Υδραυλικά Έργα ΙΙ
[ΠΟΜ 451]

Μέθοδοι άρδευσης στο αγροτεμάχιο

Ανδρέας Χριστοφή / ειδικός επιστήμονας

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

Email: andreas.christofe@cut.ac.cy

Γενικά

Για να θεωρηθεί επιτυχής η εφαρμογή του νερού στο αγροτεμάχιο πρέπει να αποθηκεύει στον αγρό ύψος νερού ίσο με το καθαρό ύψος των αναγκών σε αρδευτικό νερό και με τέτοιο τρόπο ώστε οι απώλειες σε βαθιά διήθηση και επιφανειακή απορροή να είναι οι μικρότερες δυνατές. Προϋπόθεση για την επίτευξη του σκοπού αυτού είναι το νερό να εφαρμόζεται κατά το δυνατόν ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του αγρού και να παραμείνει επί όσο χρόνο απαιτείται για την αποθήκευση του παραπάνω ύψους νερού.

Ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο αγροτεμάχιο διακρίνουμε τέσσερις κύριες μεθόδους άρδευσης:

- (i) Επιφανειακή άρδευση,
- (ii) Άρδευση με εκτοξευτήρες (κλασικός καταιονισμός),
- (iii) Άρδευση με αυτοπροωθούμενα συστήματα καταιονισμού και
- (iv) Μικροάρδευση.

Γενικά

Στην επιφανειακή άρδευση διακρίνουμε τρεις υποκατηγορίες μεθόδων:

α) Τη μέθοδο με κατάκλυση (ή μέθοδο των λεκανών),

β) Τη μέθοδο με περιορισμένη διάχυση (ή μέθοδο των λωρίδων) και

γ) Τη μέθοδο με αυλάκια.

Στην άρδευση με αυτοπροωθούμενα συστήματα καταιονισμού ανήκει η υποκατηγορία της άρδευσης με ράμπα.

Τέλος, στη μικροάρδευση διακρίνουμε τρείς υποκατηγορίες μεθόδων :

α) Άρδευση με σταγόνες (trickle or drip irrigation),

β) Άρδευση με μικροεκτοξευτήρες (microsprayers) και

γ) Υπόγεια άρδευση με σιαγόνες (subsurface drip irrigation).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Στην επιφανειακή άρδευση το νερό εφαρμόζεται στην επιφάνεια του αγρού, είτε με σταθερό σύστημα είτε με κινούμενο. Στην πρώτη περίπτωση η επιφάνεια του αγρού πρακτικά έχει μηδενική κλίση και για το Λόγο αυτό η άρδευση λέγεται οριζόντια. Στη δεύτερη περίπτωση, η επιφάνεια του αγρού παρουσιάζει κλίση που επιτρέπει την κίνηση του νερού προς τα κάτω και για το λόγο αυτό η άρδευση λέγεται κεκλιμένη.

Στην οριζόντια άρδευση ανήκει η μέθοδος της κατάκλυσης ή των λεκανών, ενώ στην κεκλιμένη άρδευση ανήκει η μέθοδος της περιορισμένης διάχυσης ή των παράλληλων λωρίδων και η μέθοδος των αυλακιών. Τελευταία, με τον εκσυγχρονισμό των συστημάτων ισοπέδωσης άρχισε να εφαρμόζεται και η μέθοδος των αυλακιών με μηδενική κλίση.

Στις μεθόδους επιφανειακής άρδευσης και κυρίως στη μέθοδο των λωρίδων και στη μέθοδο των αυλακιών το νερό προχωρεί πάνω στην ξηρή επιφάνεια του εδάφους αφήνοντας ταυτόχρονα ένα ποσοστό του όγκου του να διηθηθεί. Αν ως παράδειγμα ληφθεί η άρδευση των λωρίδων και η παροχή εισροής διατηρείται σταθερή, η ταχύτητα διήθησης σε κάθε σημείο της λωρίδας μειώνεται σε συνάρτηση με το χρόνο (θεωρία διήθησης) και συνεπώς η παροχή που διέρχεται από τη διατομή που ανήκει το σημείο και το βάθος ροής αυξάνονται με το χρόνο.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Αντίθετα ο ρυθμός προέλασης του υγρού μετώπου μικραίνει σε σχέση με το χρόνο και την απόσταση καθόσον περισσότερο έδαφος συμμετέχει στη διήθηση και ο όγκος του νερού στην επιφάνεια του εδάφους μειώνεται.

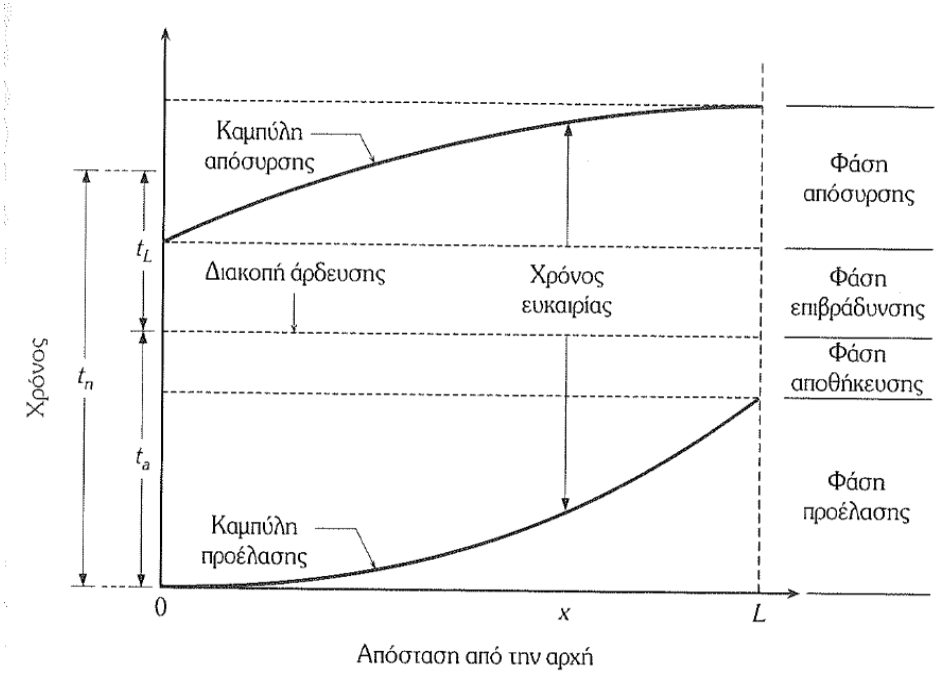
Όταν το υγρό μέτωπο φθάσει στο κατάντη άκρο της λωρίδας το νερό αρχίζει να ρέει στην αμέσως κατάντη τάφρο με συνέπεια να αποτελεί απώλεια. Η εισροή νερού στη λωρίδα συνεχίζεται για χρόνο (πέρα του χρόνου προέλασης) που θεωρείται ικανός ώστε να διηθηθεί κατά μέσο όρο η υπολογισθείσα ποσότητα νερού. Η φάση αυτή είναι γνωστή ως φάση αποθήκευσης στο τέλος της οποίας διακόπτεται η παροχή στη λωρίδα. Προφανώς στην περίπτωση που για λόγους ομοιομορφίας της κατανομής του αρδευτικού νερού η παροχή διακόπτεται πριν το υγρό μέτωπο έχει φθάσει στο κατάντη άκρο της λωρίδας ο χρόνος αποθήκευσης είναι μηδενικός.

Ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που διακόπτεται η παροχή μέχρι την απόσυρση του νερού από το ανάντη άκρο της λωρίδας χαρακτηρίζεται ως χρόνος επιβράδυνσης (φάση επιβράδυνσης της απόσυρσης). Τέλος, η φάση απόσυρσης είναι το χρονικό διάστημα από την έναρξη της απόσυρσης στο ανάντη άκρο της Λωρίδας μέχρι την απομάκρυνση του νερού από όλη την επιφάνεια της λωρίδας.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Ο χρόνος που το νερό διατίθεται για διήθηση, ονομάζεται χρόνος ευκαιρίας και βρίσκεται ως η διαφορά του συνολικού χρόνου μέχρι την απόσυρση του νερού στο σημείο μείον το χρόνο προέλασης στο σημείο.

Στο Σχήμα 1 φαίνεται ο χρόνος ευκαιρίας t_n για σημεία που βρίσκονται σε απόσταση x από το ανάντη άκρο της λωρίδας (Bishop, 1962, Bishop κ.ά., 1967, Elliott και Walker, 1982, Τσακίρης, 1986, Walkel και Skoger- boe, 1987, Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ, 1996).



Σχ.1: Οι φάσεις κατά την άρδευση με τη μέθοδο των λωρίδων

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι για να γίνει σωστός σχεδιασμός μιας επιφανειακής μεθόδου άρδευσης πρέπει να γίνει ποσοτική εκτίμηση ορισμένων παραμέτρων, αρχής γενομένης από το ύψος εφαρμογής για κάθε άρδευση.

$dn = |e_c| = X_o - X_c$,

όπου

X_c = *διαθέσιμο ύψος νερού στο ριζόστρωμα.*

e_c = *ύψος ελλείμματος νερού πριν την άρδευση*

dn= το καθαρό (θεωρητικό) ύψος νερού που πρέπει να χορηγηθεί αν οι απώλειες θεωρηθούν μηδενικές.

Επειδή κατά κανόνα υπάρχουν απώλειες κατά την άρδευση, που από το ένα μέρος εξαρτώνται από τις εδαφικές και ατμοσφαιρικές συνθήκες και από το άλλο από την μέθοδο εφαρμογής, το πραγματικό ύψος εφαρμογής d είναι συνήθως μεγαλύτερο από το θεωρητικά απαιτούμενο και υπολογίζεται από την σχέση :

$$d = \frac{d_n}{E_a}$$

Όπου E_a = *συντελεστής απόδοσης που κυμαίνεται κάτω από συνήθεις συνθήκες από 0.6 έως 0.90.*

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Επειδή η άρδευση με επιφανειακές μεθόδους συνεπάγεται κίνηση του νερού στην επιφάνεια του αγροτεμαχίου, είναι απαραίτητη η γνώση της ταχύτητας ροής του νερού που εξαρτάται από την κλίση της επιφάνειας, την τραχύτητά της και την παροχή άρδευσης. Η παροχή αυτή δεν πρέπει να υπερβαίνει κάποιο όριο, που εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση. Έτσι, χρειάζεται ο προσδιορισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής. Κάποιες άλλες παράμετροι που έχουν σχέση με την καταλληλότητα του αγροτεμαχίου να δεχτεί επιφανειακή άρδευση είναι το σχήμα και οι διαστάσεις του αγρού, το ανάγλυφο του εδάφους, το βάθος του εδάφους, η ύπαρξη ή όχι προβλήματος υποστράγγισης κ.λπ.

Χωρίς αμφιβολία, κύριο ρόλο στο σχεδιασμό των επιφανειακών αρδεύσεων διαδραματίζει η διηθητικότητα του εδάφους. Ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων έχει αναπτυχθεί για την περιγραφή της κίνησης του νερού σε πορώδη μέσα και κυρίως της κατακόρυφης διήθησης.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Μεταξύ των εξισώσεων που περιγράφουν την ικανότητα για διήθηση, γνωστή ως διηθητικότητα είναι και οι εμπειρικές, οι οποίες για τον υπολογισμό της στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας χρησιμοποιούν εμπειρικές σχέσεις, που κατά καιρούς επινοήθηκαν και των οποίων οι παράμετροι υπολογίζονται με τη βοήθεια μετρήσεων στον αγρό και είναι μοναδικές για κάθε έδαφος. Η αθροιστική διηθητικότητα μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά με τη σχέση του **Kostiakov** (Kostiakov, 1932) και η οποία χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα σ' όλο τον κόσμο. Μια άλλη διαδικασία, που είναι αποτέλεσμα εκτεταμένου πειραματισμού, αναπτύχθηκε από τη **Soil Conservation Service** των Η.Π.Α. (USDA, 1974, 1979), με κύριο προορισμό την εφαρμογή της στο σχεδιασμό των επιφανειακών μεθόδων άρδευσης. Κατά τη διαδικασία αυτή, τα εδάφη ταξινομούνται σε διάφορες ομάδες διηθητικότητας, που η αθροιστική διηθητικότητα της κάθε μιας από αυτές εκφράζεται με τη σχέση:

$$\boldsymbol{I = a \cdot t^b + c} \qquad (1)$$

*όπου: **I** = αθροιστική διηθητικότητα (mm),*

a = περιοριστικός παράγοντας της αθροιστικής διηθητικότητας (mm/min^b),

t = χρόνος εφαρμογής του νερού (min),

b = εκθέτης του χρόνου στην εξίσωση της διηθητικότητας (αδιάστατος) και

c = σταθερά της σχέσης της αθροιστικής διηθητικότητας της SCS (c = 7 mm).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Οι σταθερές a, b και c της σχέσης της αθροιστικής διηθητικότητας της SCS για κάθε ομάδα διηθητικότητας δίνονται στον Πίνακα 1.

Η εύρεση της ομάδας διηθητικότητας εξαρτάται όχι μόνο από το έδαφος αλλά και από τη μέθοδο άρδευσης, γίνεται δε πάντοτε μόνο με μετρήσεις στον αγρό. Στην περίπτωση της άρδευσης με κατάκλυση ή περιορισμένη διάχυση, οι μετρήσεις γίνονται με κυλινδρικά διηθητόμετρα. Στην περίπτωση άρδευσης με αυλάκια, η αθροιστική διηθητικότητα υπολογίζεται με τη μέθοδο εισόδου-εξόδου και το δεξιό μέλος της σχέσης (1) πολλαπλασιάζεται με ένα παράγοντα που είναι ο λόγος της βρεχόμενης περιμέτρου του αυλακιού (P) προς την ισαποχή των αυλακιών (W). Έτσι, η σχέση (1) για τα αυλάκια γίνεται:

$$I = (a \cdot t^b + c) \cdot \left(\frac{P}{W}\right) \qquad (2)$$

Χωρίς αμφιβολία, η διαδικασία της *SCS* είναι πολύ χρήσιμη και αποτελεσματική για το σχεδιασμό επιφανειακών μεθόδων άρδευσης. Όμως, η αθροιστική διηθητικότητα έχει επικρατήσει να εκφράζεται με την απλοποιημένη σχέση του Kostiakov. Η διαφοροποίηση αυτή οδηγεί στην ανάγκη να βρεθούν διαδικασίες με τις οποίες μπορεί να γίνει η μετάβαση από τη μία σχέση στην άλλη. Τέτοιες διαδικασίες υπάρχουν και η δυνατότητα μετάβασης από τη μία σχέση στην άλλη πρέπει να θεωρείται δεδομένη (Subramania, 1992, Παπαμιχαήλ και Παπαδήμος, 1995).

Πίν. 1: Τιμές των συντελεστών a, b και c της σχέσης της αθροιστικής διηθητικότητας της SCS για κάθε ομάδα διηθητικότητας

Ομάδα διηθητικότητας			a	*b*	c
α/α	in/h	mm/h	mm/min^b	-	mm
1	0.05	1.27	0.533	0.618	7
2	0.1	2.54	0.620	0.6610	7
3	0.2	5.08	0.777	0.6988	7
4	0.3	7.62	0.925	0.7204	7
5	0.4	10.16	1.064	0.7356	7
6	0.5	12.70	1.196	0.7475	7
7	0.6	15.24	1.321	0.7572	7
8	0.7	17.78	1.443	0.7656	7
9	0.8	20.32	1.560	0.7728	7
10	0.9	22.86	1.674	0.7792	7
11	1.0	25.40	1.786	0.7850	7
12	1.5	38.10	2.283	0.7990	7
13	2.0	50.80	2.753	0.8080	7
14	3.0	76.20	3.650	0.8160	7
15	4.0	101.60	4.445	0.8230	7

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

1) Άρδευση με Κατάκλυση

Η άρδευση με κατάκλυση αποτελεί τον πιο απλό τρόπο επιφανειακής άρδευσης. Στη μέθοδο αυτή ο αγρός χωρίζεται με χωμάτινα αναχώματα σε σχεδόν οριζόντιες λεκάνες, στις οποίες παροχετεύεται νερό, σε ένα ή περισσότερα σημεία, μέχρι να φτάσει σε βάθος ίσο με το ολικό ύψος άρδευσης, οπότε διακόπτεται η παροχή και το νερό αφήνεται να διηθηθεί. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να αρδευθούν πολλές καλλιέργειες και ιδιαίτερα καλλιέργειες σε πυκνή σπορά όπως είναι η μηδική, διάφορες άλλες χορτοδοτικές καλλιέργειες και το ρύζι. Η μέθοδος προσαρμόζεται καλύτερα σε εδάφη με μέτρια μέχρι μικρή διηθητικότητα. Μπορεί να εφαρμοστεί και σε πολύ διαπερατά εδάφη όμως, στην περίπτωση αυτή, οι λεκάνες πρέπει να είναι πολύ μικρές.

Αν η μέθοδος εφαρμοστεί σωστά, μπορούν να επιτευχθούν υψηλοί συντελεστές απόδοσης, δεν παρατηρείται επιφανειακή απορροή, η βαθιά διήθηση είναι περιορισμένη και γίνεται αποτελεσματική χρήση του νερού Οι λεκάνες συνήθως κατασκευάζονται οριζόντιες αλλά, πολλές φορές ενδείκνυται να κατασκευάζονται με μικρή κλίση προς τη διεύθυνση της ροής. Στην περίπτωση αυτή, η υψομετρική διαφορά μεταξύ των άκρων της λεκάνης δεν πρέπει να υπερβαίνει το μισό του καθαρού ύψους εφαρμογής.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Τα αναχώματα διαχωρισμού των λεκανών είναι είτε προσωρινά είτε μόνιμα. Και στις δύο περιπτώσεις, το πλάτος της στέψης του αναχώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το ύψος του, το οποίο πρέπει να ίσο ή μεγαλύτερο από το μέγιστο βάθος ροής του νερού στη λεκάνη αυξημένο κατά 25%. Τα προσωρινά αναχώματα κατασκευάζονται για μια άρδευση ή το πολύ, για μια αρδευτική περίοδο. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιείται το διπλανό έδαφος, έτσι που σχηματίζονται μικρές τάφροι δανείων χωμάτων κατά μήκος τους. Μόνιμα αναχώματα κατασκευάζονται για πολυετή χρήση και για την κατασκευή τους παίρνεται έδαφος α την επιφάνεια της λεκάνης.

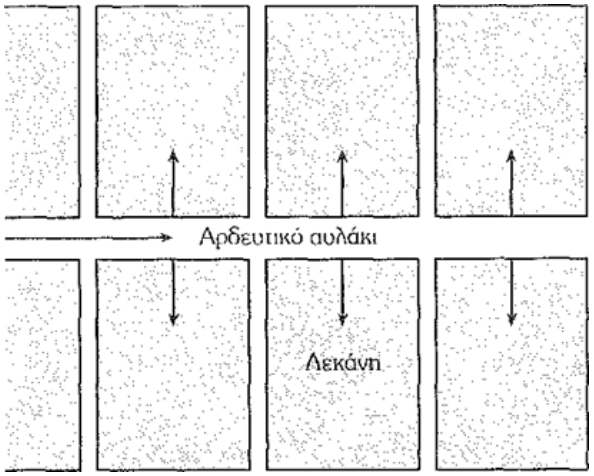
Οι λεκάνες διακρίνονται σε ορθογωνικές και σε λεκάνες κατά ισοϋψείς. Στις πρώτες, τα αναχώματα τέμνονται μεταξύ τους κατά ορθή γωνία. Σε διαπερατά εδάφη οι λεκάνες επιβάλλεται να είναι μικρές και να γεμίζουν γρήγορα με νερό. Αυτό σημαίνει πολύπλοκο και δαπανηρό σύστημα διανομής του νερού και συνεχή απασχόληση προσωπικού. Μεγάλες λεκάνες μπορούν να κατασκευαστούν όταν η επιφάνεια του αγρού είναι σχεδόν οριζόντια και το έδαφος είναι λίγο διαπερατό. Συνιστώμενες επιφάνειες λεκανών για διάφορους τύπους εδαφών και παροχή ίση με 100 L/s δίνονται στον Πίνακα 2. Μια διάταξη ορθογωνικών λεκανών φαίνεται στο Σχήμα 2. Οι λεκάνες κατά τις ισοϋψείς σχηματίζονται με αναχώματα που ακολουθούν τις ισοϋψείς του εδάφους, σε απόσταση μεταξύ τους τέτοια που η υψομετρική διαφορά στη λεκάνη να μην

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

υπερβαίνει το μισό του καθαρού ύψους άρδευσης και χωρίζονται μεταξύ τους με εγκάρσια αναχώματα να αποκτήσουν το επιθυμητό μέγεθος.

Πίν. 2: Συνιστώμενα μεγέθη λεκανών για διάφορα εδάφη και παροχή ίση με *100 L/s*

Τύπος εδάφους	Επιφάνεια λεκάνης, στρέμματα
Αμμώδες	0.65
Μέσο προς ελαφρό	2.00
Μέσο προς συνεκτικό	4.00
Αργιλώδες	6.50



ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Κατά το σχεδιασμό των λεκανών κατάκλυσης, πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την απομάκρυνση του περισσεύματος νερού που μπορεί να προέλθει από υπεράρδευση ή έντονη βροχόπτωση. Έτσι, κάποιο δίκτυο επιφανειακής απομάκρυνσης του νερού πρέπει απαραίτητα να κατασκευάζεται, ιδίως σε εδάφη με χαμηλή διηθητικότητα.

Η σωστή άρδευση με κατάκλυση προϋποθέτει την ελαχιστοποίηση της βαθιάς διήθησης, η οποία σε ορισμένα αγροτεμάχια μπορεί να προκαλέσει έντονο πρόβλημα υποστράγγισης. Για την αποφυγή τέτοιων καταστάσεων η αποδοτικότητα συνήθως δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 80%. Η αποδοτικότητα αυτή μπορεί να επιτευχθεί αν ο χρόνος που χρειάζεται να κατακλυστεί όλη η λεκάνη με νερό είναι μικρότερος από το 60% του χρόνου που χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος το καθαρό ύψος άρδευσης. Αποδοτικότητες ίσες ή μικρότερες του 70% μπορούν να γίνουν αποδεκτές μόνο σε περιπτώσεις άριστα στραγγιζόμενων εδαφών. Σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα νερού είναι περιορισμένη, όπου υπάρχει έντονο πρόβλημα υποστράγγισης και όπου η παρατεταμένη παραμονή του νερού στην επιφάνεια μπορεί να προκαλέσει ζημία στις καλλιέργειες, η αποδοτικότητα της άρδευσης πρέπει να πλησιάζει το 90%.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Οι αποδοτικότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να επιτευχθούν με την επιλογή της κατάλληλης παροχής και των διαστάσεων της λεκάνης, σε συνδυασμό με άλλες παραμέτρους του αγρού. Μια διαδικασία επιλογής βασίζεται σε δοκιμαστικές αρδεύσεις όπου, για κάθε περίπτωση, δοκιμάζονται διάφοροι συνδυασμοί παροχής και διαστάσεων λεκάνης και επιλέγεται αυτός που προσεγγίζει περισσότερο το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα, επίπονη και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό.

Μια άλλη διαδικασία αναπτύχθηκε από την Soil Conservation Service των Η.Π.Α. (Hart κ.ά., 1983, Τσακίρης, 1986, Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ, 1996). Για την εφαρμογή της απαιτείται η γνώση της αθροιστικής διηθητικότητας όπως αυτή εκφράζεται από τη σχέση (1), του καθαρού ύψους άρδευσης *(d_n)* και του συντελεστή τραχύτητας (η) του Manning. Για λόγους απλότητας, οι υπολογισμοί γίνονται για πλάτος λεκάνης ίσο με τη μονάδα (1 m). Στην αρχή υπολογίζεται ο χρόνος ευκαιρίας (t_n) που είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος το καθαρό ύψος άρδευσης. Ο χρόνος αυτός, με αναδιάταξη των όρων στη σχέση (1), δίνεται από τη σχέση:

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

$t_n=[(d_n - c)/a]^{1/b}$ (3)

όπου το t_n είναι σε min και το d_n είναι σε mm. Οι σταθερές a, *b, c* βρίσκονται από τον Πίνακα 1 για την ομάδα διηθητικότητας που ταιριάζει στην περίπτωση που εξετάζεται. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο χρόνος προέλασης (t_t) που είναι ο χρόνος που χρειάζεται το νερό που παροχετεύεται στην αρχή της λεκάνης να φτάσει στο τέλος της. Ο χρόνος προέλασης είναι συνάρτηση της αποδοτικότητας εφαρμογής *(E_a)* που είναι επιθυμητή σε κάθε περίπτωση, του χρόνου ευκαιρίας *(t_n)* και του λόγου *(R)* του χρόνου προέλασης προς το χρόνο ευκαιρίας, εκφράζεται δε από τη σχέση

$t_t = R \cdot t_n$ (4)

Το R για διάφορες αποδοτικότητες εφαρμογής, δίνεται στον Πίνακα 3. Η αποδοτικότητα εφαρμογής E_a, ορίζεται ως ο λόγος του καθαρού ύψους άρδευσης (d_n) προς το ολικό ύψος άρδευσης (d), σε (%).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Πίν.3: Αποδοτικότητα εφαρμογής (EJ ως συνάρτηση του λόγου «χρόνος προέλασης προς χρόνο ευκαιρίας»

Αποδοτικότητα E_a (%)	$R = t_r / t_n$
95	0.16
90	0.28
85	0.40
80	0.58
75	0.80
70	1.08
65	1.45
60	1.90
55	2.45
50	3.20

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Το μήκος της Λεκάνης (L) εκφράζεται από τη σχέση:

$$L = \frac{60 \cdot Q_u \cdot t_t}{\frac{a t_t^b}{1+b} + 7.0 + 36.92 \cdot n^{0.375} \cdot Q_u^{0.5625} \cdot t_t^{0.1875}} \qquad (5)$$

όπου: L = μήκος Λεκάνης (m), Q_u = παροχή εισόδου ανά μονάδα πλάτους της λεκάνης (L/s/m), t_t = χρόνος προέλασης (min) για την επίτευξη της επιθυμητής αποδοτικότητας E_a (%), a, b - συντελεστές της ομάδας διηθητικότητας της *SCS* και η = συντελεστής τραχύτητας του Manning. Ο συντελεστής τραχύτητας εκφράζει την αντίσταση στη ροή του νερού στη λεκάνη και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και την τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους. Τιμές του συντελεστή αυτού που συνήθως χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς δίνονται στον Πίνακα 4.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Πίν.4: Τιμές του συντελεστή τραχύτητας του Manning η σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους και της καλλιέργειας

Χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους	η
- Ομαλή εδαφική επιφάνεια χωρίς καλλιέργεια	0.04
- Καλλιέργειες δημητριακών σε γραμμές παράλληλες προς in ροή	0.10
- Μηδική, δημητριακά σε μη γραμμική σπορά	0.15
- Πυκνές χορτοδοτικές καλλιέργειες, δημητριακά σε γραμμές κάθετες προς τη ροή	0.25

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Η σχέση (5) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του μήκους της λεκάνης όταν έχει επιλεγεί η παροχή άρδευσης, η αποδοτικότητα εφαρμογής και ο αντίστοιχος χρόνος προέλασης. Αν είναι γνωστό το μήκος της λεκάνης *L*, η σχέση (5) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της παροχής εισόδου ανά μονάδα πλάτους, Q_u. Στην περίπτωση αυτή η σχέση (5) λύνεται με τη μέθοδο διαδοχικών προσεγγίσεων.

Η διάρκεια άρδευσης *(t_a), ο* χρόνος δηλαδή που απαιτείται για να παροχετευτεί στη λεκάνη το ολικό ύψος άρδευσης (d), υπολογίζεται με τη σχέση :

$$t_a = \frac{d_n \cdot L}{0.6 \cdot Q_u \cdot E_a} \qquad (6)$$

όπου: t_a = διάρκεια άρδευσης (min), E_a = αποδοτικότητα εφαρμογής (%) και Q_u = παροχή εισόδου ανά μονάδα πλάτους της λεκάνης (L/s/m).

Το μέγιστο βάθος ροής (d_{max}), υπολογίζεται με τη σχέση:

$$d_{max} = 46.2 \cdot n^{0\ 375} \cdot Q_u^{0.5625} \cdot t_a^{0.1875} \qquad (7)$$

όπου: d_{max} σε mm και οι υπόλοιποι όροι είναι όπως ορίστηκαν προηγούμενα. Στην περίπτωση που ο χρόνος προέλασης είναι μεγαλύτερος από τη διάρκεια άρδευσης ($t_t > t_a$) τότε αντί του t_a στη σχέση (7) πρέπει να χρησιμοποιείται ο χρόνος t_t.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Εφαρμογή

Δίνονται:

Καλλιέργεια	Μηδική
Ομάδα διηθητικότητας	No 6 κατά *SCS*
Επιθυμητή αποδοτικότητα εφαρμογής	E_a = 80%
Διαθέσιμη παροχή ανά μονάδα πλάτους	Q_u = 1 L/s/m
Συνολική διαθέσιμη παροχή	Q = 20 L/s
Καθαρό ύψος άρδευσης	d_n = 75 mm

Ζητούνται:

Χρόνος ευκαιρίας t_n

Χρόνος προέλασης t_t

Μήκος λεκάνης L

Διάρκεια άρδευσης t_a

Μέγιστο βάθος ροής d_{max}

Ύψος και πλάτος στέψης των αναχωμάτων της λεκάνης

Πλάτος λεκάνης

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Λύση.

Από τον Πίνακα 1 για την ομάδα διηθητικότητας Νο 6 κατά *SCS, a*= 1.196, b= 0.748 και c= 7.0. Από τη σχέση (3), ο χρόνος, ευκαιρίας βρίσκεται ίσος με:

$t_n = [(75 - 7)/1.196]^{1/0.748} = 221.8$ min

Από τον Πίνακα 3, για E_a = 80%, R = 0.58. Από τη σχέση (4) ο χρόνος προέλασης βρίσκεται ίσος με:

$t_t = 0.58 * 221.8 = 128.6$ min

Από τον Πίνακα 4, για καλλιέργεια μηδικής, η = 0.15. Από τη σχέση (5), το μήκος της λεκάνης είναι:

$$L = \frac{60 \cdot 1 \cdot 128.6}{\frac{1.196 \cdot 128.6^{0.748}}{1 + 0.748} + 7 + 36.92 \cdot 0.15^{0.375} \cdot 1^{0.5625} \cdot 128.6^{0.875}} = 99 \approx 100 \text{ m}$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Από τη σχέση (6), η διάρκεια άρδευσης βρίσκεται ίση με:

$$t_a = \frac{75 \bullet 100}{0.6 \bullet 1 \bullet 80} = 156.3\ min$$

Από τη σχέση (7), το μέγιστο βάθος ροής είναι:

$$d_{max} = 46.2 \bullet 0.15^{0.375} \bullet 1^{0.5625} \bullet 156.3^{0.1875} = 58.5mm$$

Το ύψος των αναχωμάτων είναι ίσο με το 58.5 mm αυξημένο κατά 25%, δηλαδή 1.25 • 58.5 = 73.1mm.

Το ίδιο θα είναι και το πλάτος στέψης των αναχωμάτων.

Το πλάτος της λεκάνης με βάση τη συνολική διαθέσιμη παροχή των 20L/s είναι 20 m.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

2) Άρδευση με Λωρίδες ή Περιορισμένη Διάχυση

Στη μέθοδο της περιορισμένης διάχυσης το χωράφι χωρίζεται σε λωρίδες με την κατασκευή παράλληλων αναχωμάτων κατά τη φορά της μέγιστης κλίσης. Η εγκάρσια κλίση είναι συνήθως μηδενική. Το κάτω άκρο των λωρίδων τυπικά παραμένει ανοικτό. Το νερό παροχετεύεται στο πάνω άκρο των λωρίδων και κινείται προς τα κάτω. Όταν ο απαιτούμενος όγκος νερού έχει παροχετευθεί στη λωρίδα, η παροχή νερού διακόπτεται. Το νερό που δεν μπόρεσε στο διάστημα αυτό να διηθηθεί παραμένει προσωρινά στην επιφάνεια της λωρίδας και κινείται προς τα κάτω μέχρι να συμπληρωθεί η άρδευση. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να αποφευχθεί με την κατασκευή μικρού αναχώματος στο κάτω άκρο της λωρίδας. Μια τυπική διάταξη άρδευσης με περιορισμένη διάχυση φαίνεται στο Σχήμα 3.

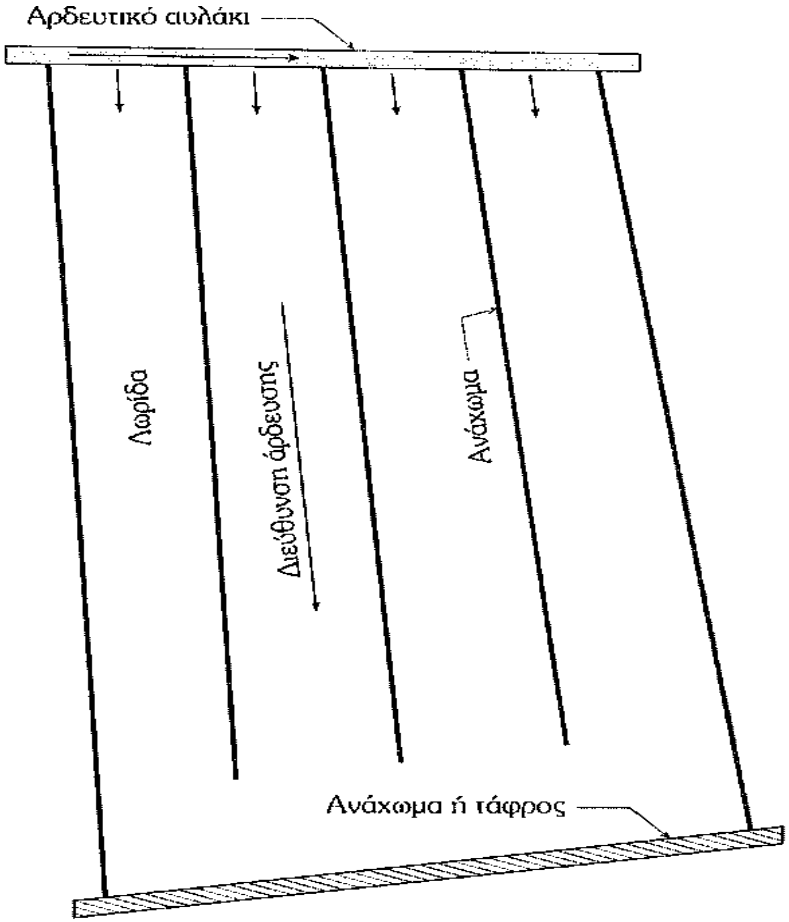
Με τη μέθοδο της περιορισμένης διάχυσης μπορεί να αρδευθούν καλλιέργειες που φυτεύονται σε πυκνή σπορά, εκτός από το ρύζι και όποιες άλλες καλλιέργειες αναπτύσσονται σε λιμνάζοντα νερά. Πιο συνηθισμένες καλλιέργειες που αρδεύονται με τον τρόπο αυτό είναι η μηδική και γενικά όλες οι χορτοδοτικές και τα δημητριακά. Επίσης μπορούν να αρδευτούν οπωρώνες και αμπελώνες. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα περισσότερα εδάφη αλλά καλύτερα προσαρμόζεται σε εδάφη που έχουν μέση διηθητικότητα.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Σπανίως χρησιμοποιείται σε αμμώδη εδάφη που έχουν μεγάλη διηθητικότητα γιατί παρατηρείται μεγάλη βαθιά διήθηση, εκτός αν το μήκος των λωρίδων είναι πολύ μικρό. Επίσης δεν προσαρμόζεται καλά σε εδάφη με πολύ μικρή διηθητικότητα αφού, για να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής χωρίς να υπάρξει σημαντική απορροή, η παροχή πρέπει να είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να μη μπορεί να καλυφθεί με νερό όλη η επιφάνεια της λωρίδας. Η περιορισμένη διάχυση προσαρμόζεται καλύτερα σε αγρούς που έχουν κλίση μικρότερη από 0.5%. Μπορεί να εφαρμοστεί σε κλίσεις μέχρι 2% για άρδευση καλλιεργειών με αραιή σπορά και μέχρι 4% για άρδευση καλλιεργειών με πυκνή σπορά. Τα αναχώματα των λωρίδων κατασκευάζονται είτε προσωρινά είτε μόνιμα και ισχύουν όσα αναφέρθηκαν για το αντικείμενο αυτό στη μέθοδο της κατάκλυσης.

Για να επιτευχθούν μεγάλες αρδευτικές αποδοτικότητες πρέπει να αποφεύγεται κατά το δυνατό η επιφανειακή απορροή και το λίμνασμα του νερού σε ορισμένες θέσεις της λωρίδας. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή της παροχής άρδευσης και του μήκους της λωρίδας σε σχέση με την κλίση της επιφάνειας της λωρίδας, τη διηθητικότητα του εδάφους και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Επίσης, κοινή πρακτική αποτελεί η παροχή του νερού να διακόπτεται πριν αυτό φτάσει στο κάτω άκρο της λωρίδας ή στο άκρο αυτό να κατασκευάζεται κάποιο ανάχωμα.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ



Σχήμα 3 : Τυπική διάταξη άρδευσης με περιορισμένη διάχυση.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Ακριβή στοιχεία για το κατάλληλο σε κάθε περίπτωση μήκος λωρίδων και την παροχή άρδευσης μπορεί να αποκτηθούν με δοκιμαστικές αρδεύσεις. Οι αρδεύσεις αυτές τυπικά γίνονται σε αριθμό λωρίδων με διαφορετικό μήκος και παροχή άρδευσης όπου, σε συγκεκριμένες θέσεις, μετράται ο χρόνος προέλασης και απόσυρσης του νερού, όπως και η επιφανειακή απορροή στο κάτω μέρος των λωρίδων. Με τα στοιχεία αυτά κατασκευάζονται οι καμπύλες προέλασης και απόσυρσης και υπολογίζεται ο χρόνος ευκαιρίας του νερού σε κάθε θέση. Τελικά, επιλέγεται το μήκος λωρίδας και η παροχή που δίνουν την καλύτερη αποδοτικότητα εφαρμογής.

Μια άλλη διαδικασία σχεδιασμού άρδευσης με περιορισμένη διάχυση α-ναπτύχθηκε από την Soil Conservation Service των Η.Π.Α. (USDA, 1974, Mirt κ.ά., 1983, Τσακίρης, 1986, Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ, 1996, Παπαμιχαήλ και Παπαδήμος, 1996β). Στη διαδικασία αυτή, η παροχή άρ-δευσης ανά μονάδα πλάτους λωρίδας (Q_u), για ένα δεδομένο καθαρό ύψος άρδευσης *(d_n),* δίνεται από τη σχέση:

$$Q_u = \frac{1.67 \cdot L \cdot d_n}{(t_n - t_L) \cdot E_a} \qquad (8)$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

όπου: Q_u σε L/s/m, d_n σε mm, L μήκος της λωρίδας σε m, t_n χρόνος ευκαιρίας σε min, t_L χρόνος επιβράδυνσης που είναι ο χρόνος που το νερό παραμένει στην αρχή της λωρίδας μετά τη διακοπή της παροχής σε min και E_a αποδοτικότητα εφαρμογής (%). Δεδομένου ότι ο χρόνος επιβράδυνσης είναι συνάρτηση της παροχής άρδευσης, άμεση λύση της σχέσης (8) δεν είναι δυνατή, εκτός αν η κλίση της λωρίδας υπερβαίνει το 0.4% οπότε το t_L είναι ασήμαντο και δεν παίρνεται υπόψη. Αν η κλίση είναι μικρότερη του 0.4%, η εξίσωση λύνεται με παραδοχή διαφόρων παροχών και επιλογή αυτής που δίνει την καλύτερη προσέγγιση. Με αναδιάταξη των όρων της (8), το μήκος της λωρίδας για μια δεδομένη παροχή υπολογίζεται με τη σχέση:

$$L = \frac{Q_u \cdot E_a (t_n - t_L)}{1.67 \cdot d_n} \qquad (9)$$

Ο χρόνος επιβράδυνσης (t_L) για λωρίδες με κλίση μεγαλύτερη του 0.4% (που είναι ασήμαντος) υπολογίζεται με τη σχέση:

$$t_L = \frac{n^{1.2} \cdot Q_u^{0.2}}{477.7 \cdot S_0^{0.5}} \qquad (10)$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

και για λωρίδες με κλίση ίση ή μικρότερη του 0.4%, με τη σχέση:

$$t_L = \frac{n^{1.2} \cdot Q_u^{0.2}}{477.7 \cdot \left(S_0 + \frac{0.00281 \cdot n \cdot Q_u^{0.175}}{t_n^{0.88} \cdot S_0^{0.5}} \right)^{1.6}} \qquad (11)$$

όπου: t_L σε min, Q_u σε L/s/m, η συντελεστής τραχύτητας του Manning του οποίου τιμές δίνονται στον Πίνακα 4, S_0 κλίση της λωρίδας σε m/m και t_n χρόνος ευκαιρίας σε min. Τιμές του t_L για κλίσεις μικρότερες του 0.4% δίνονται στον Πίνακα 7.5 (Hart κ.ά., 1983). Η διάρκεια άρδευσης *(t_a)* προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ του χρόνου ευκαιρίας και του χρόνου επιβράδυνσης και δίνεται από τη σχέση :

$$t_a = t_n - t_L \qquad (12)$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Πίν. 5: *Χρόνος επιβράδυνσης t_L (min), για κλίσεις λωρίδων μέχρι 0.4%*

Κλίση λωρίδας S_0 (m/m)																
	0.0005				0.001				0.002				0.004			
t_a	Παροχή Q_a (L/s/m)				Παροχή Q_a (L/s/m)				Παροχή Q_a (L/s/m)				Παροχή Q_a (L/s/m)			
min	0.1	1.0	10	20	0.1	1.0	10	20	0.1	1.0	10	20	0.1	1.0	10	20
Συντελεστής Manning $n = 0.04$																
10	1.9	2.2	2.3	2.3	1.1	1.5	1.9	2.0			1.1	1.1				
25	3.1	4.0	4.8	5.1	1.4	2.0	2.8	3.1			1.2	1.4				
50	3.9	5.4	7.1	7.7	1.6	2.3	3.4	3.8			1.3	1.5				
100	4.4	6.5	9.2	10.1	1.6	2.5	3.8	4.3			1.4	1.6				
200	4.8	7.3	10.8	12.1	1.7	2.6	4.1	4.6			1.4	1.6				
500	5.1	7.9	12.1	13.7	1.7	2.7	4.2	4.9			1.4	1.6				
1000	5.2	8.1	12.6	14.4	1.7	2.7	4.3	4.9			1.4	1.7				
2000	5.2	8.2	12.9	14.8	1.7	2.8	4.4	5.0			1.4	1.7				
Συντελεστής Manning $n = 0.15$																
10	2.5	2.4	2.2	2.1	2.5	2.7	2.7	2.7	1.6	2.1	2.5	2.6		1.1	1.5	1.6
25	6.1	6.3	6.3	6.2	4.4	5.4	6.2	6.4	2.2	3.0	4.1	4.4		1.3	1.9	2.1
50	10.1	11.6	12.5	12.7	5.7	7.7	9.8	10.4	2.4	3.6	5.1	5.7		1.4	2.1	2.3
100	14.5	18.4	21.9	22.7	6.8	9.7	13.4	14.6	2.6	3.9	5.9	6.6		1.4	2.2	2.5
200	18.4	25.3	32.9	35.2	7.5	11.2	16.3	18.1	2.7	4.2	6.4	7.3		1.4	2.3	2.6
500	22.1	32.5	46.3	51.2	8.1	12.4	18.9	21.4	2.8	4.3	6.8	7.7		1.5	2.3	2.6
1000	23.7	36.0	53.6	60.2	8.3	12.9	20.0	22.8	2.8	4.4	6.9	7.9		1.5	2.3	2.7
2000	24.7	38.2	58.4	66.2	8.4	13.2	20.7	23.6	2.8	4.4	7.0	8.0		1.5	2.3	2.7
Συντελεστής Manning $n = 0.25$																
10	2.4	2.2	1.9	1.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.2	2.7	2.9	3.0	1.2	1.7	2.1	2.3
25	6.5	6.4	6.0	5.8	5.8	6.6	7.0	7.1	3.4	4.4	5.6	6.0	1.5	2.1	3.0	3.4
50	12.3	13.0	13.1	12.9	8.5	10.6	12.5	12.9	4.1	5.8	7.9	8.5	1.6	2.4	3.5	4.0
100	19.9	23.3	25.6	26.0	10.9	14.9	19.1	20.4	4.5	6.7	9.7	10.8	1.6	2.5	3.9	4.4
200	28.1	36.0	43.5	45.5	12.8	18.5	25.6	28.1	4.8	7.4	11.1	12.4	1.7	2.6	4.1	4.6
500	36.9	52.1	70.5	76.5	14.3	21.7	32.2	36.0	5.0	7.8	12.1	13.8	1.7	2.7	4.2	4.8
1000	41.3	61.2	88.0	97.5	15.0	23.1	35.3	39.9	4.1	8.0	12.5	14.3	1.7	2.7	4.3	4.9
2000	44.1	67.3	101.0	113.0	15.3	24.0	37.2	42.4	5.2	8.1	12.8	14.6	1.7	2.7	4.3	4.9

* Τιμές του χρόνου επιβράδυνσης μικρότερες από 1 λεπτό δεν αναφέρονται.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Ομάδα Διηθητικότητας (in/h)															
Κλίση Λωρίδας	0.3				0.5					1.0				
	d_n (mm)				d_n (mm)					d_n (mm)				
S_0 (m/m)	25	50	75	100	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
0.0005	65	65	70	70	65	65	70	70	70	75	75	80	80	80
0.0010	60	60	65	65	65	65	70	70	70	70	70	75	75	75
0.0020	60	60	55	50	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70
0.0030	55	55	50		60	60	65	65	65	65	65	70	70	70
0.0040	55	50			60	60	65	60	55	60	60	65	65	65
0.0050	50				60	60	60	55	50	60	60	65	65	65
0.0075					55	55	50			60	60	65	65	65
0.0100					55	55				60	60	65	65	65
0.0150					55					55	55	60	60	60
0.0200					50					55	55	60	55	50
0.0250										55	55	55	50	
0.0300										55	55	50		
0.0400										50	50			
0.0500														
0.0600														

Ομάδα Διηθητικότητας (in/h)																		
Κλίση Λωρίδας	1.5					2.0					3.0				4.0			
	d_n (mm)					d_n (mm)					d_n (mm)				d_n (mm)			
S_0 (m/m)	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	25	50	75	100
0.0005	75	75	80	80	80	75	75	80	80	80	65	70	70	70	65	70	70	70
0.0010	75	75	80	80	80	75	75	80	80	80	65	70	70	70	65	70	70	70
0.0020	70	70	75	75	75	70	70	75	75	75	65	70	70	70	65	70	70	70
0.0030	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70	65	70	70	70	65	70	70	70
0.0040	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70	65	70	70	70	60	65	65	65
0.0050	65	65	70	70	70	65	65	70	70	70	65	70	70	70	60	65	65	65
0.0075	60	60	65	65	65	65	65	70	70	70	65	70	70	70	60	65	65	65
0.0100	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65	60	65	65	65	60	65	65	65
0.0150	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65	60	65	65	65	60	65	65	65
0.0200	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65	60	65	65	65	60	65	65	65
0.0250	60	60	65	65	65	60	60	65	65	65	60	65	65	65		60	60	60
0.0300	55	55	60	60	60	55	55	60	60	60	55	60	60	60		60	60	60
0.0400	55	55	60	60	55		55	60	60	60		60	60	60				
0.0500	55	55	60	55	50		55	60	55	50								
0.0600	50	50	55	50				55	50									

<u>Πίν. 6:</u> *.*

Προτεινόμενες αποδοτικότητες εφαρμογής E_a (%), για άρδευση με λωρίδες, σε συνάρτηση με την κλίση της ης λωρίδας (S_0), την ομάδα διηθητικότητας και το καθαρό ύψος άρδευσης (d_n)

Στον Πίνακα 6 δίνονται οι αποδοτικότητες εφαρμογής που πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό άρδευσης με περιορισμένη διάχυση ως συνάρτηση της κλίσης της λωρίδας και της ομάδας διηθητικότητας που ανήκει το έδαφος της (Hart κ.ά., 1983).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Κατά το σχεδιασμό πρέπει να παίρνονται υπόψη και οι ακόλουθοι περιορισμοί :

Μέγιστη αρδευτική παροχή (Q_{umax}). Η παροχή που εφαρμόζεται στη λωρίδα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη παροχή (Q_{umax}) η οποία προκαλεί διάβρωση. Η μέγιστη αρδευτική παροχή σε L/s/m που επιτρέπεται, υπολογίζεται με τις σχέσεις:

$$Q_{umax} = 0.1765 \cdot S_o^{-0.75} \qquad (13)$$

για καλλιέργειες όπως είναι η μηδική και τα δημητριακά και

$$Q_{umax} = 0.353 \,.\, S_o^{-0.75} \qquad (14)$$

για πολύ πυκνές καλλιέργειες. Στις παραπάνω σχέσεις S_o είναι η κλίση της λωρίδας σε m/m.

Μέγιστο βάθος ροής (D_{max}). Το βάθος ροής στο ανάντη άκρο της λωρίδας δεν πρέπει να υπερβαίνει το ύφος των αναχωμάτων των λωρίδων και συνήθως παίρνεται ίσο με το 75% του ύψους των αναχωμάτων, με συνήθη τιμή τα 150mm.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Το κανονικό βάθος ροής (D_n) στην αρχή της λωρίδας, για κλίσεις μεγαλύτερες από 0.4%, υπολογίζεται με τη σχέση:

$$D_n = 15.85 \,.\, Q_u^{0.6} \cdot \eta^{0.6} \cdot S_o^{-0\cdot3} \qquad (15)$$

και για κλίσεις ίσες ή μικρότερες του 0.4% με τη σχέση:

$$D_n = 50.40 \cdot t_L^{0.1875} \cdot Q_u^{0.5625} \cdot n^{0\cdot375} \qquad (16)$$

όπου: D_n σε mm, Q_u σε L/s/m, t_L σε min, S_o σε m/m και n ο συντελεστής Manning.

Ελάχιστη αρδευτική παροχή (Q_{umin}). Η αρδευτική παροχή η οποία παροχετεύεται στην αρχή της λωρίδας πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να υπερνικά την τραχύτητα του εδάφους, καθώς επίσης και τα εμπόδια που παρεμβάλλονται στην κίνηση του νερού. Η Q_{umin} σε (L/s/m), που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες, υπολογίζεται με τη σχέση:

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

$$Q_{umin} = \frac{0.0195 \cdot L \cdot S_o^{0.5}}{n} \qquad (17)$$

όπου όλοι οι όροι της έχουν οριστεί προηγούμενα.

Μέγιστη κλίση (S_{omax}).Η μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση υπολογίζεται με τη σχέση :

$$S_{0\,\max} = \left(\frac{n}{0.0117\, E_a} \, \frac{d_n}{t_n} \right)^2 \qquad (18)$$

όπου: S_{omax} σε m/m, E_a (%), d_n σε mm και t_n σε min. Η μέγιστη κλίση σχετίζεται με το μέγιστο βάθος ροής στην αρχή της λωρίδας και όχι με τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους και πρέπει να συγκρίνεται με την κλίση της λωρίδας S_0. Για το σωστό σχεδιασμό της άρδευσης με λωρίδες πρέπει να ισχύει:

$$S_0 \leq S_{0max} \qquad (19)$$

Για λωρίδες που είναι ανοικτές στο κάτω άκρο τους, το μέγιστο μήκος (L_{max}) υπολογίζεται με τη σχέση:

$$L_{\max} = \frac{Q_{u\,\max}\, E_a\, (t_n - t_L)}{1.67 \cdot d_n} \qquad (20)$$

όπου: L_{max} σε m και οι άλλοι όροι είναι όπως έχουν ορισθεί προηγούμενα. Υπό ορισμένες συνθήκες, η σχέση (20) μπορεί να δώσει εξωπραγματικά μήκη.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Τεχνικές αύξησης της αποδοτικότητας εφαρμογής στη μέθοδο με λωρίδες

Η βελτίωση της αποδοτικότητας εφαρμογής στην άρδευση με λωρίδες και ο περιορισμός της επιφανειακής απορροής απαιτούν την τροποποίηση του σχεδιασμού της. Η τροποποίηση αυτή μπορεί να γίνει είτε: α) με αύξηση του μήκους της λωρίδας και περιορισμό της απορροής στην προέκταση της λωρίδας, είτε: β) με τη δημιουργία αναχώματος στο τέλος της λωρίδας και μείωση της παροχής εισόδου.

α) Αύξηση του μήκους της λωρίδας και περιορισμός της απορροής στην προέκταση της λωρίδας. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται ο υπολογισμός της προέκτασης της λωρίδας (L_e), που γίνεται με τις σχέσεις:

$$L_e = \frac{dn}{1000 \cdot S_o} \qquad (21)$$

και

$$L_e = \left(\frac{1 - Ea}{100}\right) \cdot r_i \cdot r_n \cdot L \qquad (22)$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

όπου: L_e προέκταση Λωρίδας (m), d_n καθαρό ύψος άρδευσης (mm), S_0 *κλίση λωρίδας* (m/m), E_a αποδοτικότητα εφαρμογής (%), L κανονικό μήκος Λωρίδας (m), r_i αδιάστατος συντελεστής, που εκφράζει την επίδραση της διηθητικότητας στην απορροή και r_n αδιάστατος συντελεστής, που εκφράζει την επίδραση της τραχύτητας στην απορροή. Εμπειρικές τιμές τιμών r_i και r_n, σε συνάρτηση με την ομάδα διηθητικότητας και το συντελεστή τραχύτητας η, αντίστοιχα, δίνονται στον Πίνακα 7. Το μήκος της επέκτασης L_e που επιλέγεται, είναι το μικρότερο που προκύπτει από τις *σχίσεις* (21) και (22).

β) Δημιουργία αναχώματος στο τέλος της λωρίδας και μείωση της παροχής εισόδου. Σε περίπτωση, που το μήκος των Λωρίδων δεν είναι δυνατό να μεταβληθεί, στο κάτω άκρο των Λωρίδων μπορεί να κατασκευαστεί ένα ανάχωμα και, ταυτόχρονα, να μειωθεί η παροχή. Η μειωμένη παροχή *(Q_{ue}),* υπολογίζεται με τη σχέση:

$$Q_{ue} = \frac{Q_u}{1 + r_i \cdot r_n \cdot (1 - E_a/100)} \qquad (23)$$

όπου: Q_{ue} μειωμένη παροχή εισόδου (L/s/m), Q_u παροχή εισόδου (L/s/m) που υπολογίστηκε χωρίς ανάχωμα στο τέλος της Λωρίδας και r_i και r_n συντελεστές που ορίστηκαν προηγούμενα και δίνονται στον Πίνακα 7. Η σχέση (23) προϋποθέτει ότι η μείωση της παροχής από Q_u σε Q_{ue} δεν είναι αρκετά μεγάλη ώστε να επιφέρει σημαντικές αλλαγές, στο χρόνο επιβράδυνσης t_L.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Πίν.7: Εμπειρικές τιμές των αδιάστατων παραγόντων r_i και r_n, σε συνάρτηση με την ομάδα διηθητικότητας και το συντελεστή τραχύτητας η

Ομάδα διηθητικότητας (in/h)	Λ	Συντελεστής τραχύτητας, η	r_n
0.1	1.00	0.04	0.90
0.3	0.90	0.10	0.80
0.5	0.80	0.15	0.75
1.0	0.70	0.20	0.70
1.5	0.65	0.25	0.65
2.0	0.60		
3.0	0.50		
4.0	0.40		

https://www.youtube.com/watch?v=Ya5ikTKZgIo *(παράδειγμα βίντεο)*

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Εφαρμογή

Δίνονται:

Καλλιέργεια	Μηδική
Ομάδα διηθητικότητας	Νο 11 κατά *SCS*
Μήκος αγρού (άρα και των Λωρίδων)	L = 255 m
Κλίση λωρίδας	S_0 = 0.002 m/m
Καθαρό ύψος άρδευσης	d_n = 75 mm
Μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος ροής	150 mm

Ζητούνται:

Χρόνος ευκαιρίας του νερού t_n

Χρόνος επιβράδυνσης t_L

Απαιτούμενη παροχή ανά μέτρο πλάτους Λωρίδας Q_u

Διάρκεια άρδευσης t_a

Μέγιστη και ελάχιστη επιτρεπόμενη παροχή Q_{umax} και Q_{umin}

Κανονικό βάθος ροής D_n

Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση λωρίδας S_{0max}

Μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος λωρίδας L_{max}

Μήκος επέκτασης L_e της λωρίδας με περιορισμό της απορροής

Μειωμένη παροχή Q_{ue} αν στο τέλος της λωρίδας κατασκευαστεί ανάχωμα.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Λύση.

Από τον Πίνακα 1, για ομάδα διηθητικότητας No.11 είναι: α=1.786, b=0.785 και c=7.0. Από τη σχέση (3), ο χρόνος ευκαιρίας είναι:

$t_n = [(75 - 7)/1.786]^{1/0.785} = 103.2$ *min*

Από τον Πίνακα 4, για καλλιέργεια μηδικής, η = 0.15. Από τον Πίνακα 5, για κλίση λωρίδας $S_0 = 0.002$ *m/m και* $t_n = 103$ *min, ο χρόνος επιβράδυνσης* t_L*, ανάλογα με την παροχή, κυμαίνεται από 2.6 min μέχρι 6.6 min. Σαν πρώτη παραδοχή, δεχόμαστε ότι*

$t_L = (2.6 + 6.6)/2 = 4.6$ *min. Από τον Πίνακα 6, για* $S_0 = 0.002$*, ομάδα διηθητικότητας No.11 και καθαρό ύψος άρδευσης* d_n*=75 mm, η προτεινόμενη αποδοτικότητα εφαρμογής είναι 70%. Από τη σχέση (8),*

$$Q_u = \frac{1.67 \cdot 255 \cdot 75}{(103.2 - 4.6) \cdot 70} = 4.63 \text{ L/s/m}$$

Υπολογίζεται το t_L *για* $Q_u = 4.63$ *L/s/m με τη σχέση (11),*

$$t_L = \frac{0.15^{1.2} \cdot 4.63^{0.2}}{477.7 + \left(0.002 + \frac{0.00281 \cdot 0.15 \cdot 4.63^{0.175}}{103.2^{0.88} \cdot 0.002^{0.5}}\right)^{1.6}} = 5.99 \text{ min}$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Υπολογίζεται η Q_u για t_L = 5.99 min, με τη σχέση (8), από όπου προκύπτει ότι Q_u = 4.69 L/s/m. Ελέγχεται το t_L για Q_u = 4.69 L/s/m, με τη σχέση (11), από όπου προκύπτει ότι t_L = 5.99 min. Άρα ο χρόνος επιβράδυνσης είναι οριστικά t_L = 5.99 min.

Η απαιτουμένη παροχή ανά μονάδα πλάτους λωρίδας είναι όπως υπολογίστηκε παραπάνω Q_u = 4.69 L/s/m.

Η διάρκεια της άρδευσης t_a, σύμφωνα με τη σχέση (12), είναι :

$t_a = 103.2 - 5.99 = 97.21$ min.

Η μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή Q_{umax}, σύμφωνα με τη σχέση (13), είναι:

$Q_{umax} = 0.1765 \,.\, 0.002^{-0.75} = 18.66$ L/s/m > Q_u = 4.69 L/s/m

Η ελάχιστη επιτρεπόμενη παροχή Q_{umin}, σύμφωνα με τη σχέση (17), είναι:

$Q_{umin} = (0.0195 \,.\, 255 \bullet 0.002^{0.5})/0.15 = 1.48$ L/s/m < Q_u = 4.69 L/s/m

Το βάθος ροής D_n, σύμφωνα με τη σχέση (16), είναι:

$D_n = 50.40 \,.\, 5.99^{0.875} \,.\, 4.69^{0.5625} \,.\, 0.15^{0.375} = 88.56$ mm < D_{max} = 150 mm

Η μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση S_{0max}, σύμφωνα με τη σχέση (18), είναι:

$$S_{0max} = \left(\frac{0.15}{0.0117 \bullet 70} \bullet \frac{75}{103.2}\right)^2 = 0.018 > S_0 = 0.002$$

σύμφωνα με τη σχέση (19).

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος λωρίδας L_{max}, σύμφωνα με τη σχέση (20), είναι:

$$L_{max} = \frac{18.66 \cdot 70 \cdot (103.2-5.99)}{1.67 \cdot 75} = 1013.17m > L = 255\ m$$

Το μήκος της επέκτασης της λωρίδας L_e, σύμφωνα με τη σχέση (21), είναι:

$L_e = 75/(1000 \bullet 0.002) = 37.5\ m$

και σύμφωνα με τη σχέση (22) όπου, από τον Πίνακα 7, $r_i = 0.70$ και $r_n = 0.75$, είναι:

$$L_e = \left(\frac{1-70}{100}\right) \bullet 0.70 \bullet 0.75 \bullet 255 = 40.16\ m$$

Επιλέγεται το μικρότερο, οπότε $L_e = 37.5$ m και το συνολικό μήκος της λωρίδας θα είναι:

255 + 37.5 = 292.5m.

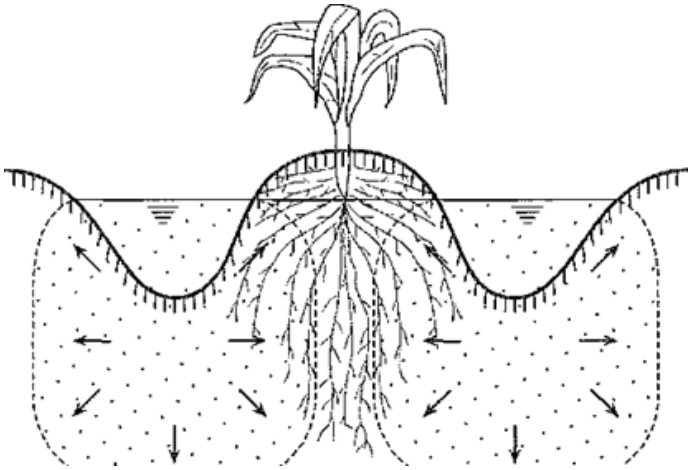
Η μειωμένη παροχή Q_{ue}, αν στο τέλος του κανονικού μήκους της λωρίδας κατασκευαστεί ανάχωμα, σύμφωνα με τη σχέση (23), είναι:

$$Q_{ue} = \frac{4.69}{1+0.70 \cdot 0.75 \cdot \left(1-\frac{70}{100}\right)} = 4.05\ L/s/m$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

3) Άρδευση με Αυλάκια

Στη μέθοδο αυτή, που εφαρμόζεται κυρίως για την άρδευση γραμμικών καλλιεργειών, ο αγρός διαμορφώνεται σε αυλάκια συνήθως με κατεύθυνση προς τη μέγιστη κλίση, στο πάνω μέρος των οποίων παροχετεύεται νερό με μικρή σχετικά παροχή. Το νερό αυτό κινείται κατά μήκος των αυλακιών, αρδεύοντας τα φυτά που βρίσκονται στις ράχες που σχηματίζονται μεταξύ των αυλακιών. Με τον τρόπο αυτό μέρος μόνο της επιφάνειας του χωραφιού σκεπάζεται με νερό. Η διήθηση του νερού από τα αυλάκια είναι κατακόρυφη και πλευρική. Η πλευρική διήθηση που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, είναι πολύ σημαντική γιατί, κυρίως με αυτή, εφοδιάζονται με νερό τα φυτά που καλλιεργούνται στις ράχες και επηρεάζει την κατανομή των διαλυτών αλάτων και των λιπασμάτων που δεν δεσμεύονται από το έδαφος. Μια τυπική κατανομή της υγρασίας από αυλάκι σε ομοιόμορφο έδαφος φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχ.4: Κατανομή υγρασίας στο έδαφος κατά την άρδευση με αυλάκια.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Η παροχή που εφαρμόζεται στα αυλάκια είναι συνάρτηση των διαστάσεων και της διαβρωτικότητάς τους. Γενικά, η διάβρωση του εδάφους των χωραφιών που αρδεύονται με αυλάκια είναι μεγαλύτερη από ότι όταν αυτά αρδεύονται με περιορισμένη διάχυση ή κατάκλυση, γιατί στα αυλάκια το νερό βρίσκεται σε άμεση επαφή με το έδαφος ενώ στις άλλες δύο μεθόδους η επιφάνεια του εδάφους προστατεύεται ήδη από την καλλιέργεια. Η διαβρωτικότητα εξαρτάται από το έδαφος και την ταχύτητα που κινείται το νερό στα αυλάκια.

Σε γενικές γραμμές, τα αμμώδη εδάφη είναι πιο ευάλωτα στη διάβρωση από ότι τα αργιλώδη. Η ταχύτητα ροής του νερού είναι συνάρτηση της παροχής και της κλίσης του αυλακιού. Η μέγιστη παροχή που μπορεί να παροχετευθεί σε ένα αυλάκι, χωρίς αυτή να προκαλεί διάβρωση, μπορεί να υπολογιστεί με την εμπειρική σχέση:

$Q_m = 0.0063/S$ (24)

Όπου: Q_m είναι η μέγιστη παροχή που μπορεί να δεχτεί το αυλάκι χωρίς κίνδυνο διάβρωσης σε L/s και S είναι η κλίση του αυλακιού σε m/m.

Οι μικρές σχετικά διαστάσεις των αυλακιών και ο κίνδυνος διάβρωσης του εδάφους επιβάλλουν συνήθως την εφαρμογή **μικρής παροχής άρδευσης** που έχει ως συνέπεια βραδεία προς τα κατάντη κίνηση του νερού. Ακόμη, μετά τη διακοπή της άρδευσης, λόγω των μικρών διαστάσεων των αυλακιών, το νερό που παραμένει σ' αυτά είναι περιορισμένο και αποχωρεί πολύ γρήγορα. Για τους λόγους αυτούς, άρδευση με σταθερή παροχή έχει ως συνέπεια ανομοιόμορφη κατανομή του νερού και μεγάλη επιφανειακή απορροή. Βελτίωση της ομοιομορφίας κατανομής και περιορισμός της επιφανειακής απορροής μπορεί να επιτευχθεί αν εφαρμοστεί μεταβαλλόμενη παροχή.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Τα αυλάκια χρησιμοποιούνται για την άρδευση όλων των γραμμικών καλλιεργειών σε εδάφη με μικρή κλίση. Στον Πίνακα 8 δίνονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις ανάλογα με τον τύπο του εδάφους.

Πίν.8: Μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις στη μέθοδο με αυλάκια

Τύπος *εδάφους*	Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση (m/m)
Άμμος	0.0025
Αμμώδης πηλός	0.0040
Άργιλος	0.0250
Πηλός	0.0625

Τυπικά, τα αυλάκια είναι παράλληλα μεταξύ τους, με ισαποχή που καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ των γραμμών των φυτών και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0.8-1.0 m. Το βάθος τους είναι 15-18 cm και δέχονται παροχές από 0.5-3.0 L/s. Το μήκος τους κυμαίνεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους από 80-600 m. Για μέσες συνθήκες το μήκος αυτό είναι γύρω στα 300 m. Αυλάκια όμως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε επικλινή και τοπογραφικά ανομοιόμορφα εδάφη. Εδώ τα αυλάκια ακολουθούν ισοκλινείς με μικρή κλίση, έχουν ακανόνιστη διεύθυνση, μήκος από 60 μέχρι 120 m και διαστάσεις που επιτρέπουν μεγάλη σχετικά παροχή.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ

Ο περιορισμός της επιφανειακής απορροής και η βελτίωση της ομοιομορφίας κατανομής του νερού, που έχουν σαν αποτέλεσμα καλύτερη αρδευτική αποδοτικότητα, μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλο συνδυασμό της παροχής άρδευσης και του μήκους των αυλακιών, σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Μια τυπική διαδικασία για να βρεθεί ο βέλτιστος αυτός συνδυασμός είναι με δοκιμαστικές αρδεύσεις (Panoras κ.ά., 1996). Η διαδικασία αυτή, όπως και στην περίπτωση της άρδευσης με περιορισμένη διάχυση, είναι χρονοβόρα, δαπανηρή και απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό. Μια άλλη διαδικασία που δεν απαιτεί δοκιμαστικές αρδεύσεις αναπτύχθηκε από την Soil Conservation Service των Η.Π.Α. (USDA, 1979, Hart κ.ά., 1983, Τσακίρης, 1986, Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ. 1996, Παπαμιχαήλ και Παπαδήμος, 1996α). Είναι δεδομένο ότι η διήθηση του νερού στο έδαφος από ένα αυλάκι εξαρτάται από την επιφάνεια του εδάφους που βρίσκεται σε επαφή με το νερό. Η επιφάνεια αυτή, ανά μονάδα μήκους αυλακιού, εκφράζεται από τη βρεχόμενη περίμετρο και υπολογίζεται εμπειρικά με τη σχέση:

$$P = 0.265\,(Q\,(\frac{n}{s})^{0.5})^{0.425} + 0.227 \quad (25)$$

όπου: P βρεχόμενη περίμετρος σε m, Q παροχή εισόδου σε κάθε αυλάκι (L/s), S κλίση των αυλακιών (m/m) και n συντελεστής τραχύτητας του Manning. Η τιμή της P δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την απόσταση μεταξύ των αυλακιών W.

Ο χρόνος προέλασης του νερού σε διαδοχικές θέσεις κατά μήκος του αυλακιού (t_t) σε min, όπως υπολογίζεται από ανάλυση δεδομένων που αποκτήθηκαν από δοκιμαστικές αρδεύσεις, εκφράζεται με τη σχέση:

Υδραυλικά Έργα

Η διάλεξη αυτή είναι στηριγμένη στις ακόλουθες πηγές :

Υδραυλικά Έργα, Γ.Τσακίρης, Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα

Εκδόσεις Συμμετρία