



ΟΙ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΜΟΥΡΟΥΤΟΓΛΟΥ
ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

*Προέλευση του νερού που διατίθεται στο φυτό

- ▶ Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c) προσδιορίζει *το νερό που χρειάζεται* η εκάστοτε καλλιέργεια για τη κανονική ανάπτυξη και απόδοσή της. Από πού προέρχεται αυτό το νερό?

1. Βροχή

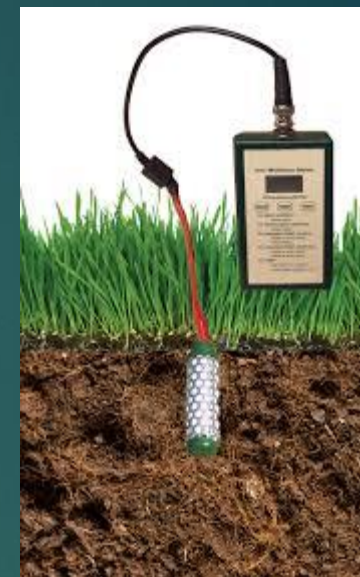
- *Η ωφέλιμη βροχή είναι το ποσοστό της βροχής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες. *Δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχής, του εδάφους και της καλλιέργειας.*



*Προέλευση του νερού που διατίθεται στο φυτό

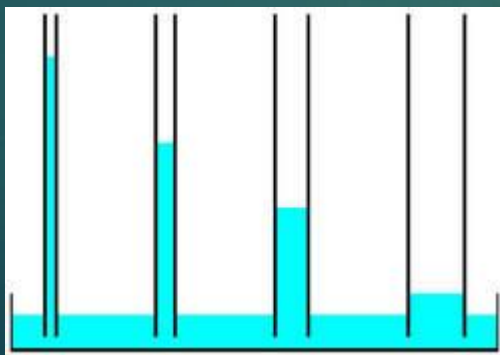
2. Υγρασία εδάφους

Οι βροχές, η τήξη του χιονιού την άνοιξη και η κατάκλυση των χωραφιών με νερό από πλημμύρες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας στο ριζόστρωμα.



3. Υπόγειο νερό

Συνεκτικά εδάφη: μεγάλο ύψος ανόδου με βραδύ ρυθμό
≠ ελαφρά εδάφη



Τριχοειδή φαινόμενα

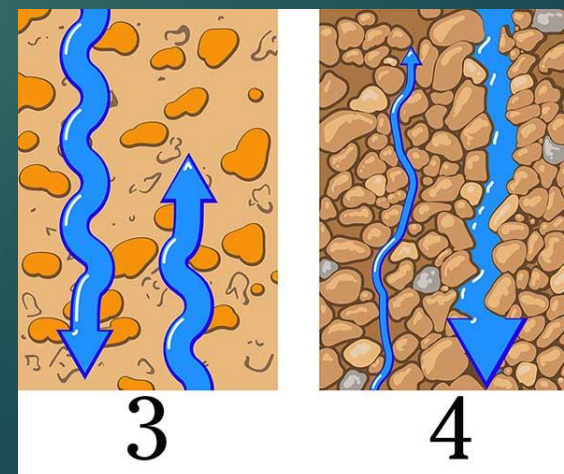
Αμμώδες έδαφος:

Ταχεία αλλά μικρή ανύψωση νερού

Αργιλώδες έδαφος:

Μεγάλη και αργή ανύψωση του νερού μπορεί να φτάσει τα 0.8 – 1 m

Αμμώδες Αργιλώδες



*Καθαρές σε νερό ανάγκες των καλλιεργειών

- ▶ Όταν δεν καλύπτουν τις ανάγκες σε νερό οι παραπάνω παράγοντες, είναι αναγκαίο να προστεθεί νερό με άρδευση.
- ▶ Έτσι, οι καθαρές ανάγκες σε νερό δίνονται από τη σχέση:

$$I_n = ET_c - (P_e + GW + SM)$$

▶ Όπου:

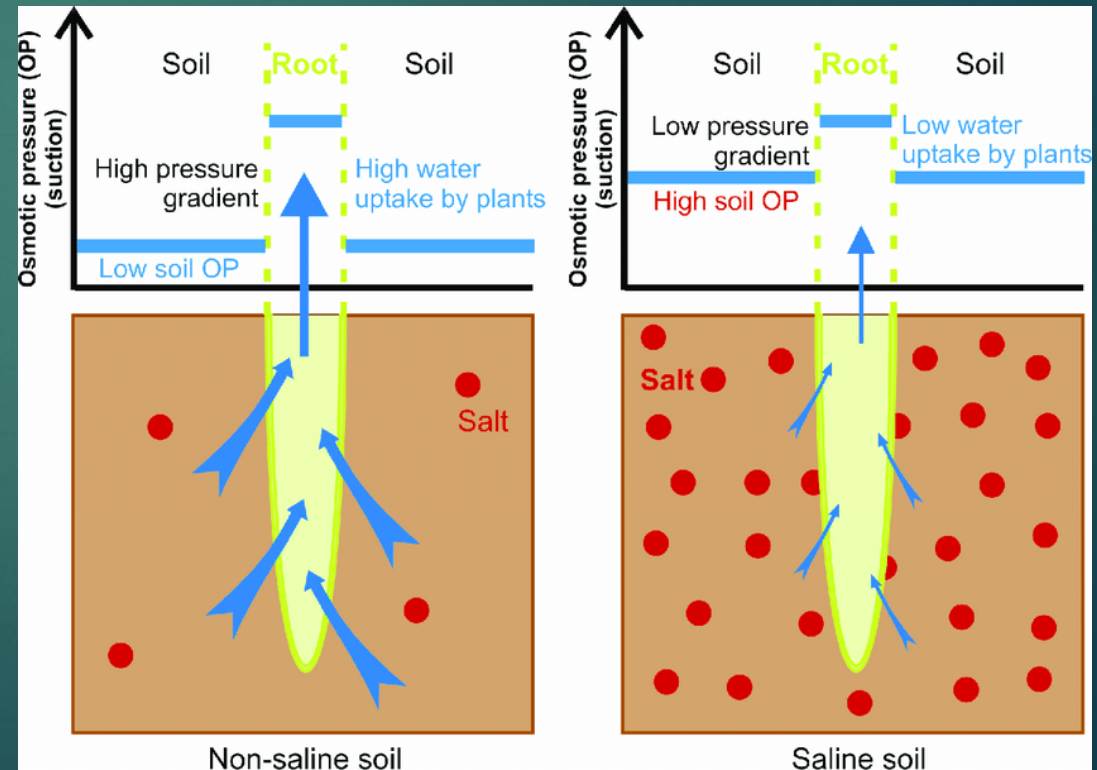
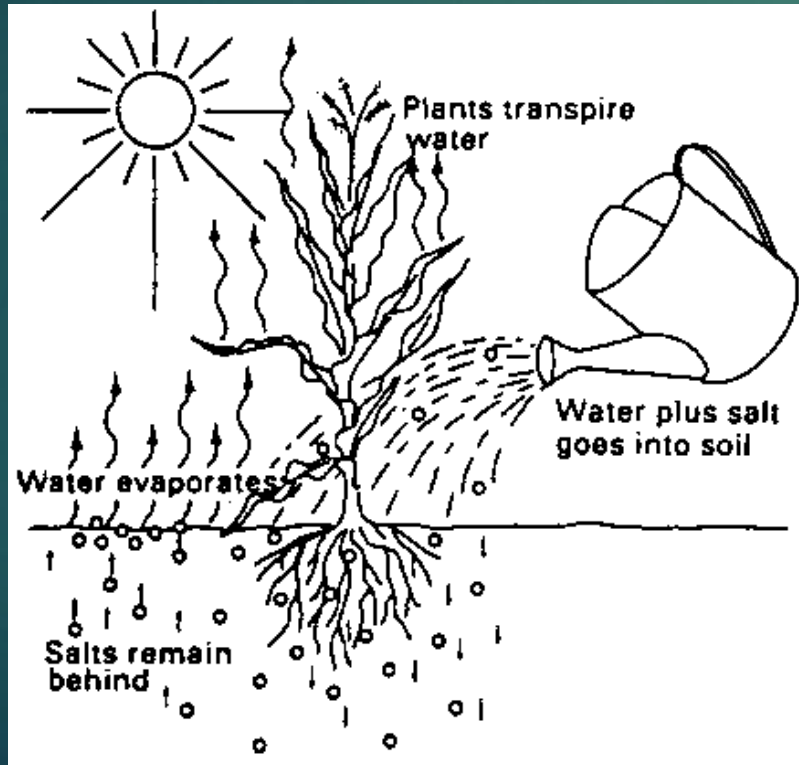
- I_n (*Net Irrigation Needs*) Καθαρές ανάγκες σε νερό άρδευσης
- ET_c η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας
- P_e η ωφέλιμη βροχόπτωση (P_e *Effective Precipitation*)
- GW η συμβολή του υπόγειου νερού (*Ground Water*)
- SM το αποθηκευμένο νερό στη ζώνη του ριζοστρώματος κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου.

***Ολικές** σε νερό ανάγκες των καλλιεργειών

- ▶ Εκτός των καθαρών αναγκών σε νερό, απαιτούνται πρόσθετες ποσότητες νερού:
 - Έκπλυση των αλάτων που συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα ως συνέπεια της άρδευσης.
 - Κάλυψη απωλειών κατά τη μεταφορά του νερού και την εφαρμογή του.

Έκπλυση των αλάτων

- ▶ Όταν η τιμή της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος από την υπερβολική χρήση λιπασμάτων (ή) και από άρδευση με αλατούχο νερό ξεπεράσει την τιμή της οσμωτικής πίεσης του κυτταρικού χυμού, τότε τα φυτά δυσκολεύονται ή αδυνατούν να απορροφήσουν νερό (και κατ' επέκταση θρεπτικά συστατικά), (Θεοδώρου, Πασχαλίδης, 1999) έχουμε προβλήματα αλατότητας στο έδαφος.



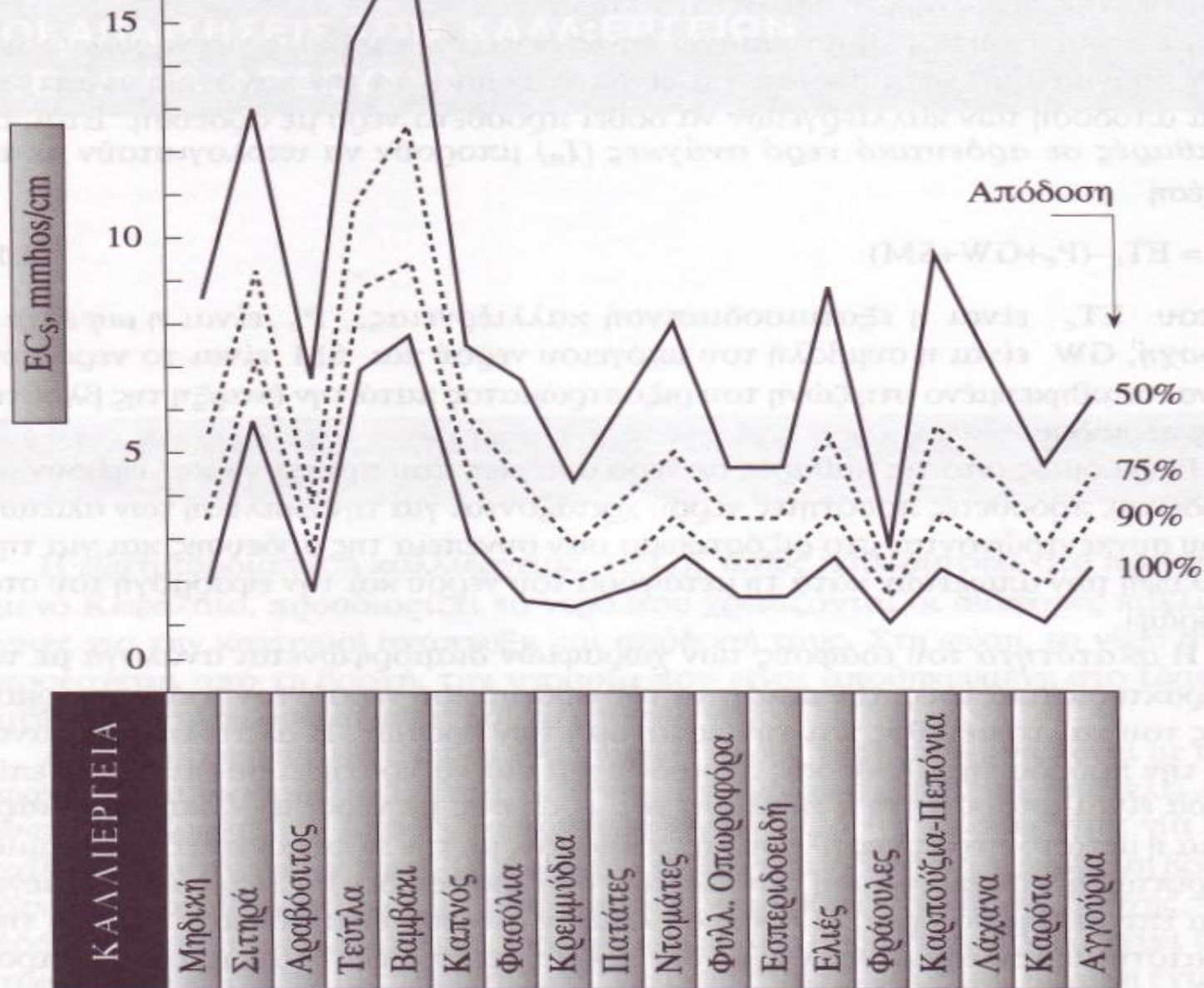
Έκπλυση των αλάτων

- ▶ Μέτρο για τον υπολογισμό του νερού έκπλυσης αποτελεί η ανθεκτικότητα των καλλιεργειών σε διάφορα επίπεδα αλατότητας. Αυτή εκφράζεται έμμεσα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα *εκχυλίσματος κορεσμού* του εδάφους.

Ανθεκτικότητα και απόδοση επιλεγμένων καλλιεργειών όπως αυτές επηρεάζονται από την αλατότητα του νερού άρδευσης (EC _w) ή του εκχυλίσματος κορεσμού (EC _e)										
Καλλιέργειες	100%		90%		75%		50%		0% "maximum" ²	
	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w
Κριθάρι (<i>Hordeum vulgare</i>) ⁴	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Βαμβάκι (<i>Gossypium hirsutum</i>)	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Ζαχαρότευτλα (<i>Beta vulgaris</i>) ⁵	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Σόργο (<i>Sorghum bicolor</i>)	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Σιτάρι (<i>Triticum aestivum</i>) ^{4,6}	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Σκληρό σιτάρι (<i>Triticum turgidum</i>)	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
Σόγια (<i>Glycine max</i>)	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Μαυρομάτικα φασόλια (<i>Vigna unguiculata</i>)	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Αραχίδα (<i>Arachis hypogaea</i>)	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Ρύζι (αναποφλοιώτο) (<i>Oriza sativa</i>)	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Ζαχαροκάλαμο (<i>Saccharum officinarum</i>)	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Αραβόσιτος (<i>Zea mays</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7

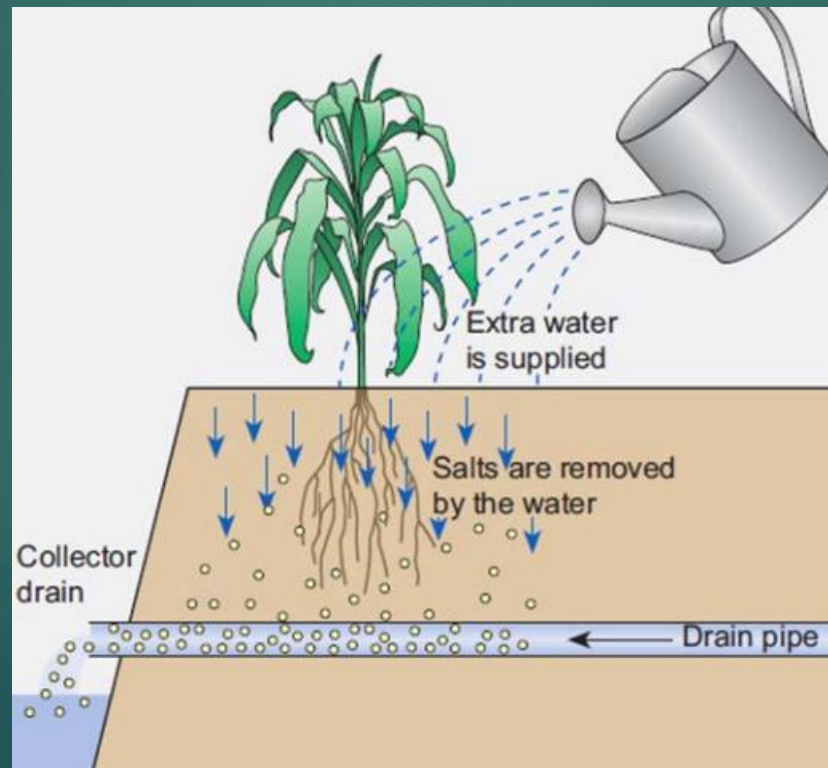
Απόσπασμα από το παράρτημα των σημειώσεων (διαχείριση ποιότητας του νερού άρδευσης)
Χ. Μουρούτογλου

Επίδραση της συγκέντρωσης αλάτων στο έδαφος στην απόδοση διαφόρων καλλιεργειών βάσει της EC_s



*Ο συντελεστής έκπλυσης (LR)

- ▶ Είναι η ελάχιστη ποσότητα νερού, εκφρασμένη ως **κλάσμα της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας** που πρέπει να διηθηθεί βαθιά μέσα στη ζώνη του ριζοστρώματος για να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο.



Ο συντελεστής έκπλυσης (LR)

Δίνεται από τη σχέση:

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_s - EC_w} \quad (1)$$

ή

$$LR = \frac{EC_w}{3EC_{50}} \quad (2)$$

- ▶ Ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και τον τύπο άρδευσης χρησιμοποιείται η (1) ή η (2).
- ▶ Όπου:
 - EC_w η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού σε mmhos / cm
 - EC_s η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού που αντιστοιχεί σε μια καλλιέργεια και το επιθυμητό επίπεδο απόδοσής της.
 - EC_{50} είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε mmhos/cm που αντιστοιχεί σε απόδοση 50% της καλλιέργειας.

- Η αποτελεσματικότητα της έκπλυσης κυμαίνεται από 100% μέχρι 30%, και εκφράζεται από τον συντελεστή αποτελεσματικότητας έκπλυσης E_l ,

Έτσι οι (1) και (2) γίνονται:

$$LR = \frac{1}{E_l} \cdot \frac{EC_w}{5EC_s - EC_w}$$

και

$$LR = \frac{1}{E_l} \cdot \frac{EC_w}{3EC_{50}}$$

αντίστοιχα.

- Είναι πάντοτε απαραίτητο μαζί με κάθε αρδευτικό να κατασκευάζεται και το αντίστοιχο στραγγιστικό δίκτυο, ώστε να διατηρείται αφ' ενός το ριζόστρωμα ελεύθερο από υπερβολική υγρασία και αφ' ετέρου να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες για την απομάκρυνση του νερού έκπλυσης.



*Απώλειες μεταφοράς και εφαρμογής του νερού άρδευσης

- ▶ Στην εκτίμηση των ολικών σε νερό αναγκών πρέπει να περιλαμβάνεται ένας αναλογικός συντελεστής ενδεικτικός των απωλειών: ονομάζεται ***αρδευτική αποδοτικότητα**

I. Η αποδοτικότητα του δικτύου μεταφοράς →
(E1 efficiency)

$$E_1 = \frac{Q_s}{Q_{in}}$$

- a. Q_s το νερό που φτάνει στις υδροληψίες
- b. Q_{in} το νερό που παροχετεύτηκε από τη πηγή τροφοδοσίας

II. Η αποδοτικότητα του δικτύου εφαρμογής →
(E2)

$$E_2 = \frac{Q_f}{Q_s}$$

- a. Q_f το νερό που φτάνει στην αρχή του χωραφιού
- b. Q_s το νερό που παροχετεύτηκε στην υδροληψία του αγωγού εφαρμογής

Αρδευτική αποδοτικότητα

III. Η αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού (E_f)

- a. M_s το νερό που αποθηκεύτηκε στη ζώνη του ριζοστρώματος και είναι 100% διαθέσιμο
- b. Q_f το νερό που διατέθηκε συνολικά στο χωράφι

$$E_f = \frac{M_s}{Q_f}$$

IV. Η αποδοτικότητα του αρδευτικού δικτύου (E_p)

- a. Είναι η αναλογία ανάμεσα στο νερό που αποθηκεύτηκε στο ριζόστρωμα (M_s) και αυτού που παροχετεύτηκε...
- b. στην πηγή τροφοδοσίας του δικτύου Q_{in} .

$$E_p = E_1 \cdot E_2 \cdot E_f = \frac{M_s}{Q_{in}}$$

V. Η αποδοτικότητα διανομής του νερού (E_d)

$$E_d = E_1 \cdot E_2 = \frac{Q_f}{Q_{in}}$$

*Παράγοντες που επηρεάζουν τις αποδοτικότητες

- ▶ Η αποδοτικότητα διανομής νερού E_d :
 - a. Μέγεθος του αρδευτικού δικτύου
 - b. Αριθμό και είδος καλλιεργειών
 - c. Είδος του δικτύου διανομής
 - d. Έργα ρύθμισης ροής
- ▶ Η αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού E_f :
 - a. Μέθοδο άρδευσης
 - b. Επιδεξιότητα – εμπειρία χρηστών



Αποδοτικότητα διανομής & εφαρμογής

Αποδοτικότητα διανομής (E_d) και εφαρμογής (E_f) του νερού σε οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα.

Συνθήκες δικτύου και άρδευσης	Αποδοτικότητα	
(1)	(2)	
1. Αποδοτικότητα διανομής E_d		
Συντήρηση και λειτουργία δικτύου	πολύ καλή	0,60–0,70
» » »	ικανοποιητική	0,50–0,60
» » »	ελλιπής	0,35–0,45
» » »	φτωχή	0,25–0,35
2. Αποδοτικότητα εφαρμογής E_f		
Άρδευση με κατάκλυση		0,60–0,80
» » περιορισμένη διάχυση		0,60–0,75
» » αυλάκια		0,55–0,70
» » καταιονισμό		0,60–0,80
» » σταγόνες		0,75–0,95

Ολικές ανάγκες σε νερό άρδευσης: Ποσότητα νερού που δίνεται με άρδευση

- ▶ Η ποσότητα νερού που δίνεται με άρδευση πρέπει να καλύπτει:
 - τις καθαρές σε νερό ανάγκες των καλλιεργειών (I_n),**
 - τις απαιτούμενες ποσότητες για **έκπλυση** και τις **απώλειες κατά την μεταφορά και εφαρμογή** ΤΟΥ ΣΤΟ ΧΩΡΑΦΙ.
- ▶ Έτσι η I_t (Total Irrigation Needs) που αντιπροσωπεύει τις ολικές ανάγκες σε νερό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_t = \frac{I_n}{E_p(1-LR)}$$



Όπου E_p η αρδευτική αποδοτικότητα και LR ο συντελεστής έκπλυσης.

Δόση άρδευσης

- ▶ Όταν η ωφέλιμη υγρασία ενός χωραφιού εξαντληθεί πρέπει να αναπληρωθεί με άρδευση, εφόσον σκοπός μας είναι η κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών.
- ▶ Η δόση άρδευσης ισούται με την **ωφέλιμη υγρασία USM** (ας θυμηθούμε τον τύπο)...που είναι η **καθαρή δόση άρδευσης**

$$d_n = USM = F \cdot ASM = F \cdot \sum_{i=1}^n \frac{FC_i - PWP_i}{100} ASW_i \cdot D_i, \text{ mm}$$

- Αν δε προσθέσουμε την έννοια της αποδοτικότητας εφαρμογής του νερού στο χωράφι (E_f), τότε η ανωτέρω

$$d_t = \frac{F}{E_f} \sum_{i=1}^n \frac{FC_i - PWP_i}{100} ASW_i \cdot D_i, \text{ mm}$$

- ...που είναι το **συνολική δόση άρδευσης**.

Δόση άρδευσης για την έκπλυση d'

► Για την έκπλυση:

- εάν n είναι ο αριθμός των αρδεύσεων που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου,
- ET_s είναι η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή, και
- LR είναι ο συντελεστής έκπλυσης, η **πρόσθετη** ποσότητα νερού που πρέπει να εφαρμόζεται με κάθε άρδευση για να διατηρείται το επίπεδο των αλάτων σταθερό είναι:

$$d' = \frac{1}{n} ET_s \cdot LR, \text{ mm}$$

Λ.χ. Έστω ότι -απολογιστικά- θα κάνω 15 ποτίσματα, τότε εάν η $ET_s = 300$ mm και έχω υπολογίσει τον LR 0,3 % τότε η $d' \sim 18$ mm ανά πότισμα

Διάρκεια άρδευσης

- Η *διάρκεια άρδευσης* είναι ο χρόνος που απαιτείται για να εφαρμοσθεί στο χωράφι νερό ίσο με το βάθος άρδευσης και είναι συνάρτηση της διηθητικότητας του εδάφους.
- Για να συμπληρωθεί μια άρδευση, στο έδαφος πρέπει να διηθηθεί νερό ίσο με το βάθος άρδευσης.
 - ▶ Αν στη σχέση του Κοστιακόν, όπου y αντικαταστήσω με το βάθος άρδευσης d_j , και λύσω ως προς το χρόνο t τότε:

$$\left. \begin{array}{l} y = kt^b \\ y = d_j \end{array} \right\} \Rightarrow t = \left(\frac{d}{k} \right)^{\frac{1}{b}}, \text{ min} \rightarrow t = \frac{1}{60} \left(\frac{d}{k} \right)^{\frac{1}{b}}, \text{ h}$$

- Αυτός ο χρόνος θα αντιστοιχεί στη **διάρκεια άρδευσης**, αφού αντιστοιχεί στο χρόνο που κάνει το νερό για να διηθηθεί ίσο με το βάθος άρδευσης.

*Εύρος άρδευσης

- ***Εύρος άρδευσης** είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων και είναι ανάλογο του βάθους άρδευσης και της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής.
- ▶ Δεδομένου ότι το βάθος άρδευσης είναι σταθερό, το εύρος άρδευσης θα κυμαίνεται ανάλογα με την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή (ET_d). Άρα:

$$I = \frac{d_n}{ET_d}, \text{ ημέρες}$$



*Πρόγραμμα άρδευσης

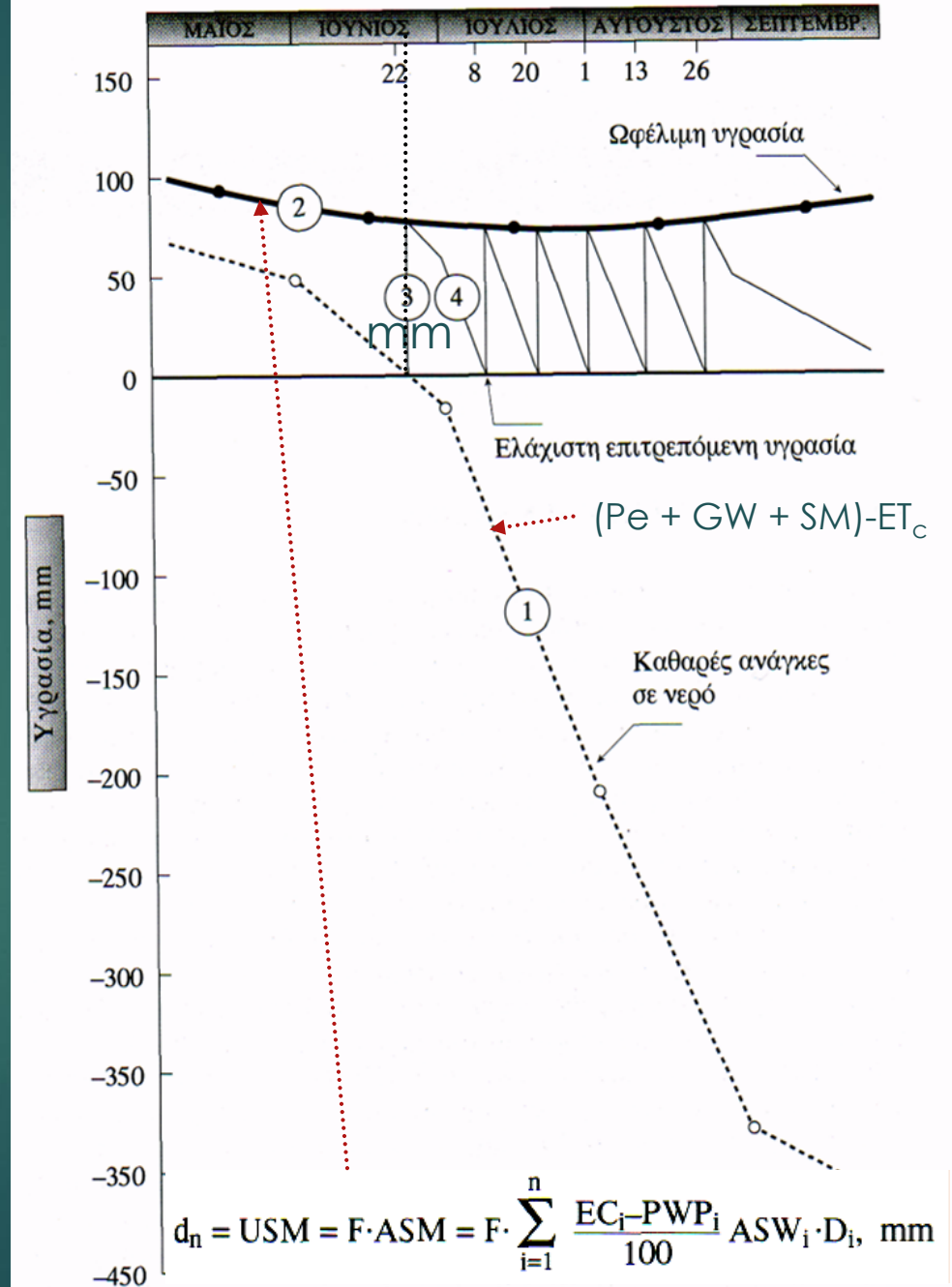
1. Υπολογίζονται οι καθαρές σε νερό ανάγκες για κάθε μήνα με τη σχέση $In = (Pe + GW + SM) - ET_c$ και, με βάση αυτό, χαράσσεται η καμπύλη (1) στο σχήμα

2. Η ευθεία γραμμή που αντιστοιχεί στο μηδέν της κλίμακας της υγρασίας αντιπροσωπεύει την **ελάχιστη επιτρεπόμενη υγρασία** και αποτελεί το κάτω όριο της ωφέλιμης υγρασίας, σε αντιδιαστολή προς το σημείο μόνιμης μάρανσης που αποτελεί το κάτω όριο της διαθέσιμης υγρασίας.

3. Υπολογίζεται η **ωφέλιμη υγρασία** για κάθε μήνα με τη σχέση του dn και μεταφέρεται στο σχήμα με τη μορφή της καμπύλης (2).

4. Όταν η καμπύλη (1) **συναντήσει** την ευθεία που αντιπροσωπεύει την ελάχιστη επιτρεπόμενη υγρασία γίνεται η πρώτη άρδευση με καθαρό βάθος άρδευσης ίσο με την ωφέλιμη υγρασία που αντιστοιχεί στο μήνα που γίνεται η άρδευση. Το βάθος αυτό αντιπροσωπεύεται από το μήκος της κατακόρυφης ευθείας (3) ανάμεσα στο μηδέν και την καμπύλη (2). Η θέση της ευθείας αυτής δίνει επίσης και την ημερομηνία άρδευσης.

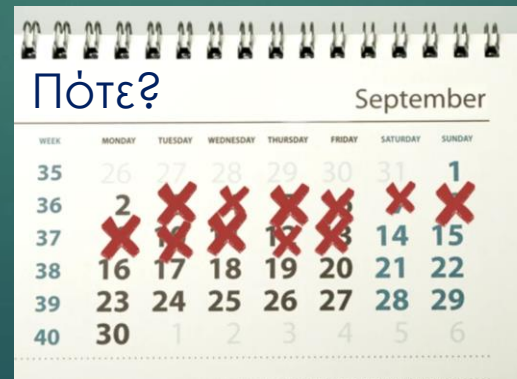
5. Από το σημείο τομής των καμπυλών (2) και (3) φέρεται η ευθεία ή τεθλασμένη γραμμή (4) παράλληλη προς το τμήμα της καμπύλης (1) που αντιστοιχεί στην ίδια περίοδο μέχρι να συναντήσει πάλι τη γραμμή της ελάχιστης επιτρεπόμενης υγρασίας, οπότε εφαρμόζεται η δεύτερη άρδευση κ.ο.κ.



**Πρόγραμμα άρδευσης

► Πρόγραμμα άρδευσης μ' αυτό καθορίζεται:

1. Ο αριθμός των αρδεύσεων που πρέπει να γίνουν κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μιας καλλιέργειας,
2. Οι ημερομηνίες άρδευσης και
3. Το νερό που πρέπει να εφαρμόζεται με κάθε άρδευση, έτσι που στο χωράφι να υπάρχει πάντοτε υγρασία που να προσλαμβάνεται με ευχέρεια από την καλλιέργεια καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

