



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΟΝ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΤΟΜΕΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

Κατεύθυνση: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΑΘΛΗΤΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση της πίεσης λειτουργίας εκτοξευτή στα
χαρακτηριστικά ομοιομορφίας της άρδευσης**

Βασίλειος ΠΡΙΟΒΟΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΒΥΡΛΑΣ

ΛΑΡΙΣΑ 2020

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση της πίεσης λειτουργίας εκτοξευτή στα
χαρακτηριστικά ομοιομορφίας της άρδευσης**

Βασίλειος ΠΡΙΟΒΟΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΒΥΡΛΑΣ

Εξεταστική Επιτροπή:

Βύρλας Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καλφούντζος Δημήτριος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δρ. Νικολοπούλου Αιμιλία-Ελένη, ΕΔΙΠ, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Επίδραση της πίεσης λειτουργίας εκτοξευτή στα χαρακτηριστικά ομοιομορφίας της άρδευσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σχεδιασμός και η διαχείριση των συστημάτων άρδευσης διευθύνεται προς την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την ομοιομορφία της άρδευσης. Η ομοιομορφία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των εκτοξευτών. Αυτοί, ελέγχονται με τις δοκιμές που διενεργούνται στο εργαστήριο, σε διατάξεις δοκιμών που κατασκευάζονται και λειτουργούν με βάση τα προβλεπόμενα πρότυπα.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η δοκιμή ενός εκτοξευτή που χρησιμοποιείται ευρέως στην άρδευση επιφανειών χλοοτάπητα, σε πέντε επίπεδα πίεσης, προκειμένου να αξιολογηθεί η κατανομή του νερού στην επιφάνεια.

Παρουσιάζονται διαδικασίες αξιολόγησης της ομοιομορφίας με τη χρήση του συντελεστή Christiansen (CU) και την ομοιομορφία διανομής (DU) καθώς επίσης και άλλα μέσα αξιολόγησης όπως τα πυκνογράμματα που μπορούν να αποκαλύψουν εμφανή προβλήματα και να παρέχουν πληροφορίες απαραίτητες για σχεδιαστικές αλλαγές στο σύστημα.

Στην περίπτωση αξιολόγησης κατά Christiansen, η υψηλότερη ομοιομορφία παράγεται στην πίεση λειτουργίας P3 (550 kPa) φθάνοντας το 91% αλλά χωρίς ουσιαστική διαφορά με τις τιμές που παρήχθησαν υπό τις άλλες πιέσεις.

Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται και κατά την αξιολόγηση της DU, με την υψηλότερη ομοιομορφία να παράγεται στην πίεση λειτουργίας P3, χωρίς όμως να διαφέρει σημαντικά από τις τιμές ομοιομορφίας στις άλλες πιέσεις.

Λέξεις κλειδιά: δοκιμή εκτοξευτή, πίεση λειτουργίας, ομοιομορφία άρδευσης, άρδευση χλοοτάπητα.

Effect of sprinkler operating pressure on irrigation uniformity characteristics

ABSTRACT

The design and management of irrigation systems is aimed at solving problems related to the uniformity of irrigation. The uniformity largely depends on the construction characteristics of the sprinklers. They are tested with under trials performed in the laboratory, in testing devices that are manufactured and operate according to the prescribed standards.

The aim of this study was to test a sprinkler widely used in irrigating turf surfaces, at five pressure levels, in order to evaluate the distribution of water on the surface. Uniformity assessment procedures are performed using the Christiansen coefficient (CU) and distribution uniformity (DU) as well as other evaluation tools such as densograms that can reveal obvious problems and provide information necessary for design changes in the system.

In the case of evaluation by Christiansen, the highest uniformity is produced at operating pressure P3 (550 kPa) reaching 91% but without significant difference with the values produced under other pressures. The same picture is presented during the evaluation of DU, with the highest uniformity being produced at operating pressure P3, but without significantly differing from the uniformity values in the other pressures.

Key words: sprinkler testing, pressure level, irrigation uniformity, turfgrass irrigation.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	i
ABSTRACT.....	iii
Κατάλογος Εικόνων.....	vii
Κατάλογος Πινάκων.....	ix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	3
2.1. Συντελεστές ομοιομορφίας.....	3
2.2. Άλλες μέθοδοι.....	4
3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	11
3.1. Στοιχεία δοκιμών εκτοξευτή.....	11
3.2. Όργανα και μετρήσεις.....	12
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	15
4.1. Βροχομετρικές καμπύλες.....	15
4.2. Προσομοίωση άρδευσης πλήρους κύκλου.....	21
4.3. Προσομοίωση άρδευσης.....	27
4.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ.....	33
4.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	39
4.6. Υπολογισμός συντελεστή προγραμματισμού.....	41
4.7. Αξιολόγηση της ομοιομορφίας.....	47
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1. Η μορφή του πυκνογράμματος	5
Εικόνα 2.2. Οπτικός εντοπισμός κρίσιμης περιοχής	6
Εικόνα 2.3. Παράθυρο ελέγχου των τιμών ύψους βροχής	7
Εικόνα 3.1. Η ακτινική διάταξη των βροχομέτρων.	13
Εικόνα 4.1. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P1 = 400 kPa.	16
Εικόνα 4.2. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P2 = 480 kPa.	17
Εικόνα 4.3. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P3 = 550 kPa.	18
Εικόνα 4.4. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P4 = 620 kPa.	19
Εικόνα 4.5. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P5 = 700 kPa.	20
Εικόνα 4.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P1.	22
Εικόνα 4.7. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P2.	23
Εικόνα 4.8. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P3.	24
Εικόνα 4.9. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P4.	25
Εικόνα 4.10. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P5.	26

Εικόνα 4.11. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P1.	28
Εικόνα 4.12. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P2.	29
Εικόνα 4.13. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P3.	30
Εικόνα 4.14. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P4.	31
Εικόνα 4.15. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P5.	32
Εικόνα 4.16. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P1.	34
Εικόνα 4.17. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P2.	35
Εικόνα 4.18. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P3.	36
Εικόνα 4.19. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P4.	37
Εικόνα 4.20. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P5.	38
Εικόνα 4.21. Πυκνόγραμμα διάταξης 20x20 m για κάθε πίεση λειτουργίας.	40
Εικόνα 4.22. Συντελεστής Ομοιομορφίας CU/DU για τη διάταξη 20 x 20 m, για κάθε πίεση λειτουργίας.	48

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P1.	42
Πίνακας 4.2. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P2.	43
Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P3.	44
Πίνακας 4.4. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P4.	45
Πίνακας 4.5. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P5.	46

x

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κυριότερο ζήτημα της άρδευσης πρασίνου, είναι να διαταχθούν οι εκτοξευτές κατά τέτοιο τρόπο και στον αναγκαίο αριθμό ώστε το νερό να διανέμεται ομοιόμορφα, όπως συμβαίνει και με τη φυσική βροχόπτωση. Σε περίπτωση λανθασμένης χωροθέτησης των εκτοξευτών παρατηρούνται προβλήματα ανεπαρκούς άρδευσης (εμφάνιση πολύ υγρών περιοχών σε εναλλαγή με ξηρές περιοχές). Μετά τη χωροθέτηση θα γίνει ο προσδιορισμός της απαιτούμενης συνολικής παροχής του δικτύου και ο διαχωρισμός σε ζώνες άρδευσης. Είναι απαραίτητο ο μελετητής να κατανοεί τους περιορισμούς κάθε εκτοξευτή, καθώς επίσης και τις απαιτήσεις επικάλυψης με γειτονικούς εκτοξευτές.

Η ομοιομορφία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των εκτοξευτών. Αυτοί, ελέγχονται με τις δοκιμές που διενεργούνται στο εργαστήριο, σε διατάξεις δοκιμών που κατασκευάζονται και λειτουργούν με βάση τα προβλεπόμενα πρότυπα.

Με τους υπολογιστές να γίνονται μέρος της καθημερινής διαδικασίας λήψης αποφάσεων της διαχείρισης χλοοτάπητα, η δυνατότητα να μοντελοποιείται η αποδοτικότητα και η ποσότητα άρδευσης θα αποκτήσει όλο και μεγαλύτερη σημασία. Αυτή η δυνατότητα θα επιτρέψει την τελειοποίηση του συστήματος άρδευσης για τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του χλοοτάπητα,

ελαχιστοποιώντας παράλληλα το συνεχώς αυξανόμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και του νερού.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν η δοκιμή ενός εκτοξευτή που χρησιμοποιείται ευρέως στην άρδευση επιφανειών χλοοτάπητα, σε πέντε επίπεδα πίεσης, προκειμένου να αξιολογηθεί η κατανομή του νερού στην επιφάνεια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι αξιολόγησης της ομοιομορφίας της εφαρμογής του νερού.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται οι διαδικασίες δοκιμής και αξιολόγησης της άρδευσης του εκτοξευτή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής και των προσομοιώσεων της άρδευσης.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα και ακολουθεί η Βιβλιογραφία.

2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

2.1. Συντελεστές ομοιομορφίας

Η ομοιομορφία εφαρμογής είναι κυρίαρχου ενδιαφέροντος στην διαδικασία σχεδιασμού άρδευσης με καταιονισμό. Διάφοροι συντελεστές ομοιομορφίας διανομής χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την διανομή του νερού όπως αξιολογείται στην επί του αγρού δοκιμασία. Αρκετοί συντελεστές έχουν προταθεί από τότε που αναπτύχθηκε η άρδευση με καταιονισμό.

Ο συντελεστής που χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της ομοιομορφίας συστημάτων καταιονισμού είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας CU που αναπτύχθηκε από τον Christiansen (1942):

$$CDU = 100 \left(1 - \frac{\sum h_{\mu} - h_i}{n h_{\mu}} \right)$$

όπου:

- CU = ο συντελεστής ομοιομορφίας, (%)
 h_{μ} = ο αριθμητικός μέσος των αναγνώσεων, (mm ή mL)
 h_i = η ανάγνωση σε κάθε συλλέκτη, (mm ή mL)
 n = ο αριθμός των αναγνώσεων

Ένας χρήσιμος όρος για την ποσοτικοποίηση της ομοιομορφίας εφαρμογής είναι η Ομοιομορφία Διανομής, DU (Merriam and Keller, 1978). Η DU αξιολογεί την ομοιομορφία εφαρμογής του νερού σε όλο το αρδευόμενο αγροτεμάχιο και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$DU = \frac{h_{25\%}}{h_{\mu}} \times 100$$

όπου:

- DU = Η Ομοιομορφία διανομής, (%)
 $h_{25\%}$ = Το μέσο ύψος νερού του 25% των χαμηλότερων υψών, (mm)
 h_{μ} = Το μέσο ύψος νερού του συνόλου των υψών, (mm)

Το μέσο ύψος του 25% των χαμηλότερων υψών είναι η μέση τιμή του 25% των χαμηλότερων τιμών που μετρήθηκαν, όπου κάθε τιμή αντιπροσωπεύει μίαν ίση επιφάνεια.

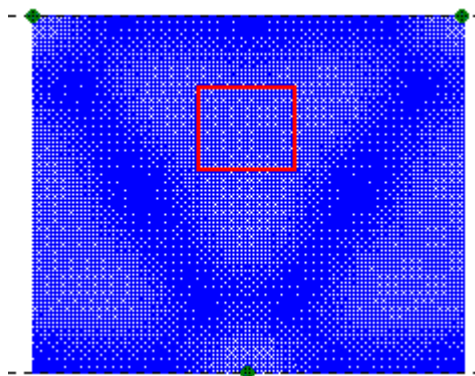
2.2. Άλλες μέθοδοι

Τα πυκνογράμματα και ο συντελεστής προγραμματισμού είναι δύο νέα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει μια προεπισκόπηση στον υπολογιστή για το πώς συγκεκριμένοι συνδυασμοί εκτοξευτών, πιέσεων και αποστάσεων θα αρδεύουν το χλοοτάπητα.

Πυκνόγραμμα

Ένας μη ποσοτικός τρόπος εξέτασης της περιοχής αλληλεπικάλυψης είναι να η γραφική απεικόνιση χρησιμοποιώντας μια τεχνική σκίασης, το «πυκνόγραμμα». Ένα πυκνόγραμμα είναι ένα μοτίβο κουκκίδων που δείχνει την αναμενόμενη κάλυψη

από έναν συγκεκριμένο συνδυασμό εκτοξευτών, ακροφυσίων, πίεσης και απόστασης (Εικ. 2.1).



Εικόνα 2.1. Η μορφή του πυκνογράμματος

Τα πυκνογράμματα και ο συντελεστής προγραμματισμού προσφέρουν στους διαχειριστές της άρδευσης την ευκαιρία να «δοκιμάσουν» τον σχεδιασμό του συστήματος καταιονισμού και να λύσουν τα προβλήματα προτού αυτά καλυφθούν.

Τα πυκνογράμματα και ο συντελεστής προγραμματισμού είναι δύο νέα εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει μια προεπισκόπηση στον υπολογιστή για το πώς συγκεκριμένοι συνδυασμοί εκτοξευτών και αποστάσεων θα αρδεύουν το χλοοτάπητα. Η οπτικοποίηση της κάλυψης διευκολύνει την επιλογή του καλύτερου εξοπλισμού.

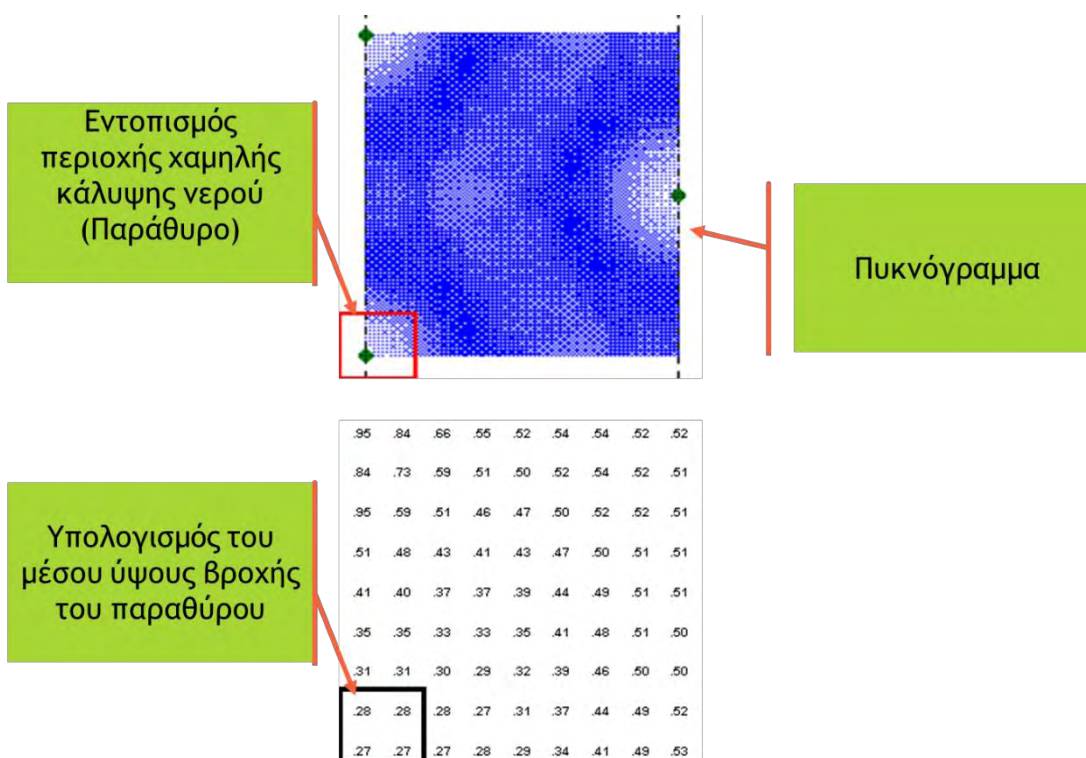
Συντελεστής προγραμματισμού

Ο συντελεστής προγραμματισμού είναι ένας αριθμός που σχετίζεται με την ομοιομορφία της κάλυψης και τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος για την επαρκή άρδευση της περιοχής του χλοοτάπητα.

Ο συντελεστής προγραμματισμού είναι ένας αριθμητικός δείκτης της ομοιομορφίας άρδευσης που αναπτύχθηκε για την άρδευση του χλοοτάπητα. Βασίζεται στην κρίσιμη περιοχή (λιγότερο εφαρμοζόμενο νερό) του χλοοτάπητα, επειδή στην

άρδευση του χλοοτάπητα συνηθίζεται η εφαρμογή νερού στην κρίσιμη περιοχή μέχρι αυτή να διαβραχεί επαρκώς.

Για να υπολογισθεί ο συντελεστής προγραμματισμού, πρέπει να βρεθεί πρώτα η κρίσιμη περιοχή στο μοτίβο εφαρμογής νερού (κατανομή). Αυτή είναι η περιοχή που λαμβάνει τη μικρότερη ποσότητα νερού (Εικ. 2.2). Η ποσότητα νερού που εφαρμόζεται σε αυτή τη κρίσιμη περιοχή διαιρείται με τη μέση ποσότητα νερού που εφαρμόζεται σε ολόκληρη την αρδευόμενη περιοχή. Το αποτέλεσμα είναι ο συντελεστής προγραμματισμού.



Εικόνα 2.2. Οπτικός εντοπισμός κρίσιμης περιοχής

Οι συντελεστής προγραμματισμού θα είναι αριθμός μεγαλύτερος της μονάδας, όπως 1,5, 2,2 και ούτω καθεξής. Εάν επιτευχθεί τέλεια ομοιομορφία, ο συντελεστής προγραμματισμού θα είναι 1,0.

Το παράθυρο μπορεί να είναι οποιουδήποτε μεγέθους, αλλά το 2%, το 5% και το 10% της περιοχής επικάλυψης αντιπροσωπεύουν τιμές πρακτικού ενδιαφέροντος. Η δυνατότητα διαμόρφωσης του παραθύρου σε διάφορα μεγέθη επιτρέπει την ανάλυση ευαισθησίας της προβληματικής περιοχής (Εικ. 2.3). Αυτό δίνει στον ειδικό των αρδεύσεων τα μέσα για τη σύγκριση μεταβολών στη συνολική αποδοτικότητα της άρδευσης με συγκεκριμένες μεταβολές στο μέγεθος του παραθύρου. Με άλλα λόγια, δίδεται η δυνατότητα ποσοτικοποίησης του μεγέθους του προβλήματος.

.95	.84	.66	.55	.52	.54	.54	.52	.52
.84	.73	.59	.51	.50	.52	.54	.52	.51
.95	.59	.51	.46	.47	.50	.52	.52	.51
.51	.48	.43	.41	.43	.47	.50	.51	.51
.41	.40	.37	.37	.39	.44	.49	.51	.51
.35	.35	.33	.33	.35	.41	.48	.51	.50
.31	.31	.30	.29	.32	.39	.46	.50	.50
.28	.28	.28	.27	.31	.37	.44	.49	.52
.27	.27	.27	.28	.29	.34	.41	.49	.53

Εικόνα 2.3. Παράθυρο ελέγχου των τιμών ύψους βροχής

Παραδοσιακά, οι συνδυασμοί εκτοξευτών και αποστάσεων επιλέγονται βάσει προηγούμενης εμπειρίας ή ανάλυσης στον υπολογιστή των αποτελεσμάτων δοκιμής εκτοξευτών. Η προηγούμενη εμπειρία είναι ίσως ο πιο αξιόπιστος οδηγός για την επιλογή εκτοξευτών και αποστάσεων, αλλά αυτή η εμπειρία δεν υπάρχει πάντα. Η ανάλυση στον υπολογιστή των αποτελεσμάτων των δοκιμών αναπτύχθηκε αρχικά για την γεωργική άρδευση. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, μετράται η ένταση βροχής του νερού σε διάφορες αποστάσεις από τον εκτοξευτή. Στη συνέχεια γίνεται επικάλυψη των τομέων διαβροχής των μεμονωμένων εκτοξευτών στην επιλεγμένη απόσταση και προσομοιώνεται η κάλυψη της υπό μελέτη επιφάνειας.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας (CU) προσδιορίζεται από τη στατιστική ανάλυση της διαβρεχόμενης επιφάνειας. Όσο υψηλότερη είναι η CU, τόσο πιο ομοιόμορφη είναι η εφαρμογή νερού. Η ιδανική CU είναι 100%, αλλά αυτό είναι ανέφικτο - ακόμη και η βροχόπτωση δεν είναι 100% ομοιόμορφη.

Η CU είναι ένα ευρέως αναγνωρισμένο εργαλείο αξιολόγησης της κάλυψης, αλλά ορισμένοι διαχειριστές χλοοτάπητα τον επικρίνουν επειδή αντιμετωπίζει τις περιοχές που έχουν υπερβολική υγρασία και τις υπο-αρδευόμενες περιοχές το ίδιο. Οι διαχειριστές χλοοτάπητα γενικά ενδιαφέρονται περισσότερο για την αντιμετώπιση των ξηρών κηλίδων από τις υγρές κηλίδες.

Στο Εργαστήριο Αρδεύσεων υπολογίζεται η CU σε εκτοξευτές, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης τα πυκνογράμματα και ο συντελεστής προγραμματισμού για να αξιολογηθούν καλύτερα οι συνδυασμοί εκτοξευτών και αποστάσεων μεταξύ αυτών. Οι περισσότεροι άνθρωποι κατανοούν ευκολότερα την απεικόνιση των άρδευσης μέσω των πυκνογραμμάτων. Αντίθετα, μόνο όσοι είναι πολύ εξοικειωμένοι με την ανάλυση ομοιομορφίας της άρδευσης κατανοούν εύκολα τη σημασία των αριθμών.

Αμφότερες οι έννοιες του πυκνόγραμματος και του συντελεστή προγραμματισμού προορίζονται για χρήση με κατανομές άρδευσης που παράγονται στον υπολογιστή, βασισμένες σε δοκιμές μεμονωμένων εκτοξευτών στο εργαστήριο (αν και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με δεδομένα αξιολόγησης που συγκεντρώθηκαν στο πεδίο).

Σε αντίθεση με τον CU, ο συντελεστής προγραμματισμού δεν μετρά τη μέση ομοιομορφία. Αντιθέτως, αποτελεί μια άμεση ένδειξη της ξηρότητας των ξηρότερων περιοχών χλοοτάπητα (κρίσιμες περιοχές). Ο αριθμός ονομάζεται συντελεστής προγραμματισμού επειδή παίζει άμεσο ρόλο στον καθορισμό της διάρκειας της άρδευσης.

Ο συντελεστής προγραμματισμού υποδεικνύει την ποσότητα επιπλέον νερού που απαιτείται για την επαρκή άρδευση της κρίσιμης περιοχής. Για παράδειγμα, αν υποτεθεί ότι η μέση ένταση βροχής του συστήματος άρδευσης θα ικανοποιούσε τον χλοοτάπητα με έναν κύκλο άρδευσης 30 λεπτών. Αν η κατανομή της άρδευσης ήταν απολύτως ομοιόμορφη, ένας χρόνος άρδευσης 30 λεπτών θα έδινε στον χλοοτάπητα την απαραίτητη ποσότητα νερού. Ωστόσο, η κατανομή του νερού από το σύστημα άρδευσης δεν είναι απόλυτα ομοιόμορφη.

3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Στοιχεία δοκιμών εκτοξευτή

Η δοκιμή διεξήχθη στο Εργαστήριο Αρδεύσεων του Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας στη Λάρισα. Έλαβε χώρα σε εξωτερικό πεδίο δοκιμών του Εργαστηρίου σε συνθήκες νηνεμίας.

Στη διάταξη δοκιμής τοποθετήθηκε ένας εκτοξευτής και λειτούργησε σε 5 επίπεδα πίεσης. Σε κάθε επίπεδο πίεσης η διάταξη λειτουργούσε για 30 λεπτά.

Οι συλλέκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή του νερού (ηλεκτρονικά βροχόμετρα τύπου tipping-bucket) που παρέχεται από έναν εκτοξευτή είναι κυλινδρικοί, ομοιόμορφου σχήματος και διαστάσεων και οι αιχμές των ανοιγμάτων τους είναι αιχμηρές και χωρίς παραμορφώσεις. Η διάμετρος του ανοίγματος του συλλέκτη που πρέπει να είναι μισή έως μια φορά το ύψος του, ήταν 12 cm.

Το ύψος των ακροφυσίων από τα βροχόμετρα καθώς επίσης και η απόσταση των βροχόμετρων από την επιφάνεια του εδάφους μπορεί να ρυθμιστεί σύμφωνα με τις συνθήκες, κάτω από τις οποίες θέλουμε να πραγματοποιήσουμε την δοκιμή.

Η επιφάνεια δοκιμής όπου τοποθετήθηκαν οι συλλέκτες είναι επίπεδη (μια μέγιστη κλίση 1 % για την επιφάνεια δοκιμής είναι αποδεκτή). Είναι ελεύθερη από εμπόδια που μπορεί να σταματήσουν την ελεύθερη κατανομή του νερού.

Για την πραγματοποίηση των δοκιμών παροχετεύεται στο σύστημα νερό από δεξαμενή, μέσω αντλίας. Η μονάδα ελέγχου της διάταξης περιλαμβάνει:

- έναν ηθμό δίσκων 200 mesh,
- έναν ρυθμιστή που μείωνε την πίεση εισόδου και την διατηρούσε σταθερή στην έξοδό του σε ένα χαμηλότερο επίπεδο, το οποίο μπορούσε να μεταβληθεί σε κάθε περίπτωση, μέσω χειρισμού ειδικού κοχλία. Ο έλεγχος της πίεσης ανάντη και κατάντη του ρυθμιστή πίεσης γινόταν με μηχανικά μανόμετρα.
- ένα υδρόμετρο για την καταγραφή της συνολικής ποσότητας νερού,

3.2. Όργανα και μετρήσεις

Η πίεση λειτουργίας της διάταξης δοκιμής μετράται από μανόμετρο, το οποίο είναι τοποθετημένο στο σωλήνα τοποθέτησης του εκτοξευτή, στο ύψος του ακροφυσίου.

Η πίεση δοκιμής μετρήθηκε σε ένα ύψος του κυρίως ακροφυσίου του υπό δοκιμή εκτοξευτή. Το σημείο στο οποίο η πίεση μετράται πρέπει να είναι τουλάχιστον 20 cm ανάντη του εκτοξευτή, έτσι ώστε η μετρούμενη πίεση να μην επηρεάζεται από οιαδήποτε τοπική μεταβολή. Κανένα εξάρτημα ή μηχανισμός που μπορεί πιθανόν να προκαλέσει πτώση της πίεσης δεν τοποθετήθηκε μεταξύ του σημείου μέτρησης της πίεσης και του εκτοξευτή.

Η πίεση δεν μεταβλήθηκε περισσότερο από ± 4 % κατά την διάρκεια της δοκιμής. Η επιτρεπόμενη απόκλιση των μετρητικών συσκευών από την πραγματική τιμή δεν υπερβαίνει το ± 2 %.

Η διάταξη των βροχομέτρων και η γενικότερη συνθήκη της δοκιμής παρουσιάζεται στην Εικ. 3.1.



Εικόνα 3.1. Η ακτινική διάταξη των βροχομέτρων.

Επεξεργασία δεδομένων

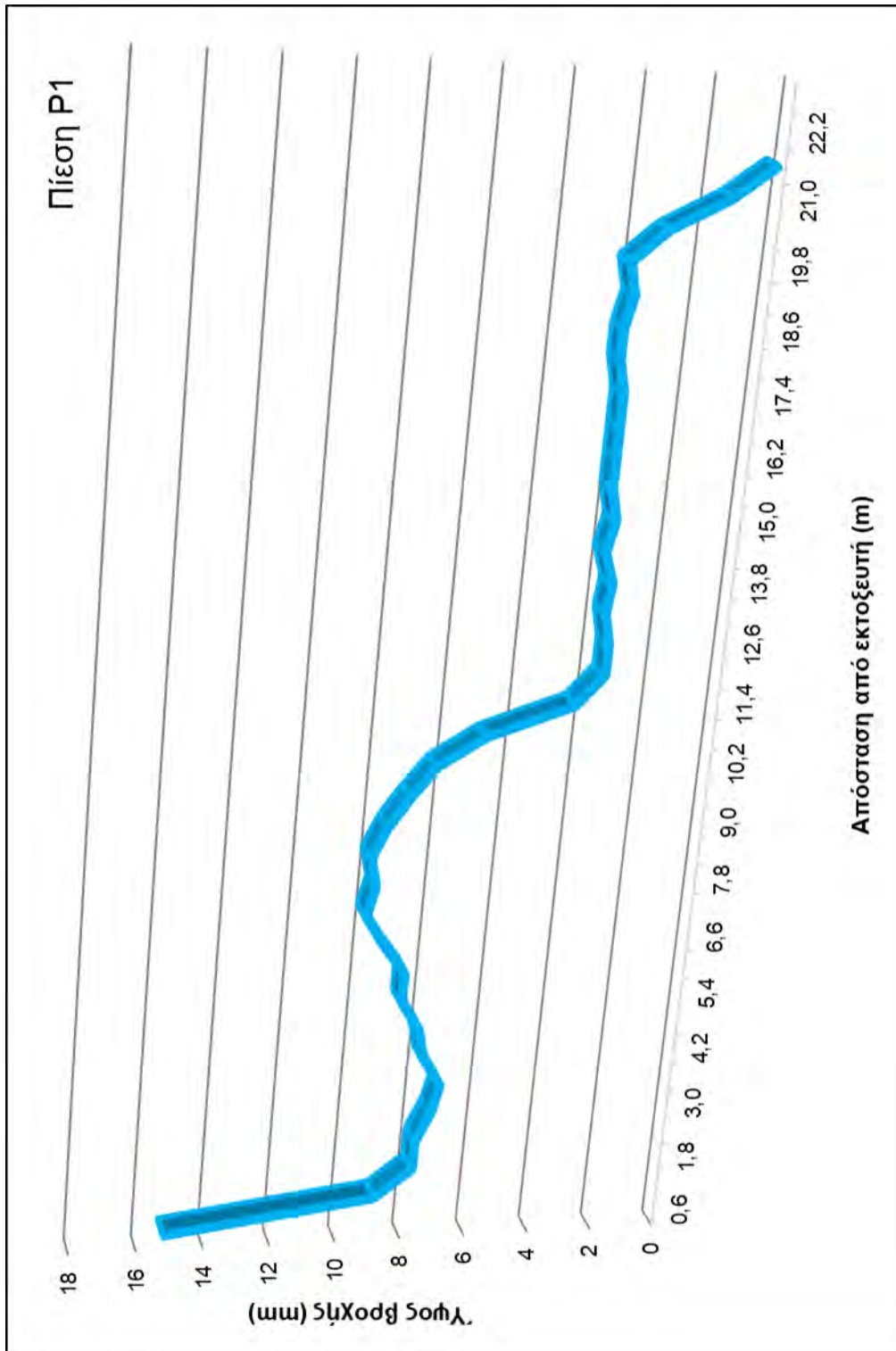
Η διαδικασία υπολογισμών, προσομοίωσης και αξιολόγησης περιλάμβανε τα ακόλουθα βήματα:

- Από τα ύψη βροχής κατασκευάστηκαν οι βροχομετρικές καμπύλες.
- Με βάση τα μετρημένα ύψη βροχής (βροχομετρικές καμπύλες) έγινε προσομοίωση άρδευσης πλήρους κύκλου.
- Με βάση τα μετρημένα ύψη βροχής, έγινε προσομοίωση άρδευσης με 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου, σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m.
- Αξιολόγηση με συχνότητα υψών βροχής
- Αξιολόγηση με πυκνογράμματα
- Υπολογισμός συντελεστή προγραμματισμού
- Αξιολόγηση της ομοιομορφίας

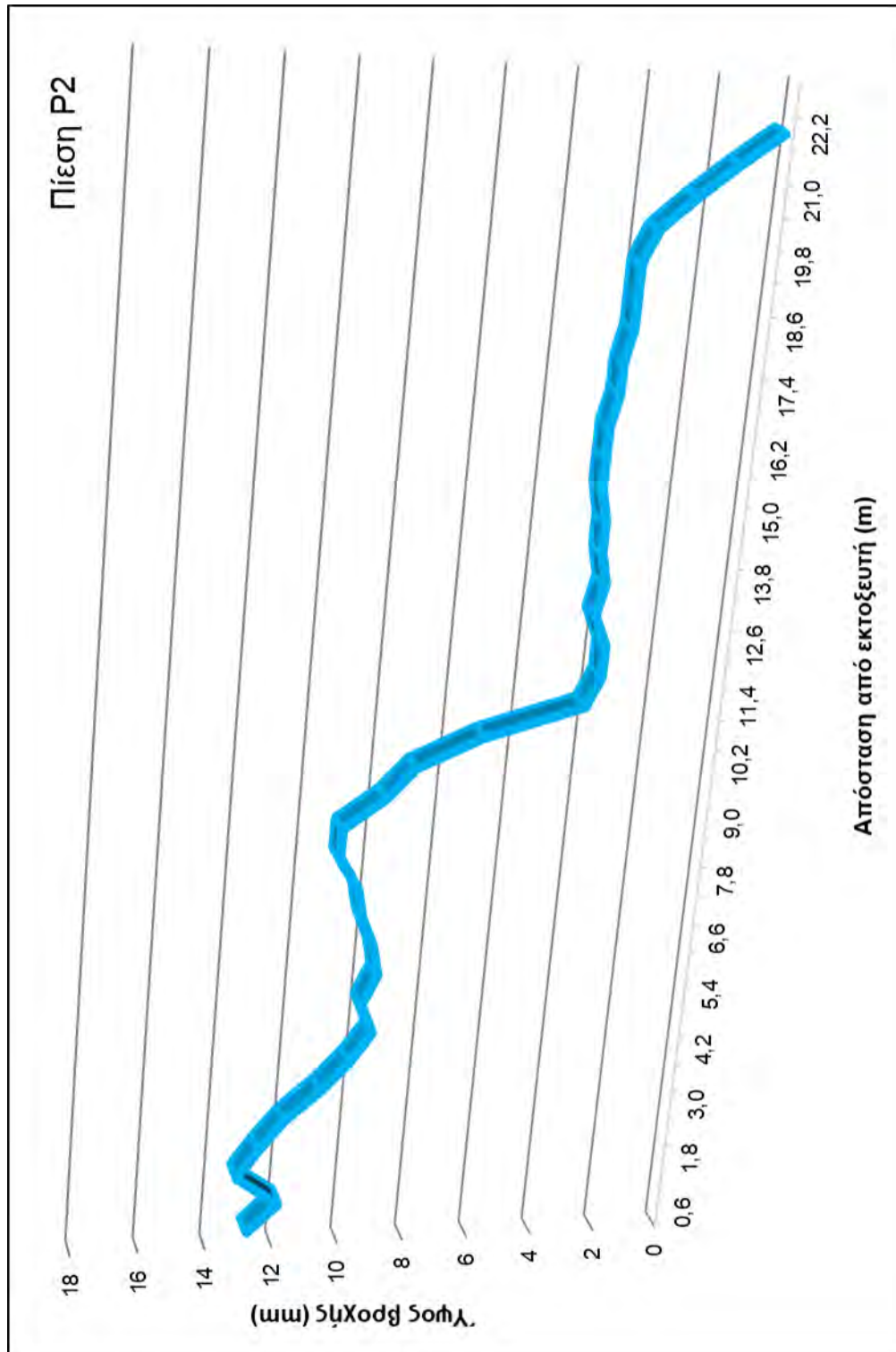
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Βροχομετρικές καμπύλες

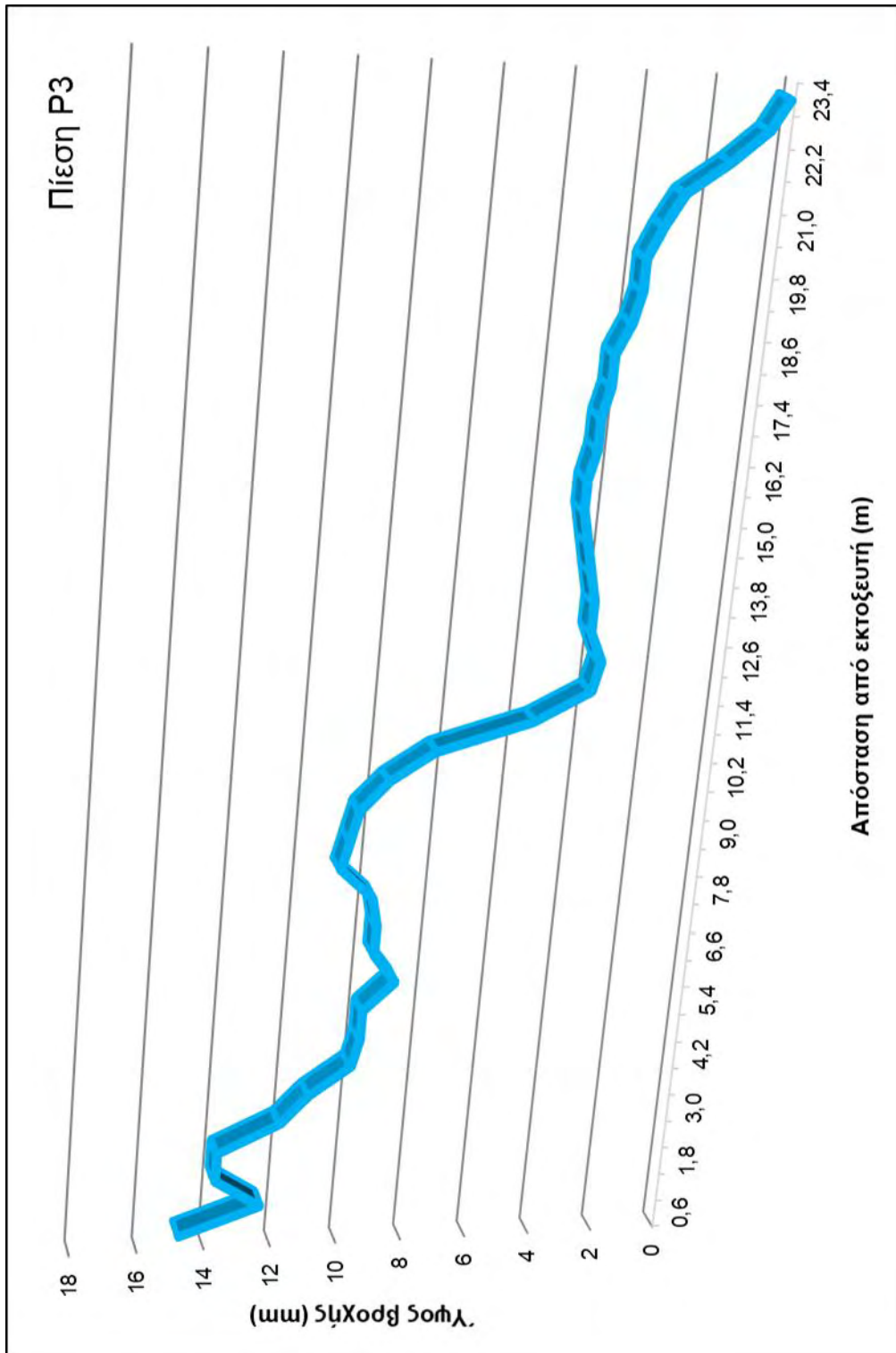
Με βάση τα μετρημένα ύψη βροχής σε κάθε βροχόμετρο, κατασκευάστηκε η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή για κάθε πίεση λειτουργίας.



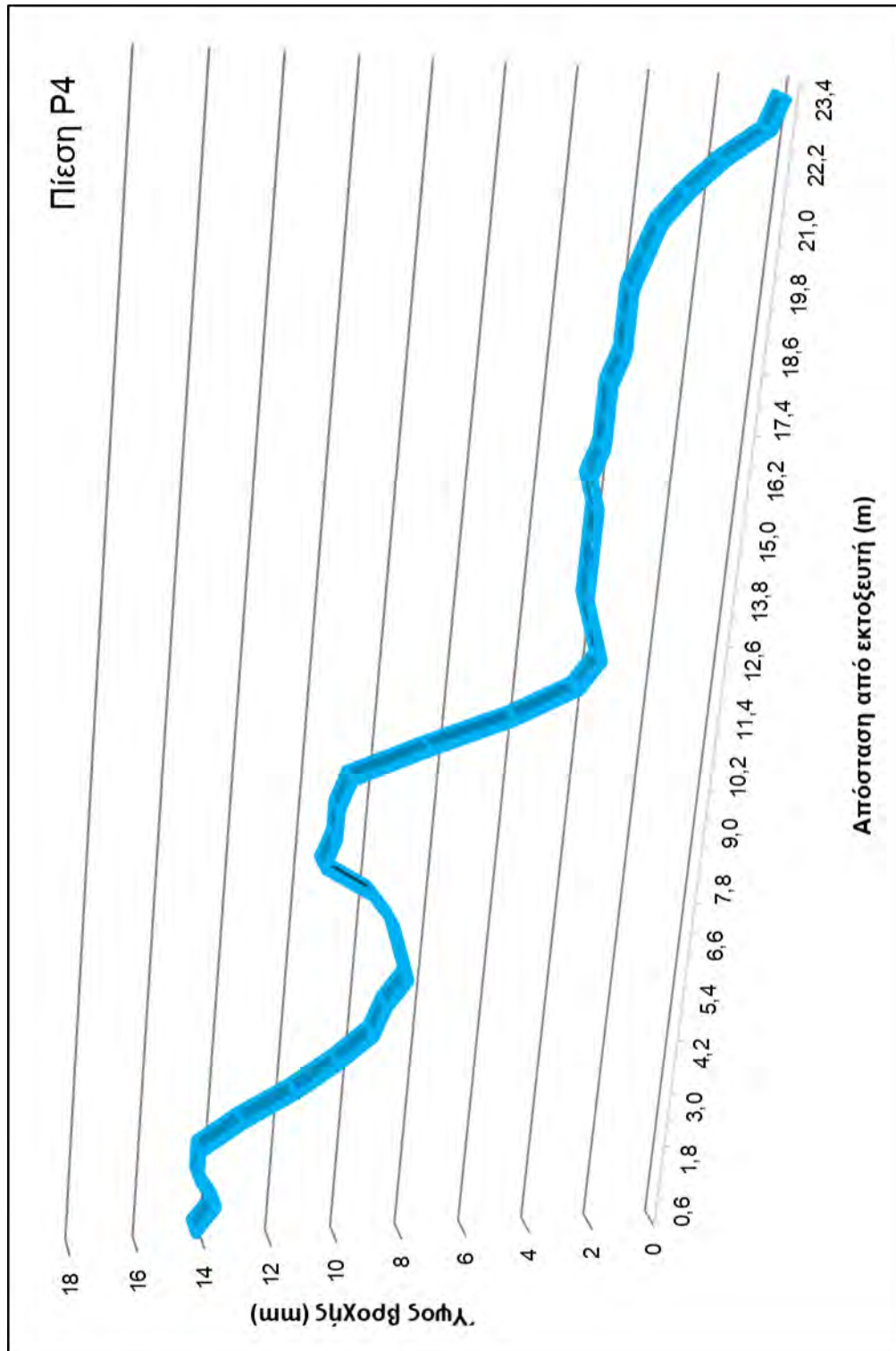
Εικόνα 4.1. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P1 = 400 kPa.



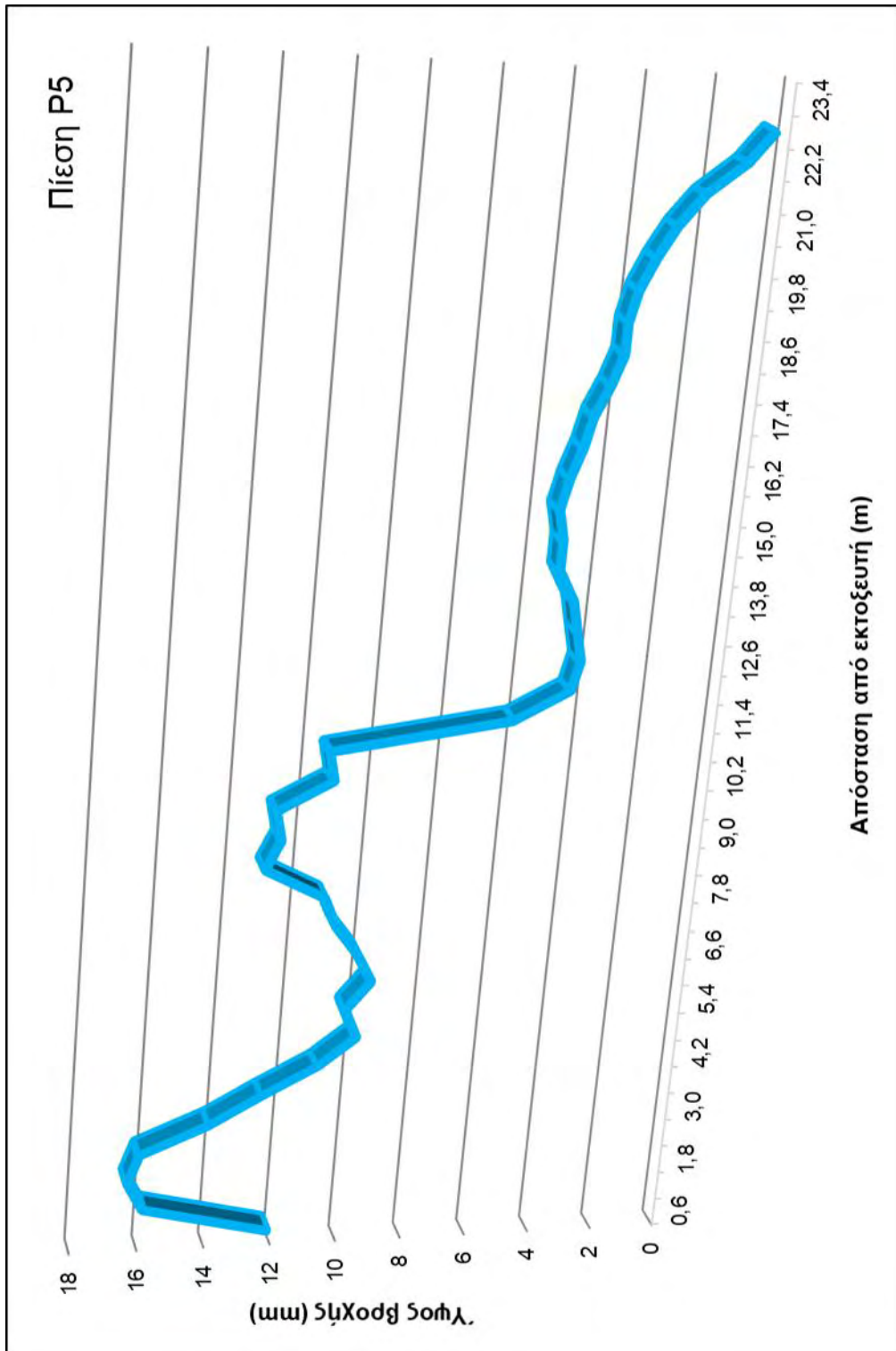
Εικόνα 4.2. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P2 = 480 kPa.



Εικόνα 4.3. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P3 = 550 kPa.



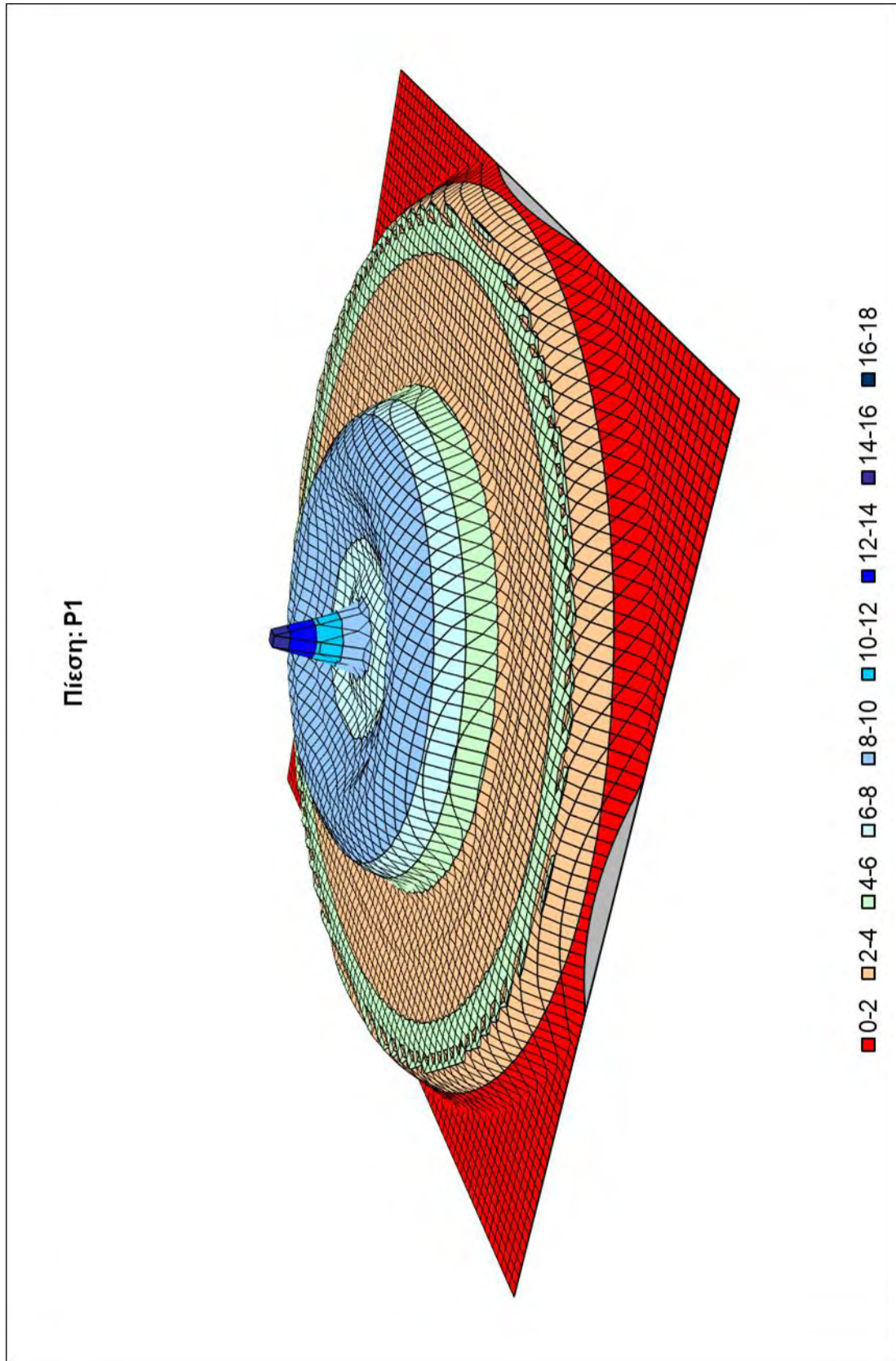
Εικόνα 4.4. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P4 = 620 kPa.



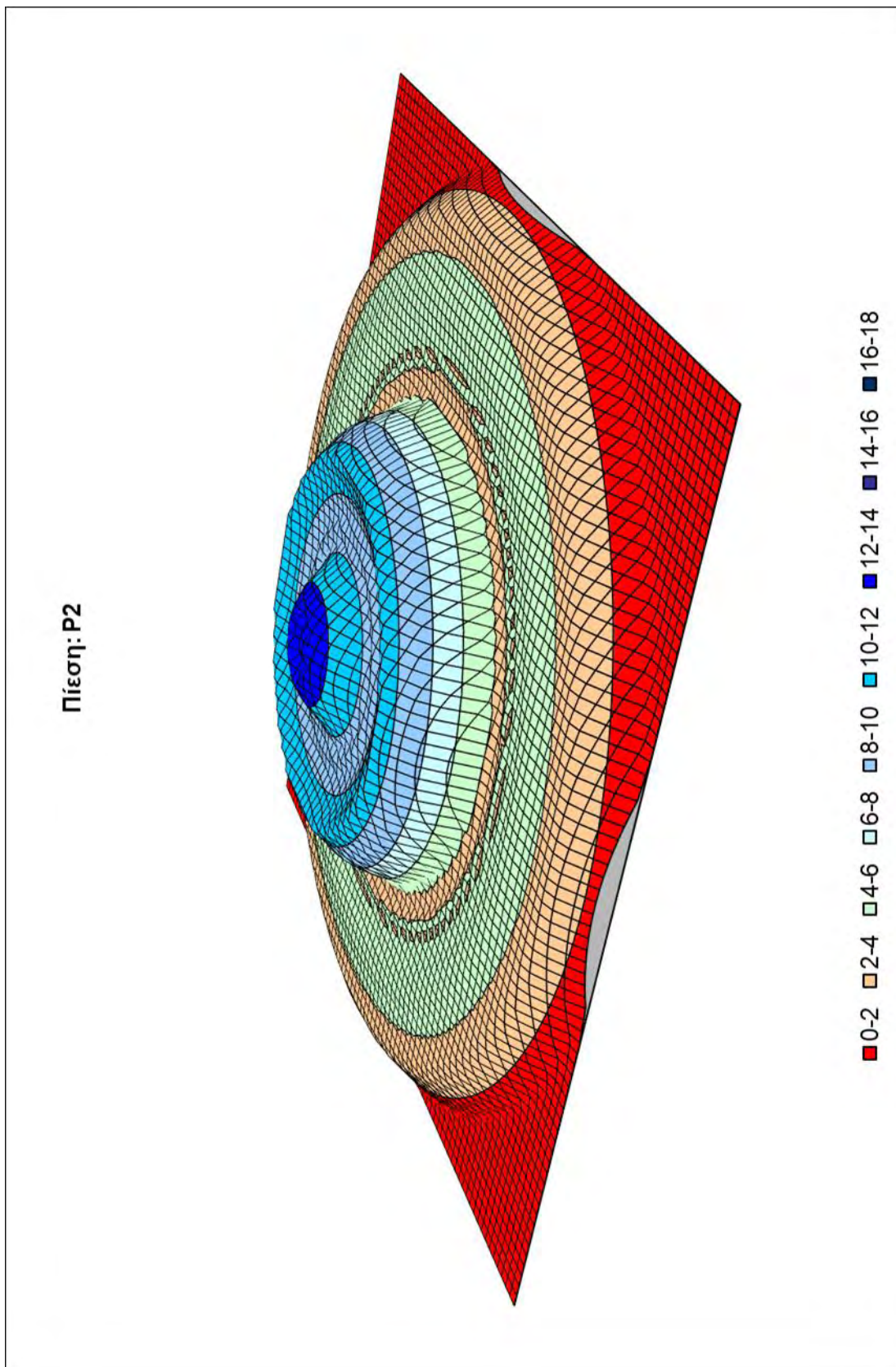
Εικόνα 4.5. Η βροχομετρική καμπύλη του εκτοξευτή σε πίεση P5 = 700 kPa.

4.2. Προσομοίωση άρδευσης πλήρους κύκλου

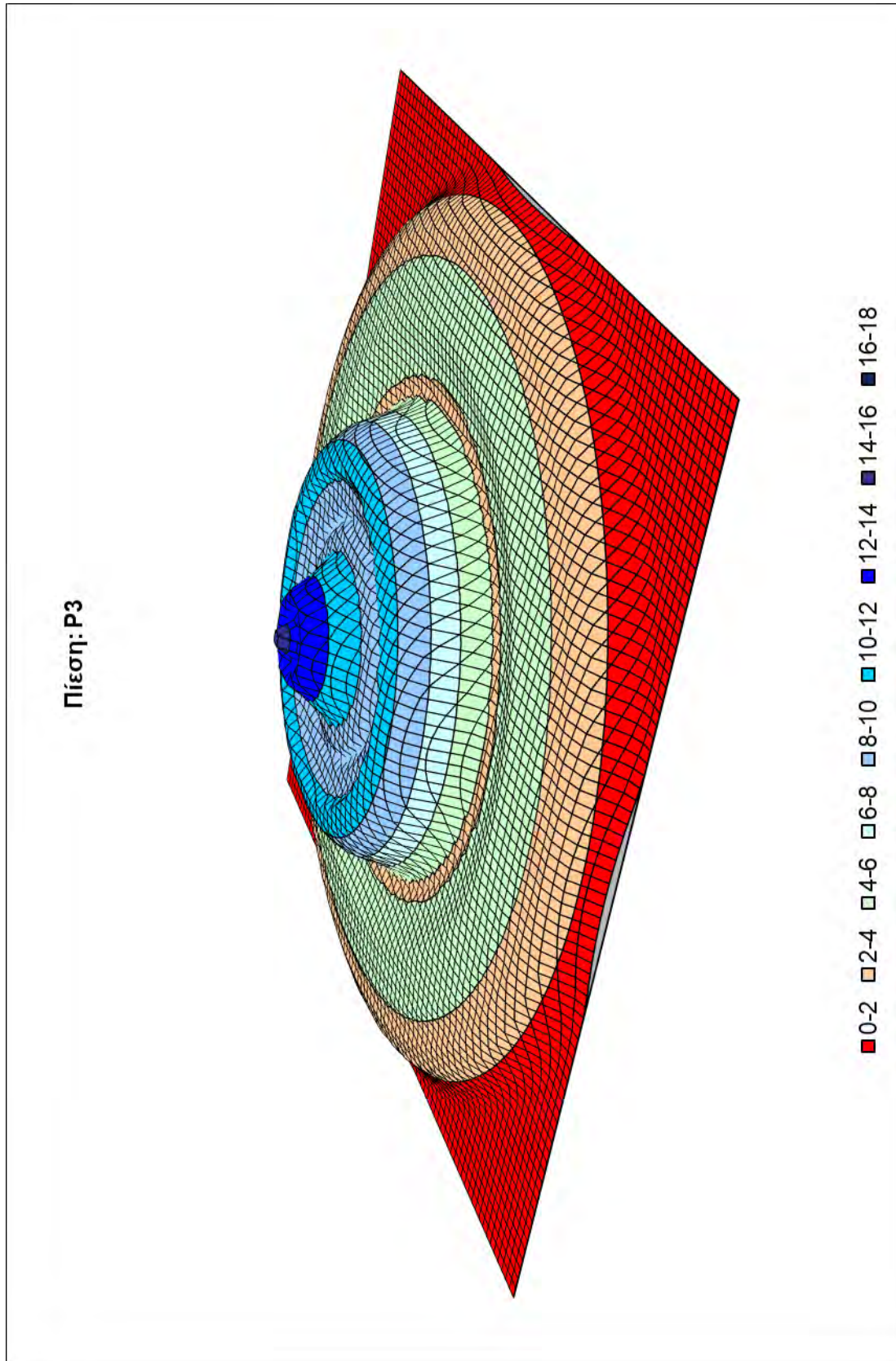
Με βάση τα μετρημένα ύψη βροχής (βροχομετρικές καμπύλες), υπολογίσθηκαν οι ποσότητες του νερού που θα συλλέγονταν στους συλλέκτες, αν ο εκτοξευτής λειτουργούσε αρδύοντας πλήρη κύκλο (360°) και κατασκευάσθηκαν (προσομοίωση) διάγραμμα 3διάστατης απεικόνισης της κατανομής του νερού από τον εκτοξευτή σε κάθε πίεση λειτουργίας (Εικ. 4.6 έως 4.10)



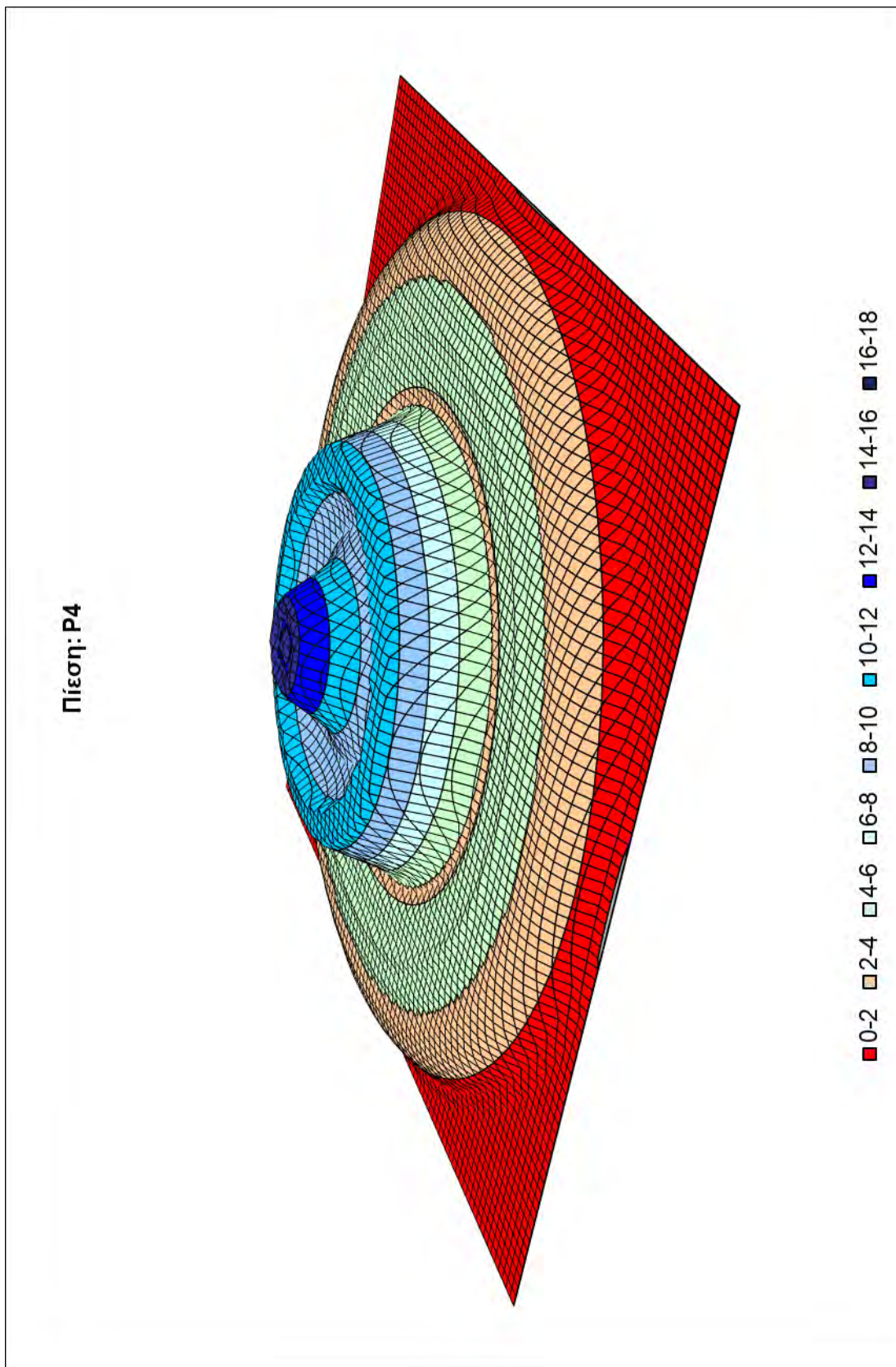
Εικόνα 4.6. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P1.



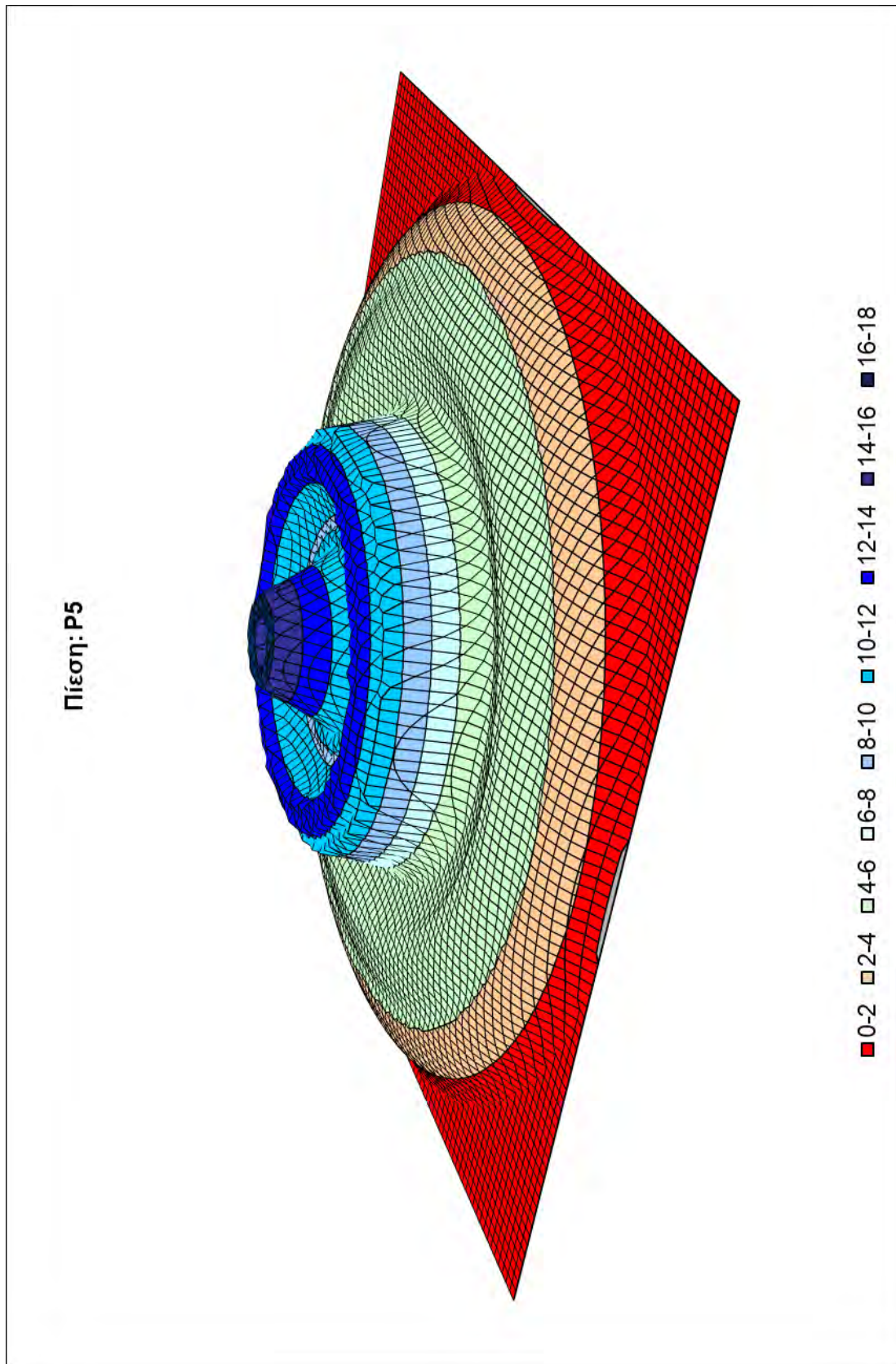
Εικόνα 4.7. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P2.



Εικόνα 4.8. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P3.



Εικόνα 4.9. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P4.

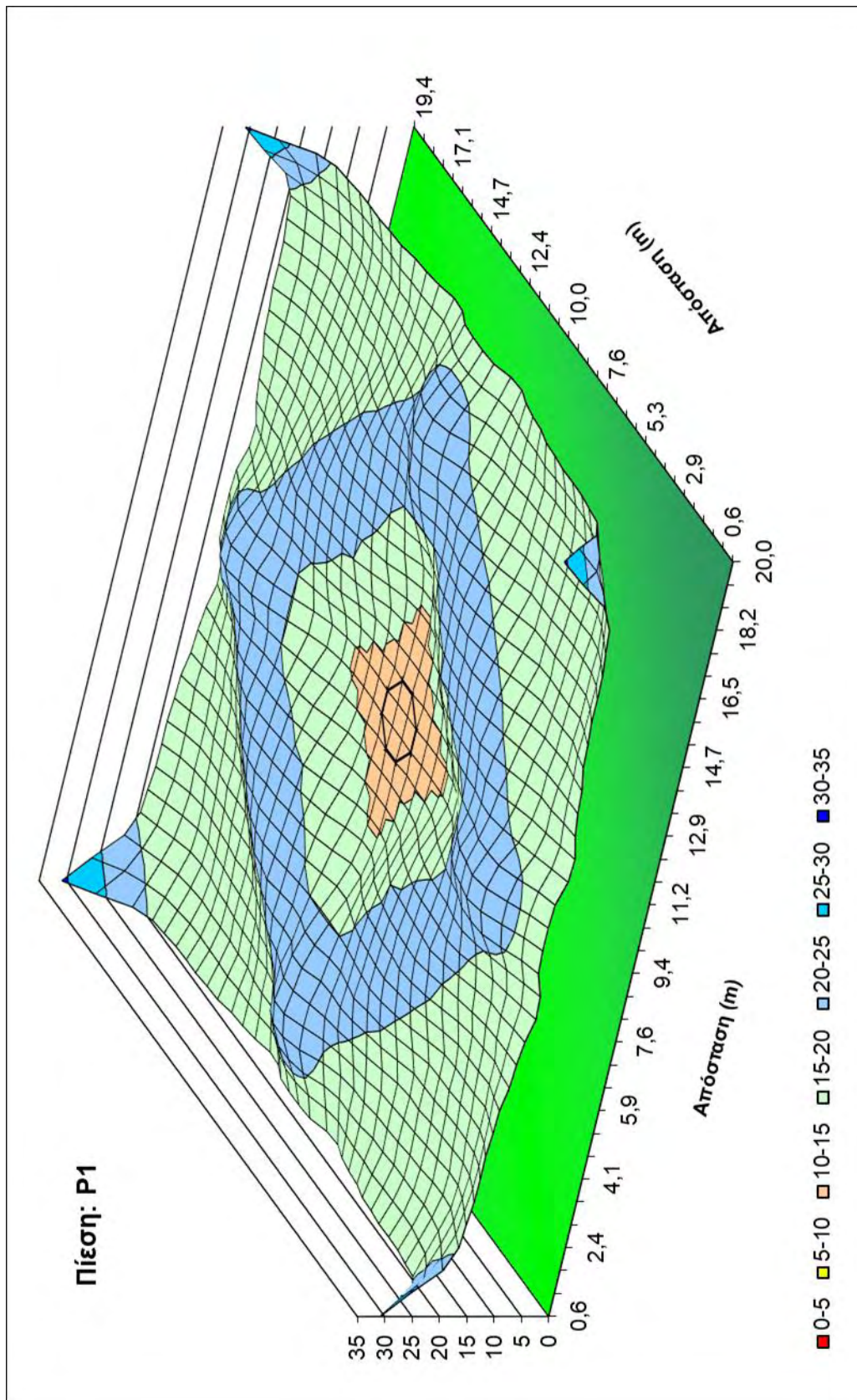


Εικόνα 4.10. Τρισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής νερού από έναν εκτοξευτή πλήρους κύκλου σε πίεση P5.

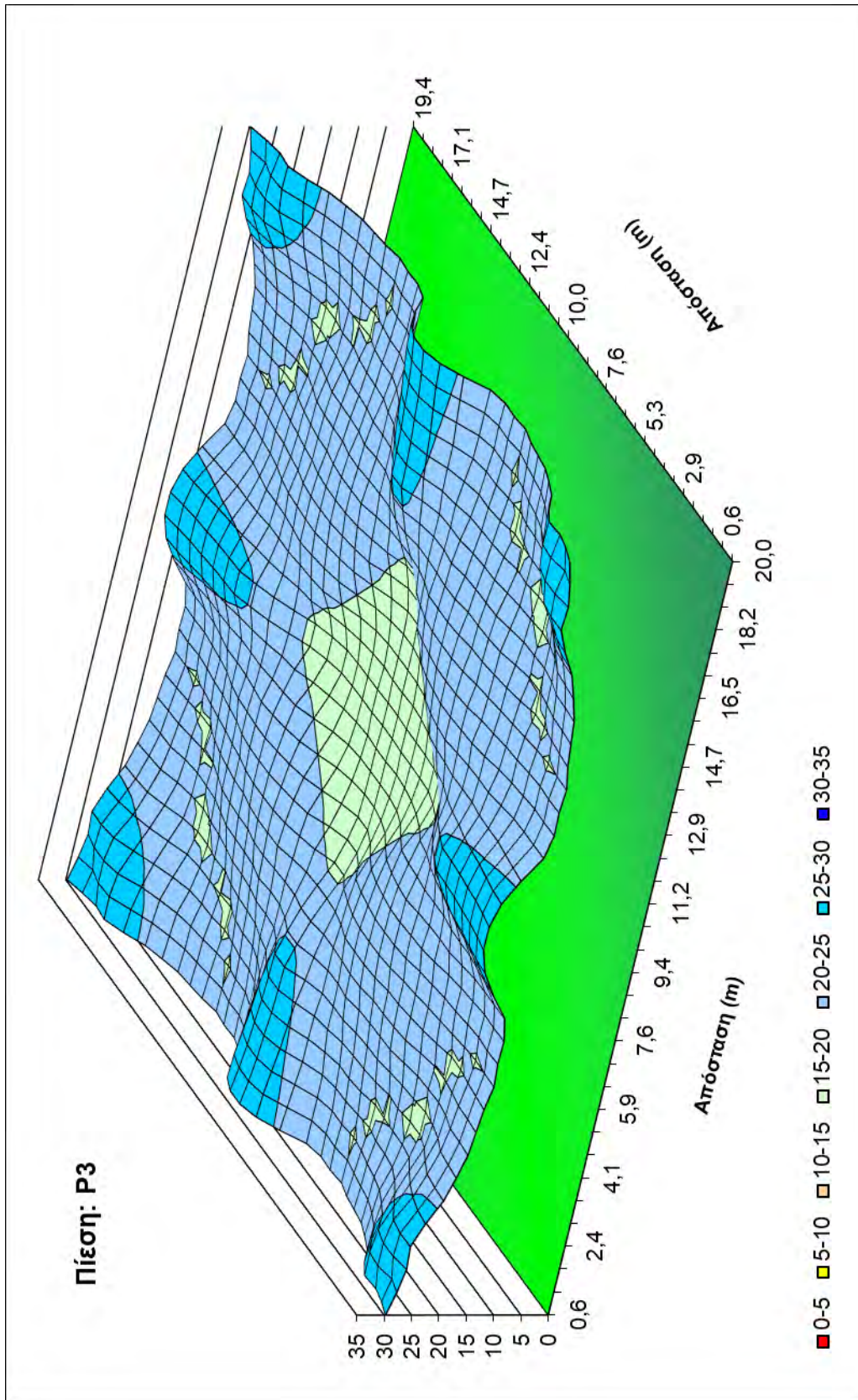
4.3. Προσομοίωση άρδευσης

Με βάση τα προηγούμενα ύψη βροχής, υπολογίσθηκαν οι ποσότητες του νερού που θα συλλέγονταν στους συλλέκτες, αν λειτουργούσαν 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου, τοποθετημένοι σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m, κατασκευάσθηκαν διαγράμματα 3διάστατης απεικόνισης της κατανομής και υπολογίσθηκε η ομοιομορφία.

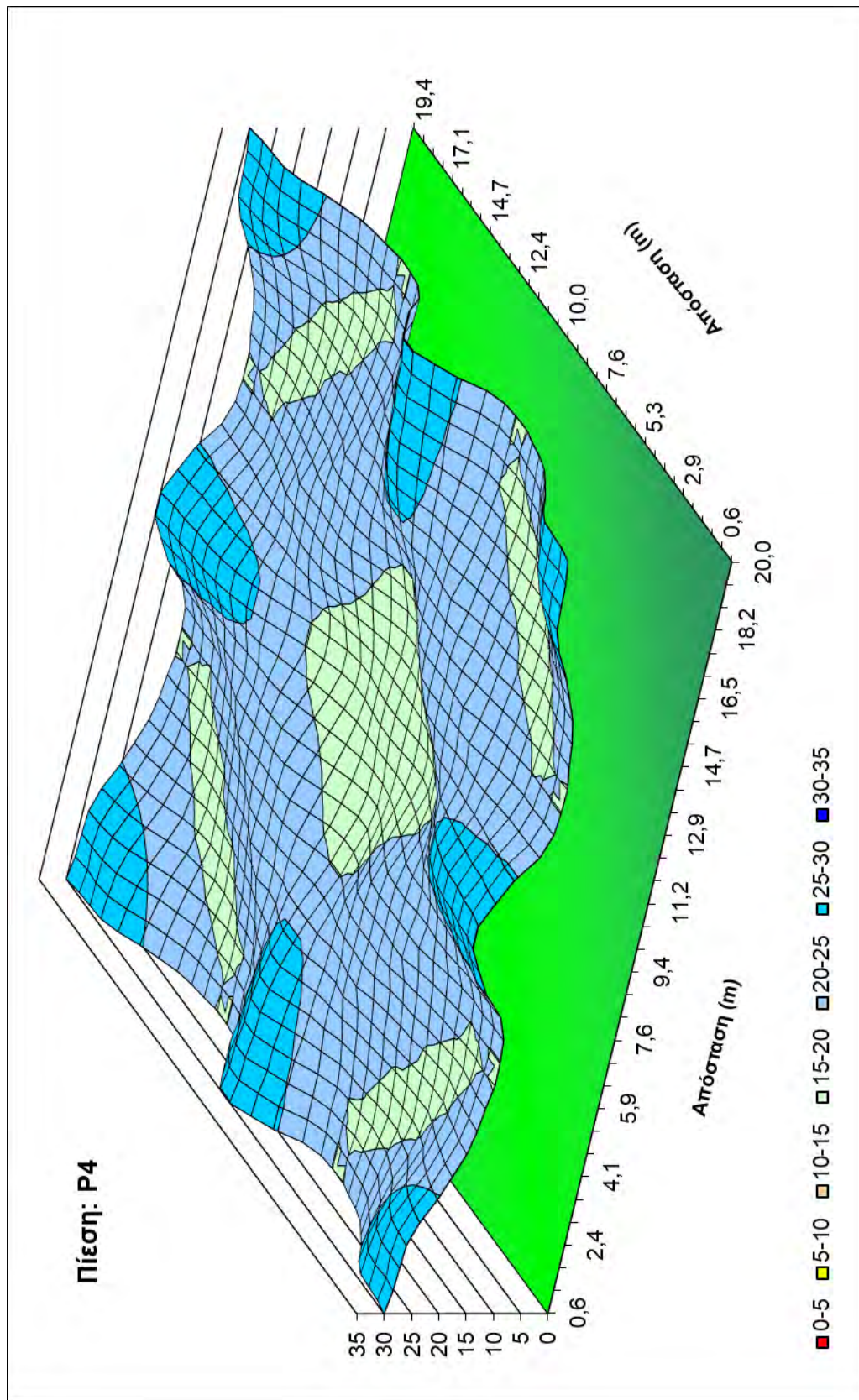
Τα διαγράμματα 3διάστατης απεικόνισης της κατανομής παρουσιάζονται στις Εικ. 4.11 έως 4.15 που ακολουθούν.



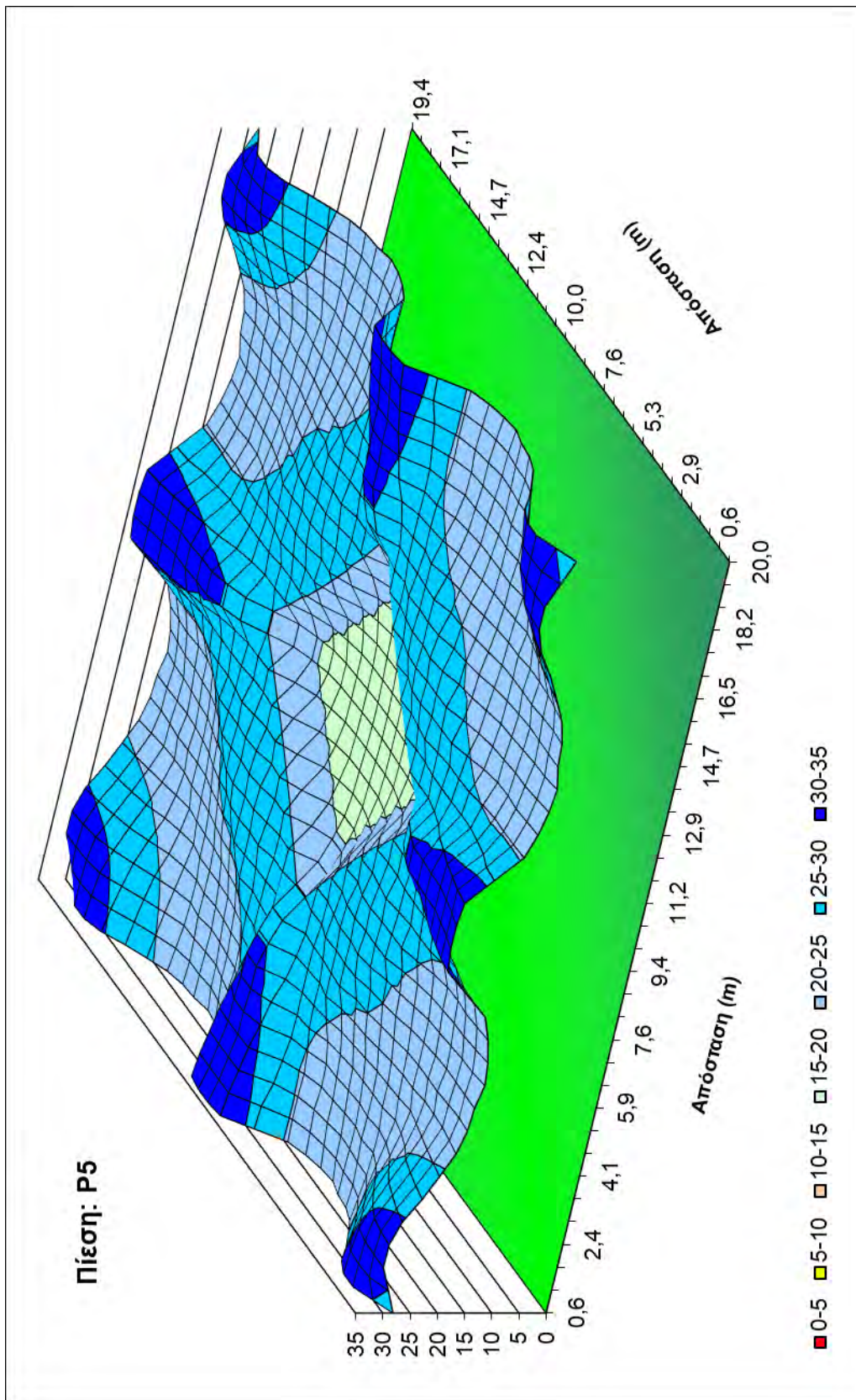
Εικόνα 4.11. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P1.



Εικόνα 4.13. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P3.



Εικόνα 4.14. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P4.



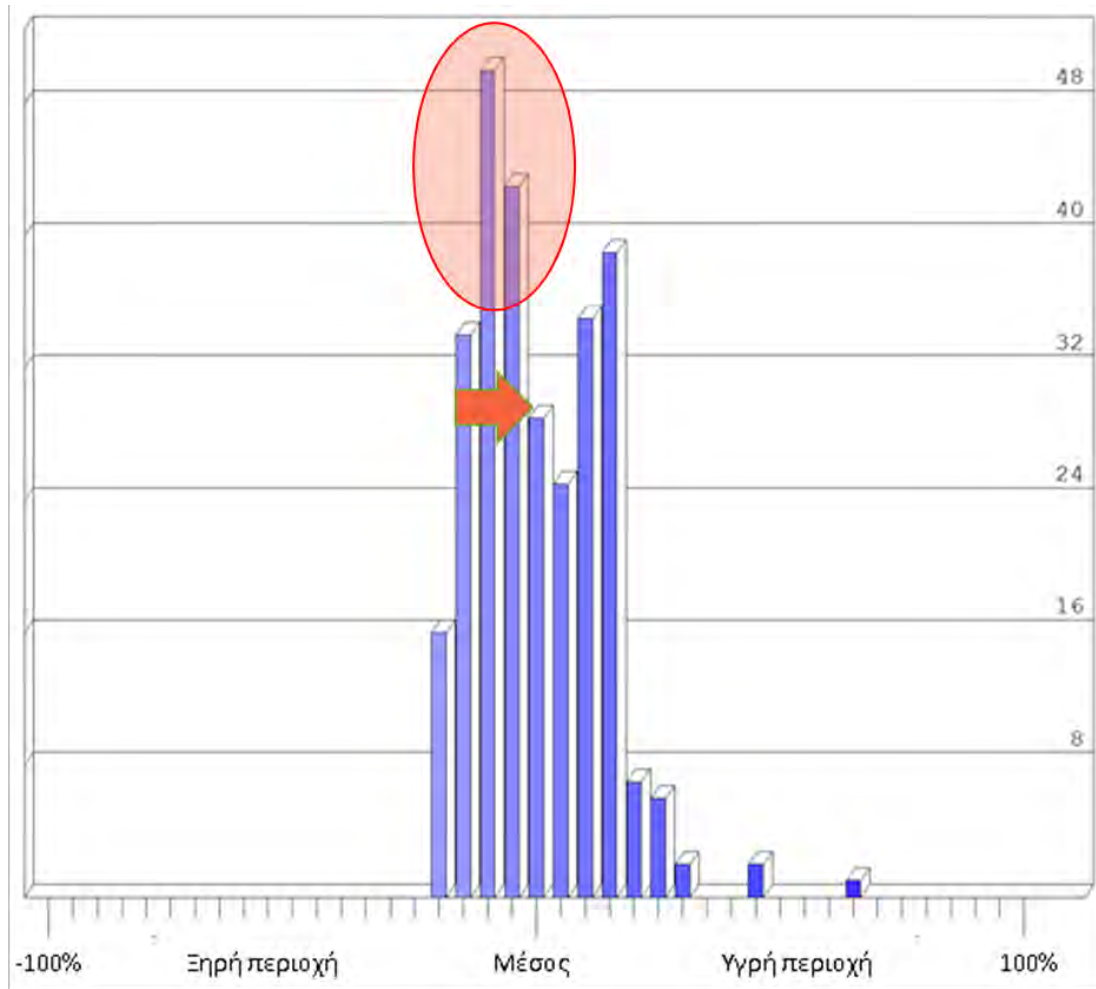
Εικόνα 4.15. Η κατανομή νερού από 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου σε διάταξη 20x20 m σε πίεση P5.

4.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

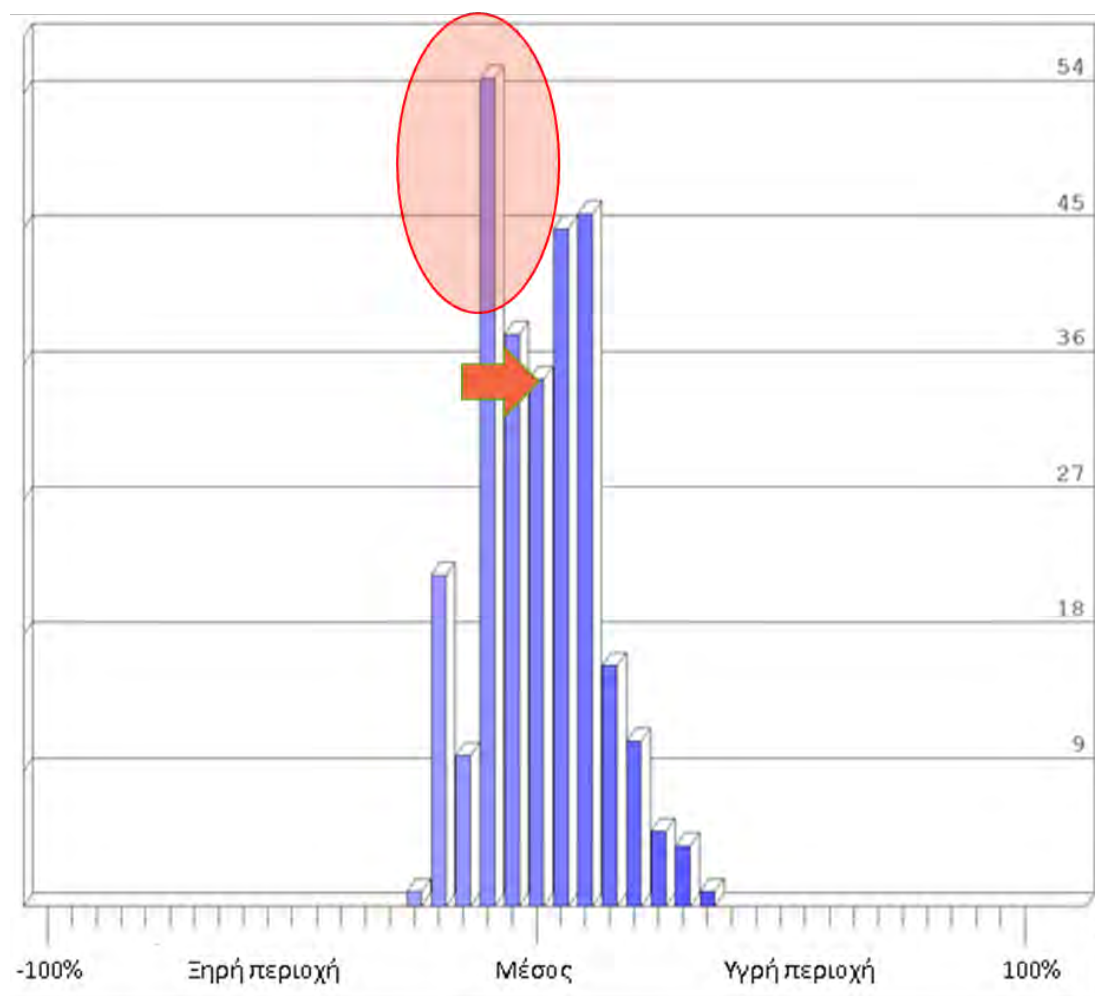
Με βάση τα ύψη βροχής, που θα συλλέγονταν στους συλλέκτες, αν λειτουργούσαν 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου, τοποθετημένοι σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m, κατασκευάσθηκαν διαγράμματα συχνότητας του ύψους βροχής για κάθε πίεση λειτουργίας και παρουσιάζονται στις Εικ. 4.16 έως 4.20, που ακολουθούν.

Σε κάθε περίπτωση, σημειώνεται το μέσο ύψος και οι συχνότητες των υψών βροχής που διαφέρουν και απέχουν από το μέσο ύψος.

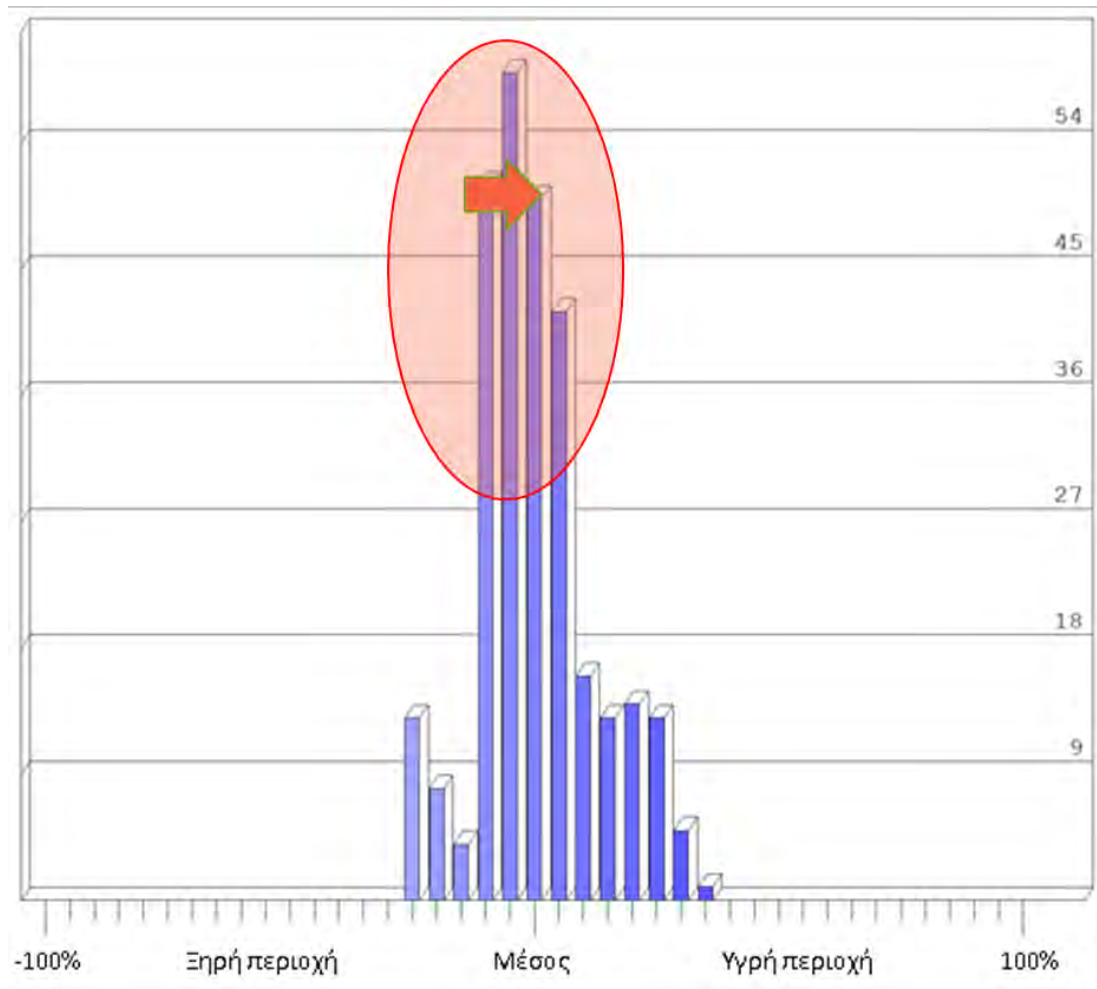
Αξιολογώντας την άρδευση με αυτή τη διαδικασία, φαίνεται πως στην πίεση λειτουργίας P3 παράγεται η καλύτερη κατανομή συχνοτήτων των υψών βροχής.



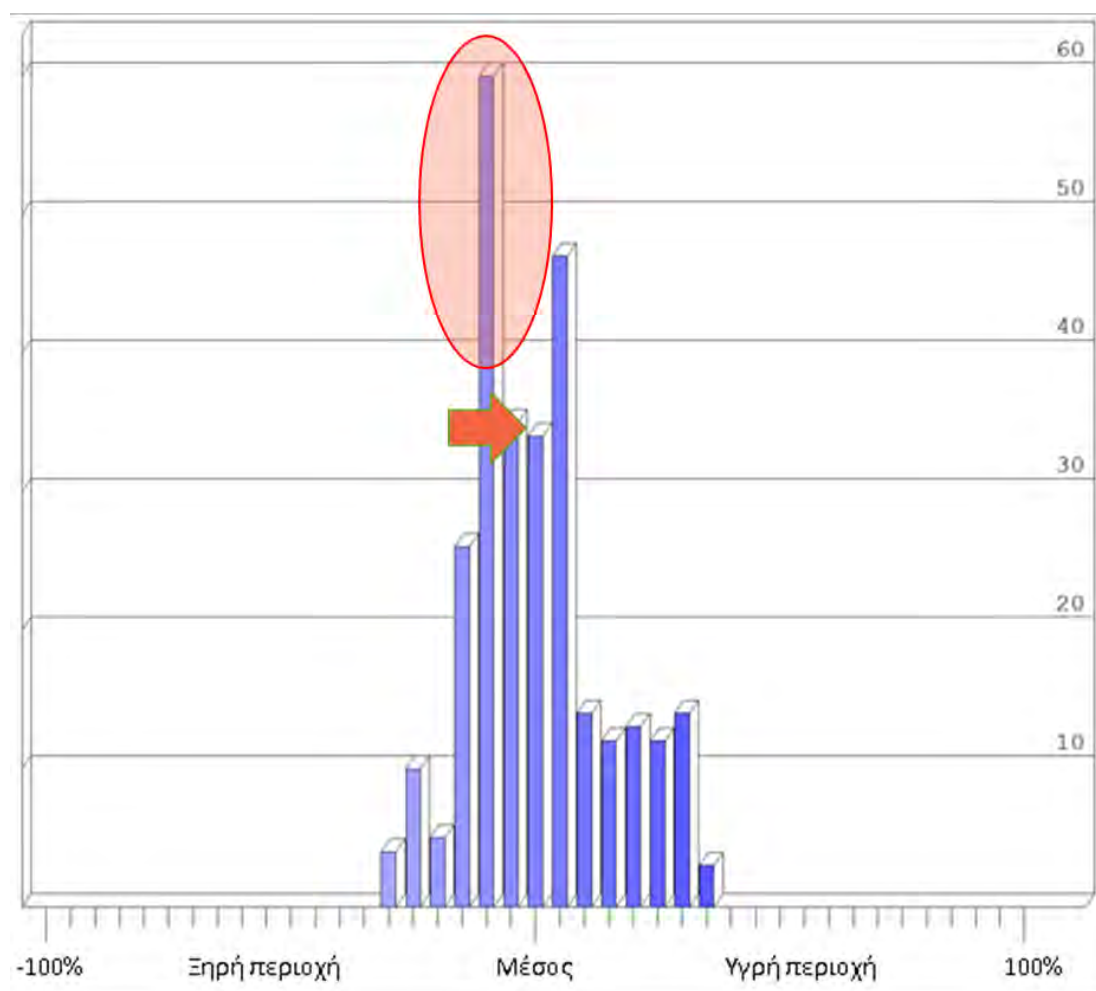
Εικόνα 4.16. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P1.



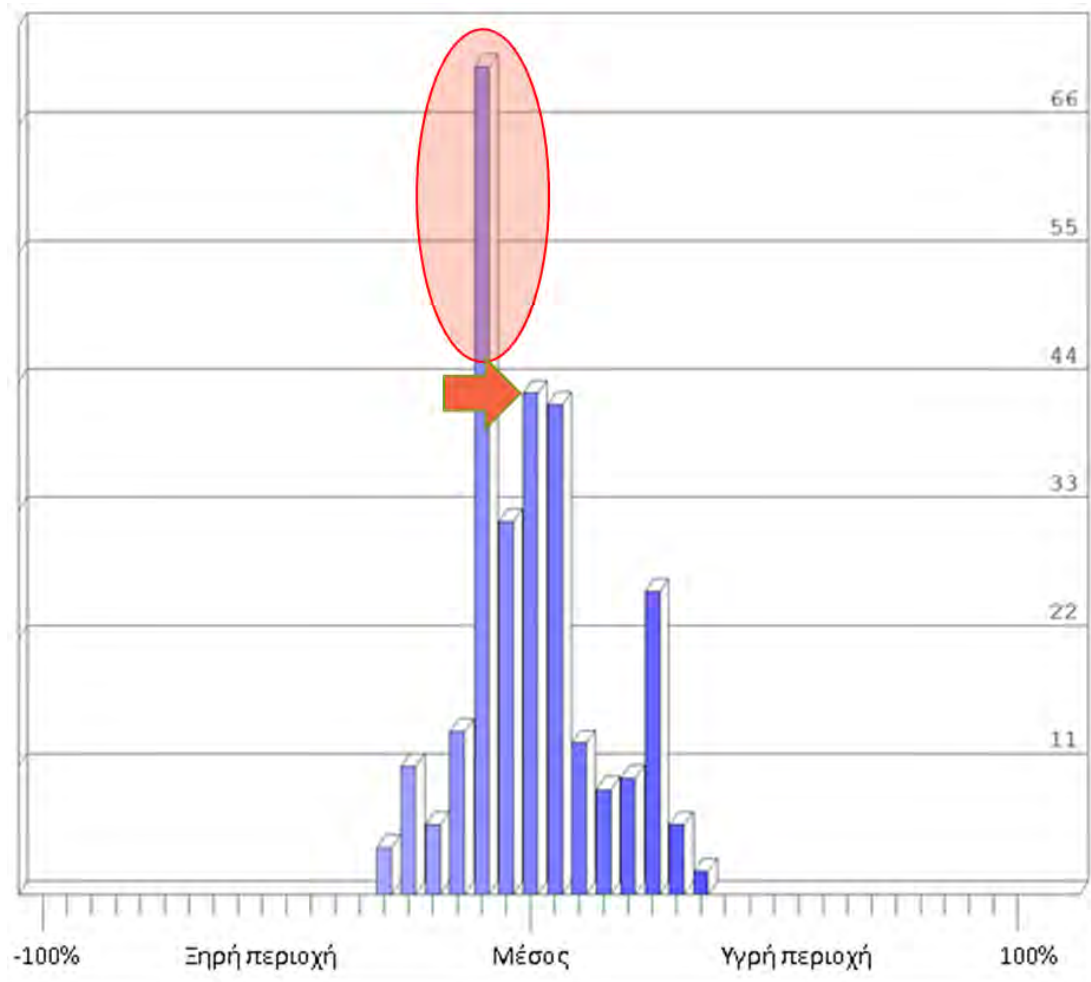
Εικόνα 4.17. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P2.



Εικόνα 4.18. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P3.



Εικόνα 4.19. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P4.



Εικόνα 4.20. Διάγραμμα συχνότητας υψών βροχής διάταξης 20 x 20 m σε πίεση P5.

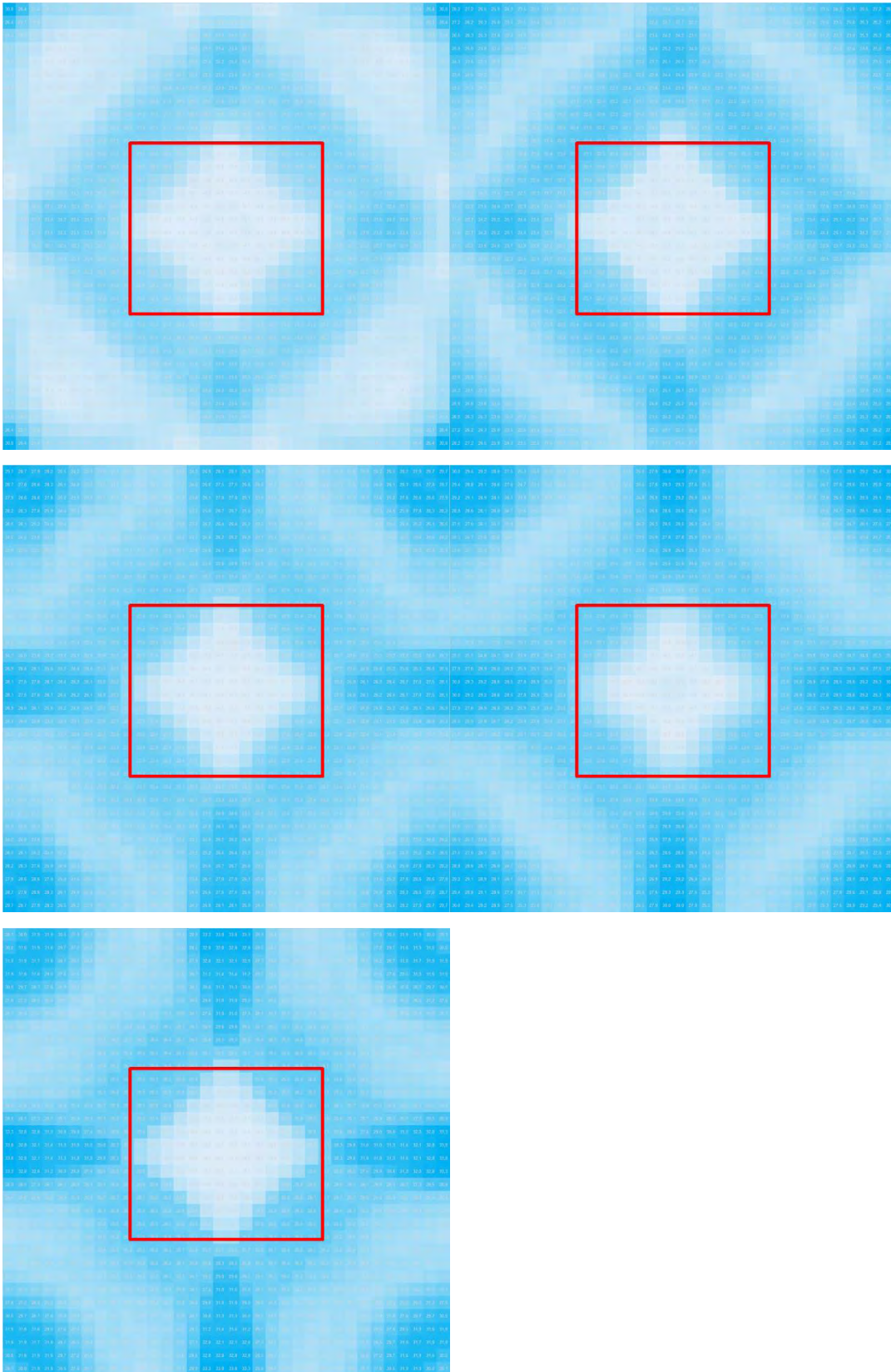
4.5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Με βάση τα ύψη βροχής που θα συλλέγονταν στους συλλέκτες, αν λειτουργούσαν 4 εκτοξευτές πλήρους κύκλου, τοποθετημένοι σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m, κατασκευάστηκαν πυκνογράμματα και εντοπίστηκαν τα «χαμηλά» παράθυρα και υπολογίστηκε ο συντελεστής προγραμματισμού

Τα πραγματικά ύψη εφαρμογής μετατρέπονται σε διαφορετικές εντάσεις (πυκνότητες) σημείων. Το μεγάλο ύψος νερού (υγρή περιοχή) εμφανίζεται ως συμπαγές χρώμα. Η τιμή μηδέν αντιπροσωπεύει τη μηδενική διαβροχή (ένα ξηρό σημείο) και εμφανίζεται ως λευκό.

Στην Εικ. 4.21, παρουσιάζονται τα πυκνογράμματα που προέκυψαν από την άρδευση σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m για κάθε πίεση λειτουργίας. Τα τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τα «χαμηλά» παράθυρα που εντοπίστηκαν σε κάθε περίπτωση. Σε όλες τις πιέσεις, το χαμηλό παράθυρο εντοπίστηκε στο κέντρο της επιφάνειας.

Τα πυκνογράμματα που προέκυψαν δίνουν μια εξαιρετική οπτική περιγραφή των περιοχών όπου εφαρμόστηκε μεγάλο ή μικρό ύψος νερού (πόσο υγρή ή ξηρή θα είναι η επιφάνεια που αρδεύεται) και γενικά πόσο ομοιόμορφη είναι η εφαρμογή νερού.



Εικόνα 4.21. Πυκνόγραμμα διάταξης 20x20 m για κάθε πίεση λειτουργίας.

4.6. Υπολογισμός συντελεστή προγραμματισμού

Στους πίνακες 4.1 έως 4.5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της άρδευσης σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m, για κάθε πίεση λειτουργίας. Η αξιολόγηση της ομοιομορφίας γίνεται με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, σε τρία επίπεδα (μέγεθος παραθύρου ως ποσοστό της συνολικής επιφάνειας άρδευσης, 1%, 5% και 10%).

Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται σε κάθε πίεση, είναι η μέση ένταση βροχής, η μέση ένταση βροχής στο παράθυρο με τα μεγαλύτερα και τα μικρότερα ύψη βροχής αντιστοίχως και το ποσοστό τους ως προς το μέσο ύψος καθώς και ο συντελεστής προγραμματισμού (SC).

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P1.

Critical 1% Window Size			
M		SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	8
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 5% Window Size			
M	,	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	,0
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 10% Window Size			
M	,	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	8
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1

Πίνακας 4.2. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P2.

Critical 1% Window Size			
M	20,7	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	16,1	% του μέσου Ύψους:	78,0
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	27,4	% του μέσου Ύψους:	132,0
Critical 5% Window Size			
M	20,7	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	16,3	% του μέσου Ύψους:	79,0
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	25,9	του μέσου Ύψους:	125,0
Critical 10% Window Size			
M	20,7	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	17,1	% του μέσου Ύψους:	83,0
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	24,2	% του μέσου Ύψους:	117,0

Πίνακας 4.3. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P3.

Critical 1% Window Size			
M	22,3	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	16,6	% του μέσου Ύψους:	7
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	28,9	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 5% Window Size			
M	22,3	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	17,1	% του μέσου Ύψους:	7
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	28,3	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 10% Window Size			
M	22,3	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	18,3	% του μέσου Ύψους:	8
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	26,7	% του μέσου Ύψους:	1

Πίνακας 4.4. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P4.

Critical 1% Window Size			
M	2	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	16,6	% του μέσου Ύψους:	7
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 5% Window Size			
M	2	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	7
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 10% Window Size			
M	2	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	8
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1

Πίνακας 4.5. Χαρακτηριστικά αξιολόγησης ομοιομορφίας με τη χρήση των κρίσιμων παραθύρων, της άρδευσης διάταξης 20x20m σε πίεση P5.

Critical 1% Window Size			
M	2	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	7
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	,	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 5% Window Size			
M	2	SC	1,3
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	1	% του μέσου Ύψους:	7
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	,	% του μέσου Ύψους:	1
Critical 10% Window Size			
M	2	SC	1
Χαμηλό παράθυρο (mm/h)	,	% του μέσου Ύψους:	8
Υψηλό παράθυρο (mm/h)	2	% του μέσου Ύψους:	1

4.7. Αξιολόγηση της ομοιομορφίας

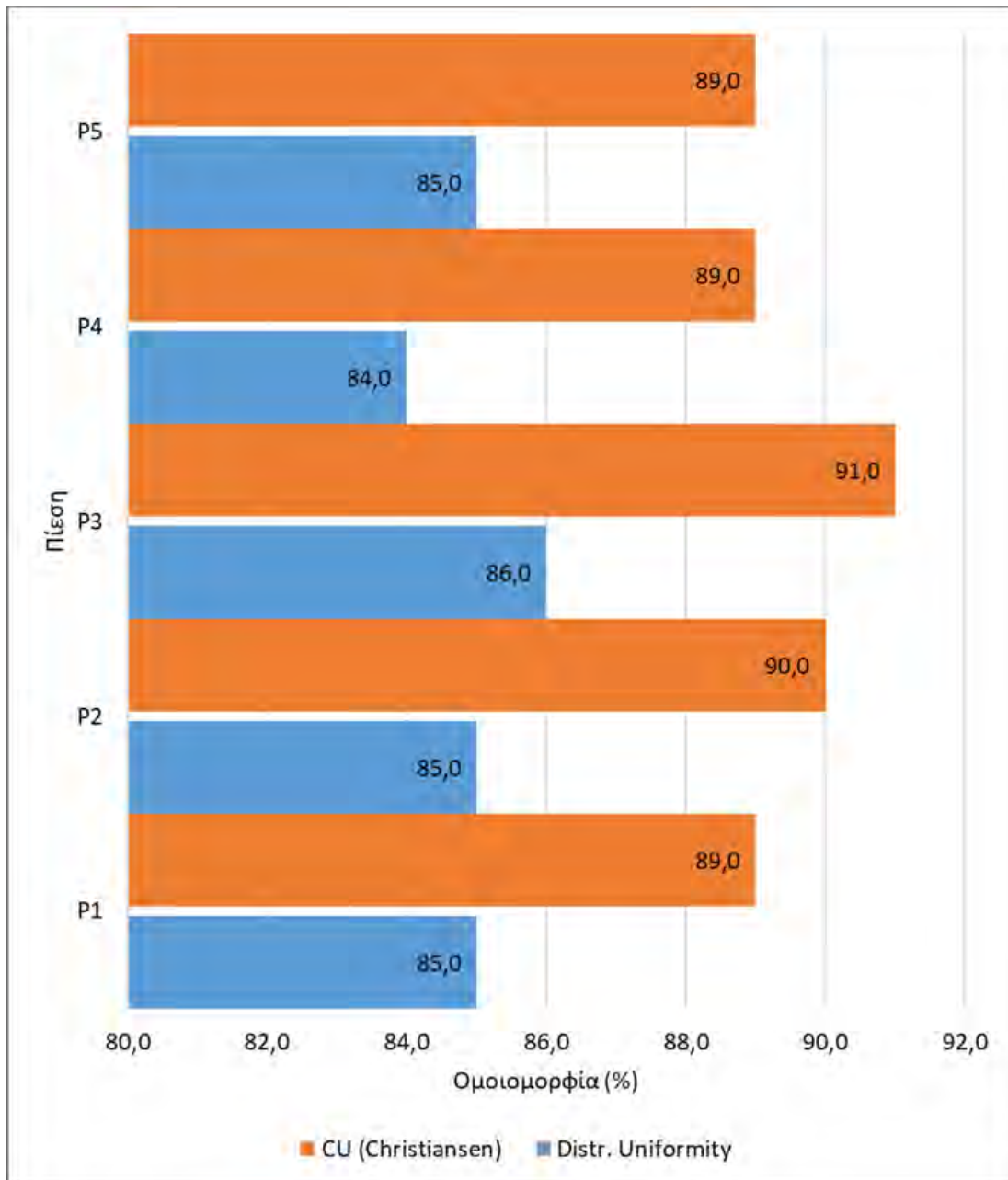
Στο ραβδόγραμμα της Εικ. 4.22, που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές της ομοιομορφίας για κάθε πίεση λειτουργίας του εκτοξευτή, σε τετραγωνική διάταξη 20 x 20 m, όπως υπολογίσθηκαν με τον συντελεστή CU και τον συντελεστή DU.

Στην περίπτωση αξιολόγησης κατά Christiansen, η υψηλότερη ομοιομορφία παράγεται στην πίεση λειτουργίας P3 (550 kPa) φθάνοντας το 91% αλλά χωρίς ουσιαστική διαφορά με τις τιμές που παρήχθησαν υπό τις άλλες πιέσεις.

Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται και κατά την αξιολόγηση της DU, με την υψηλότερη ομοιομορφία να παράγεται στην πίεση λειτουργίας P3, χωρίς όμως να διαφέρει σημαντικά από τις τιμές ομοιομορφίας στις άλλες πιέσεις.

Το αποτέλεσμα αυτό, θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρακτικές άρδευσης με πίεση λειτουργίας χαμηλότερη από την προτεινόμενη από τον κατασκευαστή αφού ο στόχος της επίτευξης ομοιομορφίας επιτυγχάνεται στον ίδιο βαθμό και έχοντας αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Όμως, μια τέτοια πρακτική, θα είναι ριψοκίνδυνη αν δεν συνδυαστεί η αξιολόγηση της ομοιομορφίας με τους υπόλοιπους δείκτες όπως τα πυκνογράμματα, που μπορεί να φανερώσουν ενδεχόμενα προβλήματα που η αριθμητική προσέγγιση της ομοιομορφίας μέσω των CU και DU δεν αποκαλύπτει.



Εικόνα 4.22. Συντελεστής Ομοιομορφίας CU/DU για τη διάταξη 20 x 20 m, για κάθε πίεση λειτουργίας.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πυκνογράμματα και ο συντελεστής προγραμματισμού προσφέρουν στους διαχειριστές της άρδευσης την ευκαιρία να «δοκιμάσουν» τον σχεδιασμό του συστήματος καταιονισμού και να λύσουν τα προβλήματα προτού αυτό εγκατασταθεί.

Με τους υπολογιστές να γίνονται μέρος της καθημερινής διαδικασίας λήψης αποφάσεων της διαχείρισης χλοοτάπητα, η δυνατότητα να μοντελοποιείται η ομοιομορφία και η ποσότητα άρδευσης θα αποκτήσει όλο και μεγαλύτερη σημασία.

Αυτή η δυνατότητα θα επιτρέψει την τελειοποίηση του συστήματος άρδευσης για τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας του χλοοτάπητα, ελαχιστοποιώντας ενδεχομένως και το συνεχώς αυξανόμενο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και του νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cristiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp.Stn. Bull. 670. University of California, Berkeley.

Hodges, K. J., R. G. Evans, L. G. James, M. W. Kroeger and T. W. Ley. 1990. Automated facility for sprinkler performance testing. Applied Engineering in Agriculture 6(4):437-440.

Keller, J. and R.D. Bliesner, 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. New York : Van Nostrand Reinhold. pp. 478-497.

Oliphant, J.C. and D.F. Zoldoske, 1989. "Sprinkler Profile and Coverage Evaluation (SPACE)", Software and Documentation, CATI Publication No. 890403, Center for Irrigation Technology, California State University, Fresno, CA, 39 p.

U.S.D.A., Soil conservation service, 1956. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C.