



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Υ Δ Ρ Ο Λ Ο Γ Ι Α

////////////////////////////////////

Για την ολοκλήρωση των ασκήσεων του Τρίτου Κεφαλαίου θα χρησιμοποιηθούν τρεις μέθοδοι υπολογισμού των κατακρημνισμάτων, που εκφράζονται ως μέσο ύψος βροχής, έχοντας ως δεδομένο ότι η βροχόπτωση μετράται σε σταθμούς καταγραφής που μας παρέχουν σημειακά δεδομένα γραμμικού βάθους. Συνοπτικά αναλύεται κάθε μια από τις μεθόδους:

(1) Αριθμητική Μέθοδος (Μέσης Τιμής)

Με την μέθοδο αυτή το πραγματικό ύψος βροχής υπολογίζεται ως ο μέσος όρος όλων των βροχομετρικών τιμών της λεκάνης απορροής. Η μέθοδος αυτή είναι η ευκολότερη αλλά με το μεγαλύτερο υπολογιστικό σφάλμα.

(2) Μέθοδος Ισοϋέτιων (Ισοϋετών – Isohyets)

Όπου η ορεογραφική επίδραση είναι σημαντική, η μέθοδος των ισοϋετών δίνει μια πιο ακριβής εκτίμηση γιατί υπολογίζει και την τοπογραφία. Οι ισοϋετείς γραμμές υπολογίζονται με απλή γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών των βροχομετρικών μετρήσεων. Το εμβαδόν μεταξύ των ισοϋέτιων γραμμών υπολογίζεται και το ύψος της βροχής που αντιστοιχεί σε αυτή την περιοχή θεωρείται ίσο με το μέσο όρο των τιμών των δύο ισοϋετών που περιβάλλουν την περιοχή.

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι λαμβάνει υπόψη την τοπογραφία επί των βροχοπτώσεων και μειονέκτημά της είναι ότι οι ισοϋετείς γραμμές πρέπει να σχεδιάζονται και το εμβαδόν να μετράται για κάθε νέα μελέτη.

(3) Μέθοδος Thiessen

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα συντελεστή βαρύτητας για κάθε βροχόμετρο έτσι, ώστε να ρυθμίζεται η μη ομοιόμορφη κατανομή των βροχόμετρων. Ο συντελεστής αυτός βασίζεται στο μέγεθος (εμβαδόν) της περιοχής εντός της λεκάνης απορροής, η οποία αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο βροχόμετρο. Οι περιοχές αυτές είναι συνήθως μη κανονικά πολύγωνα και ορίζονται ως εξής: Αφού σχεδιαστούν οι θέσεις όλων των βροχόμετρων πάνω στο χάρτη της λεκάνης απορροής, κάθε σταθμός συνδέεται με όλους τους πλησιέστερους με ευθείες γραμμές σχηματίζοντας τρίγωνα. Για κάθε ένα τρίγωνο φέρουμε τις μεσοκαθέτους και από τις τομές των μεσοκαθέτων ορίζονται πολύγωνα. Το ύψος της βροχόπτωσης που αναλογεί σε κάθε ένα πολύγωνο υπολογίζεται ως το γινόμενο της τιμής του βροχομέτρου που ανήκει το πολύγωνο επί του ποσοστού του εμβαδού του πολυγώνου σε σχέση με το ολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής.

////////////////////////////////////

Άσκηση 1: Υπολογίστε τη μέση βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής του σχήματος με την αριθμητική μέθοδο, τη μέθοδο Thiessen και τη μέθοδο των ισόβροχων καμπυλών.

Βροχοσυλλέκτης	Ύψος Βροχής (mm)
1	10,0
2	20,0
3	30,0
4	40,0
5	50,0

Έπειτα από τη δημιουργία σχήματος της λεκάνης απορροής στο οποίο τοποθετήσαμε τα σημεία δειγματοληψίας (σημεία ύπαρξης βροχοσυλλεκτών) παρατηρούμε ότι εντός των ορίων της λεκάνης απορροής βρίσκονται οι βροχοσυλλέκτες: P₃, P₄, P₅.

(1) Αριθμητική μέθοδος

Υπολογίζουμε τον μέσο όρο κατακρήμνισης από τις ενδείξεις των βροχοσυλλεκτών εντός της λεκάνης απορροής:

$$\bar{P} = \frac{P_3 + P_4 + P_5}{3} = \left(\frac{30,0 + 40,0 + 50,0}{3} \right) \text{mm} = 40 \text{mm}$$

(2) Μέθοδος Ισοϋετών Καμπυλών

Σταθμός	P _i Βροχόπτωση (mm)	P _i Μέση Βροχόπτωση (mm)	A _i Επιφάνεια (%)	A _i P _i
1	10,0			
2	20,0	27	16,5	445,5
3	30,0	35	58,4	2044
4	40,0	45	24,2	1089
5	50,0	51	0,9	45,9
Σ			100	3624,4
ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm) = $\frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i}$			36,24	

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

(3) Μέθοδος Thiessen

Βροχοσυλλέκτης	P _i Υψος Βροχής (mm)	ΛΟΣΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ	
		A _i Επιφάνεια (%)	A _i P _i
1	10,0	2,1	21
2	20,0	19,5	390
3	30,0	18,8	564
4	40,0	23,4	936
5	50,0	36,2	1810
Σ		100	3721
ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)= $\frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i}$ =		37,21	

////////////////////////////////////

Άσκηση 2: Τέσσερις βροχοσυλλέκτες βρίσκονται σε μια περιοχή [με γωνίες (0,0) (0,13) (14,13) και (14,0)] και έχουν συντεταγμένες (σε μίλια) και ύψος βροχόπτωσης ως ακολούθως. Υπολογίστε τη μέση βροχόπτωση με τη μέθοδο του Thiessen.

Συντεταγμένες Βροχοσυλλεκτών	Ύψος Βροχής (inches)
2,9	0,59
7,11	0,79
12,10	0,94
6,2	1,69

Σε milimetre χαρτί σχεδιάζουμε τη λεκάνη απορροής και τους βροχομετρικούς σταθμούς (βάσει των συντεταγμένων που δίνονται). Έπειτα ενώνουμε με ευθείες γραμμές τους σταθμούς σχηματίζοντας τρίγωνα. Αφού φέρουμε τις μεσοκαθέτους των τριγώνων αυτών, σχεδιάζουμε πολύγωνα με κορυφές τα κέντρα βάρη των τριγώνων. Έπειτα σε σχεδιαστικό χαρτί (διαφανές milimetre) υπολογίζουμε το εμβαδόν της τομής καθενός από τα πολύγωνα αυτά με το όριο της λεκάνης απορροής.

Το «φαινομενικό εμβαδόν» κάθε πολυγώνου όπως υπολογίστηκε φαίνεται στις στήλες του παρακάτω πίνακα.

Σταθμός	P _i Ύψος Βροχής (in)	ΥΠΟΛΟΓ. ΤΙΜΕΣ	
		A _i Επιφάνεια (mi ²)	A _i P _i
1	0,59	39	23,01
2	0,79	31,2	24,65
3	0,94	42,3	39,76
4	1,69	69,5	117,46
Σ		182	204,88
ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (in)= $\frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i}$ =		1,126	

Άσκηση 3: Το σχήμα της λεκάνης απορροής είναι ένα πολύγωνο με γωνίες (5,5) (-5,5) (-5,-5) (0,-10) (5,-5) σε χιλιόμετρα. Εννέα βροχοσυλλέκτες βρίσκονται στην περιοχή με τις παρακάτω συντεταγμένες και μετρήσεις. Υπολογίστε τη μέση βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής με την αριθμητική μέθοδο, τη μέθοδο του Thiessen και τη μέθοδο των ισόβροχων καμπυλών.

Βροχοσυλλέκτης	Συντεταγμένες	Ύψος Βροχής (mm)
1	7,4	62
2	3,4	59
3	-2,5	41
4	-10,1	39
5	-3,-3	105
6	-7,-7	98
7	2,-3	60
8	2,-10	41
9	0,0	81

Έπειτα από τη δημιουργία σχήματος στο οποίο (βάσει των δεδομένων) τοποθετήσαμε τα σημεία δειγματοληψίας (σημεία ύπαρξης βροχοσυλλεκτών) παρατηρούμε ότι εντός των ορίων της λεκάνης απορροής βρίσκονται οι εξής βροχοσυλλέκτες: P₂, P₃, P₅, P₇ και P₉.

(1) Αριθμητική μέθοδος

Υπολογίζουμε τον μέσο όρο κατακρήμνισης από τις ενδείξεις των βροχοσυλλεκτών εντός της λεκάνης απορροής:

$$\bar{P} = \frac{P_2 + P_3 + P_5 + P_7 + P_9}{5} = \left(\frac{59 + 41 + 105 + 60 + 81}{5} \right) \text{mm} = 69,2\text{mm}$$

(2) Μέθοδος Ισοϋετών Καμπυλών

Καμπύλη	P _i Μέση Βροχόπτωση (mm)	A _i Επιφάνεια (Km ²)	A _i P _i
<40	36	1,6	57,6
<50	47	6,5	305,5
40-50	45	4,6	207
50-60	55	28,2	1551
60-70	65	29,1	1891,5
70-80	75	24,0	1800
80-90	85	14,9	1266,5
90-100	95	12,8	1216
>100	102	3,4	346,8
Σ		125	8641,9
ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm) = $\frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i}$ =		69,135	

(3) Μέθοδος Thiessen

Έχοντας τοποθετήσει τους βροχομετρικούς σταθμούς (βάσει των συντεταγμένων) σε σχεδιαστικό χαρτί (διαφανές milimetre) μπορούμε να υπολογίσουμε το εμβαδόν των πολυγώνων θεωρώντας ότι 1cm^2 στο σχέδιο αντιστοιχεί στην πραγματικότητα σε 1Km^2 . Έτσι, προκύπτουν τα αποτελέσματα των γκρίζων στηλών του παρακάτω πίνακα.

Σταθμός	P_i Ύψος Βροχής (mm)	ΥΠΟΛΟΓ. ΤΙΜΕΣ	
		A_i Επιφάνεια (Km ²)	$A_i P_i$
1	62	0	0
2	59	17,3	1020,7
3	41	16,1	660,1
4	39	0	0
5	105	29,1	3055,5
6	98	0	0
7	60	30,2	1812
8	41	10,4	426,4
9	81	21,9	1773,9
Σ		125	8748,6
ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm) = $\frac{\sum A_i P_i}{\sum A_i} =$		69,988	

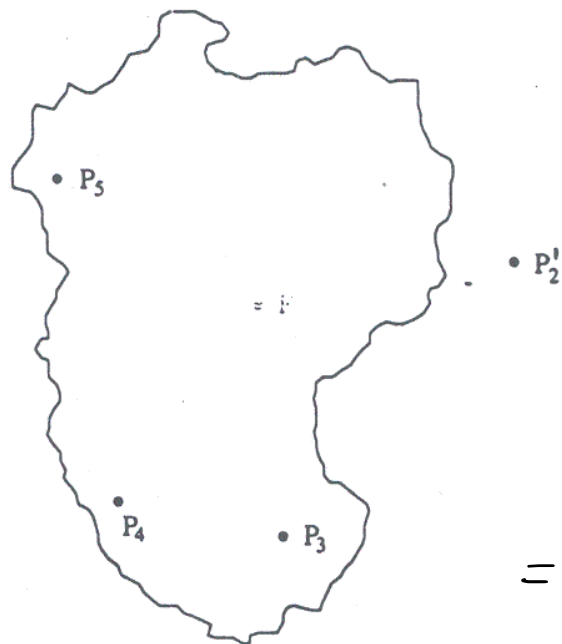
Σχήματα

ΑΣΚΗΣΗ 1

1) Μέθοδος Μέσης Τιμής

1^η μέθοδος → μέσης τιμής
Παίρνω σταθμούς μέσα στη λεκάνη

ών.



• P₁

$$\bar{P} = \frac{P_2 + P_4 + P_5}{3} =$$

Station	Observed rainfall within or close to the area (mm or in)
---------	--

P ₂	20.0
----------------	------

P ₃	30.0
----------------	------

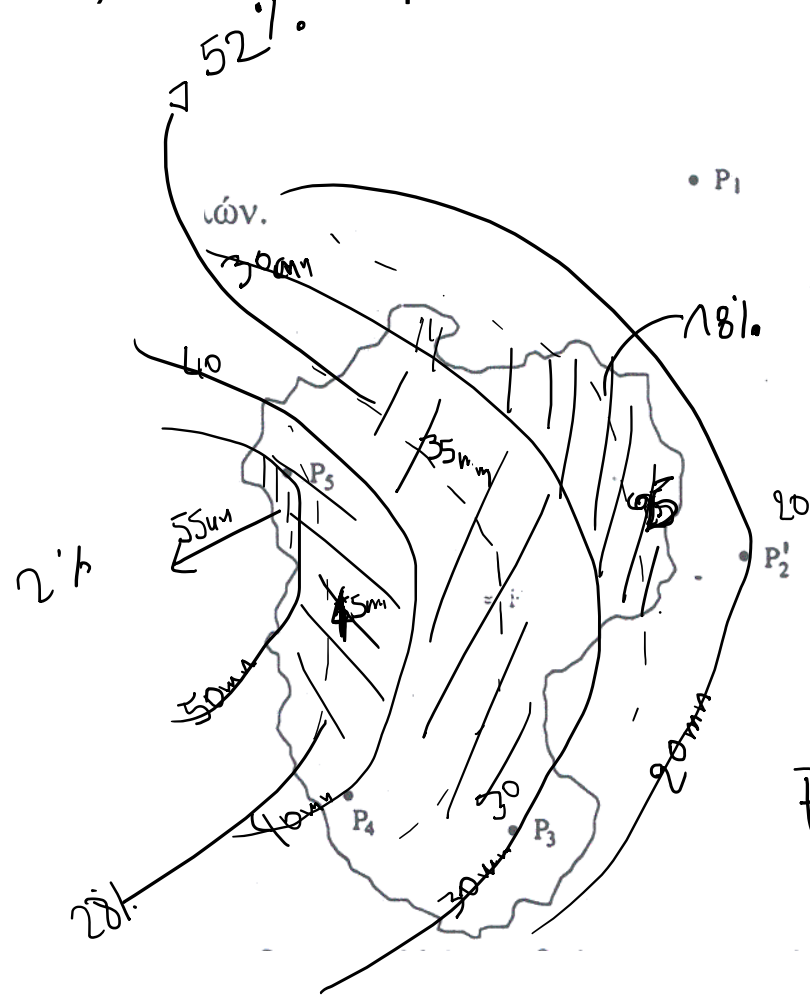
P ₄	40.0
----------------	------

P ₅	50.0
----------------	------

$$= \frac{30 + 40 + 50}{3} = 40 \text{ mm}$$

ΑΣΚΗΣΗ 1

2) Μέθοδος ισοϋετίων καμπύλων



$$\begin{array}{l}
 P \cdot A_i (\%) \\
 \left. \begin{array}{l}
 1) \quad 25 \cdot 18\% \\
 2) \quad 35 \cdot 52\% \\
 3) \quad 45 \cdot 28\% \\
 4) \quad 55 \cdot 2\%
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 4,5 \\
 18,2 \\
 12,6 \\
 1,1
 \end{array} \right] + = 36,4 \text{ mm}
 \end{array}$$

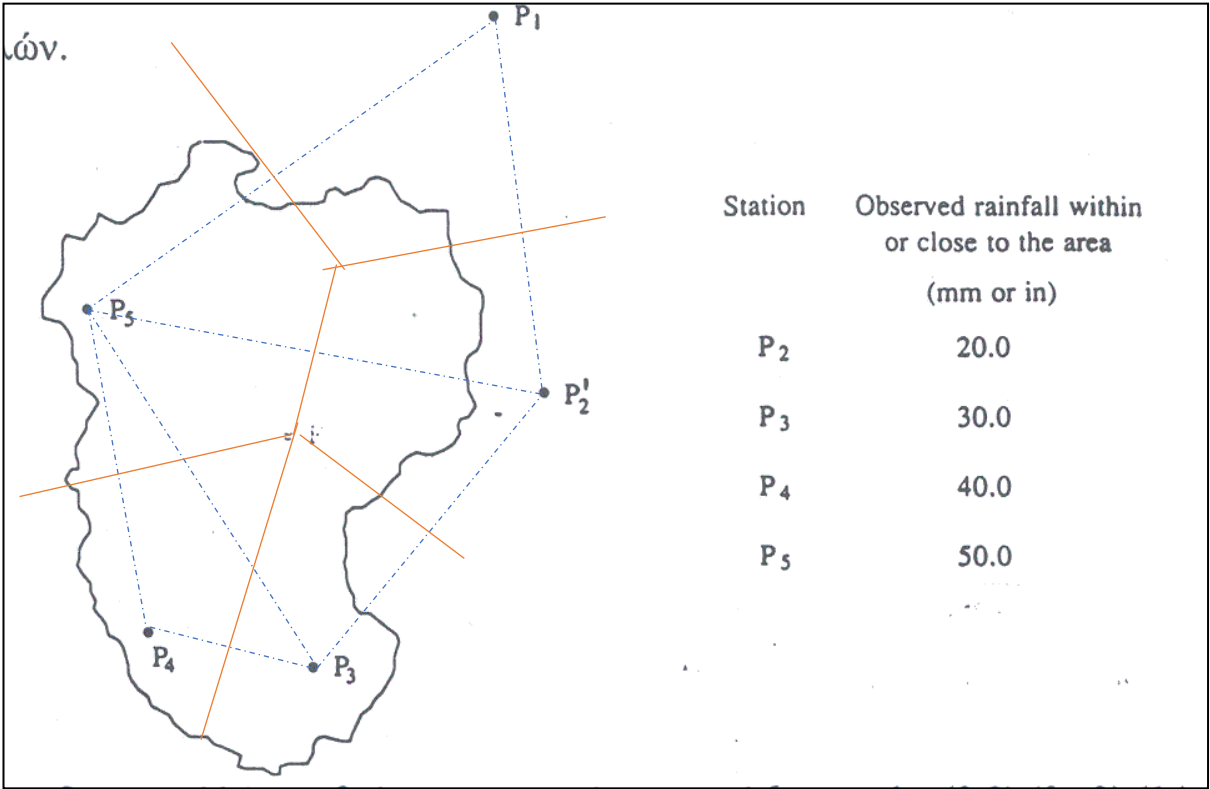
Station	Observed rainfall within or close to the area (mm or in)
---------	--

P_2	20.0
P_3	30.0
P_4	40.0
P_5	50.0

$$P = \frac{25 \cdot 0,18 + 35 \cdot 0,52 + 45 \cdot 0,28 + 55 \cdot 0,02}{0,18 + 0,52 + 0,28 + 0,02} = 36,4 \text{ mm}$$

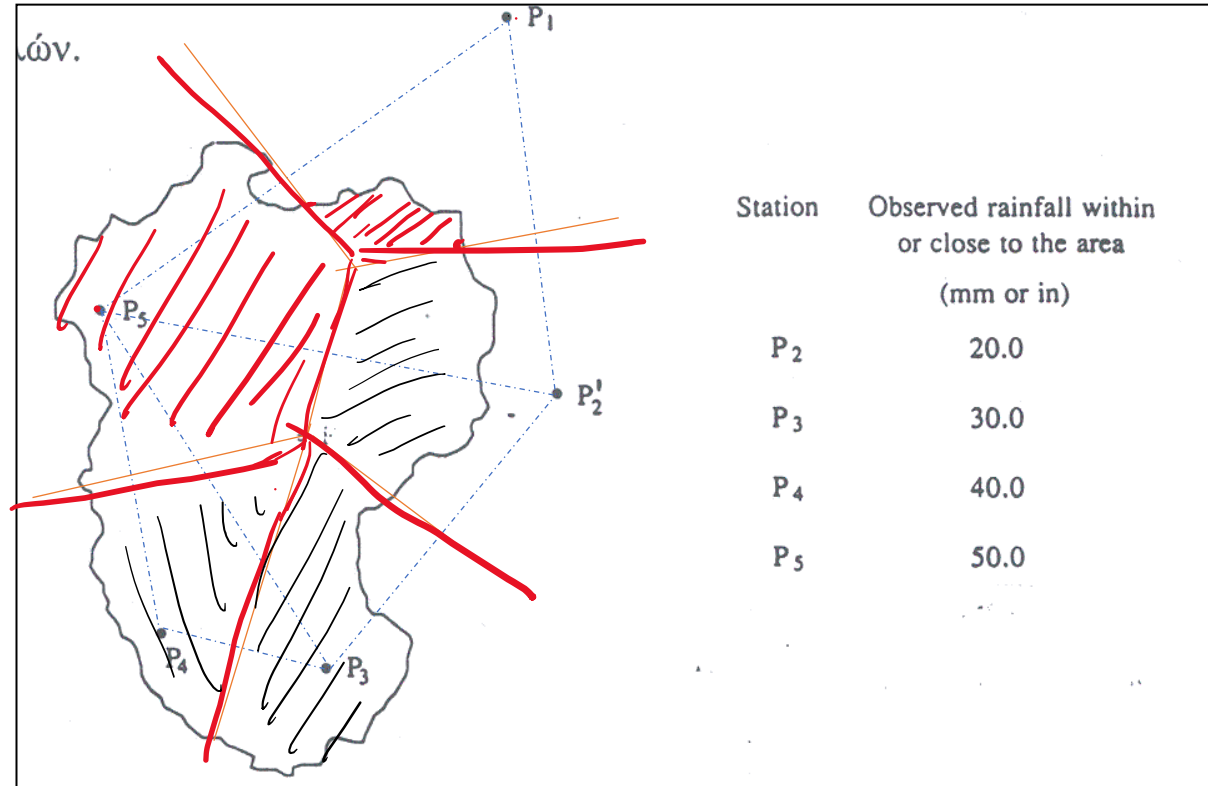
ΑΣΚΗΣΗ 1

3) Μέθοδος πολυγώνων Thiessen



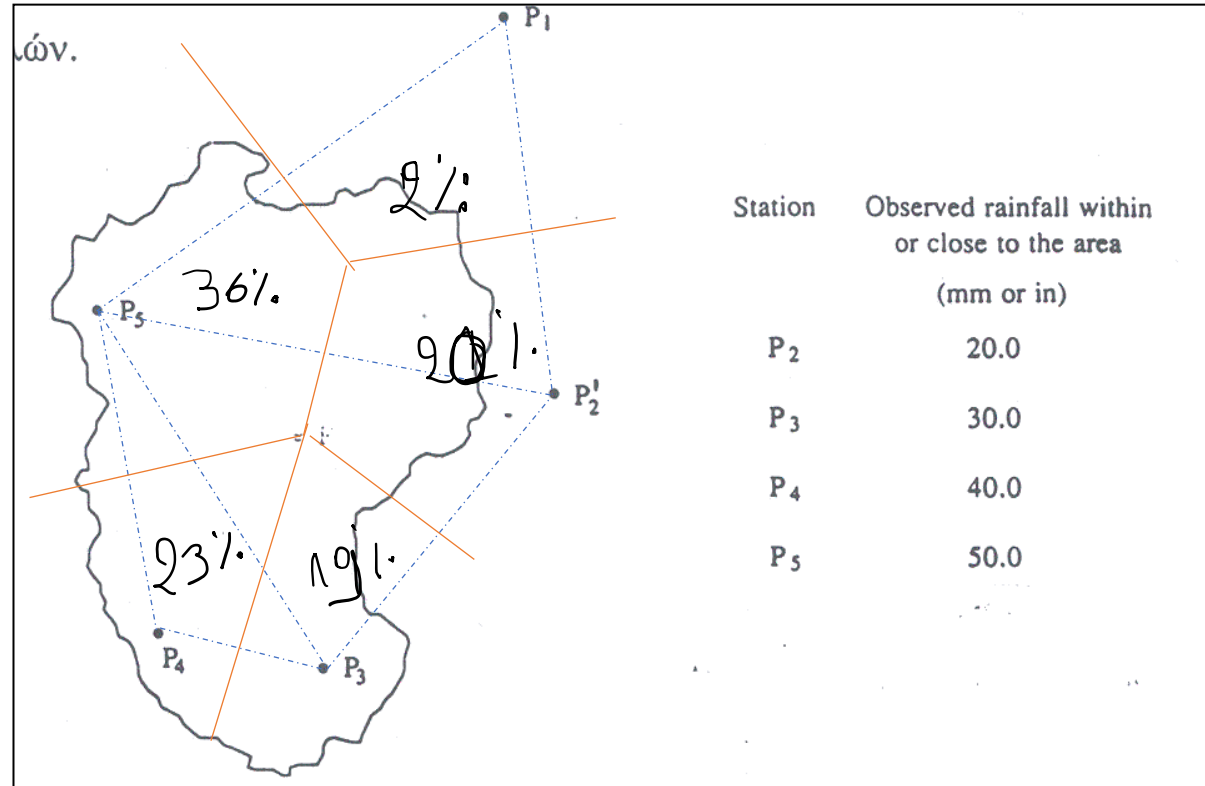
ΑΣΚΗΣΗ 1

3) Μέθοδος πολυγώνων Thiessen



ΑΣΚΗΣΗ 1

3) Μέθοδος πολυγώνων Thiessen



$$\begin{aligned}
 &1) 0.02 \cdot 10 \\
 &2) 0.20 \cdot 20 \\
 &3) 0.19 \cdot 30 \\
 &4) 0.23 \cdot 40 \\
 &5) 0.36 \cdot 50
 \end{aligned}$$

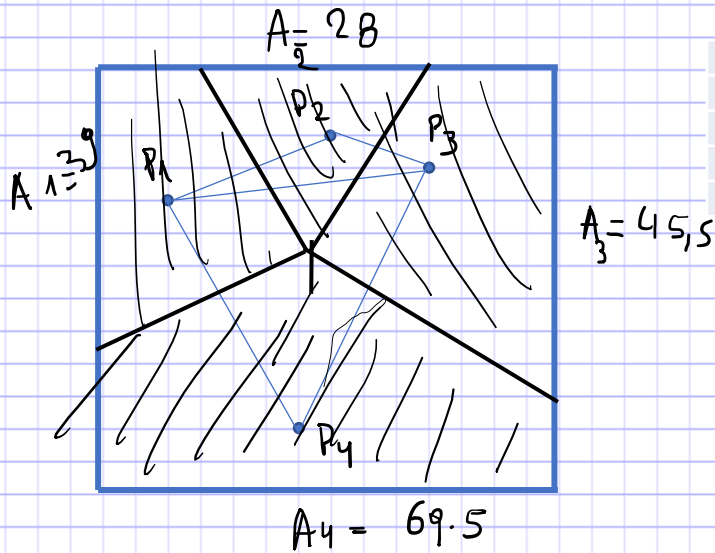
$$\begin{aligned}
 &1) 0.2 \\
 &2) 4 \\
 &3) 5.7 \\
 &4) 9.2 \\
 &5) 18
 \end{aligned}$$

$$37.1$$

$$\bar{P} = \frac{P_1 \cdot 2\% + P_2 \cdot 20\% + P_3 \cdot 19\% + P_4 \cdot 23\% + P_5 \cdot 36\%}{2\% + 20\% + 19\% + 23\% + 36\%} = \underline{\underline{37.1 \text{ mm}}}$$

ΑΣΚΗΣΗ 2

Μέθοδος πολυγώνων Thiessen



Συντεταγμένες Βροχοσυλλεκτών	Ύψος Βροχής (inches)
2,9	0,59
7,11	0,79
12,10	0,94
6,2	1,69

$$\bar{P} = \frac{39 \cdot 0,59 + 28 \cdot 0,79 + 45,5 \cdot 0,94 + 69,5 \cdot 1,69}{39 + 28 + 45,5 + 69,5}$$

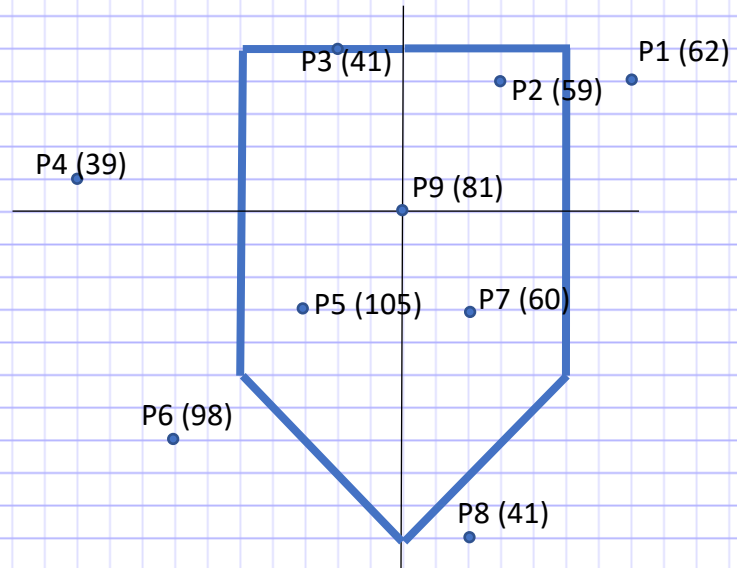
$$= \frac{- - -}{182} = 1,128 \text{ inches}$$

ΑΣΚΗΣΗ 3

1) Μέθοδος Μέσης Τιμής

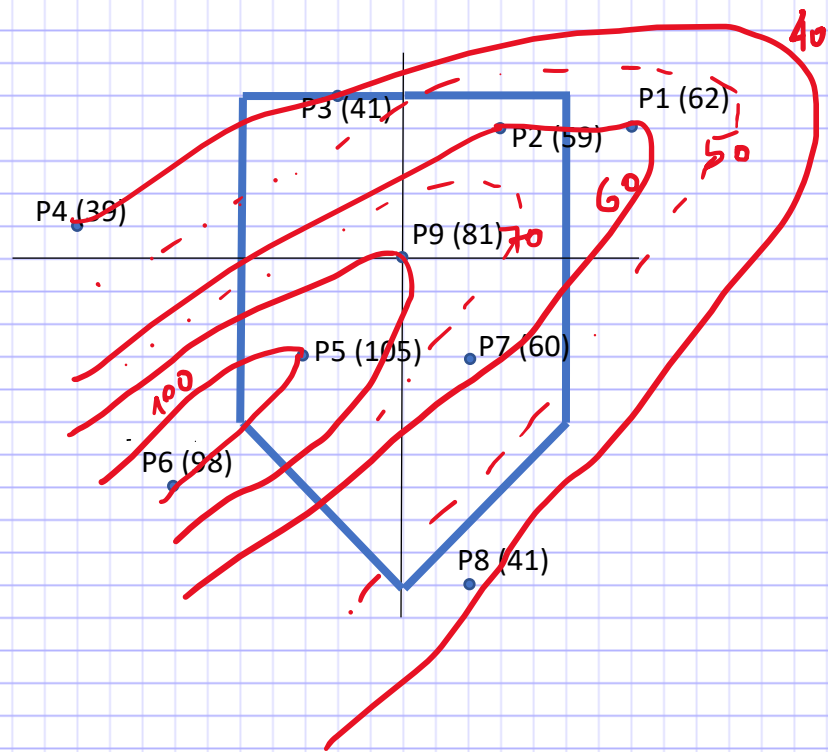
1) Μέση Τιμή

$$\bar{P} = \frac{P_2 + P_3 + P_5 + P_7 + P_9}{5} = \left(\frac{59 + 41 + 105 + 60 + 81}{5} \right) \text{mm} = 69,2 \text{mm}$$



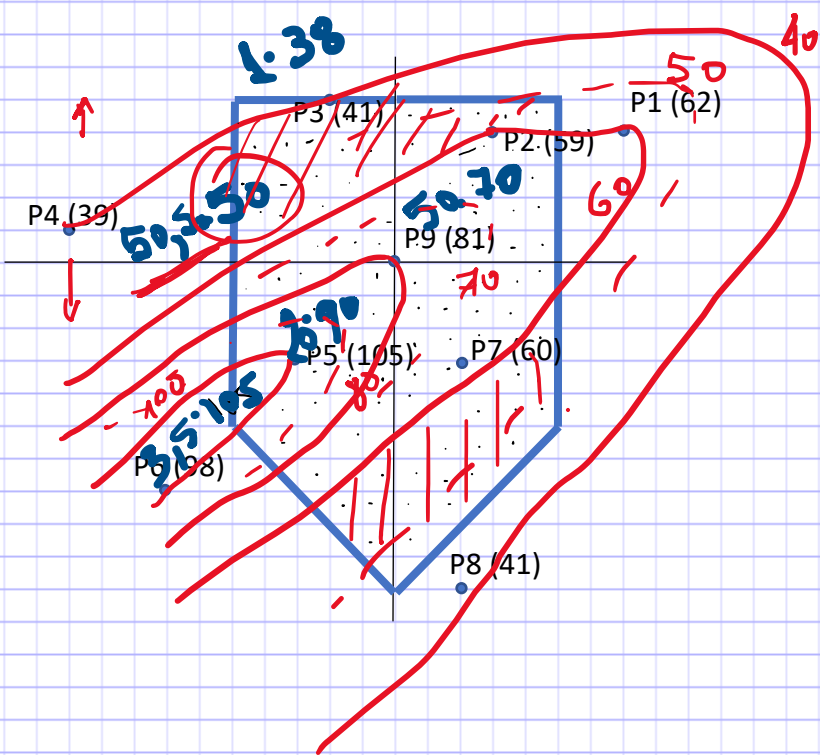
ΑΣΚΗΣΗ 3

2) Μέθοδος ισοϋετίων καμπύλων



ΑΣΚΗΣΗ 3

2) Μέθοδος ισοϋετίων καμπύλων

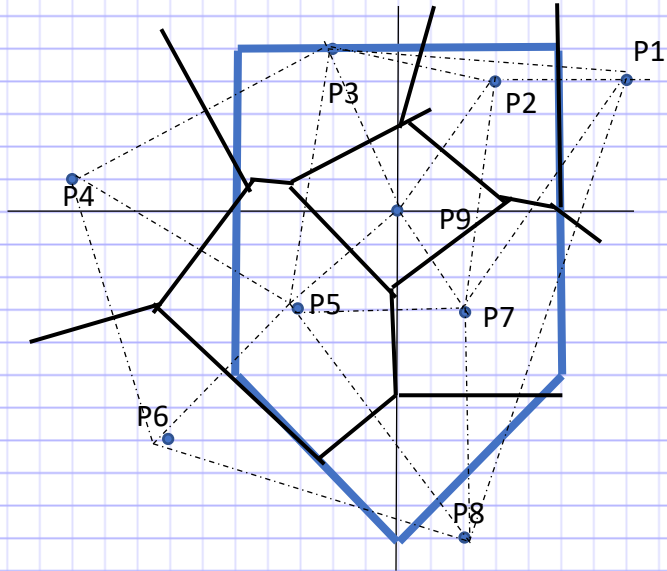


$$P = \frac{1 \cdot 38 + 50.5 \cdot 50 + 50 \cdot 70 + 20 \cdot 90 + 3.5 \cdot 105}{0.5 + 50.5 + 50 + 20 + 3.5} = \frac{8088.7}{125} = \underline{\underline{64.7 \text{ mm}}}$$

ΑΣΚΗΣΗ 3

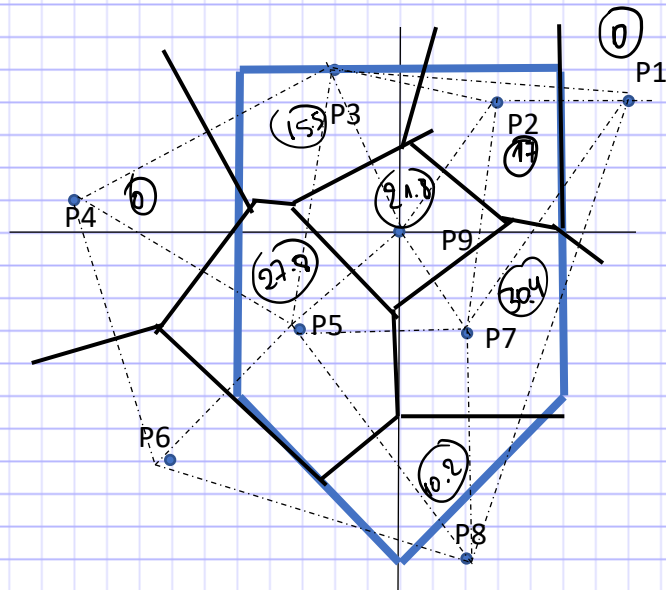
3) Μέθοδος πολυγώνων Thiessen

3) Μέθοδος Thiessen



ΑΣΚΗΣΗ 3

3) Μέθοδος πολυγώνων Thiessen



Βροχοσυλλέκτης	Συντεταγμένες	Ύψος Βροχής (mm)
1	7,4	62
2	3,4	59
3	-2,5	41
4	-10,1	39
5	-3,-3	105
6	-7,-7	98
7	2,-3	60
8	2,-10	41
9	0,0	81

ΑΣΚΗΣΗ 3

3) Μέθοδος πολυγώνων Thiessen

