \quad c_p = \frac{dE_u/m}{dT}$$

όπου m είναι η μάζα και T (K) είναι η απόλυτη θερμοκρασία (η απόλυτη θερμοκρασία μετριέται σε βαθμούς Κέλβιν που σημειώνονται με το "K"). Ουσιαστικά η ειδική θερμότητα είναι ένα μέτρο της απαιτούμενης θερμότητας για την αύξηση της θερμοκρασίας της μονάδας μάζας κατά 1°C . Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ειδική θερμότητα για να υπολογίσουμε πως η θερμοκρασία μιας δεδομένης μάζας νερού θα αλλάξει εάν προσφέρουμε ενέργεια (ζεστάνουμε το νερό). Η **θερμοχωρητικότητα** του νερού στους 20°C είναι περίπου $4.2 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ή $1.0 \text{ cal g}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Εάν έχουμε 1.0 kg νερού και προσθέσουμε 12 kJ (kilojoules) ενέργειας, η διαφορά στην θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$dT = \frac{dE_u/m}{c_p} = \frac{12000 \text{ J/kg}}{4.2 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 2.9 \text{ K}$$

δηλαδή η θερμοκρασία του νερού θα αυξηθεί κατά περίπου 3°C . Έχουμε υποθέσει ότι δεν εξατμίστηκε νερό.

2. **Λανθάνουσα θερμότητα** είναι το τμήμα αυτό της εσωτερικής ενέργειας που δεν γίνεται αισθητό. Αντίθετα, η λανθάνουσα ενέργεια είναι η ποσότητα αυτή της εσωτερικής ενέργειας που απορροφάται ή εκλύεται κατά την αλλαγή φάσης, σε σταθερή θερμοκρασία. Η εξατμίσση προϋποθέτει την μετατροπή υγρού σε αέριο που απαιτεί να προστεθεί ενέργεια στο νερό. Αυτή η ενέργεια ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσσης**:

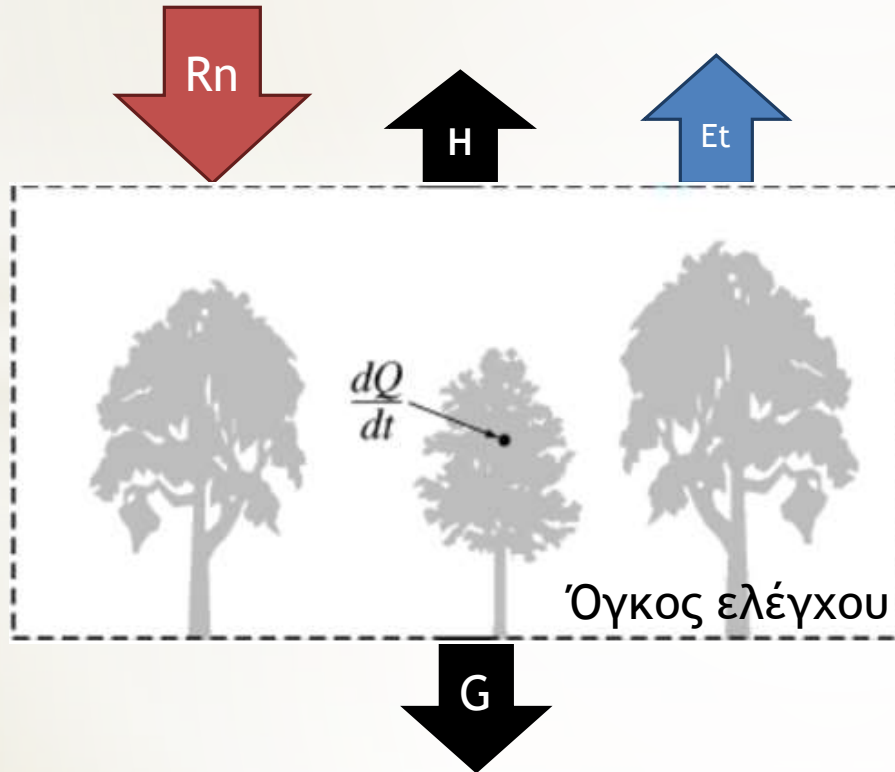
$$(2.6) \quad \lambda_v = 2.45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1} \quad (20^\circ\text{C})$$

Πρέπει δηλαδή να προσφέρουμε περίπου 2.5 εκατομμύρια joules ενέργειας για να εξατμίσουμε 1 χιλιόγραμμο νερού. Άλλοι τύποι λανθάνουσας θερμότητας περιλαμβάνουν:

- λανθάνουσα θερμότητα λωσίματος: $\lambda_m = 3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ στους 0°C
- λανθάνουσα θερμότητα πήξης: $\lambda_f = -3.34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$ στους 0°C
- λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης: $\lambda_s = 2.83 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ στους 0°C

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή της φάσης του νερού διατηρείται εντός των μορίων του υδρατμού και εξέρχεται από το σύστημα μαζί με τους υδρατμούς. Τελικά, η λανθάνουσα θερμότητα (ενέργεια εξάτμισης) ξαναμετατρέπεται σε θερμική ενέργεια όπου και όταν το νερό υγροποιηθεί.



Η προσπίπτουσα ακτινοβολία (R_n) ζεσταίνει τις εκτεθειμένες επιφάνειες εντός του συστήματος.

Όταν υπάρχει νερό, αυτό απορροφά κάποιο τμήμα της θερμικής ενέργειας για να υποστηρίξει την αλλαγή φάσης του από υγρό σε ατμό (εξατμισοδιαπνοή).

Η εξατμισοδιαπνοή συνήθως δεν θα απορροφήσει όλη την ενέργεια και έτσι η επιφάνεια θα συνεχίσει να θερμαίνεται

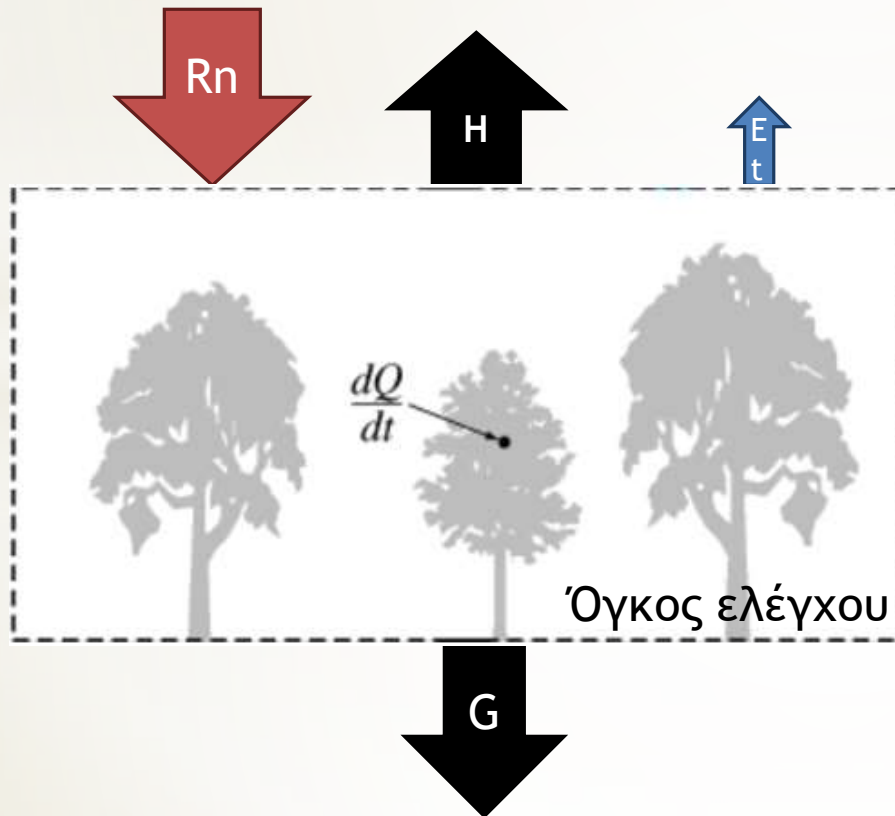
Καθώς η επιφάνεια γίνεται ζεστότερη από τον αέρα και το έδαφος, θα αρχίσει να μεταδίδει θερμότητα προς τον αέρα (H) και προς το έδαφος (G). Κατά την διάρκεια αυτής της διεργασίας προστίθενται θερμότητα και υδρατμοί στον αέρα που βρίσκεται στον όγκο ελέγχου. Ο υγρός και ζεστός αέρας γίνεται πιο αραιός από τον περιβάλλοντα αέρα και τείνει να ανυψωθεί και να βγει εκτός του όγκου ελέγχου.

οι κύριες μορφές εκροής ενέργειας από την ακτινοβολία που δέχεται η γήινη επιφάνεια είναι η θέρμανση του εδάφους, η θέρμανση του υπερκείμενου αέρα και η μετατροπή του υγρού νερού σε υδρατμούς

Η εξατμισοδιαπνοή συνήθως δεν θα απορροφήσει όλη την ενέργεια και έτσι η επιφάνεια θα συνεχίσει να θερμαίνεται

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

$$\frac{dQ}{dt} = R_n - G - H - E_l$$



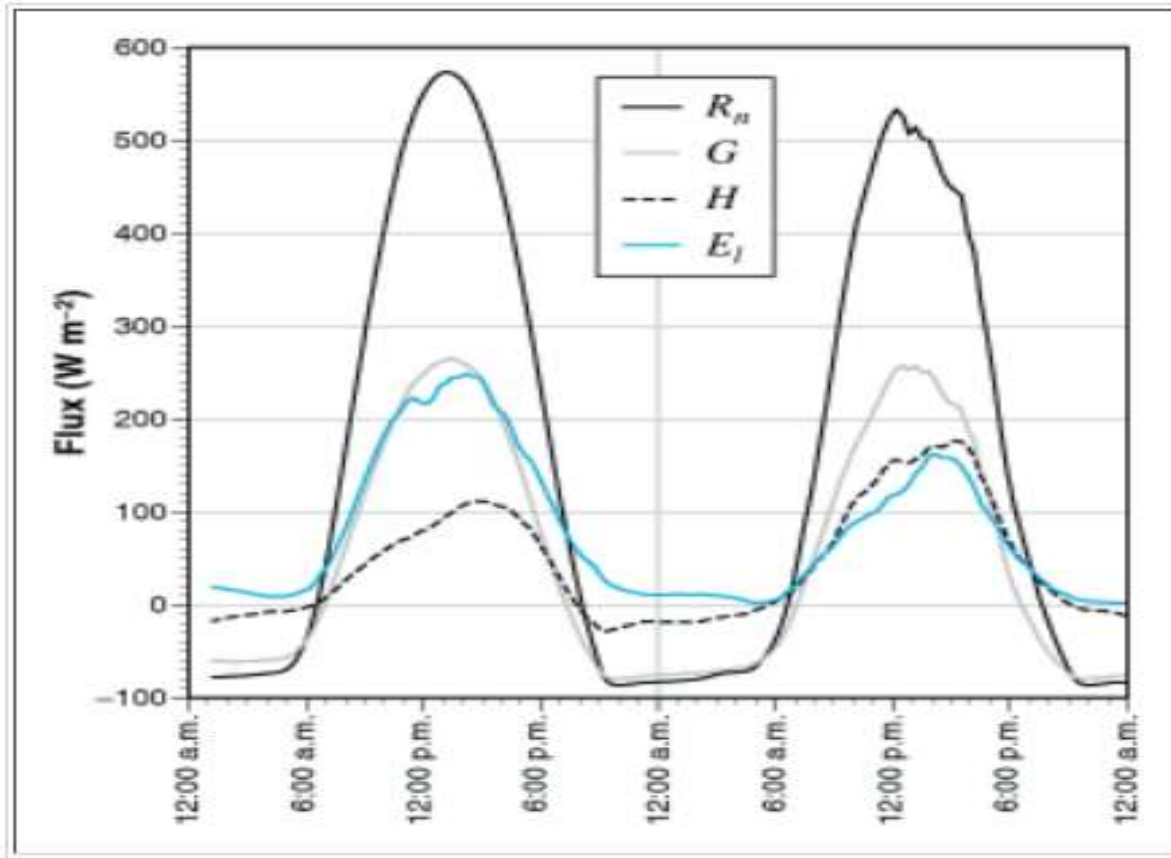
R_n = η καθαρή (ηλιακή) εισροή ακτινοβολίας;
 G = εκροή ενέργειας μέσω αγωγής στο έδαφος;
 H = καθαρή εκροή αισθητής θερμότητας στην ατμόσφαιρα;
 E_l = εκροή λανθάνουσας ενέργειας στην ατμόσφαιρα (Ροή λανθάνουσας θερμότητας), που οφείλεται στην εξάτμιση;
 Q = η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που αποθηκεύεται στον όγκο ελέγχου ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας.

Κάθε ένας από τους όρους στην δεξιά πλευρά της εξίσωσης είναι στην μορφή μιας ενεργειακής ροής (ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου). Σε μονάδες SI αυτό σημαίνει $J m^{-2} s^{-1}$, ή $W m^{-2}$. Η σύμβαση που γίνεται εδώ είναι να εκφραστούν τα R_n και G σαν θετικά εάν κατευθύνονται προς τα κάτω ενώ τα H και E_l σαν θετικά όταν κατευθύνονται προς τα πάνω.

Μπορούμε να ξαναγράψουμε την εξίσωση για να λύσουμε για την E_l , την ροή της λανθάνουσας θερμότητας (εξατμισοδιαπνοή):

$$E_l = R_n - G - H - \frac{dQ}{dt}$$

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ



Μετρημένες ροές ενέργειας από ένα πειραματικό πεδίο στην Καλιφόρνια.

Καθώς η επιφάνεια στεγνώνει ενόσω διαρκεί το πείραμα η ροή λανθάνουσας θερμότητας μειώνεται και η ροή αισθητής θερμότητας αυξάνεται.

Ο ρυθμός της et που σημειώνεται κάτω από τις υφιστάμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες και της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας όταν η επιφάνεια είναι εντελώς υγρή αναφέρεται σαν **δυναμική εξατμισοδιαπνοή** (PET).

Για το υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής μας ενδιαφέρει η **πραγματική εξατμισοδιαπνοή** γιατί αυτός είναι ο ρυθμός με τον οποίον το νερό απομακρύνεται.

Η έννοια της PET είναι χρήσιμη σαν εργαλείο εάν διαθέτουμε κάποιο τρόπο να υπολογίσουμε την **πραγματική εξατμισοδιαπνοή** (ET ή AET) από την δυναμική περίπτωση και από την γνώση των συνθηκών της επιφάνειας του εδάφους.

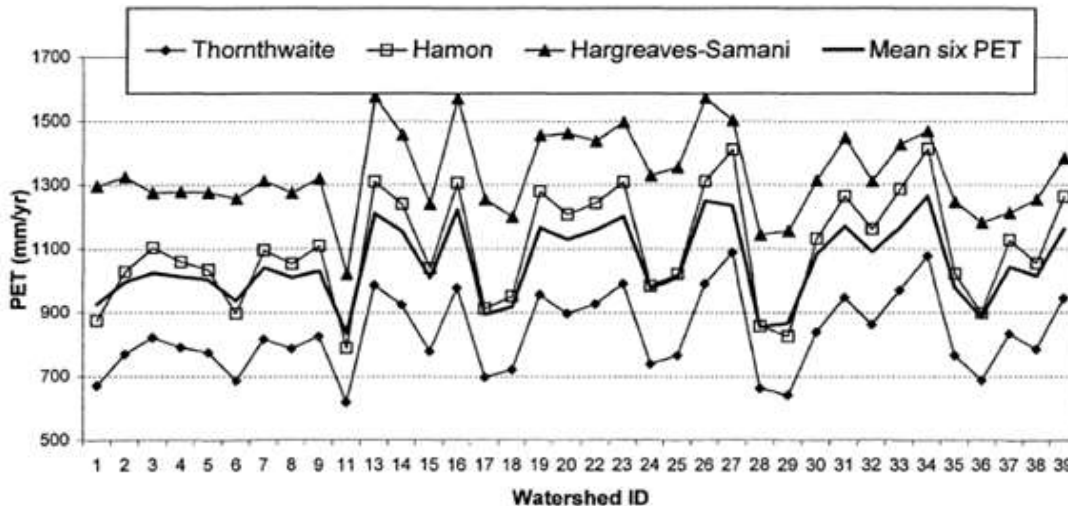
Εξ' ορισμού, όταν η επιφάνεια είναι υγρή ο λόγος της et προς την PET θα είναι μονάδα. Αντίστροφα, όταν η επιφάνεια είναι ολοκληρωτικά άνυδρη θα τείνει στο μηδέν.

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Πίνακας 1-2: Κάποιες γνωστές μέθοδοι υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και απαιτούμενα μετεωρολογικά δεδομένα. Οι αστερίσκοι δηλώνουν ότι αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν και ένα διορθωτικό συντελεστή ή συντελεστή βαθμονόμησης.

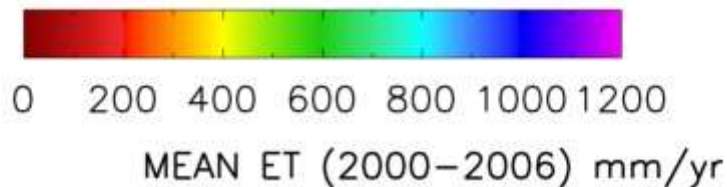
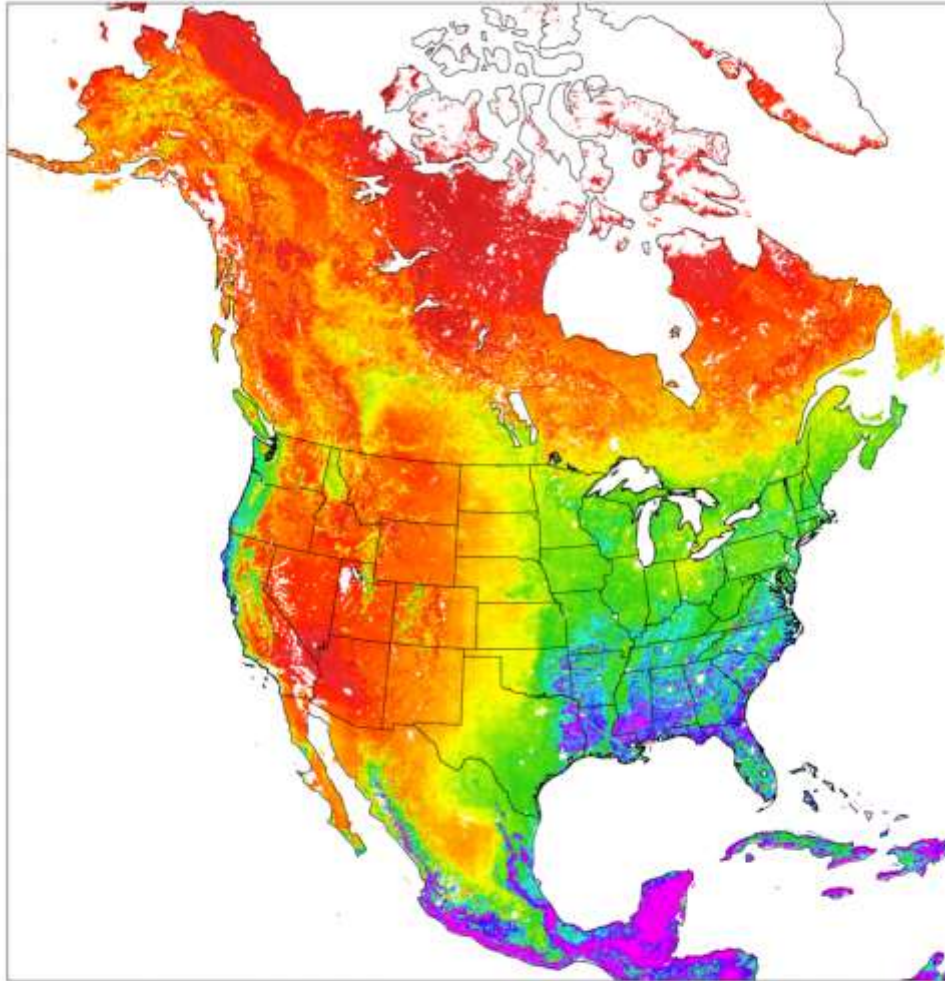
| α/α | Μέθοδος | Θερμοκρασία | Ακτινοβολία | Σχετική Υγρασία | Άλλη |
|-----|-----------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | Thorntwaite (1948) | Μέση ημερήσια | - | - | Διάρκεια ημέρας |
| 2 | Hamon (1963) | Μέση ημερήσια | - | - | Διάρκεια ημέρας * |
| 3 | Hardgreaves - Samani (1985) | Ημερήσιο max/min | Εκτός ατμόσφαιρας | - | - |
| 4 | Priestley - Taylor (1972) | Μέση ημερήσια | Καθαρή ακτινοβολία | - | * |
| 5 | Turc (1961) | Μέση ημερήσια | Ηλιακή ακτινοβολία | Μέση ημερήσια | - |
| 6 | Makkig (1957) | Μέση ημερήσια | Ηλιακή ακτινοβολία | - | - |

Μία βασική διαίρεση των μεθόδων υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής είναι ανάμεσα σε μεθόδους ακτινοβολίας και σε μεθόδους θερμοκρασίας. Γενικά, οι μέθοδοι ακτινοβολίας θεωρούνται ακριβέστερες αλλά είναι πολύ πιο απαιτητικές σε δεδομένα εισόδου.



Σχήμα 1-8: Σύγκριση των υπολογισμένων τιμών ετήσιας ΔΕ για 39 περιοχές στις ΝΑ ΗΠΑ (Lu et al., 2005). Η μέθοδος Hamon είναι κοντά στον μέσο όρο των 6 μεθόδων που αναφέρονται στον πίνακα 1-3. Σε σχέση με τον Μ.Ο, η μέθοδος Thornthwaite υποεκτιμά την ΔΕ ενώ η μέθοδος Hardgreaves - Samani την υπερεκτιμά.

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ



Η δυνητική όσο και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (μαζί με άλλες μεταβλητές του ενεργειακού ισοζυγίου) διατίθενται επίσης από το δορυφορικό προϊόν MODIS16. Το προϊόν αυτό καλύπτει, με ανάλυση 1km^2 , περίπου 109 εκατομμύρια km^2 και παρέχεται σε χρονική ανάλυση 8-ήμερη, μηνιαία και ετήσια, ενώ περιλαμβάνει τα έτη από το 2000 έως και σήμερα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί είναι μία εκδοχή της μεθόδου Penman.

ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η μέθοδος Hamon

Η μέθοδος του Hamon παρουσιάζεται παρακάτω (Hamon, 1961).

$$PET_t = \left(\frac{2.1H_t^2 e_s}{T_t + 273.3} \right) \quad (50)$$

όπου

PET: εξατμισοδιαπνοή την ημέρα t [mm ημέρα⁻¹]

H_t : μέσος αριθμός ωρών ημέρας κατά τη διάρκεια του μήνα όπου πέφτει η ημέρα t

e_s : πίεση κορεσμού υδρατμών σε θερμοκρασία T [kPa]

T_t : η μέση θερμοκρασία την ημέρα t [°C]

Η πίεση κορεσμού υπολογίζεται από την θερμοκρασία ω

$$e_s = 0,2749 * 10^8 * \exp\left(\frac{-4278.6}{T_t + 273.3}\right)$$

Το H_t υπολογίζεται από την αστρονομική διάρκεια της ημέρας N_t η οποία ισούται με

$$N_t = \frac{24 * \omega_s}{\pi}$$

όπου ω είναι η γωνία δύσης του ήλιου την ημέρα t , $\omega = \arccos(-\tan\phi * \tan\delta)$

ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και δ είναι η ηλιακή απόκλιση

$$\delta = 04093 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1.405\right)$$

όπου J είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας (από 1 έως 365).

Τις ημέρες με θερμοκρασία ίση ή κάτω από το μηδέν οι Haith and Shoemaker θέτουν $PET = 0$.

Η μέθοδος αυτή υπολογισμού της PET είναι μέθοδος θερμοκρασίας σχετικά απλή στην εφαρμογή της με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Προσδιορισμός της θέσης του ήλιου

Ο προσδιορισμός της θέσης του ήλιου για μια επιφάνεια που συλλέγει ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να γίνει γνωρίζοντας τις ακόλουθες πέντε γωνίες:

- Γεωγραφικό πλάτος ϕ
- Ηλιακή απόκλιση δ
- Γωνία ώρας ω
- Κλίση επιφάνειας β
- Γωνία αζιμουθίου γ

Ηλιακή απόκλιση δ

Η ηλιακή απόκλιση δ είναι η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου-γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right)$$

όπου n είναι η ημέρα του έτους.

Η ηλιακή απόκλιση παίρνει τη μέγιστη τιμή της (23.45°) κατά το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου), και την ελάχιστη τιμή της (-23.45°) κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου).

ΤΙ ΜΑΘΑΜΕ

- Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET) ορίζεται σαν η πραγματική ποσότητα νερού που χάνεται στην ατμόσφαιρα από τις διεργασίες εξάτμισης και διαπνοής και είναι εξ'ορισμού ίση με την δυνητική σε συνθήκες επάρκειας νερού. Όταν όμως το νερό αρχίζει και περιορίζεται και δεν είναι αρκετό για την εξατμισοδιαπνοή σε δυνητικούς ρυθμούς, τότε οι απώλειες νερού μειώνονται παρόλες τις αυξημένες απαιτήσεις της ατμόσφαιρας.
- ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΕΥΘΥΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ (εκτός των μετρήσεων).
- η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PET) μπορεί γενικά να οριστεί σαν η ποσότητα του νερού που θα μπορούσε να εξατμιστεί από το έδαφος και τα υδάτινα σώματα και να διαπνεύσει από την βλάστηση, χωρίς περιορισμούς άλλους από τις απαιτήσεις της ατμόσφαιρας.
- Η έννοια της PET πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τον **Thornthwaite** (Halstead, 1951) στην προσπάθειά του να υπολογίσει την πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με κάποια από τις διαθέσιμες μεθόδους.
- Η έννοια της PET συνιστά έναν χρήσιμο δείκτη που αντιπροσωπεύει την *μέγιστη δυνατή* απώλεια νερού από μία *περιοχή με βλάστηση* προς την ατμόσφαιρα. Η εξατμισοδιαπνοή ευθύνεται για την απώλεια στην ατμόσφαιρα του 60% κατά μέσο όρο των κατακρημνισμάτων σε πλανητική κλίμακα (Hornberger et al, 2014).
- ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΚΑΠΟΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΑΠΟ ΤΙΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ (π.χ. HAMON, PENMANN κá).
- Απαραίτητα δεδομένα: θερμοκρασίες ή ακτινοβολίες

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ



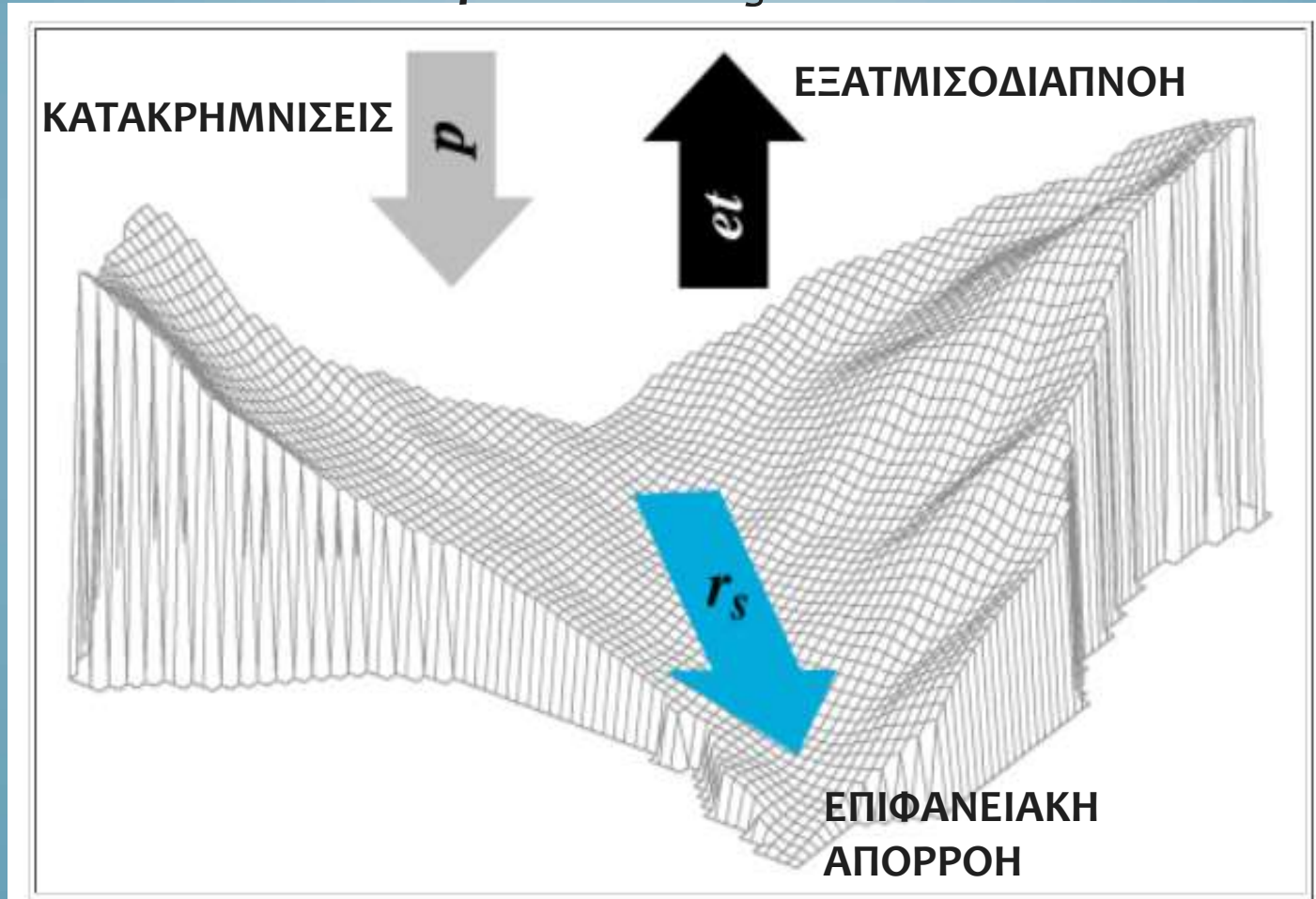
Εάν οι επιφανειακές εισροές, οι υπόγειες διαφυγές και η υπόγεια απορροή θεωρηθούν αμελητέες και η αποθήκευση ($\Delta S / \Delta t$) δεν μεταβληθεί, τότε μένουμε με τη σχέση

$$p = et + r_s$$

(βροχή = εξατμισοδιαπνοή + απορροή)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

$$p = et + r_s$$

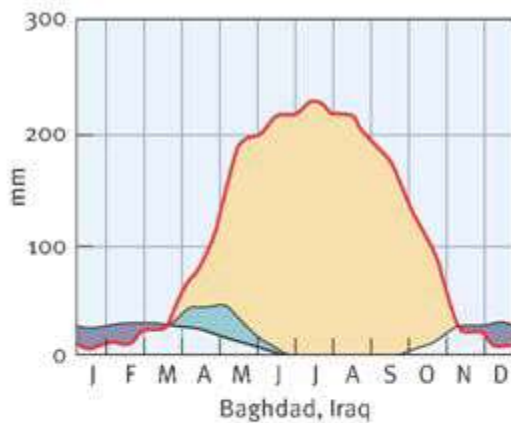


Η λεκάνη απορροής είναι η κατάλληλη χωρική μονάδα για να εφαρμόσουμε την αρχή της διατήρησης της μάζας, δηλαδή ένα ισοζύγιο:

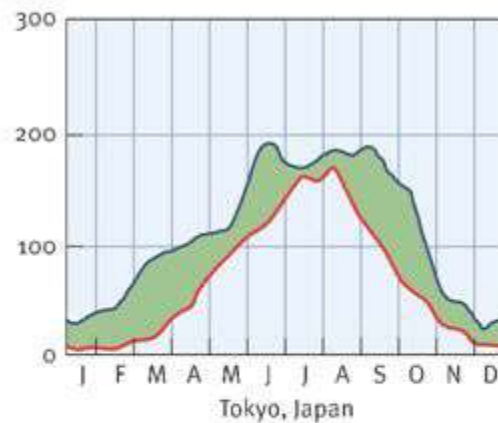
$$p = et + r_s \text{ (βροχή = εξατμισοδιαπνοή + απορροή)}$$

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

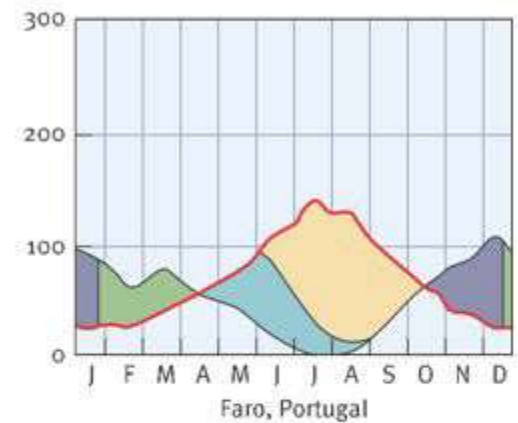
ΥΔΑΤΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΚΛΙΜΑΤΑ



A



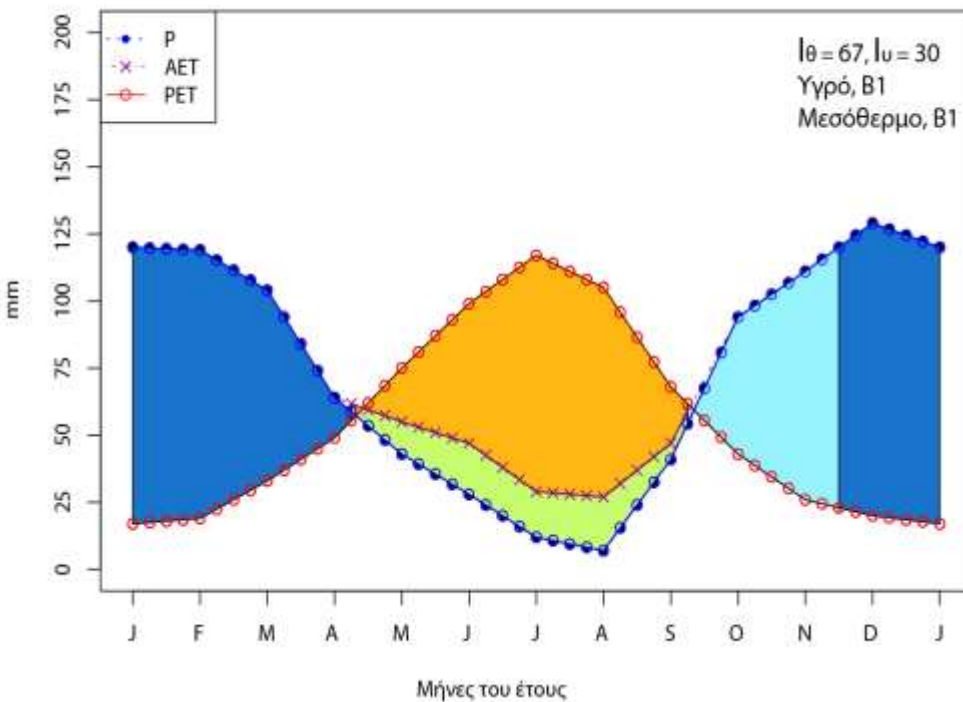
B



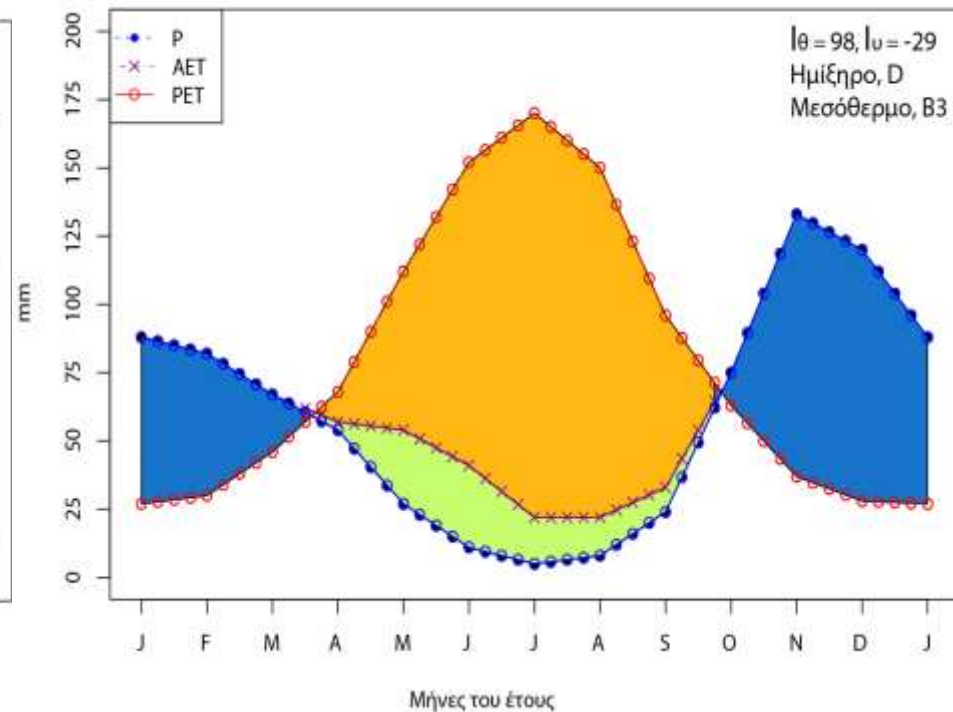
C

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

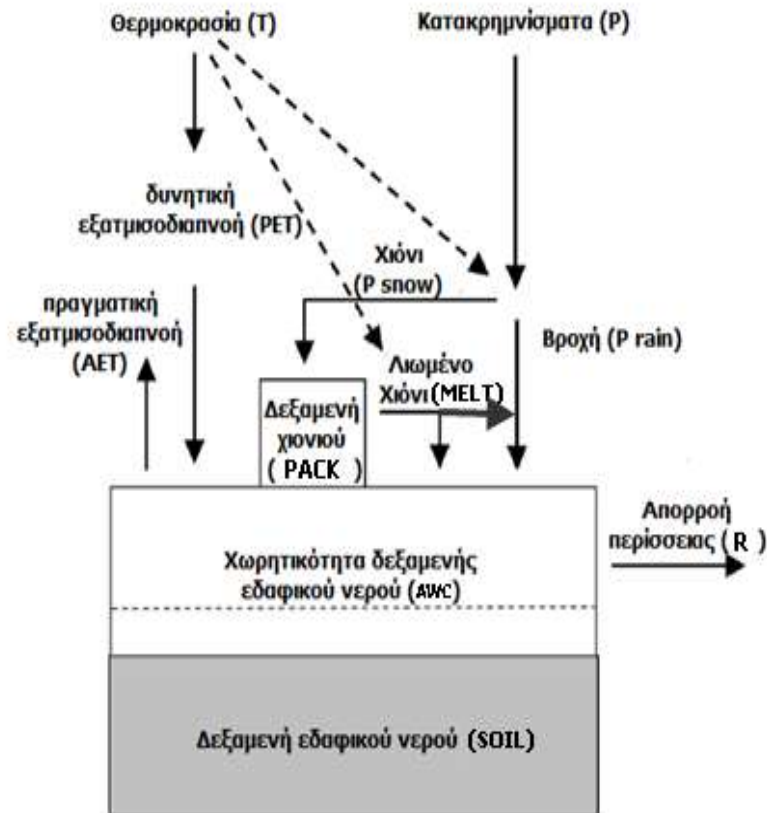
Υδατικό Ισοζύγιο Thornthwaite, Καλάβρυτα



Υδατικό Ισοζύγιο Thornthwaite, Αίγιο



ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ



Μέθοδος υδατικού ισοζυγίου κατά Thornthwaite

Οι μεταβλητές που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς είναι (όλα τα μεγέθη σε χιλιοστά):

AWC = Μέγιστη αποθηκευτικότητα του εδάφους σε νερό (Available Water Capacity)

AW_i = Διαθέσιμο νερό κατά το μήνα i

E_i, PE_i = Πραγματική και δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά το μήνα i

P_i = Κατακρημνίσματα κατά το μήνα i

Ο «αλγόριθμος» υπολογισμού είναι ο παρακάτω:

Εάν $P_i \geq PE_i$ τότε $E_i = PE_i$

Εάν $P_i < PE_i$ τότε $E_i = P_i + [AW_{i-1} * (1 - \exp(-(P_i - PE_i) / AWC))]$

$AW_i = \min[(AW_{i-1} + P_i - E_i), AWC]$

και

Μεταβολή στην αποθηκευμένη υγρασία: $\Delta AW_i = AW_i - AW_{i-1}$

Έλλειμμα (Deficit): $D_i = PE_i - P_i$

Περίσσεια (Surplus): $S_i = AW_{i-1} + P_i - E_i - AW_i$

Απορροή (Runoff): $RO = \frac{1}{2}$ Ποσότητας διαθέσιμης για απορροή

Ποσότητα διαθέσιμη για απορροή: $S_i + Detention_{i-1}$

Συγκράτηση (detention): $RO_i - RO_{i-1}$

ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

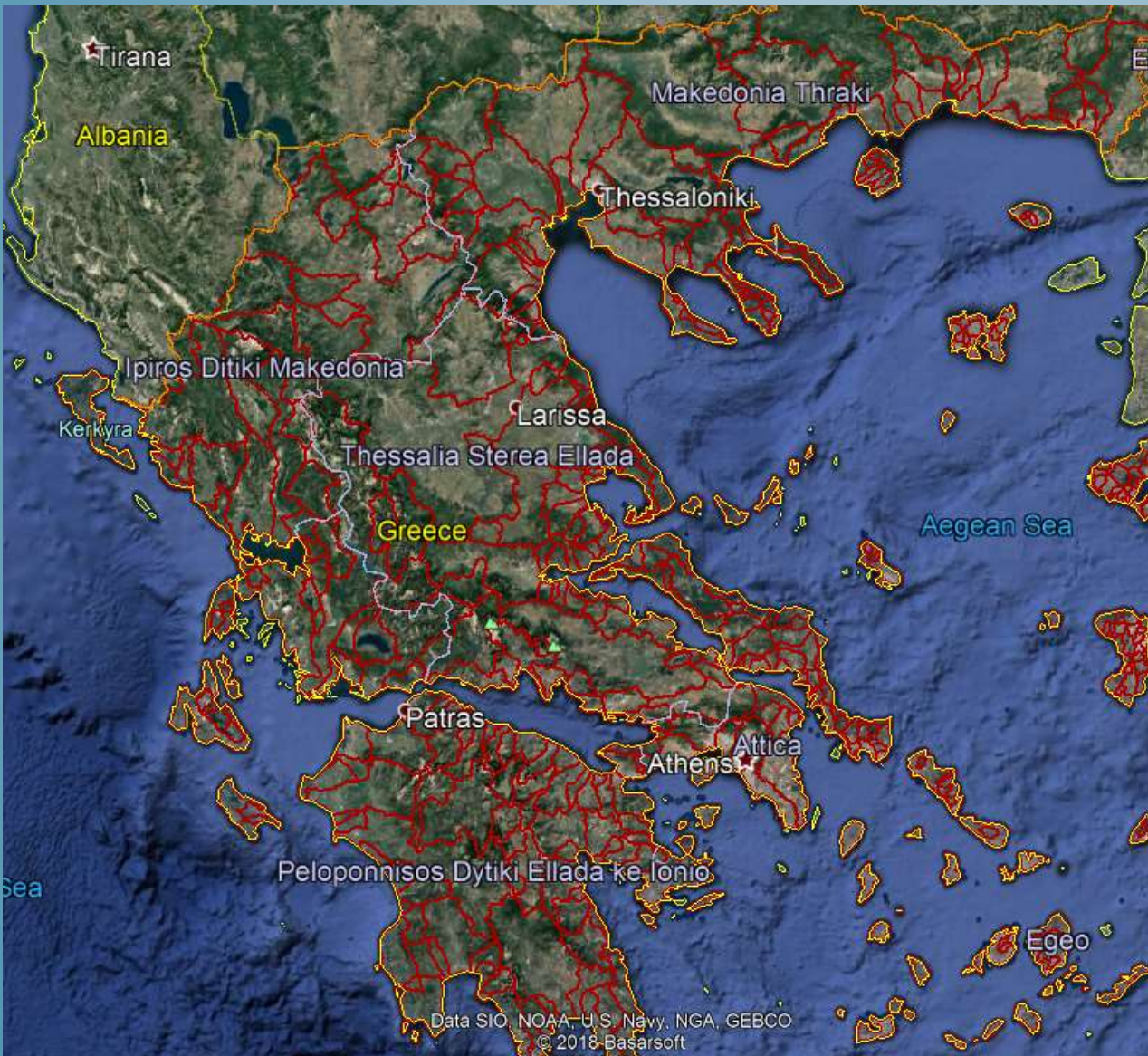
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

ΘΕΜΑ 1: ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ THORNWAITE

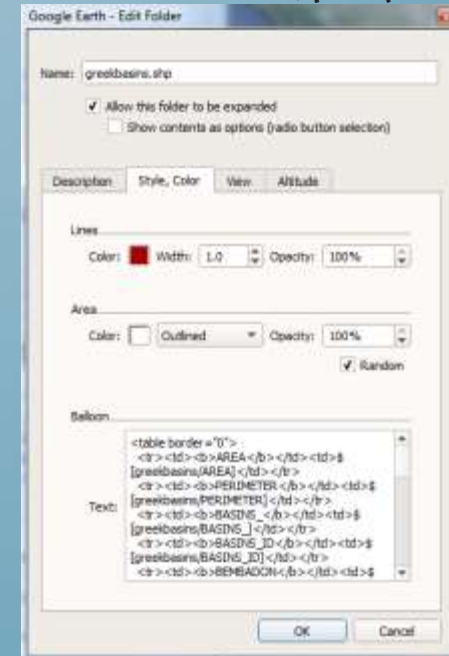
1. Θα επιλέξετε μία λεκάνη σε όποια περιοχή της Ελλάδας θέλετε (...)
2. Θα βρείτε τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στο <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>
3. Θα πάρετε μηνιαίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις
4. Θα κάνετε αναγωγή για την βροχοβαθμίδα με βάση το μέσο υψόμετρο της λεκάνης και το υψόμετρο του σταθμού
5. Θα κατασκευάσετε το μηνιαίο ισοζύγιο με την βοήθεια του αρχείου **Thornwaite Water Balance Ελληνικά.xls**
6. Θα παρουσιάσετε τη μελέτη σας (...)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

1. Θα επιλέξετε μία λεκάνη σε όποια περιοχή της Ελλάδας θέλετε (...)



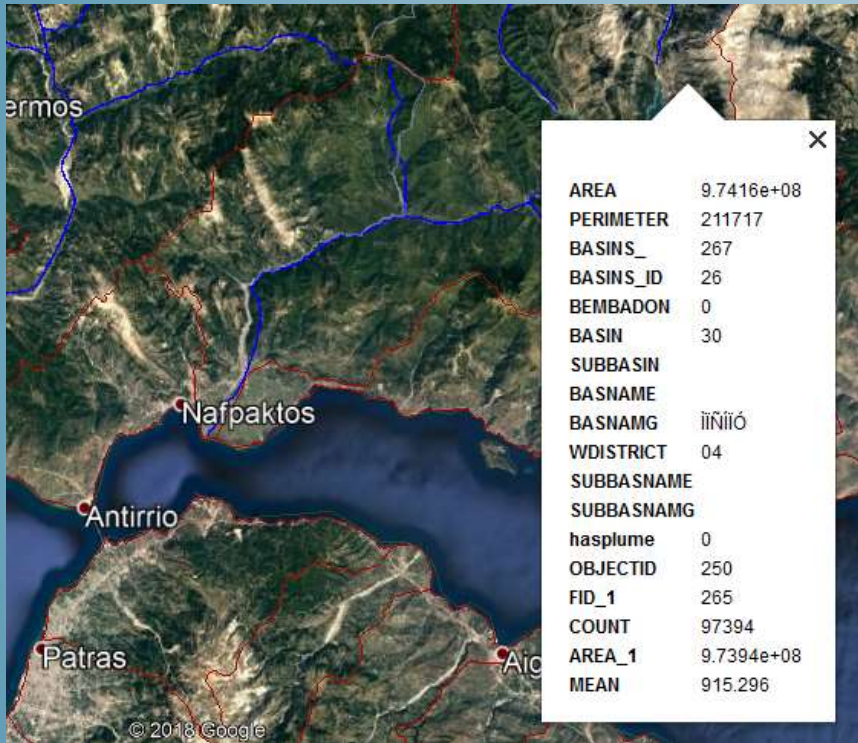
Στο Google Earth Pro θα κάνετε Import το greekbasins.shp (+ greekrivers.shp) Για να το δείτε καλά (όπως φαίνεται δίπλα) θα κάνετε κάποιες ρυθμίσεις



Κατόπιν θα επιλέξετε μία Λεκάνη.

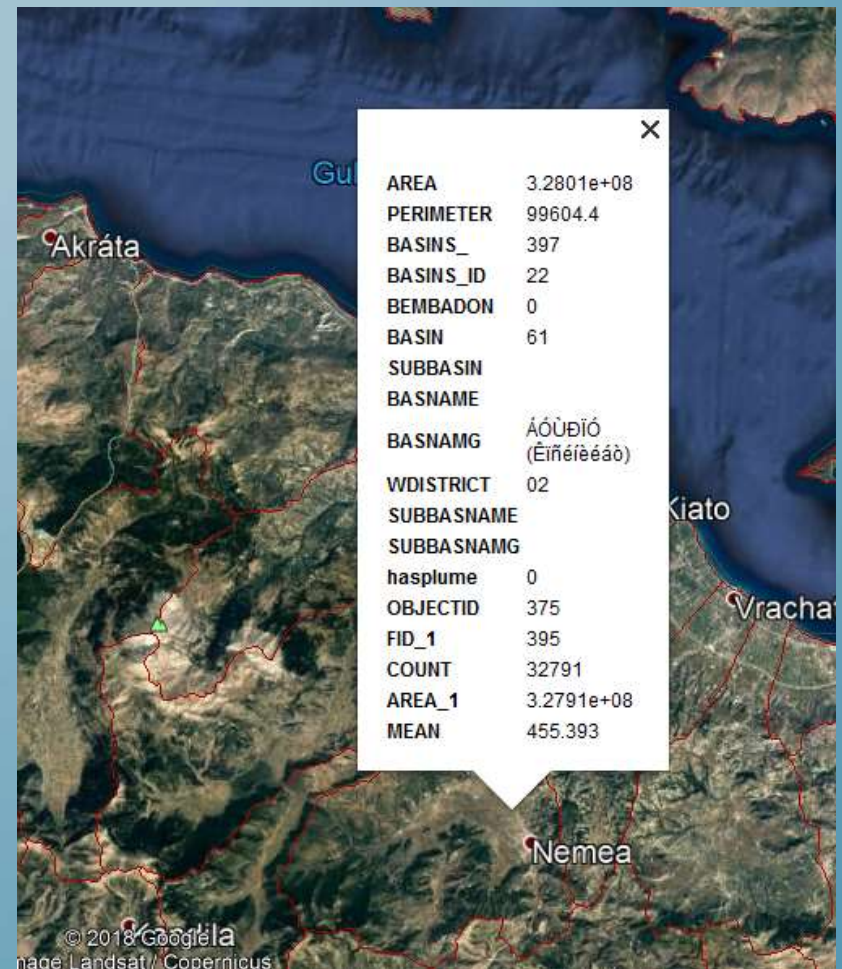
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

1. Θα επιλέξετε μία λεκάνη σε όποια περιοχή της Ελλάδας θέλετε (...)



Από εκεί μπορείτε να πάρετε πληροφορίες όπως η επιφάνεια (AREA σε m^2), η περίμετρος και το μέσο υψόμετρό της (MEAN σε m)

Πατήστε σε μια λεκάνη και θα δείτε τα περιεχόμενα του πίνακα περιγραφικών πληροφοριών των πολυγώνων.



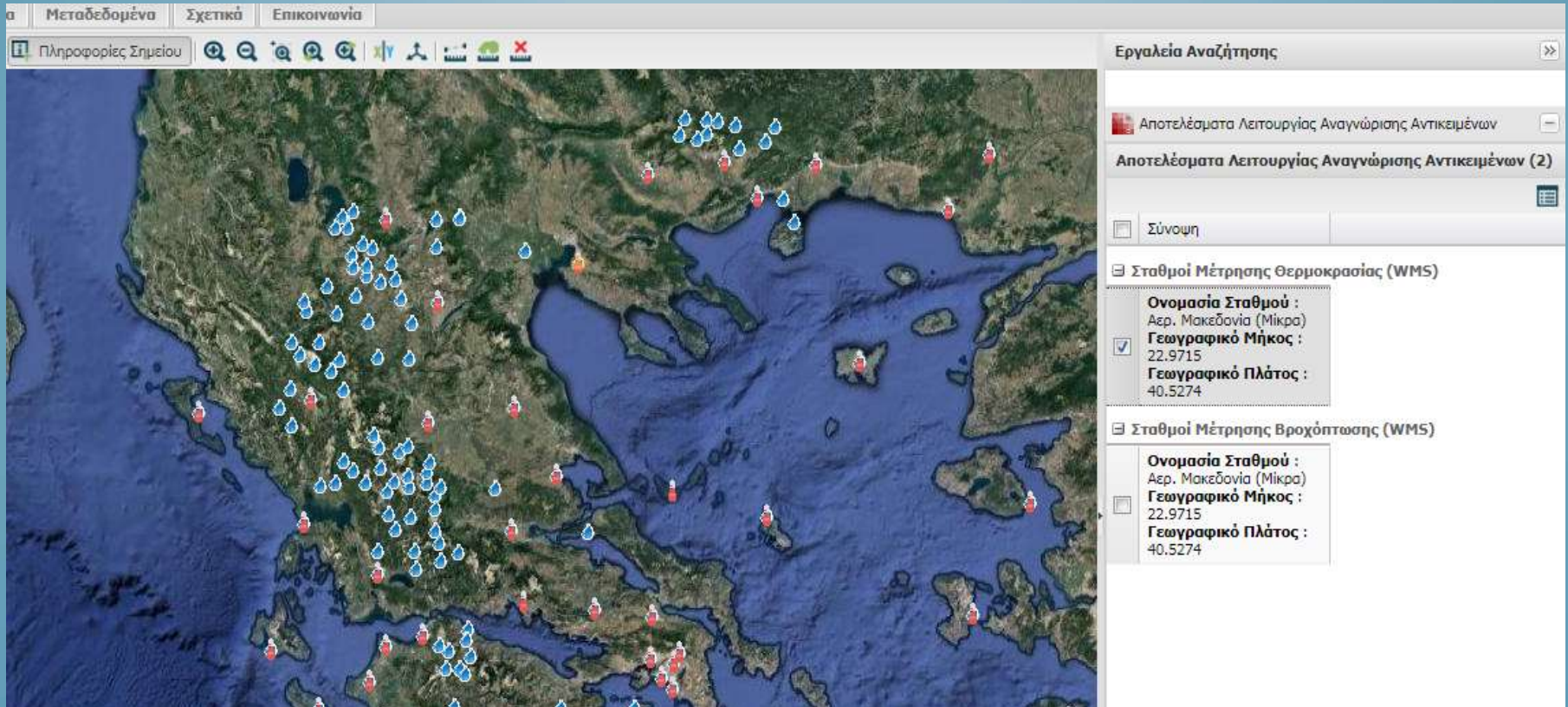
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

2. Θα βρείτε τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στο <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>

The screenshot displays the 'Κλιματικός Άτλαντας της Ελλάδας' (Climate Atlas of Greece) interface. The top navigation bar includes tabs for 'Κλιματικός Άτλαντας 1971-2000', 'Το κλίμα της Ελλάδας', 'Κλιματικά δεδομένα', 'Μεταδεδομένα', 'Σχετικά', and 'Επικοινωνία'. The left sidebar, titled 'Διαχείριση', contains a 'Θεματικά Επίπεδα' (Thematic Levels) section with a 'Χρονική περίοδος' (Time Period) dropdown set to 'Έτος' (Year). Below this is the 'Επίπεδα' (Levels) section, which is expanded to show 'Χαρτογραφικό Υπόβαθρο' (Cartographic Background) with options for 'Κενό', 'Google Streets', 'Google Hybrid', and 'Google Satellite' (checked). The 'Επίπεδα' section is further expanded to show 'Σταθμοί' (Stations) with sub-options: 'Σταθμοί με Μετεωρολογικά Δεδομένα', 'Σταθμοί Μέτρησης Θερμοκρασίας' (checked), 'Σταθμοί Μέτρησης Ηλιοφάνειας', and 'Σταθμοί Μέτρησης Βροχόπτωσης' (checked). Other options include 'Κλιματικός Άτλαντας', 'Ηλιοφάνεια', 'Υετός', 'Ελάχιστη Θερμοκρασία', 'Μέγιστη Θερμοκρασία', and 'Μέση Θερμοκρασία'. The main map area shows a satellite view of Greece with numerous blue water drop icons representing precipitation measurement stations and red thermometer icons representing temperature measurement stations.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

2. Θα βρείτε τον πλησιέστερο στην λεκάνη σας μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στο <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>



The screenshot displays the website interface for finding weather stations. The main map shows Greece with numerous blue water drop icons representing weather stations. A search results panel on the right is titled "Εργαλεία Αναζήτησης" and shows the following information:

Αποτελέσματα Λειτουργίας Αναγνώρισης Αντικειμένων

Αποτελέσματα Λειτουργίας Αναγνώρισης Αντικειμένων (2)

Σύνοψη

Σταθμοί Μέτρησης Θερμοκρασίας (WMS)

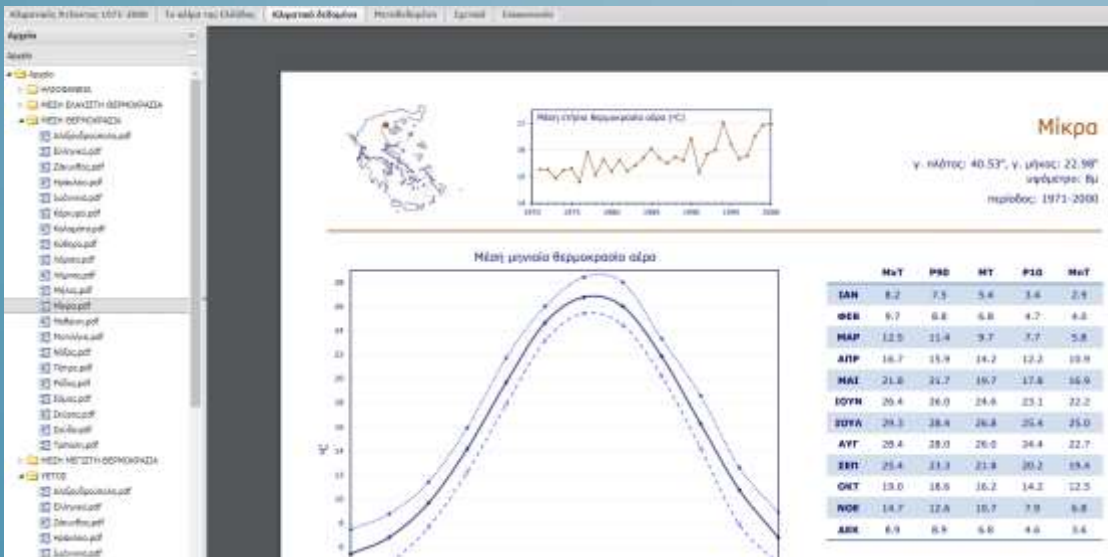
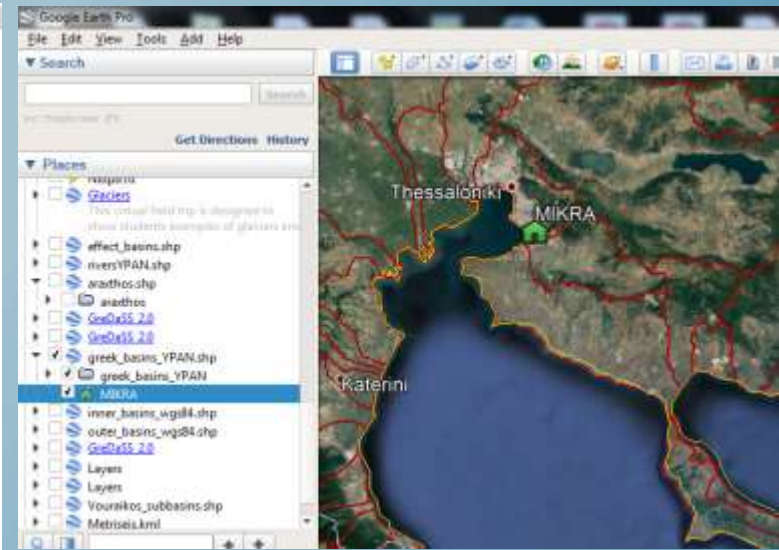
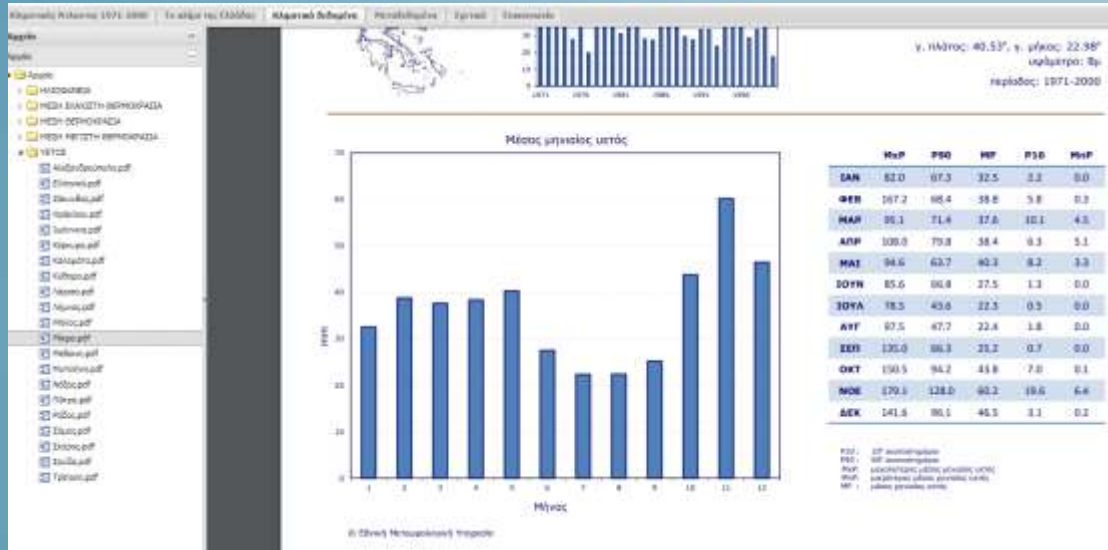
Όνομασία Σταθμού : Αερ. Μακεδονία (Μίκρα)
 Γεωγραφικό Μήκος : 22.9715
Γεωγραφικό Πλάτος : 40.5274

Σταθμοί Μέτρησης Βροχόπτωσης (WMS)

Όνομασία Σταθμού : Αερ. Μακεδονία (Μίκρα)
 Γεωγραφικό Μήκος : 22.9715
Γεωγραφικό Πλάτος : 40.5274

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

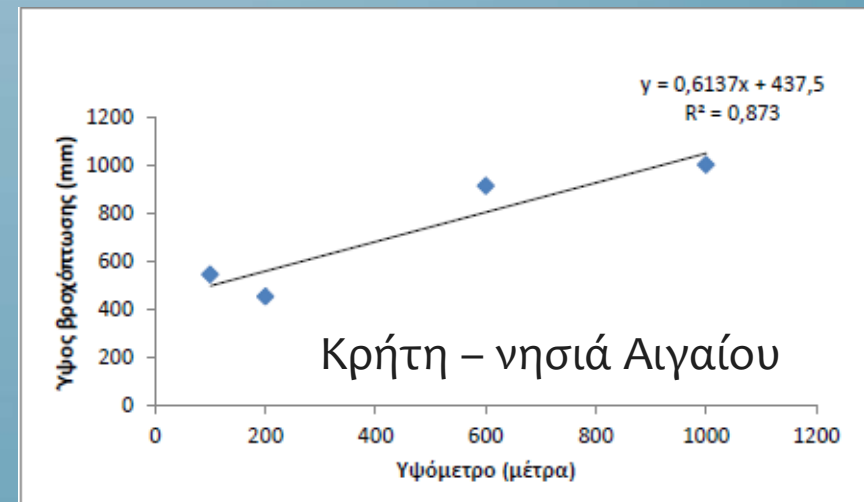
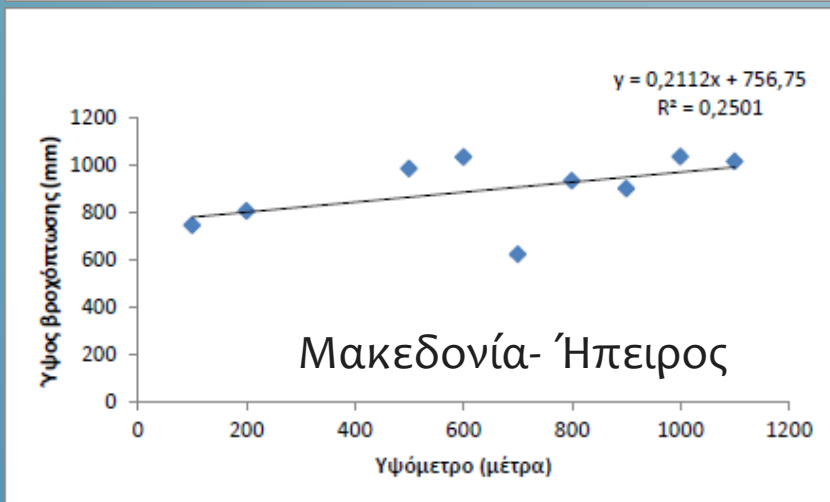
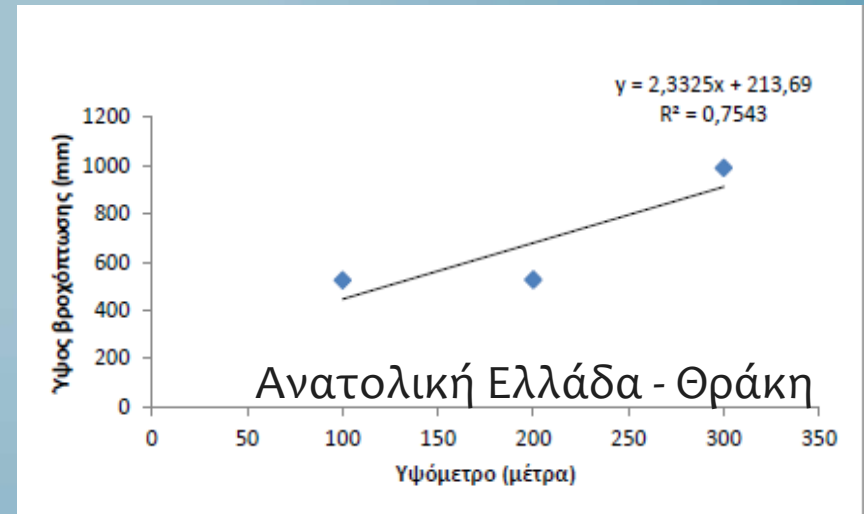
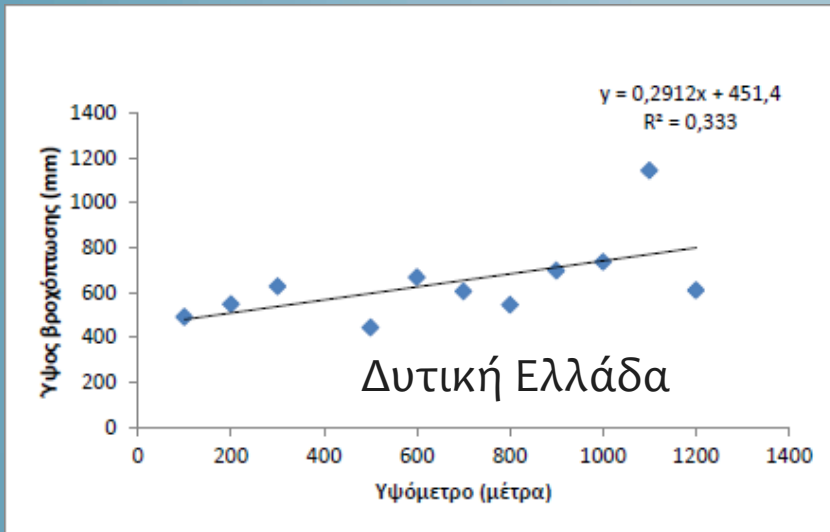
3. Θα πάρετε μηνιαίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις



Με τα Φ και Λ μπορείτε να τοποθετήσετε τον σταθμό στον χάρτη και να επιλέξετε συμβολισμό της αρεσκείας σας.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

- Θα κάνετε αναγωγή για τον κάθε μήνα για την βροχοβαθμίδα (και θερμοβαθμίδα) με βάση το μέσο υψόμετρο της λεκάνης και το υψόμετρο του σταθμού.
- Πάρτε μια βροχοβαθμίδα από τις παρακάτω:



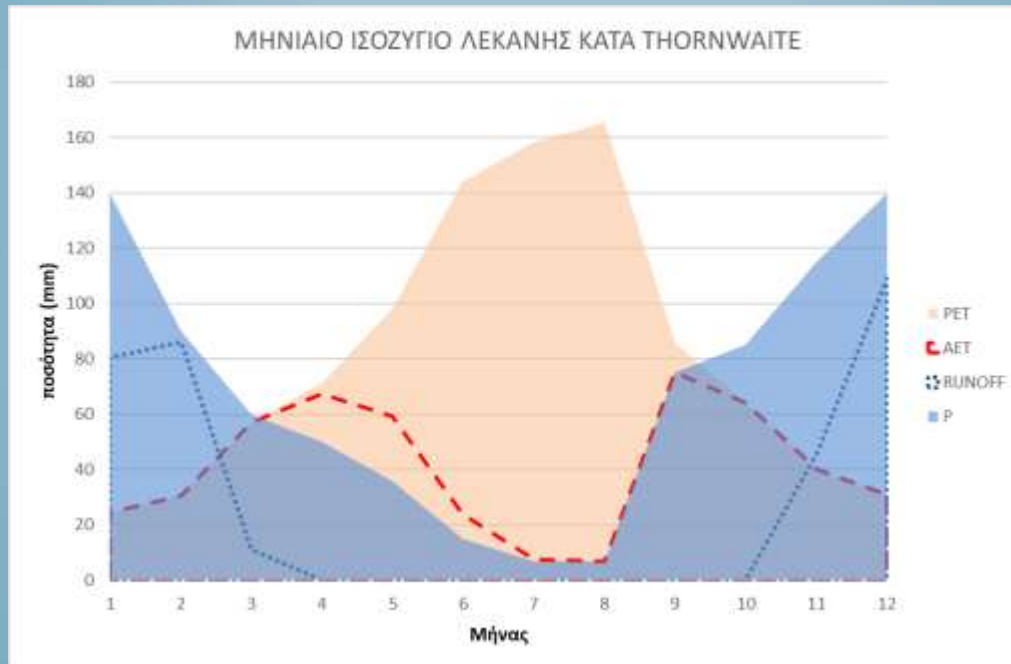
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

5. Θα κατασκευάσετε το μηνιαίο ισοζύγιο με την βοήθεια του αρχείου **Thornwaite Water Balance Ελληνικά.xls**

| ΜΗΝΙΑΙΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΔΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ THORNWAITE | | | | | | | | | | | | | ThornEx.xls | |
|---|-----------------|-------|-------|------|-------------|-----------------------|-------|------|--------|-------|--|-----------------------------|--------------|--------------------------------------|
| H PET υπολογίζεται με την εξίσωση Hamon | | | | | | | | | | | | | S.L. Dingman | |
| Δεδομένα | | | | | | Εξαγόμενα υπολογισμών | | | | | | Physical Hydrology, 2nd Ed. | | |
| ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: | Νεμέα, Κορινθία | | | Φ = | 38.0 degree | | AWC = | | 100 mm | | Μέγιστη αποθηκευτικότητα εδάφους σε νερό | | | |
| | | | | | 0.66 rad | | | | | | | | | |
| Ηλιακή αποκλιση (deg) | -21.3 | -13.3 | -2.0 | 9.8 | 18.9 | 23.3 | 21.3 | 13.7 | 3.0 | -9.0 | -18.6 | -23.3 | | |
| Ηλιακή αποκλιση (rad) | -0.37 | -0.23 | -0.03 | 0.17 | 0.33 | 0.41 | 0.37 | 0.24 | 0.05 | -0.16 | -0.32 | -0.41 | | |
| Διάρκεια ημέρας (hr)* | 9.6 | 10.6 | 11.8 | 13.0 | 14.1 | 14.6 | 14.4 | 13.5 | 12.3 | 11.1 | 10.0 | 9.4 | | |
| ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ | | | | | | | | | | | | | | |
| Θερμοκρασίες σε C, όροι ισοζυγίου σε mm. | | | | | | | | | | | | | | |
| Μήνας: | Ιαν | Φεβ | Μαρ | Απρ | Μαι | Ιουν | Ιουλ | Αυγ | Σεπ | Οκτ | Νοε | Δεκ | Έτος | |
| P | 130 | 90 | 60 | 50 | 36 | 15 | 7 | 7 | 75 | 85 | 115 | 140 | 810 | Κατακρημνίσεις |
| T | 3 | 5 | 13 | 15 | 19 | 25 | 27 | 30 | 19 | 16 | 10 | 7 | 15.8 | Θερμοκρασία |
| F | 0.50 | 0.83 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | Ποσοστό βροχής στις κατακρημνίσεις |
| RAIN | 65 | 75 | 60 | 50 | 36 | 15 | 7 | 7 | 75 | 85 | 115 | 140 | 730 | Βροχόπτωση |
| SNOW | 65 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | Χιόνι |
| PACK | 33 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | Χιονομανδύας |
| MELT | 33 | 40 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | Λωμένο χιόνι |
| W | 98 | 115 | 68 | 50 | 36 | 15 | 7 | 7 | 75 | 85 | 115 | 140 | 810 | Νερό διαθέσιμο |
| PET | 24 | 31 | 57 | 71 | 98 | 144 | 158 | 175 | 86 | 64 | 40 | 31 | 980 | Δυνητική εξατμισοδιαπονή |
| W - PET | 73 | 84 | 11 | -21 | -62 | -129 | -151 | -168 | -11 | 21 | 75 | 109 | | Νερό μείον εξατμισοδιαπονή |
| SOIL | 100 | 100 | 100 | 81 | 43 | 12 | 3 | 0 | 0 | 21 | 96 | 100 | | Εδαφική υγρασία (εδαφικό νερό) |
| ΔSOIL | 0 | 0 | 0 | -19 | -37 | -31 | -9 | -2 | 0 | 21 | 75 | 4 | | Διαφορά εδαφικού νερού |
| ET | 24 | 31 | 57 | 69 | 73 | 46 | 16 | 9 | 75 | 64 | 40 | 31 | 537 | Πραγματική εξατμισοδιαπονή |
| W-ET-ΔSOIL | 73 | 84 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 105 | 273 | Απορροή R (Διαθέσιμο νερό μείον πραγ |

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

6. Θα παρουσιάσετε τη μελέτη σας με χάρτες, κείμενο και διαγράμματα όπως το παρακάτω. ΔΕΙΤΕ ΕΠΙΣΗΣ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΘΕΜΑ ΣΤΟ ECLASS.



- ΣΧΟΛΙΑΣΤΕ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ THORNWAITE ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΑΣ
- ΒΓΑΛΕΤΕ ΤΟΝ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΑΣ ΑΝΑ ΔΕΚΑΕΤΙΑ (3 ΔΕΚΑΕΤΙΕΣ) ΚΑΙ ΔΕΙΤΕ ΑΝ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΑΠΟΙΑ ΤΑΣΗ (ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ).
- ΠΡΟΣΘΕΣΤΕ 1.5 ΒΑΘΜΟ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΜΗΝΩΝ ΟΚΤΩΒΡΙΟ ΕΩΣ ΚΑΙ ΜΑΡΤΙΟ ΚΑΙ ΔΕΙΤΕ ΠΩΣ ΑΛΛΑΖΕΙ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ. ΣΧΟΛΙΑΣΤΕ. ΑΛΛΑΞΕΤΕ ΕΠΙΣΗΣ ΤΟ ΑWC (ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ) ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΔΕΙΤΕ ΠΩΣ ΑΛΛΑΖΕΙ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ. ΣΧΟΛΙΑΣΤΕ.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ Hornberger et al., 2016 ΜΤΦ: Σ.Καραλής
2. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑ ΣΥΣΤΑΔΕΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ. Μεταπτυχιακή διατριβή Καραγκιοζοπούλου Αικατερίνη, 2016 Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
3. ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ, Κατσίγιαννης Γιάννης
4. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Καρύμπαλης Ευθ.