

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Γενικά

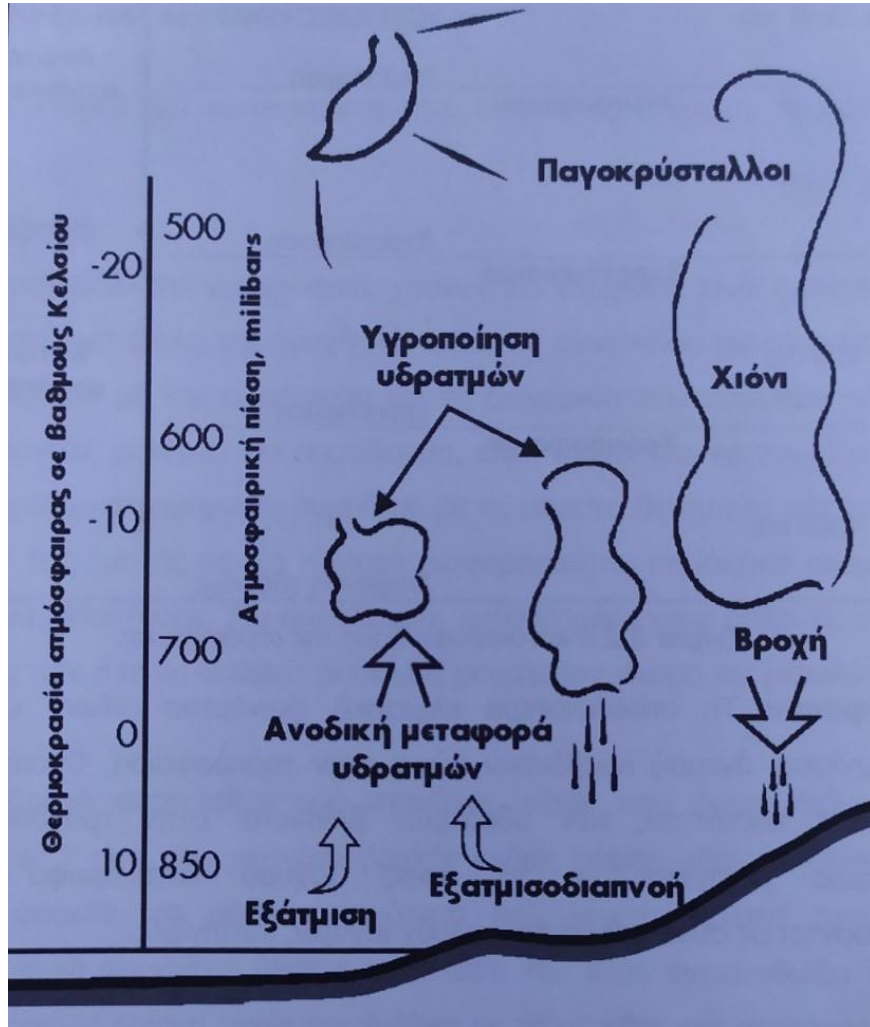
Κατακρημνίσματα: Μετρήσιμες ποσότητες νερού που φτάνουν στην επιφάνεια της γης από την υγροποίηση των ατμοσφαιρικών υδρατμών

Κατακρημνίσεις: Τα φαινόμενα που έχουν αποτέλεσμα τα κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλάζι κτλ.)

Σε αυτό το μάθημα:

- Σχηματισμός και μορφές κατακρημνισμάτων
- Όργανα μέτρησης
- Επεξεργασία βροχομετρικής πληροφορίας
- Μέθοδοι εκτίμησης επιφανειακής βροχόπτωσης

Σχηματισμός Ατμοσφαιρικών Κατακρημνισμάτων



Κατακρημνίσεις: βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλάζι και παραλλαγές αυτών (χιονόβροχο, δρόσος, πάχνη, ομίχλη)

Κατακρημνίσμο νερό: η ποσότητα του νερού που περιέχεται σε μία ατμοσφαιρική στήλη βάσης 1 cm^2 και ύψους z που εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους

$$W = \int_0^z \rho_w dz$$

όπου ρ_w η απόλυτη υγρασία

W το ύψος νερού σε cm

Μέτρηση Κατακρημνισμάτων

Όργανα:

1) Βροχόμετρο

Σημειακή, ολική μέτρηση βροχής

Ορισμένα χρονικά διαστήματα (8ωρο, 12ωρο, 24ωρο)

Κλίση τουλάχιστον 45°



Βροχόμετρο Ε.Μ.Υ.



Βροχόμετρο Α.Δ.Κ.

2) Βροχογράφος

Σημειακή μέτρηση, χρονική κατανομή βροχής

Αυτόματη καταγραφή

Data logger

Τηλεμετάδοση



Βροχογράφος

Σφάλμα

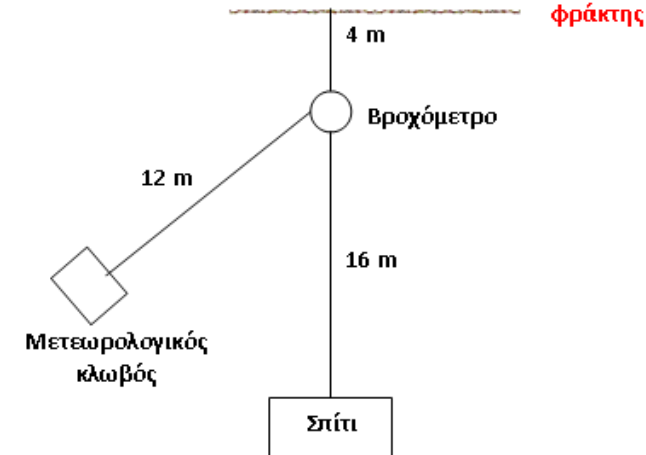
2–10 % λόγω ανέμων

10–50 % χιόνι

0–4 % εξάτμιση

1–2 % πιτσίλισμα βροχής

Τοποθέτηση



Εγκατάσταση Δικτύων Σημειακών Μετρήσεων

Επάρκεια Δικτύου Βροχογράφων – Βέλτιστος αριθμός βροχογράφων:

$$N = (C_u / \varepsilon)^2$$

όπου: N ο βέλτιστος αριθμός βροχογράφων

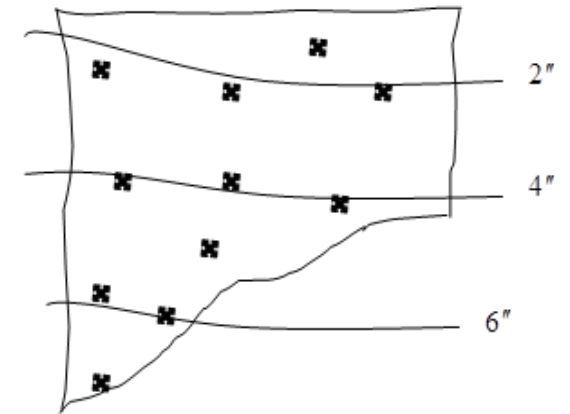
C_u ο συντελεστής μεταβλητότητας της βροχής των βροχογράφων
 ε το επιθυμητό ποσοστό λάθους (συνήθως 10%)

έστω m βροχογράφοι σε λεκάνη απορροής και $P_1, P_2 \dots P_m$ ύψη βροχής τότε

$$C_u = 100 \cdot S / P$$

όπου P η μέση τιμή της βροχόπτωσης από βροχογράφους
και S η τυπική απόκλιση

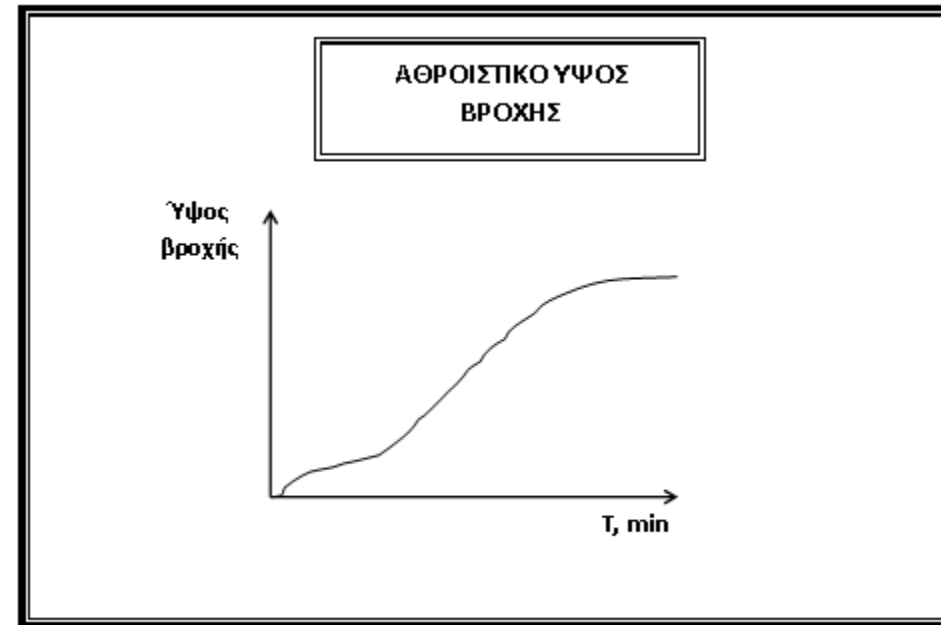
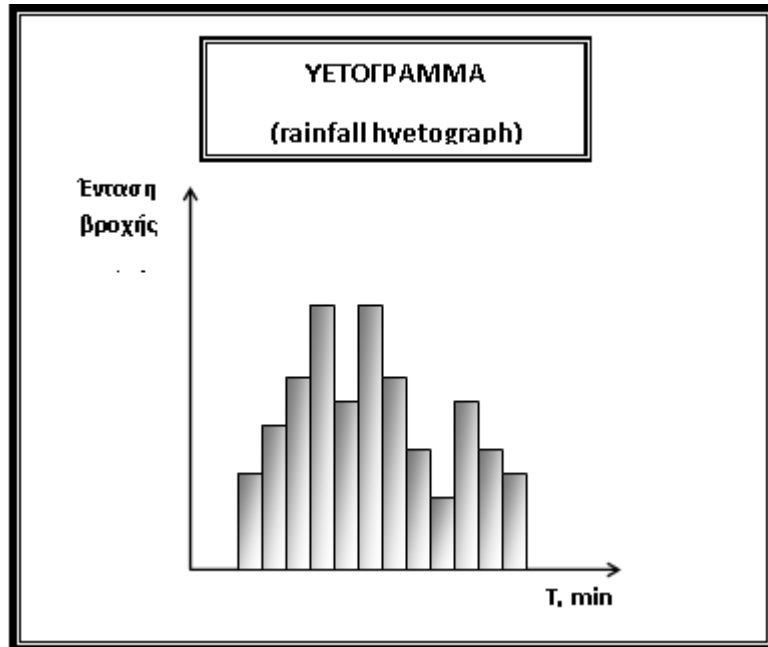
$$S = \left[\sum_{i=1}^m \frac{(x_i - \bar{x})^2}{m - 1} \right]^{0.5}$$



Δίκτυα (WMO)

Πεδινή περιοχή	600-900 Km ²
	900-3000 Km ² (ελάχιστος)
Ορεινή περιοχή	100-250 Km ²
	250-1000 Km ² (ελάχιστος)

Ανάλυση Δεδομένων Βροχόπτωσης



Έλεγχος Ομοιογένειας Ανάλυση Διπλών Αθροιστικών Καμπυλών

Μετεωρολογικά Ομοιογενής Περιοχή: η πιθανότητα μιας καταιγίδας ίδιας διάρκειας και ύψους είναι ίδια σε κάθε σημείο. Ίδια ετήσια βροχόπτωση

Διπλή αθροιστική καμπύλη για έλεγχο ομοιογένειας:
 γειτονικοί σταθμοί X (ετήσια βροχόπτωση x) και Y (ετήσια βροχόπτωση y) $\rightarrow$

Θλάση στο σημείο m , διορθωτικός συντελεστής: $\frac{j}{m}$

συντελεστής:

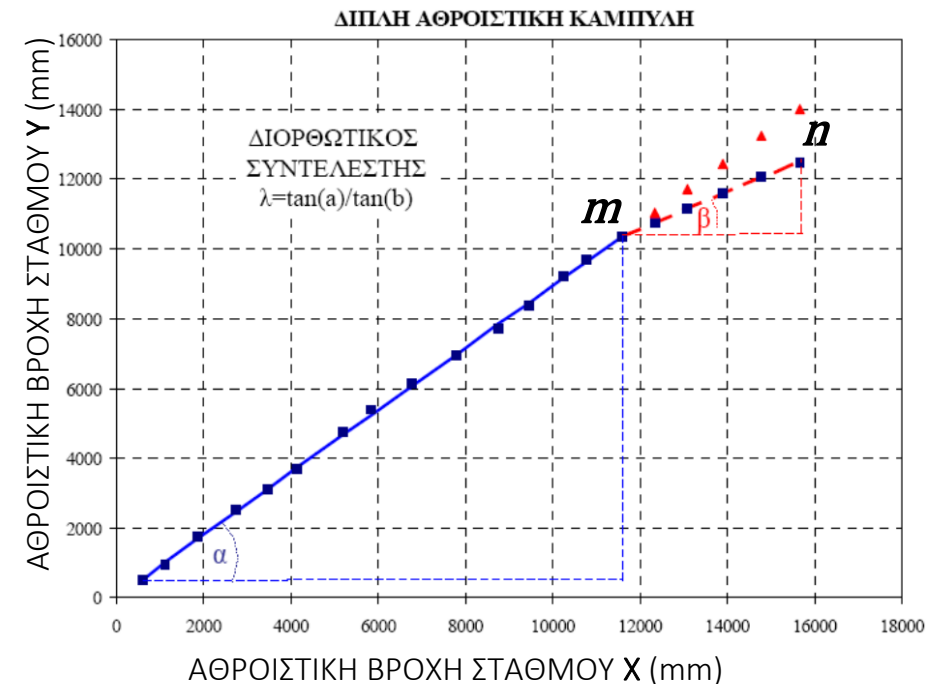
$$\lambda = \frac{sy_n - sy_m}{sx_n - sx_m} \cdot \frac{sx_m}{sy_m}$$

Οι τιμές y_{m+1} ως

$$sx_j = \sum_{i=1}^j x_i$$

$$sy_j = \sum_{i=1}^j y_i$$

Οι τιμές y_{m+1} ως y_n πολλαπλασιάζονται με λ και διορθώνονται



Συμπλήρωση Βροχομετρικών Παρατηρήσεων – Μέθοδος αριθμητικού μέσου

Πηγές Σφαλμάτων

- Σφάλματα οργάνων του βροχογράφου
- Ακατάλληλη θέση βροχογράφου
- Ανθρώπινα σφάλματα

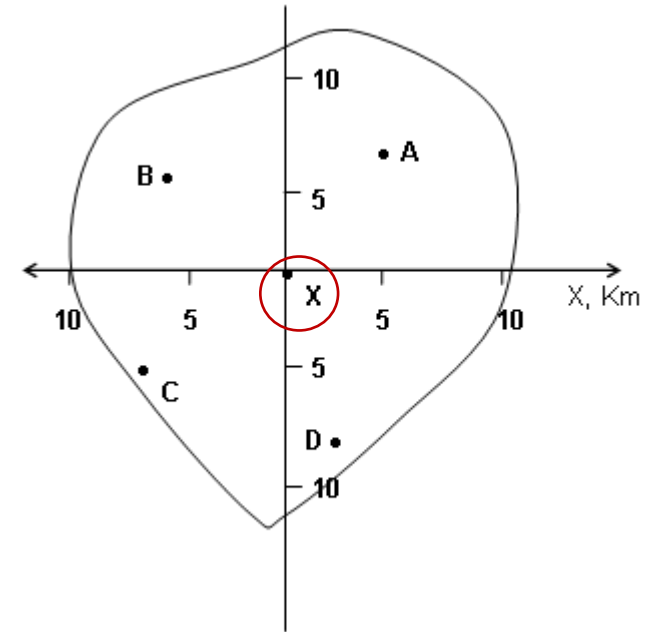
Μέθοδος αριθμητικού μέσου

Χρήση μέσης τιμής όλων των μετρήσεων των σταθμών που περιβάλλουν τον σταθμό με ελλείψεις

$$P = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{N},$$

όπου N ο αριθμός των σταθμών, P_i η βροχή στον σταθμό i , P η μέση βροχόπτωση των σταθμών

★ Η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν οι ετήσιες βροχοπτώσεις αποκλίνουν λιγότερο από 10% από τον υπό συμπλήρωση σταθμό



Συμπλήρωση Βροχομετρικών Παρατηρήσεων – Μέθοδος κανονικών λόγων

Μέθοδος κανονικών λόγων (Normal Ratio)

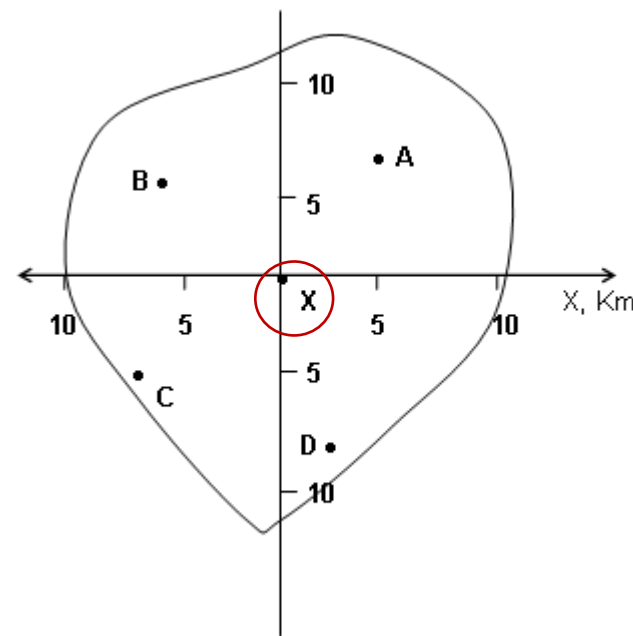
Συντελεστής βαρύτητας για κάθε σταθμό

$$P_x = \frac{1}{m} \left(\frac{N_x}{N_A} P_1 + \frac{N_x}{N_B} P_2 + \dots + \frac{N_x}{N_D} P_m \right) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{N_x}{mN_i} \right) P_i$$

όπου P η βροχόπτωση

N_x η ετήσια βροχόπτωση του υπό συμπλήρωση σταθμού

Οι δείκτες $A, B, C, D...$ υποδηλώνουν τους περιβάλλοντες σταθμούς



Συνήθως επιλέγονται οι τρεις σταθμοί που απέχουν περίπου ίσες αποστάσεις και περιβάλλουν τον υπό συμπλήρωση σταθμό

Συμπλήρωση Βροχομετρικών Παρατηρήσεων – Μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων

Μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων (Inverse Distance)

Περιβάλλοντες σταθμοί και απόσταση από τον υπό συμπλήρωση σταθμό

$$P_y = \sum_{i=1}^k w_i P_i \quad \text{και}$$

$$w_i = \frac{d_i^{-b}}{\sum_{j=1}^k d_j^{-b}}$$

όπου P_y η εκτιμημένη βροχόπτωση

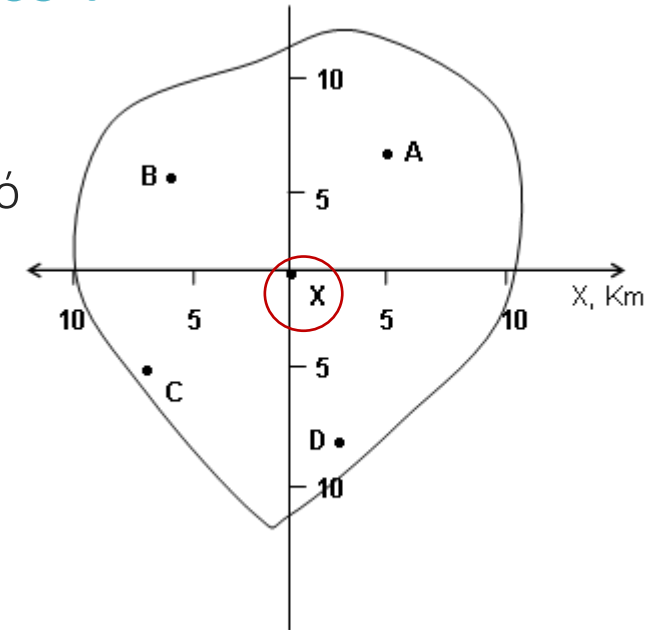
P_i η βροχόπτωση σε κάθε σταθμό

k το πλήθος των σταθμών

d_i η απόσταση κάθε σταθμού από τον υπό συμπλήρωση σταθμό

b εκθέτης με τυπική τιμή 2

w_i συντελεστής βαρύτητας κάθε σταθμού



★ Οι αποστάσεις υπολογίζονται υποθέτοντας ότι η αρχή των αξόνων είναι ο υπό συμπλήρωση σταθμός

Συμπλήρωση Βροχομετρικών Παρατηρήσεων – Συσχέτιση και παλινδρόμηση

Συσχέτιση και παλινδρόμηση

Γραμμική συσχέτιση παρατηρήσεων του σταθμού με άλλο σταθμό βάσης

★ Προϋπόθεση: υψηλός βαθμός γραμμικής συσχέτισης ($r \geq \frac{2}{\sqrt{n}}$ ή 0.7)

Γραμμική σχέση $y = ax + b$

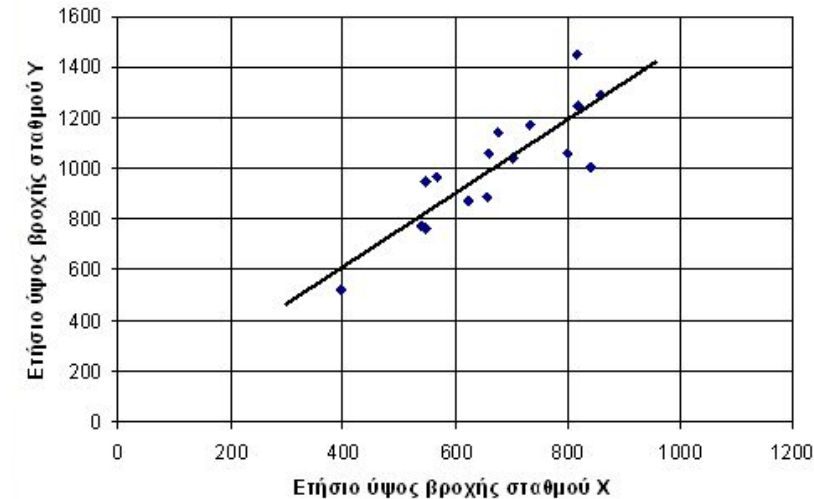
$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

όπου $\bar{x}$ και $\bar{y}$ οι μέσες τιμές των x_i και y_i , αντίστοιχα, δηλαδή

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Γραμμική συσχέτιση σταθμών X-Y



βαθμός καταλληλότητας:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \geq 0.7$$

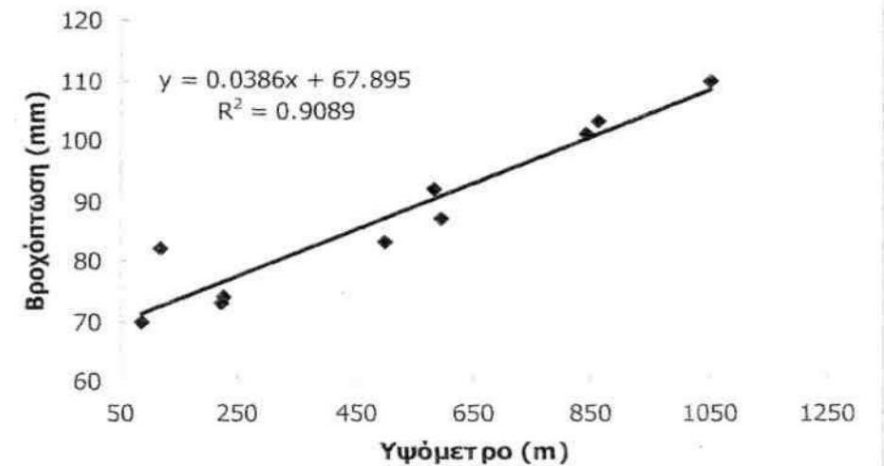
Συμπλήρωση Βροχομετρικών Παρατηρήσεων – Διόρθωση με το υψόμετρο

Διόρθωση με το υψόμετρο

★ Παρατήρηση: το σημειακό ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου

Βροχοβαθμίδα: Η μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.

★ Σε περίπτωση χαμηλού βαθμού γραμμικής συσχέτισης (r) κάποιοι σταθμοί εξαιρούνται ή η περιοχή χωρίζεται σε υποπεριοχές για τις οποίες ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης είναι ικανοποιητικός



Επιφανειακή Ολοκλήρωση Σημειακών Βροχοπτώσεων

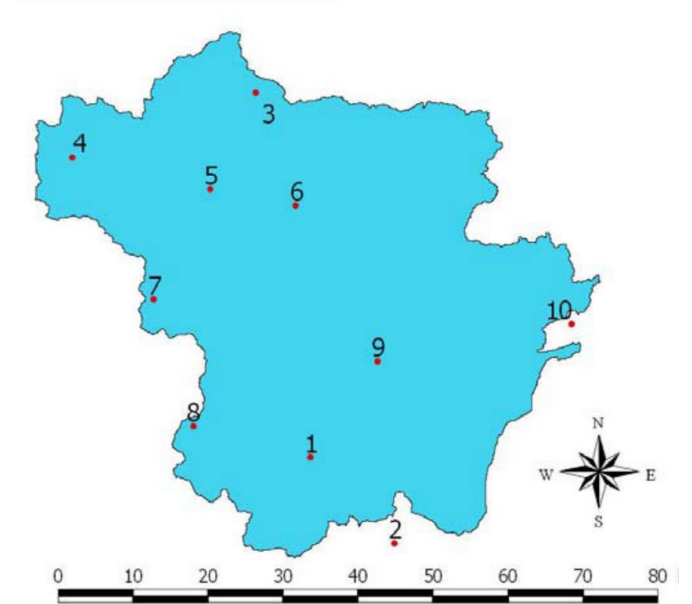
Επιφανειακή Βροχόπτωση (Ε.Β.):

Η βροχόπτωση που αντιπροσωπεύει ολόκληρη τη λεκάνη απορροής

Οι σημειακές μετρήσεις των βροχογράφων → επιφανειακή βροχόπτωση

Πώς;

- 1) **Μέθοδοι Άμεσης Ολοκλήρωσης** (υπολογισμός Ε.Β. απευθείας από τιμές σημειακής βροχόπτωσης)
Παραδείγματα: μέθοδος μέσου όρου, μέθοδος **Thiessen**
- 2) **Μέθοδοι Προσαρμογής Επιφάνειας** (εκτίμηση της γεωγραφικής μεταβλητότητας πρώτα)
Παράδειγμα: μέθοδος ισοϋέτιων



Μέθοδος μέσου όρου

Μέθοδος μέσου όρου

Τα βάρη όλων των σταθμών λαμβάνονται ίσα $w_i = 1/k$

Η επιφανειακή βροχόπτωση δίνεται από:

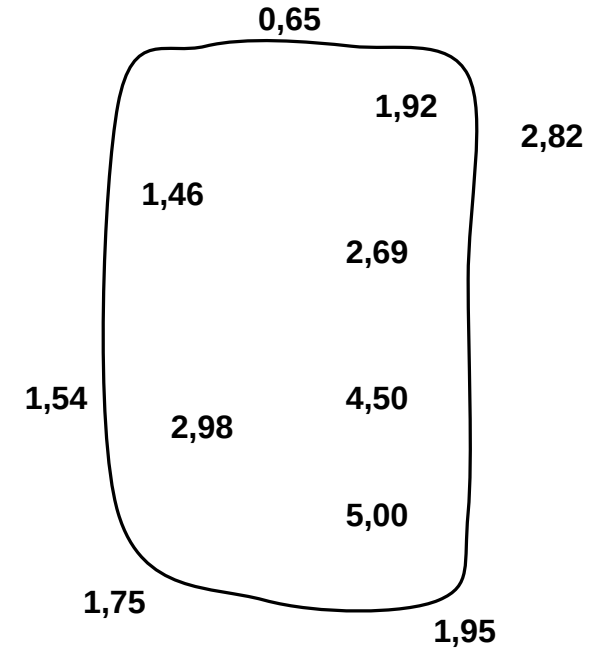
$$P_s = \sum_{i=1}^k w_i P_i,$$

όπου P_i η βροχή στον κάθε σταθμό i

★ Χρησιμοποιείται για πρώτες χονδρικές εκτιμήσεις!

Η ακρίβειά της είναι ανεκτή μόνο όταν:

- 1) η περιοχή είναι σχετικά επίπεδη
- 2) οι σταθμοί είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε αυτή
- 3) τα ύψη βροχής δε διαφέρουν πολύ από σταθμό σε σταθμό



$$\bar{i} = \frac{1,46 + 1,92 + 2,69 + 4,50 + 5,00 + 2,98}{6}$$

$$\Rightarrow \bar{i} = 3,09 \text{ in}$$

Μέθοδος Thiessen

Πολύγωνα Thiessen

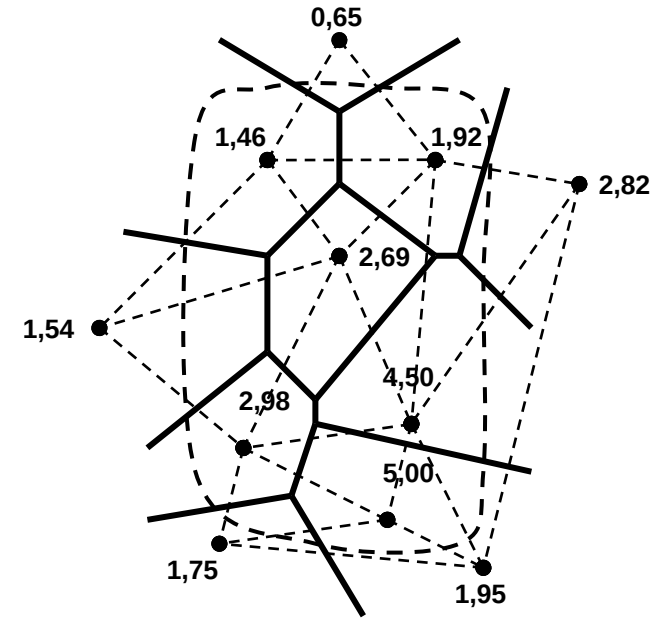
Η συνολική επιφάνεια A χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής A_i (μία για κάθε σταθμό) ώστε:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A, \text{ συντελεστής βάρους: } w_i = \frac{A_i}{A}$$

Ζώνες Επιρροής: Κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού i , απέχει από το σταθμό i λιγότερο από οποιοδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής.

Η ζώνες επιρροής κατασκευάζονται βάσει των μεσοκαθέτων των ευθυγράμμων τμημάτων που συνδέουν τους σταθμούς ανά ζεύγη → Πολύγωνα Thiessen

★ Καλύτερες εκτιμήσεις όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο και όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική κλίμακα



Rainfall (in)	Area (mi ²)	% of total area	Weighted pptn (in) = Rainfall · % of total area
0,65	7	1	0,01
1,46	120	19	0,28
1,92	109	18	0,35
2,69	120	19	0,51
1,54	20	3	0,05
2,98	92	15	0,45
5,00	82	13	0,65
4,50	76	12	0,54
Total	626	100	2,84

Μέθοδος ισοϋέτιων

Ισοϋέτια Καμπύλη

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων στα οποία το ύψος βροχής παίρνει μια δεδομένη τιμή

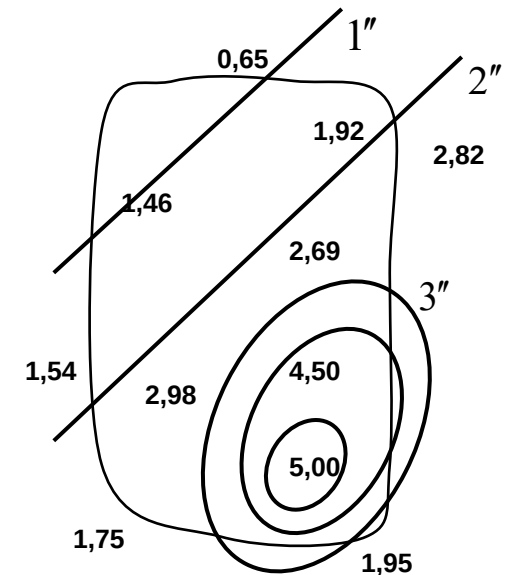
Μετά τη χάραξη των ισοϋέτιων καμπυλών, εμβαδομετρούνται οι επιφάνειες A_i μεταξύ των διαδοχικών καμπυλών που αντιστοιχούν σε ύψη βροχής P_i και P_{i-1}

Η επιφανειακή μέση βροχόπτωση είναι:

$$P_s = \sum_r \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \frac{A_i}{A}$$

και $\sum_{i=1}^k A_i = A$

Isohyet (in)	Area enclosed (mi ²)	Net Area (mi ²)	Av pptn (in)	Pptn volume (A _i · P _i)
5	13	13	5,2	67,6
4	90	77	4,5	346,5
3	206	116	3,5	406,0
2	402	196	2,5	490,0
1	595	193	1,5	289,5
< 1	626	31	0,8	24,8
Total		626 mi²		1624,4



$$\bar{p} = \frac{\sum (A_i \cdot P_i)}{\sum A_i} = \frac{1624,4}{626} = 2,59 \text{ in}$$