



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πολυτεχνική Σχολή
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

Σημειώσεις μαθήματος **ENE2310: Τεχνική Υδρολογία**

Διάλεξη 4
18/03/2022

Βασιλική Συγγούνα
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πανεπιστήμιο Πατρών

Επιφανειακή Ολοκλήρωση Σημειακών Βροχοπτώσεων

- ❖ Οι μετρήσεις βροχόπτωσης που λαμβάνονται από τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους είναι σημειακές και ως εκ τούτου παρέχουν πληροφόρηση μόνο για το σημείο στο οποίο μετρήθηκε η βροχόπτωση.
- ❖ Οι σημειακές μετρήσεις των βροχογράφων ανάγονται σε επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιώντας **μεθόδους επιφανειακής ολοκλήρωσης**.
- ❖ Οι μέθοδοι επιφανειακής ολοκλήρωσης μπορούν να διαχωριστούν στις **μεθόδους**

άμεσης ολοκλήρωσης

προσαρμογής επιφάνειας

Επιφανειακή Ολοκλήρωση Σημειακών Βροχοπτώσεων

- ❖ Οι μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης υπολογίζουν την επιφανειακή βροχόπτωση απευθείας, από τις τιμές της σημειακής βροχόπτωσης.

Ενδεικτικές μέθοδοι είναι: η μέθοδος του μέσου όρου, η μέθοδος πολυγώνων Thiessen.

- ❖ Οι μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας εκτιμούν πρώτα τη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στην υπό εξέταση περιοχή και με βάση αυτή, υπολογίζουν την επιφανειακή βροχόπτωση.

Ενδεικτικές μέθοδοι είναι: η μέθοδος των ισοϋετών καμπυλών, η μέθοδος της αντίστροφης απόστασης, η μέθοδος ελάχιστων τετραγώνων με πολυώνυμα, η μέθοδος προσαρμογής splines.

Επιφανειακή Ολοκλήρωση Σημειακών Βροχοπτώσεων

- ❖ Ανεξάρτητα από τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, η αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος εξαρτάται από την πυκνότητα της σημειακής πληροφορίας.
- ❖ Όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών τόσο καλύτερο θα είναι το αποτέλεσμα. *Δυστυχώς, τα δίκτυα δεν είναι συνήθως αρκετά πυκνά, ενώ σε ορισμένες ορεινές δυσπρόσιτες περιοχές οι σταθμοί σπανίζουν.*

Η Μέθοδος του μέσου όρου

Πρόκειται για την απλούστερη μέθοδο, σύμφωνα με την οποία τα βάρη όλων των σταθμών λαμβάνονται ίσα ($w_i=1/k$, k ο αριθμός των βροχομετρικών σταθμών).

Η μέθοδος χρησιμοποιείται μόνο για την εξαγωγή των πρώτων χονδρικών εκτιμήσεων.

Η ακρίβεια της είναι ανεκτή μόνο όταν η περιοχή είναι σχετικά επίπεδη, οι σταθμοί ομοιόμορφα κατανεμημένοι σε αυτή και τα ύψη βροχής δεν διαφέρουν πολύ από σταθμό σε σταθμό.

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

P_s : η επιφανειακή βροχόπτωση

P_i : η σημειακή βροχόπτωση του σταθμού i

w_i : ο σταθμός βαρύτητας του σταθμού i

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η συνολική επιφάνεια " $F_{ολ}$ " της υπό εξέτασης περιοχής, χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής, κάθε μια εκ των οποίων περιβάλλει μόνο ένα σταθμό. Αν " F_i " είναι η επιφάνεια κάθε ζώνης επιρροής τότε ισχύει:

$$F_{ολ} = \sum_{i=1}^k F_i$$

Ο συντελεστής βαρύτητας " w_i " κάθε ζώνης επιρροής θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του σταθμού, δηλαδή:

$$w_i = \frac{F_i}{F_{ολ}}$$

Οι ζώνες επιρροής προσδιορίζονται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού " i " να απέχει από τη θέση του σταθμού " i " λιγότερο απ' όσο απέχει από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής.

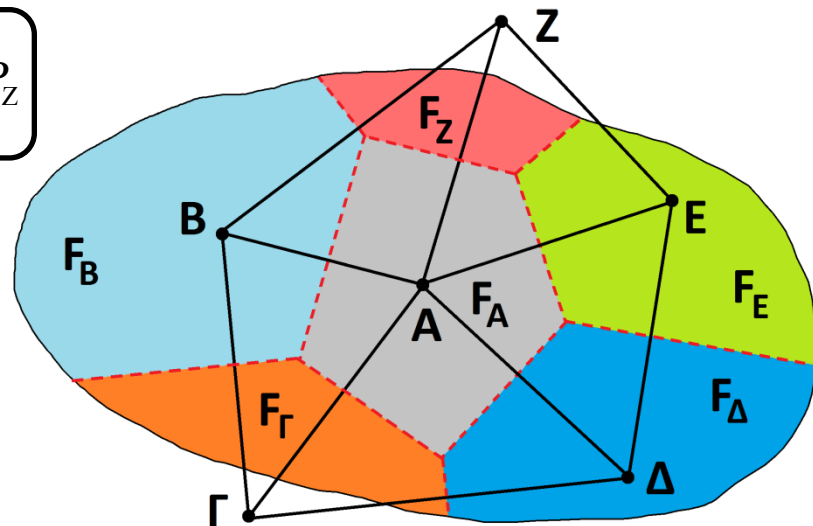
Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

- Οι σταθμοί τοποθετούνται σε ένα τοπογραφικό διάγραμμα ή χάρτη και ενώνονται με ευθείες ώστε να σχηματιστούν τρίγωνα.
- Έπειτα φέρουμε μεσοκαθέτους στις πλευρές των τριγώνων αυτών.
- Τα πολύγωνα που σχηματίζονται αντιστοιχίζονται με τους Σταθμούς.
- Το μέσο ύψος βροχής της περιοχής είναι:

$$\bar{P} = \frac{F_A}{F_{ολ}} P_A + \frac{F_B}{F_{ολ}} P_B + \frac{F_\Gamma}{F_{ολ}} P_\Gamma + \frac{F_\Delta}{F_{ολ}} P_\Delta + \frac{F_E}{F_{ολ}} P_E + \frac{F_Z}{F_{ολ}} P_Z$$

όπου F_A, F_B κτλ το εμβαδόν κάθε πολυγώνου και

$$F_{ολ} = F_A + F_B + F_\Gamma + F_\Delta + F_E + F_Z$$



Σημείωση: Η μέθοδος μπορεί να αξιοποιηθεί σταθμούς που βρίσκονται έξω από την περιοχή που μας ενδιαφέρει

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

Τα προβλήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

- Το όριο μιας λεκάνης απορροής είναι καμπύλη, άρα για να υπολογιστεί η επιφάνεια της λεκάνης πρέπει να προσεγγίσουμε το όριο όσο πιο καλά γίνεται με ευθύγραμμα τμήματα.
- Αν προστίθεται ή αφαιρείται ένας Σταθμός, πρέπει να γίνει αλλαγή του συστήματος υπολογισμού.
- Σε ορεινές περιοχές με ανομοιόμορφο ανάγλυφο και έντονες κλίσεις, η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί για πολύγωνα που έχουν εμβαδόν μεγαλύτερο από 10 km².
- Η μέθοδος είναι καθαρά γεωμετρική και δεν λαμβάνει καθόλου υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής.
- Αν έχουμε μόνο 2 Σταθμούς.

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

- Οι εκτιμήσεις της μεθόδου είναι τόσο καλύτερες όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των βροχομετρικών σταθμών και όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική κλίμακα μελέτης
- Το επιφανειακό ύψος βροχής που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, δε λαμβάνει υπόψη το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης, αλλά το υψόμετρο των σταθμών.

Δηλαδή, σε μια λεκάνη απορροής που οι περισσότεροι σταθμοί έχουν εγκατασταθεί στα πεδινά, η μέθοδος Thiessen υποεκτιμά την πραγματική επιφανειακή βροχόπτωση.

- Για το λόγο αυτό, απαιτείται η **διόρθωση της επιφανειακής βροχόπτωσης** που προκύπτει από τη μέθοδο Thiessen με βάση το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

- Η διόρθωση προϋποθέτει την εκτίμηση της **βροχοβαθμίδας** και της διαφοράς του μέσου σταθμισμένου υψομέτρου των σταθμών (που χρησιμοποιεί η μέθοδος Thiessen) από το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης.
- Η μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους, ανά 100m αύξησης του υψομέτρου, ονομάζεται **βροχοβαθμίδα**
- Η βροχοβαθμίδα συνήθως προκύπτει για κάθε περιοχή, από τη γραφική παράσταση των μέσων ετήσιων βροχομετρικών υψών των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής, σε συνάρτηση με τα υψόμετρα των σταθμών.

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

- ❖ Για την εύρεση της μηνιαίας βροχοβαθμίδας, συσχετίζεται γραμμικά η βροχόπτωση των σταθμών και το υψόμετρο τους.
- ❖ Η υψομετρική αναγωγή της επιφανειακής βροχόπτωσης που προκύπτει από τη μέθοδο Thiessen με χρήση συντελεστή υψομετρικής αναγωγής περιγράφεται από την έκφραση:

$$\bar{P}_t = P_t + \lambda \cdot \Delta h$$

όπου

\bar{P}_t η μέση επιφανειακή βροχόπτωση ανηγμένη στο μέσο τοπογραφικό υψόμετρο

P_t η μέση επιφανειακή βροχόπτωση που υπολογίζεται από τη μέθοδο Thiessen

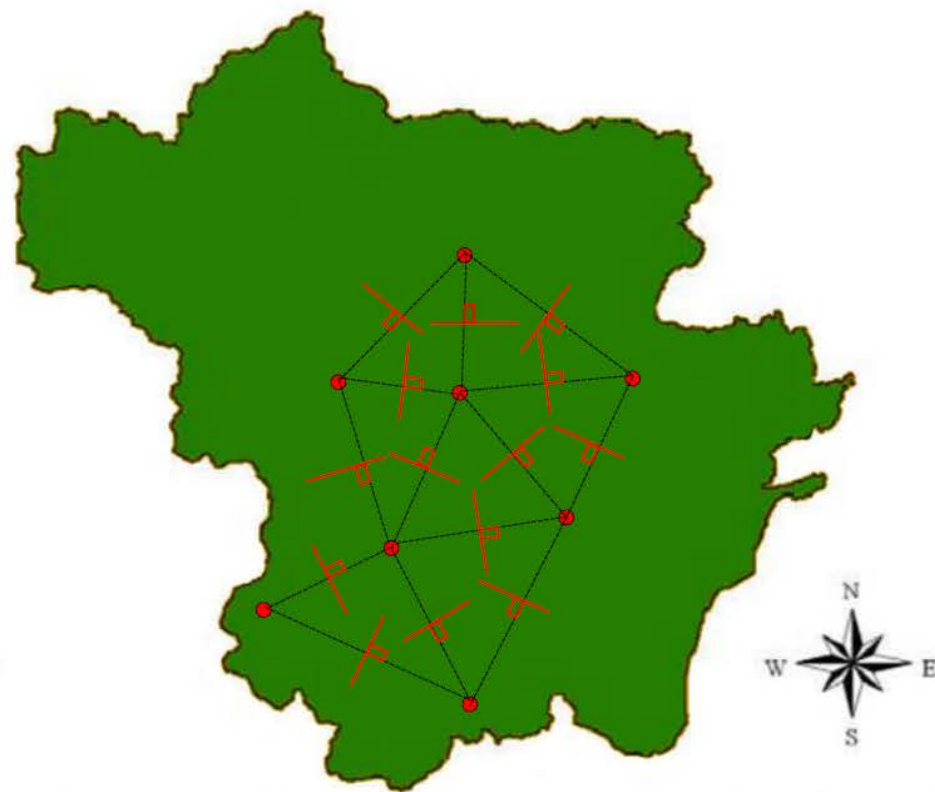
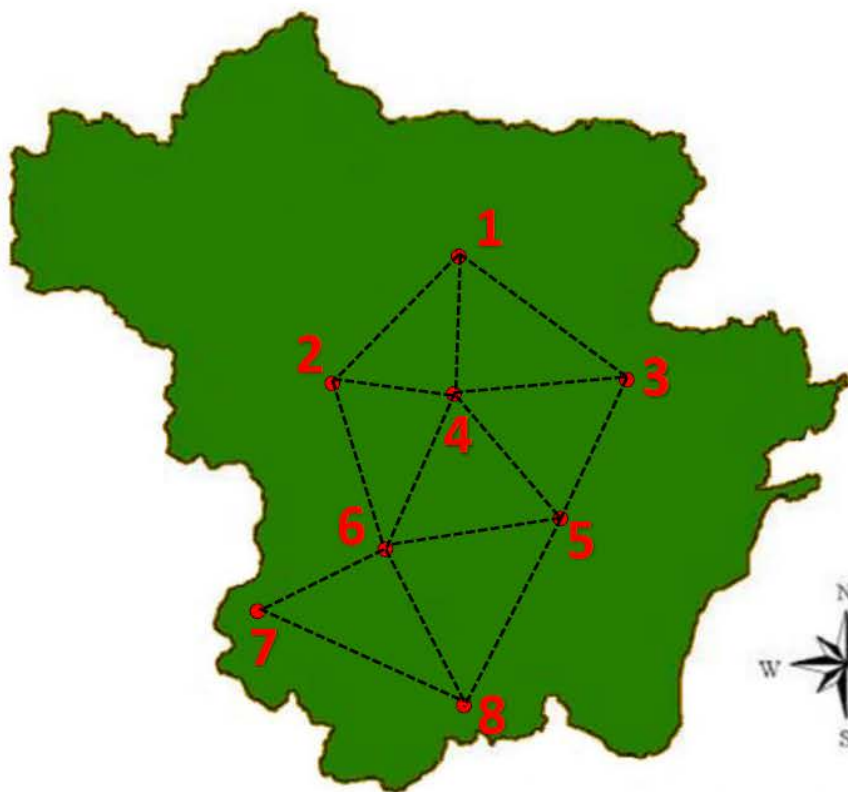
Δh η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο σταθμισμένο υψόμετρο χρησιμοποιώντας τους συντελεστές Thiessen και το μέσο τοπογραφικό υψόμετρο

λ η βροχοβαθμίδα

Η μέθοδος Thiessen είναι ευρέως διαδεδομένη εξαιτίας της απλότητας στην εφαρμογή της και των αξιόπιστων εκτιμήσεών της.

Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

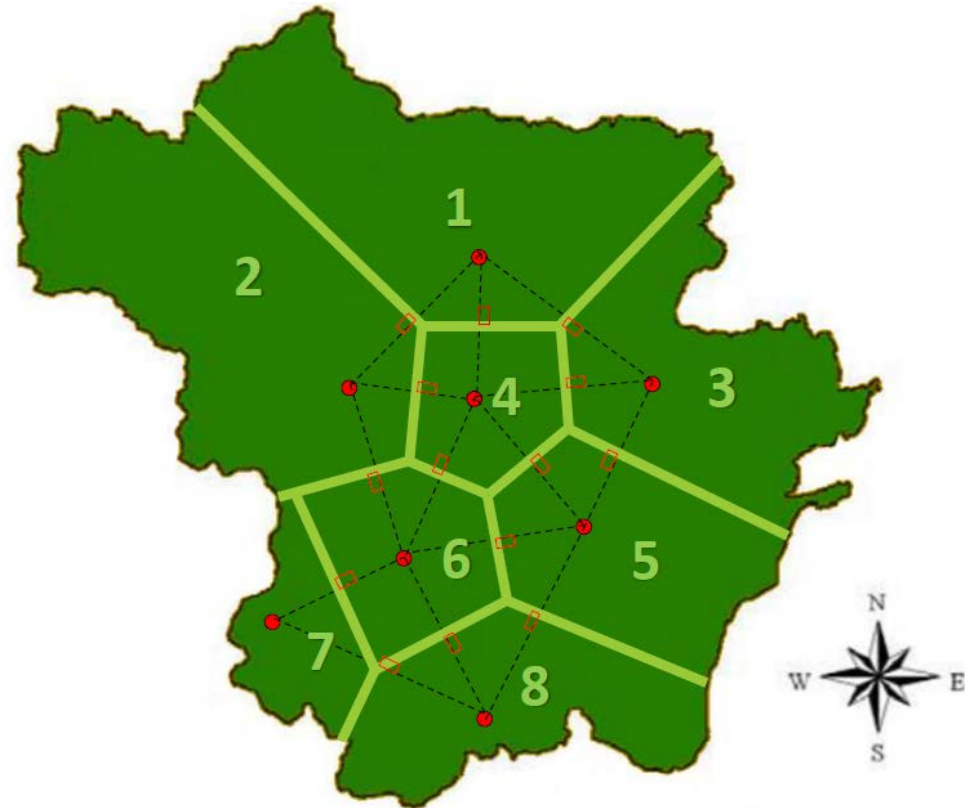
Παράδειγμα Σχεδιασμού των πολυγώνων Thiessen



Μέθοδος Πολυγώνων Thiessen

Παράδειγμα Σχεδιασμού των πολυγώνων Thiessen

- Ο όγκος των κατακρημνισμάτων που δέχεται κάθε πολύγωνο είναι εύκολο να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας το εμβαδό του πολυγώνου με το ύψος των κατακρημνισμάτων του κατέγραψε ο σταθμός που περικλείεται από το συγκεκριμένο πολύγωνο.
- Το άθροισμα των επιμέρους όγκων όλων των πολυγώνων αντιπροσωπεύει το σύνολο των κατακρημνισμάτων που δέχεται η εξεταζόμενη περιοχή.



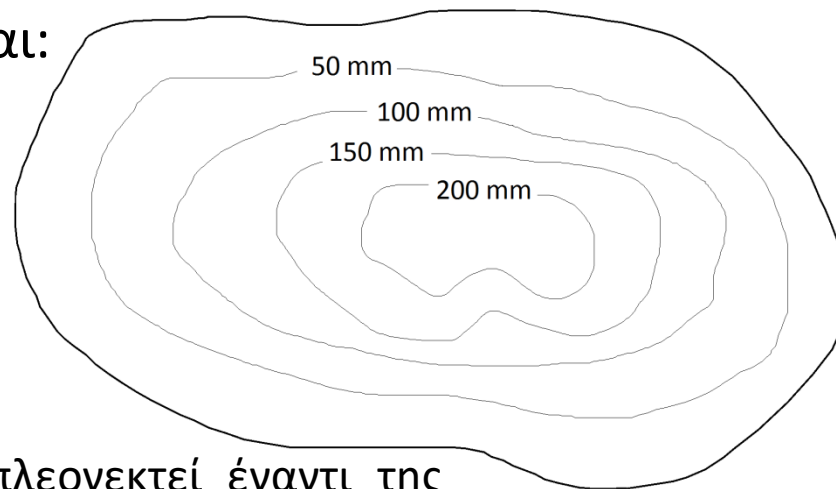
Μέθοδος Ισοϋετών Καμπυλών

Στη μέθοδο των Ισοϋετών Καμπυλών τα ύψη βροχής κάθε Σταθμού σημειώνονται πάνω στο χάρτη και φέρουμε καμπύλες οι οποίες ενώνουν σημεία με ίδιο ύψος βροχής.

- Μετράμε τις επιφάνειες F_i μεταξύ των διαδοχικών καμπυλών οι οποίες αντιστοιχούν σε ύψη βροχής P_i και P_{i-1}
- Το μέσο ύψος βροχής της περιοχής είναι:

$$\bar{P} = \sum \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \frac{F_i}{F_{ολ}}$$

όπου $F_{ολ}$ η συνολική επιφάνεια της περιοχής

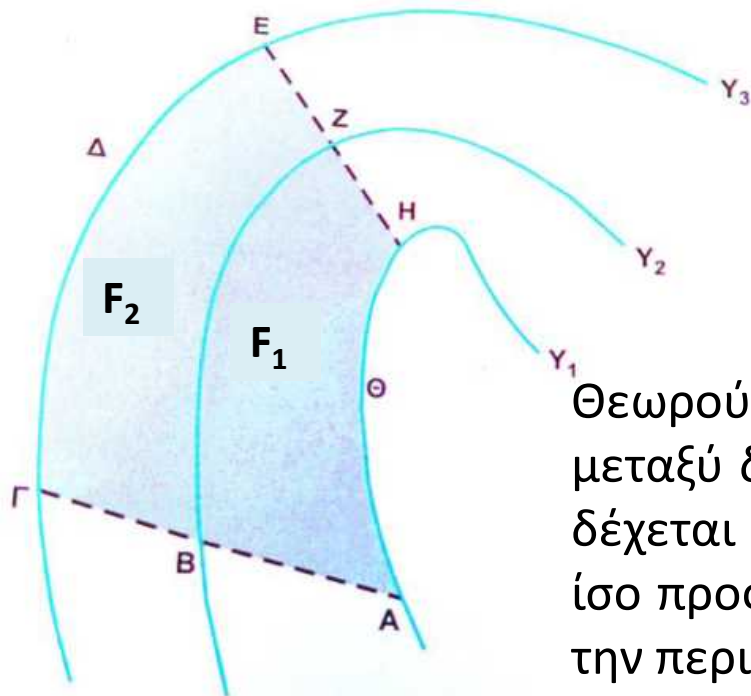


Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί :

- Με απλά γεωμετρικά κριτήρια, οπότε δεν πλεονεκτεί έναντι της μεθόδου Thiessen.
- Με χρήση και άλλων πληροφοριών αναφορικά με την κατανομή της βροχής, δίνοντας πιο ακριβή αποτελέσματα από τη μέθοδο Thiessen.

Μέθοδος Ισοϋετών Καμπυλών

Παράδειγμα υπολογισμού με τη μέθοδο των Ισοϋετών Καμπυλών



Ας υποθέσουμε πως θέλουμε να υπολογίσουμε τον όγκο των κατακρημνισμάτων που έπεσε στην γραμμοσκιασμένη περιοχή του διπλανού σχήματος, η οποία περικλείεται από τις ισοϋετείς καμπύλες Y_1 , Y_2 και Y_3 για τις οποίες γνωρίζουμε το ύψος των κατακρημνισμάτων τους.

Θεωρούμε ότι η επιφάνεια που περικλείεται μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋετών καμπυλών δέχεται το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων ίσο προς το ημιάθροισμα των ισοϋετών που την περικλείουν.

$$\bar{Y} = \frac{Y_1 + Y_2}{2}$$

Συνεπώς ο όγκος των κατακρημνισμάτων που θα δεχθεί το γραμμοσκιασμένο τμήμα (ΑΒΓΔΕΖΗΘ) είναι.

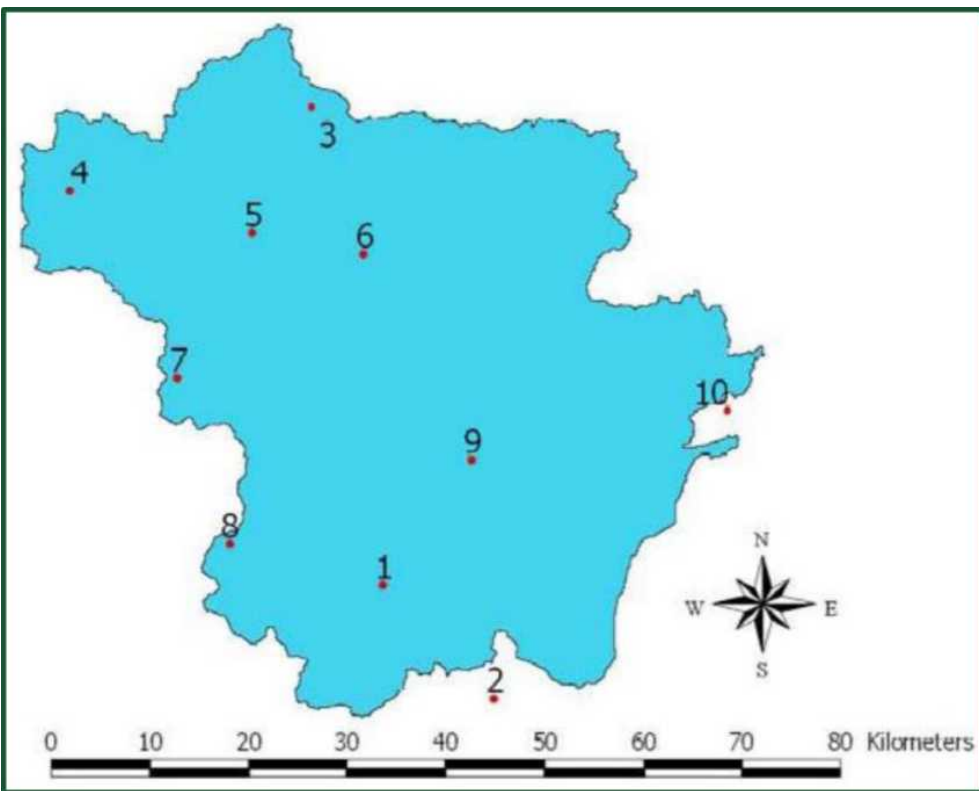
$$V = \frac{Y_1 + Y_2}{2} F_1 + \frac{Y_2 + Y_3}{2} F_2$$

Παράδειγμα κατανόησης των μεθόδων επιφανειακής ολοκλήρωσης σημειακών βροχοπτώσεων

Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφονται τα μηνιαία δεδομένα βροχής και τα αντίστοιχα υψόμετρα για δέκα βροχομετρικούς σταθμούς μιας υπολεκάνης του ποταμού Πηνειού στη Θεσσαλία. Η θέση των βροχομετρικών σταθμών φαίνεται στο επισυναπτόμενο σχήμα.

- ❖ Να υπολογιστεί η μέση επιφανειακή βροχόπτωση με τη μέθοδο του αριθμητικού μέσου, Thiessen και ισοϋετών.
 - ❖ Να γίνει αναγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.
- Δίνεται η έκταση της λεκάνης ίση με 2940 km^2 και το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ίσο με 532 m .

Παράδειγμα κατανόησης των μεθόδων επιφανειακής ολοκλήρωσης σημειακών βροχοπτώσεων



| α/α | Σταθμός | Υψόμετρο (m) | Βροχόπτωση (mm) |
|-----|----------------|--------------|-----------------|
| 1 | ΜΟΥΖΑΚΙ | 226 | 74 |
| 2 | ΤΑΥΡΩΠΟΣ | 220 | 73 |
| 3 | ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 581 | 92 |
| 4 | ΜΑΛΑΚΑΣΙΟ | 842 | 101 |
| 5 | ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ | 500 | 83 |
| 6 | ΜΕΤΕΩΡΑ | 596 | 87 |
| 7 | ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ | 1050 | 110 |
| 8 | ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ | 860 | 103 |
| 9 | ΤΡΙΚΑΛΑ | 116 | 82 |
| 10 | ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | 87 | 70 |

Επίλυση:

❖ Να υπολογιστεί η μέση επιφανειακή βροχόπτωση με τη μέθοδο του αριθμητικού μέσου, Thiessen και ισοϋετών.

Μέθοδος του αριθμητικού Μέσου

Η μέθοδος του αριθμητικού μέσου δίνει επιφανειακό ύψος βροχής, ίσο με το μέσο όρο των σημειακών βροχοπτώσεων των 10 σταθμών

$$P_s = \sum_{i=1}^n \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} = \sum_{i=1}^{10} \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_{10}}{10} \rightarrow$$

$$P_s = \frac{(74 + 73 + 92 + \dots + 82 + 70)}{10} \rightarrow$$

$$P_s = 88\text{mm}$$

| α/α | Σταθμός | Υψόμετρο (m) | Βροχόπτωση (mm) |
|-----|----------------|--------------|-----------------|
| 1 | ΜΟΥΖΑΚΙ | 226 | 74 |
| 2 | ΤΑΥΡΩΠΟΣ | 220 | 73 |
| 3 | ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 581 | 92 |
| 4 | ΜΑΛΑΚΑΣΙΟ | 842 | 101 |
| 5 | ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ | 500 | 83 |
| 6 | ΜΕΤΕΩΡΑ | 596 | 87 |
| 7 | ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙ | 1050 | 110 |
| 8 | ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ | 860 | 103 |
| 9 | ΤΡΙΚΑΛΑ | 116 | 82 |
| 10 | ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | 87 | 70 |

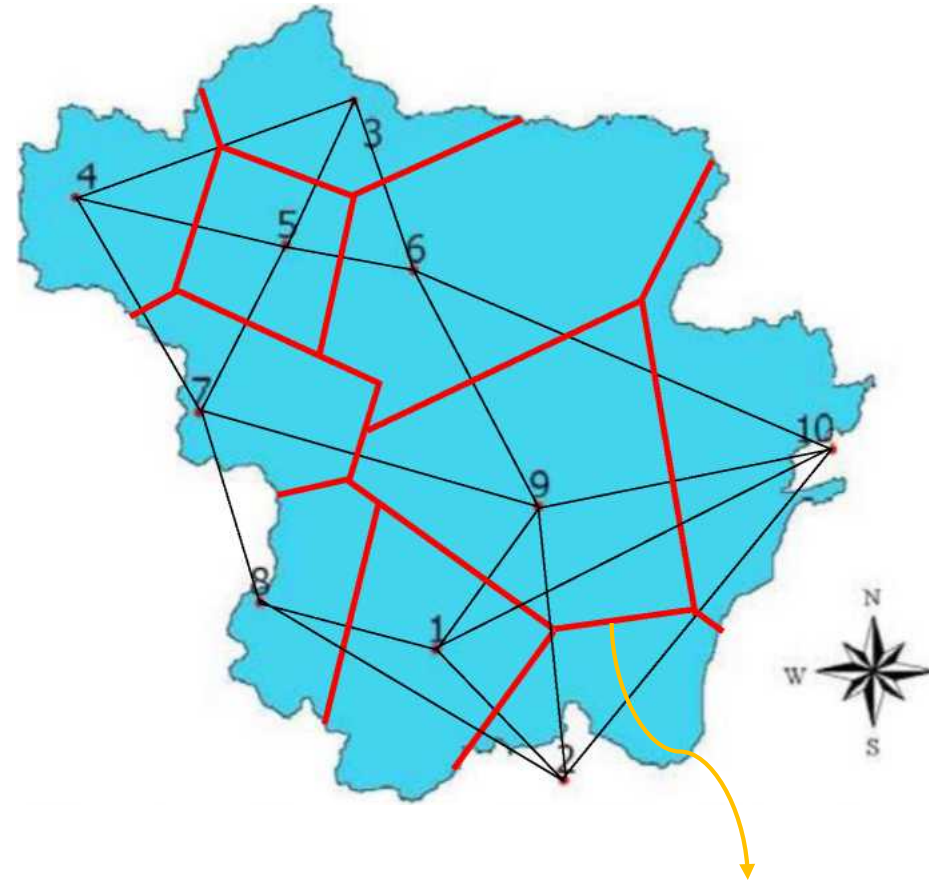
Επίλυση:

Μέθοδος του Thiessen

Η σχεδίαση των πολυγώνων Thiessen γίνεται με χάραξη των μεσοκαθέτων στα ευθύγραμμα τμήματα που ενώνουν τους σταθμούς ανά δύο.

Τα πολύγωνα Thiessen ορίζονται κατά μοναδικό τρόπο σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο βροχογράφων λεκάνης απορροής.

Η διαδικασία υπολογισμού της επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο Thiessen συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί.



μεσοκάθετος

Επίλυση:

Μέθοδος του Thiessen

Ο συντελεστής βαρύτητας w_i που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό, προκύπτει ως πηλίκο της έκτασης του πολυγώνου Thiessen προς τη συνολική έκταση της λεκάνης απορροής.

$$w_i = \frac{F_i}{F_{ολ}}$$

$$F_{ολ} = \sum_{i=1}^k F_i$$

| α/α | Έκταση (km ²) | Ποσοστό (w_i) | Βροχόπτωση P_i (mm) | $w_i \times P_i$ |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| 1 | 316 | 0.107 | 74 | 7.955 |
| 2 | 153 | 0.052 | 73 | 3.800 |
| 3 | 216 | 0.073 | 92 | 6.760 |
| 4 | 212 | 0.072 | 101 | 7.270 |
| 5 | 238 | 0.081 | 83 | 6.720 |
| 6 | 582 | 0.198 | 87 | 17.225 |
| 7 | 194 | 0.066 | 110 | 7.260 |
| 8 | 177 | 0.060 | 103 | 6.202 |
| 9 | 550 | 0.187 | 82 | 15.342 |
| 10 | 302 | 0.103 | 70 | 7.191 |
| SUM | 2940 | 1 | | 86 |

Η επιφανειακή βροχόπτωση κατά Thiessen, προκύπτει ότι είναι **$P_s = 86\text{mm}$** .

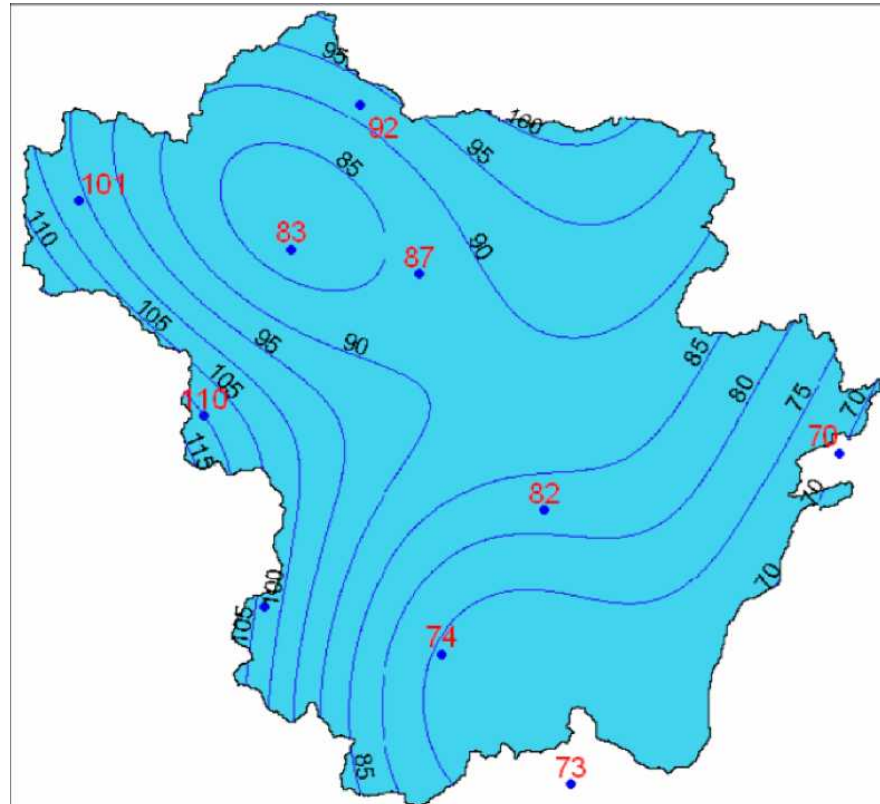
Επίλυση:

Μέθοδος των Ισοϋετών

Στο διπλανό σχήμα έχουν χαραχθεί οι ισοϋετείς καμπύλες με ισοδιάσταση $\Delta P=5$ mm. Σχηματίζονται συνολικά 10 διαστήματα τιμών

Η χάραξη των ισοϋετών, δεν γίνεται κατά μοναδικό τρόπο, όπως στη μέθοδο Thiessen, αλλά εξαρτάται από τη μέθοδο παρεμβολής των ισοϋετών καμπυλών που επιλέγεται.

Ο πιο απλός τρόπος είναι η γραφική χάραξη των καμπυλών, στην οποία υπεισέρχεται η κρίση του μελετητή, ενώ στα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων ή του πλησιέστερου γείτονα.



Στον πίνακα που ακολουθεί συνοψίζεται η διαδικασία υπολογισμού της επιφανειακής βροχόπτωσης με τη μέθοδο των ισοϋετών.

Επίλυση:

Μέθοδος των Ισοϋετών

Για να προκύψει η επιφανειακή μέση βροχόπτωση μεταξύ δύο Ισοϋετών καμπυλών, εμβαδομετρούνται οι επιφάνειες F_i μεταξύ των διαδοχικών καμπύλων που αντιστοιχούν σε ύψη βροχής P_i και P_{i-1} .

Η επιφανειακή μέση βροχόπτωση της περιοχής υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\bar{P} = \sum_r \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \cdot \frac{F_i}{F_{ολ}}$$

| α/α | Έκταση (km ²) | Ποσοστό (w_i) | Βροχόπτωση P_i (mm) | $w_i \times P_i$ |
|---------|---------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| 65-70 | 8 | 0.003 | 67.5 | 0.180 |
| 70-75 | 444 | 0.151 | 72.5 | 10.960 |
| 75-80 | 295 | 0.100 | 77.5 | 7.783 |
| 80-85 | 405 | 0.138 | 82.5 | 11.370 |
| 85-90 | 729 | 0.248 | 87.5 | 21.688 |
| 90-95 | 506 | 0.172 | 92.5 | 15.911 |
| 95-100 | 327 | 0.111 | 97.5 | 10.833 |
| 100-105 | 149 | 0.051 | 102.5 | 5.179 |
| 105-110 | 55 | 0.019 | 107.5 | 2.010 |
| 110-115 | 22 | 0.007 | 112.5 | 0.841 |
| SUM | 2940 | 1 | | 87 |

Η επιφανειακή βροχόπτωση με τη μέθοδο των Ισοϋετών, προκύπτει ότι είναι $P_s = 87\text{mm}$.

Επίλυση:

❖ Να γίνει αναγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Το επιφανειακό ύψος βροχής που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, δε λαμβάνει υπόψη το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης, αλλά το υψόμετρο των σταθμών.

Η διόρθωση της επιφανειακής βροχόπτωσης που προκύπτει από τη μέθοδο Thiessen με βάση το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης (532 m) προϋποθέτει την εκτίμηση:

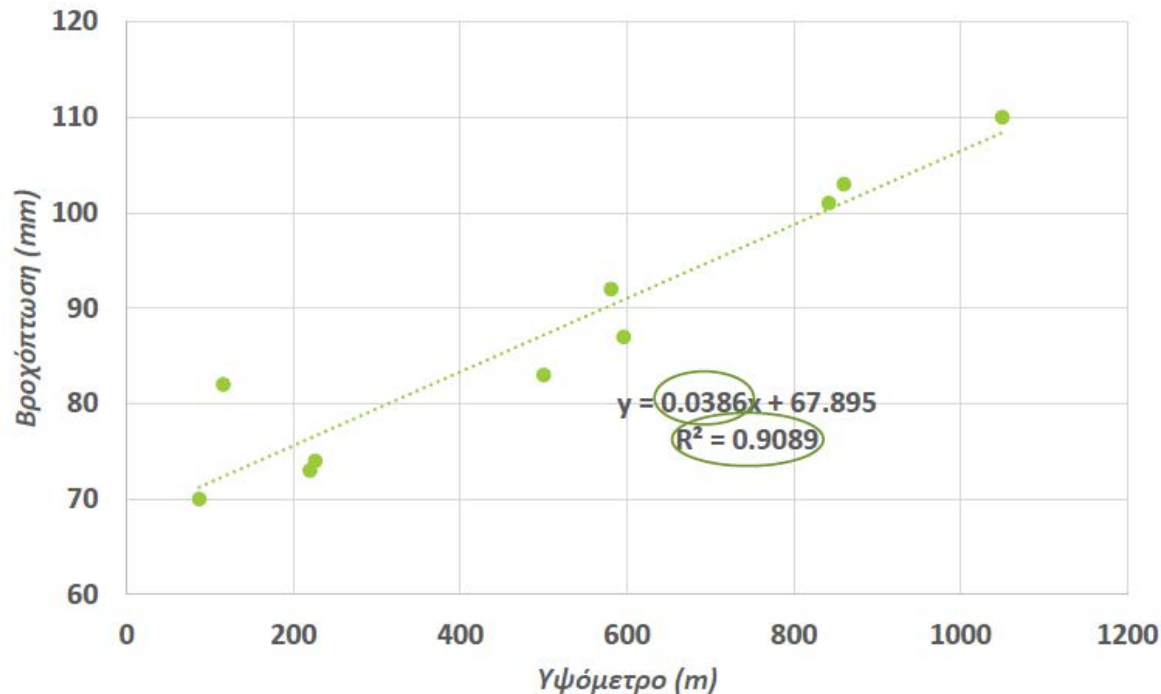
a) της βροχοβαθμίδας και

b) της διαφοράς του μέσου σταθμισμένου υψομέτρου των σταθμών (που χρησιμοποιεί η μέθοδος Thiessen) από το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Επίλυση:

Αναγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Για την εύρεση της μηνιαίας βροχοβαθμίδας, συσχετίζεται γραμμικά η βροχόπτωση των σταθμών και το υψόμετρο τους.

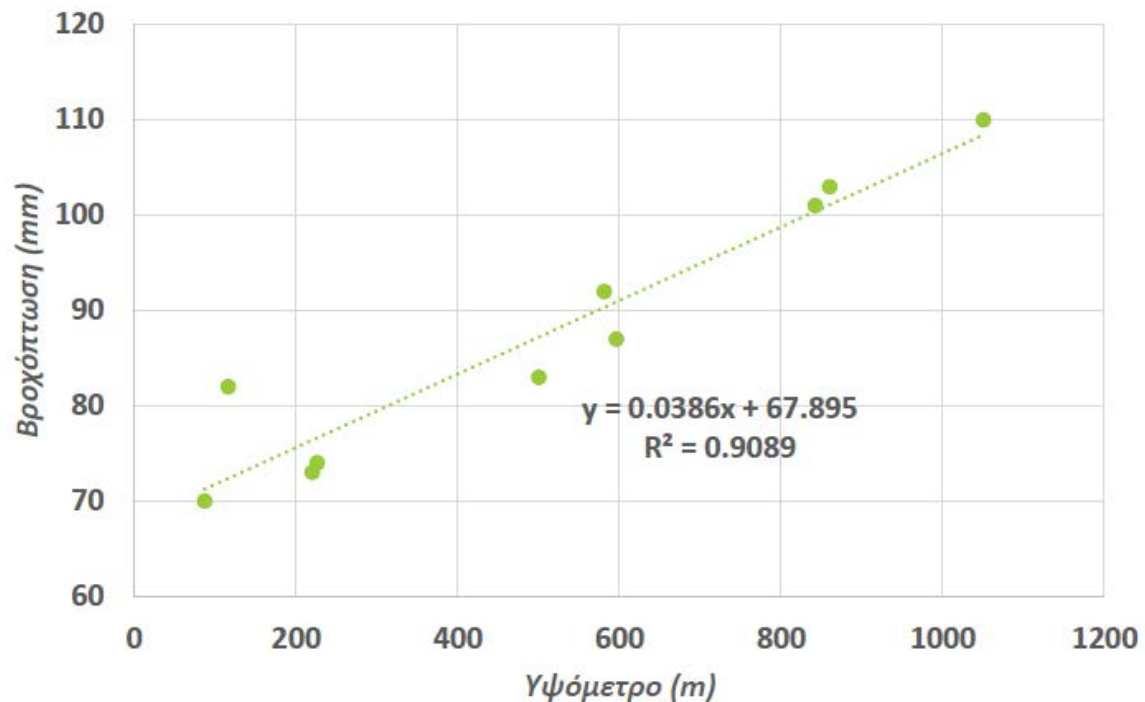


| α/α | Βροχόπτωση P_i (mm) | Υψόμετρο H_i (m) |
|-----|-----------------------|--------------------|
| 1 | 74 | 226 |
| 2 | 73 | 220 |
| 3 | 92 | 581 |
| 4 | 101 | 842 |
| 5 | 83 | 500 |
| 6 | 87 | 596 |
| 7 | 110 | 1050 |
| 8 | 103 | 860 |
| 9 | 82 | 116 |
| 10 | 70 | 87 |

Αναγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Η κλίση της ευθείας που σχηματίζεται ($\alpha=0.0386$) είναι η μηνιαία βροχοβαθμίδα, δίνει δηλαδή, την αύξηση του μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης με το υψόμετρο.

Συνήθως η βροχοβαθμίδα εκφράζεται σε mm ύψους βροχής ανά 100 μέτρα μεταβολής του υψομέτρου, δηλαδή, εδώ είναι **ίση με 3.86**.



Αναγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Το μέσο σταθμισμένο υψόμετρο των σταθμών μπορεί να προκύψει χρησιμοποιώντας τους συντελεστές Thiessen που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο βήμα, σύμφωνα με τη διαδικασία του πίνακα:



| α/α | Ποσοστό (w_i) (Thiessen) | Υψόμετρο H_i (m) | $W_i \times H_i$ |
|------------|---------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | 0.107 | 226 | 24.29 |
| 2 | 0.052 | 220 | 11.45 |
| 3 | 0.073 | 581 | 42.69 |
| 4 | 0.072 | 842 | 60.61 |
| 5 | 0.081 | 500 | 40.48 |
| 6 | 0.198 | 596 | 118.00 |
| 7 | 0.066 | 1050 | 69.30 |
| 8 | 0.060 | 860 | 51.78 |
| 9 | 0.187 | 116 | 21.70 |
| 10 | 0.103 | 87 | 8.94 |
| SUM | 1 | | 449 |

Αναγωγή της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Thiessen, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Το ανηγμένο επιφανειακό ύψος βροχής δίνεται από την εξίσωση:

$$\bar{P}_t = P_t + \lambda \cdot \Delta h$$

Όπου:

\bar{P}_t η μέση επιφανειακή βροχόπτωση ανηγμένη στο μέσο τοπογραφικό υψόμετρο

P_t η μέση επιφανειακή βροχόπτωση που υπολογίζεται από τη μέθοδο Thiessen
(**86mm**)

Δh η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο σταθμισμένο υψόμετρο χρησιμοποιώντας τους συντελεστές Thiessen και το μέσο τοπογραφικό υψόμετρο
(**532-449=83m**)

λ η βροχοβαθμίδα (**0.0386**)

Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει ότι το ανηγμένο επιφανειακό ύψος βροχής είναι ίσο με $89.24\text{mm} \sim \mathbf{89\text{mm}}$, διαφοροποιείται δηλαδή, κατά 3 mm περίπου από αυτό που προέκυψε αρχικά με τη μέθοδο lessen.

Υπολογισμός Μέσου Ύψους Βροχής

Προβλήματα στον Ελληνικό χώρο

- Αν έχουμε έντονο ανάγλυφο σε μία περιοχή στην οποία θέλουμε να υπολογίσουμε το \bar{P} , τότε καμία από τις μεθόδους που αναλύσαμε δεν ενδείκνυται.

Κατανομή βροχοπτώσεων στην Ελλάδα

- Δυτική Ελλάδα
 - Πολλές κατακρημνίσεις
 - Οκτώβριος – Μάρτιος ψυχρή περίοδος
 - Φαινόμενα που δημιουργούν κατακρημνίσεις έρχονται από τη Μεσόγειο
 - $P = 1000 - 1800$ mm/έτος
- Ανατολική Ελλάδα
 - Χαμηλά ύψη βροχής
 - π.χ. στην Αττική \longrightarrow 400 mm/έτος

Βιβλιογραφία

- Τεχνική Υδρολογία, Λευθεριώτης Γεώργιος, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2021.
- Τεχνική Υδρολογία, Σακκάς Ι.Γ., Τόμος 1, Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Εκδόσεις Αϊβάζης, 2007.
- Τεχνική Υδρολογία, Μιμίκου Μ.Α., Μπαλτάς Ε.Α. 6^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2018.
- Υδατικοί Πόροι II: Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Τσακίρης Γ., Βαγγέλης Χ. Εκδόσεις Συμμετρία, 2009.