

Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Εβδομάδα 3: Εκτίμηση αναγκών σε νερό



Περιεχόμενο Παρουσίασης

1. Γρήγορη Επανάληψη & Παράδειγμα Υδατικό Ισοζύγιο
2. Άσκηση 1 - Υδατικό Ισοζύγιο
3. Υπολογισμός αναγκών σε νερό Ύδρευσης
4. Εξάτμιση – Εκτίμηση & Μέτρηση
5. Εξατμισοδιαπνοή – Εκτίμηση & Μέτρηση

17:15-17:25 Διάλειμμα

Εφαρμογή 1: Ασκήσεις Εξατμισοδιαπνοής

Εφαρμογή 2: Εκτίμηση αναγκών άρδευση μιας ανάπτυξης golf

Εφαρμογή 3: Εκτίμηση αναγκών για νέο υδρευτικό σύστημα.

18:25-18:30 Διάλειμμα

Μετρήσεις πεδίου – Εξάτμιση, Εξατμισοδιαπνοή, Βροχόπτωση



Υδατικό Ισοζύγιο – Παράδειγμα 2

Υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρα κατά την διάρκεια ενός μήνα (Απρίλης 2020)

Επιφάνεια ταμιευτήρα: 1 km^2

Εισροή ποταμού: $1600 \text{ m}^3/\text{h}$

Εκροή: $1300 \text{ m}^3/\text{h}$

Απόθεμα 01/04/2020: $20\,000\,000 \text{ m}^3$

Απόθεμα 01/05/2020: $20\,020\,000 \text{ m}^3$

Βροχογράφος: 30 mm (συνολικό μήνα)

Εξάτμιση: 150 mm (συνολικό μήνα)

Ερ: Υπολογίστε τις εδαφικές διαφυγές



Εισροή = Εκροή + Μεταβολή Αποθήκευσης

$R_I = 1\,152\,000 \text{ m}^3$, $P = 30\,000 \text{ m}^3$, $R_O = 936\,000 \text{ m}^3$, $E = 150\,000 \text{ m}^3$,
 $G = 76\,000 \text{ m}^3$

Άσκηση 1 - Υδατικό Ισοζύγιο (5%) – 30/09/2020

Στόχος: Να αποκτήσουμε μια αίσθηση της τάξης μεγέθους των βασικών παραμέτρων που συναντούμε στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.

Για την χώρα που σας ανατέθηκε να βρεθούν τα πιο κάτω:

1. Μέση ετήσια βροχόπτωση (10ετίας) – Average annual precipitation
2. Έκταση – Total area
3. Πληθυσμός – Population
4. Ανάγκες σε νερό Ύδρευσης – Drinking water demand /consumption
5. Ανάγκες σε νερό Άρδευσης – Irrigation water demand /requirement
6. Ύδρευσης/Άρδευση Ποσοστό
7. Αριθμός Φραγμάτων, Χωρητικότητα Φραγμάτων, Μέση Πληρότητα (10ετίας)
8. Πως ικανοποιούνται οι ανάγκες σε νερό. Ποσοστό από υπόγεια και από επιφανειακά νερά.

Κάθε ερώτημα 1 μονάδα (8x1 μονάδες) + 2 μονάδες για καλές παραπομπές στην πηγή της πληροφορίας (clickable links)

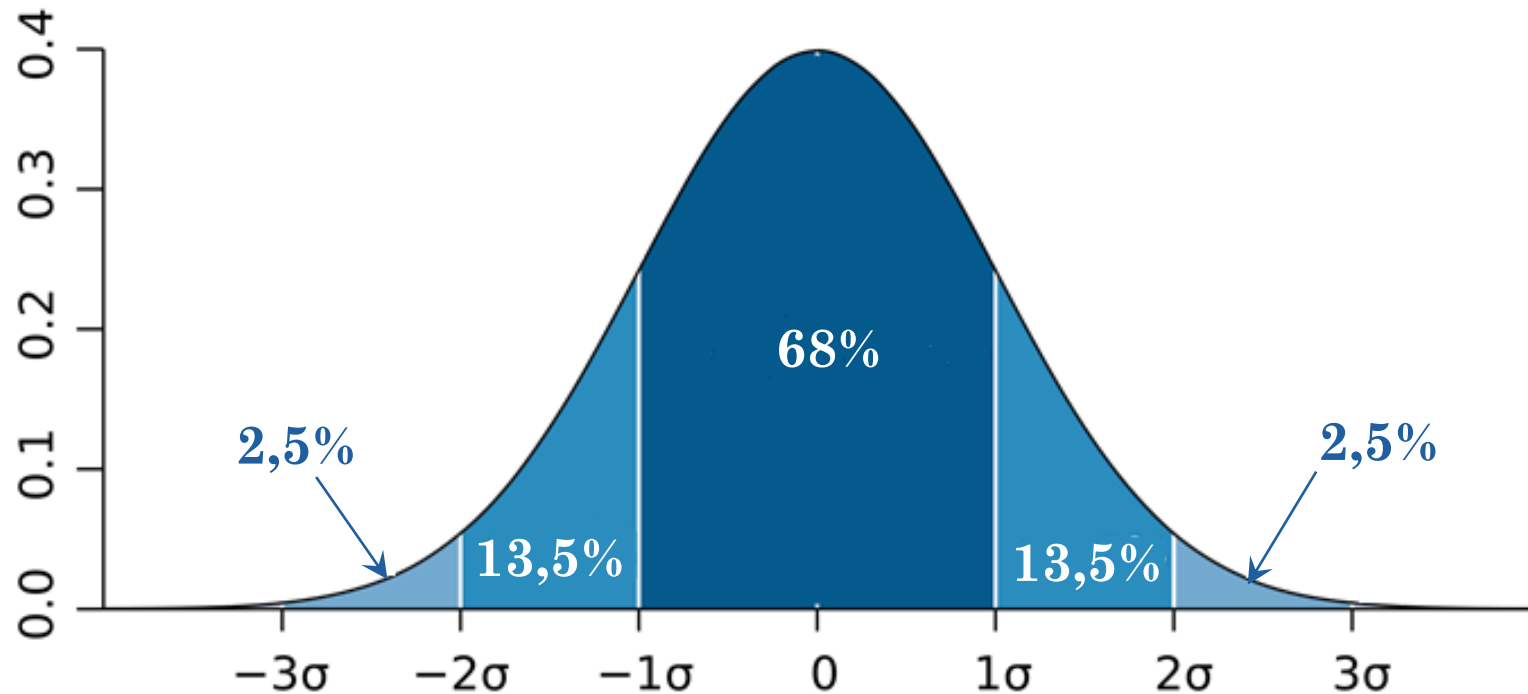
Λύση Άσκησης – Κύπρος (έστω 2010-2019):

1. Μέση ετήσια βροχόπτωση: 50 cm (SD=15) Πηγή: data.gov.cy
 2. Έκταση: 5800 km² (Επιφάνεια απορροής ελεύθερες περιοχές) [Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Cyprus)
 3. Μόνιμος Πληθυσμός: 850 000 (Ελεύθερες περιοχές), Πηγή: [Απογραφή](#)
 4. Ζήτηση σε νερό Ύδρευσης: 90 MCM (τιμή πώλησης ≈ 0.90 €/m³) Πηγή: [TAY](#)
 5. Ζήτηση σε νερό Άρδευσης: 170 MCM (τιμή πώλησης ≈ 0.20 €/m³) Πηγή: [TAY](#)
 6. Ύδρευση-Άρδευση Ποσοστά = Ύδρευση 35% - Άρδευση 65 %
 7. Αριθμός Φραγμάτων = 108, Χωρητικότητα Φραγμάτων ≈ 330 MCM,
Μέση Πληρότητα ≈ 100 MCM (Πηγή [TAY](#))
 8. Ικανοποίησης της ζήτησης. (Πηγή: [TAY](#))
Αντληση από υπόγεια ύδατα: 130 MCM, Αφαλάτωση 50 MCM, Ανακυκλωμένο 15 MCM, Επιφανειακά νερά (Φράγματα) 75 MCM.
- (Κύρια πηγή πληροφοριών: [Ιστοσελίδα TAY](#))

Τυπική Απόκλιση (SD)

Ερώτηση: Ποια είναι η στατιστική σημασία της τυπικής απόκλισης;
(στην ενδιάμεση και στην τελική εξέταση)

$\mu \pm \text{SD} = 68 \%$ $\mu \pm 2 \text{ SD} = 95 \%$

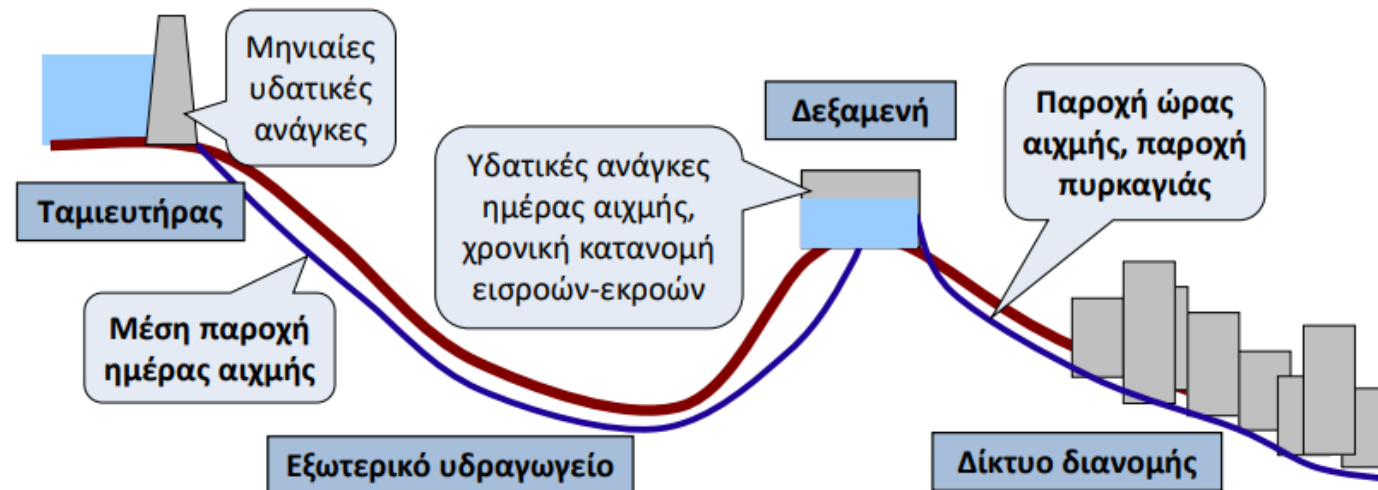


Υπολογισμός αναγκών σε νερό

Ο υπολογισμός χρειάζεται για την στρατηγική διαχείριση των Υδατικών Πόρων και για τον προγραμματισμό της υλοποίησης νέων Υδατικών Έργων.

Διαστασιολόγηση Ταμιευτήρα με βάση τη μηνιαία κατανομή των υδρευτικών αναγκών του έτους σχεδιασμού.

Διαστασιολόγηση Εξωτερικού Υδραγωγείου με βάση τις συνθήκες κατανάλωσης της δυσμενέστερης ημέρας του έτους σχεδιασμού



Πηγή: Ευστρατιάδης & Κουτσογιάννης, Υδατικοί Πόροι και Έργα Αξιοποίησης

Υπολογισμός αναγκών σε νερό Ύδρευσης

1. Οικιακή Κατανάλωση

Οικιακή κατανάλωση νερού ανά άτομο ≈ 200 L (365 μέρες το χρόνο)
(χονδρική εκτίμηση με την οποία συνυπολογίζονται στην οικιακή κατανάλωση οι εμπορικές/δημόσιες/δημοτικές χρήσεις και οι απώλειες στο δίκτυο)

Για νέα ανάπτυξη: Υπολογίζουμε τον εκτιμώμενο μέγιστο πληθυσμό.

Για υφιστάμενη περιοχή: Εφαρμογή μοντέλου αύξησης πληθυσμού

Γραμμική αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 + a t$ (Π_0 = αρχικός πληθυσμός, a =ρυθμός ανάπτυξης, t =χρόνια από Π_0), Γεωμετρική αύξηση: $\Pi_t = \Pi_0 (1 + \beta)^t$ κτλ.

Στατιστικά στοιχεία: Απογραφές, Αριθμός μαθητών, κατανάλωση νερού κτλ.

Άσκηση:

Για ωφέλιμη ζωή υδατικών έργων 50 έτη και με αφετηρία το έτος 2020, να εκτιμηθεί ο πληθυσμός μιας πόλης και οι αντίστοιχες ανάγκες οικιακής κατανάλωσης για το έτος 2070. Οι μόνιμοι κάτοικοι το 2020 είναι 2500. Ο ρυθμός γραμμική αύξηση του πληθυσμού εκτιμήθηκε στα 50 άτομα το έτος.

Παράδειγμα: Ύδρευσης νέας ανάπτυξης

Παράδειγμα: Υπολογίστε τις ανάγκες σε ύδρευση της ΕΚΟ Atlantic City (νέα ανάπτυξη στην πόλη Λαγός, Νιγηρία). Έκταση 10 km^2 , $50\,000 \text{ άτομα/km}^2$



Παράδειγμα: Ύδρευσης νέας ανάπτυξης

Kwun Tong District,

- Honk Kong
- 55 000 persons/km²
- 11 km²



Manhattan

- New York City
- 27 000 persons/km²
- 60 km²



Παράδειγμα: Ύδρευσης νέας ανάπτυξης

ΕΚΟ Atlantic City, Λάγος, Νιγηρία 10 km², 50 000 άτομα/km²



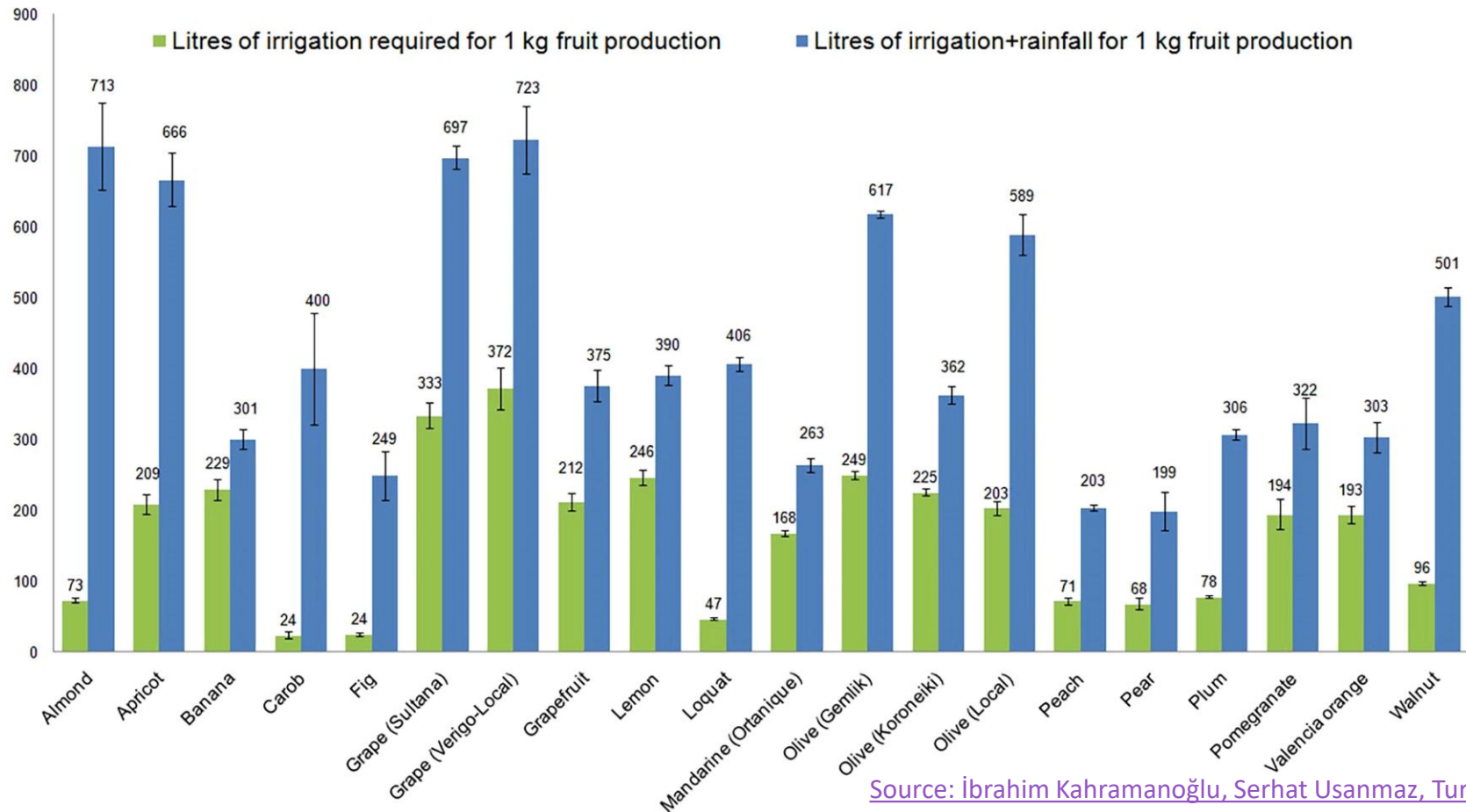
Εκτίμηση: 27,4 εκτ. m³ – Είναι λογική κατανάλωση; Σύγκριση με Κύπρο

Ερώτηση: Πώς μπορούμε να βελτιώσουμε την εκτίμησή μας;

Υπολογισμός αναγκών Άρδευσης

Πώς εκτιμούμε τις ανάγκες σε νερό άρδευσης;

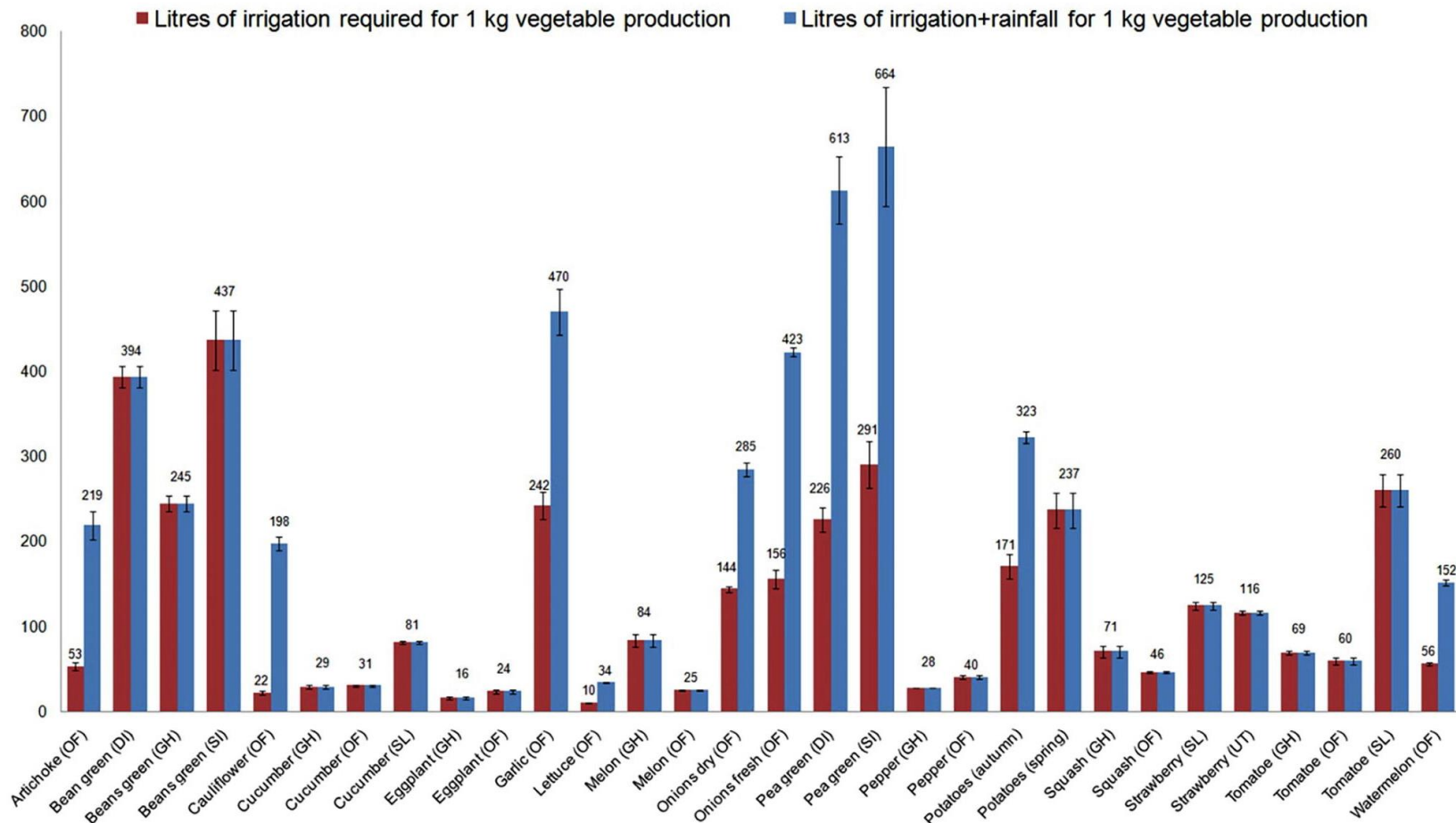
Υπολογίζουμε την εξατμισοδιαπνοή της προς άρδευση περιοχής. Γιατί;



Source: İbrahim Kahramanoğlu, Serhat Usanmaz, Turgut Alas

Υπολογισμός αναγκών Άρδευσης

Επειδή πρακτικά όλο το νερό που προσφέρουμε στην καλλιέργεια χάνεται ως εξατμισοδιαπνοή.



Source: Ibrahim Kahramanoğlu, Serhat Usanmaz, Turgut Alas

Εξάτμιση (evaporation)

Εξάτμιση: Η μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια φάση (υδρατμούς).

Εξαρτάται από:

1. Τη φυσική διαθεσιμότητα του νερού (πχ. λίμνη vs βρεγμένο έδαφος)
2. Τη διαθεσιμότητα θερμικής ενέργειας (πχ. μέρα vs νύκτα)
3. Την ευκολία με την οποία διαχέονται οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα (εξαρτάται από τον άνεμο, την ατμοσφαιρική πίεση κτλ.)

Εξατμισήμετρο: Μικρή λεκάνη με νερό εξοπλισμένη με όργανα για την μέτρηση της απώλειας νερού από την υδάτινη επιφάνεια.



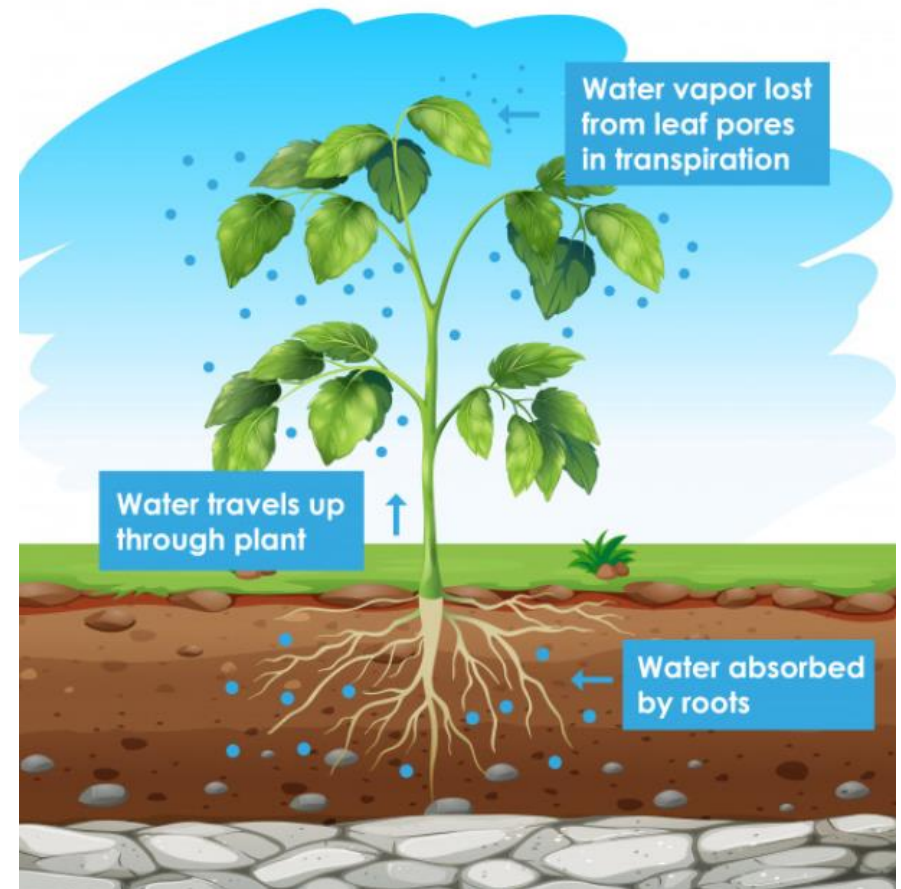
Διαπνοή (transpiration)

Διαπνοή: Η μετατροπή του νερού σε υδρατμούς που πραγματοποιείται στους πόρους (στόματα) των φυτών.

Το 97–99.5% του νερού που απορροφούν τα φυτά από το έδαφος αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα με την διαπνοή.

Ερώτηση: Πώς προσαρμόζεται ένα φυτό σε συνθήκες έλλειψης νερού;

Τα φυτά ελέγχουν το ρυθμό διαπνοής μέσω της ρύθμισης των ανοιγμάτων των στομάτων τους. Έτσι, σε συνθήκες έλλειψης νερού, τα στόματα κλείνουν και η διαπνοή περιορίζεται στο ελάχιστο



Εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration - ET)

Εξατμισοδιαπνοή (ET): Το άθροισμα των απωλειών νερού σε μια καλλιέργεια λόγω εξάτμισης και διαπνοής. Επειδή η εξάτμιση και η διαπνοή συντελούνται ταυτόχρονα είναι δύσκολο να τις ξεχωρίσουμε. Οπότε τις υπολογίζουμε ή τις μετρούμε ταυτόχρονα.

Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (PE_T_0):

Είναι η μέγιστη εξατμισοδιαπνοή για επιφάνεια καλυμμένη με χαμηλή χλωρίδα (καλλιέργεια αναφοράς) υπό συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού. Είναι δηλαδή η μέγιστη εξατμισοδιαπνοή που μπορεί να υπάρξει σε συγκεκριμένη θέση για δεδομένες παραμέτρους θερμοκρασίας, ακτινοβολίας, υγρασία κτλ.



Εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration - ET)

Η Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή PET

για κάθε άλλη μορφή βλάστησης μπορεί να προκύψει από την PET_0 της καλλιέργειας ή να μετρηθεί (λυσίμετρο)

Λυσίμετρο: Ειδική λεκάνη στην οποία φυτεύονται φυτά. Με την μέτρηση του βάρους της υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή.

Στο λυσίμετρο μπορεί να μετρηθεί και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ET (εξατμισοδιαπνοή υπό συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού)



Εκτίμηση της Εξατμισοδιαπνοής

Μέθοδος Penman-Monteith (1965): Η επικρατέστερη μέθοδος εκτίμησης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Δεν θα τη χρησιμοποιήσουμε στο μάθημα επειδή η εφαρμογή της είναι υπολογιστικά χρονοβόρα (όχι όμως δύσκολη).

Μέθοδος Blaney-Criddle

Εμπειρική σχέση εκτίμησης της **μηνιαίας** PET συνάρτηση της θερμοκρασίας και του μέσου ποσοστού ωρών ηλιοφάνειας,

$$PET_0 = 0.254 * p(32 + 1.8 T_a) \text{ [mm/month]}$$

$$PET = k_c \cdot PET_0 \text{ [mm/month]}$$

p = το ποσοστό ωρών ηλιοφάνειας του συγκεκριμένου μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ηλιοφάνειας του έτους. Εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, και τον μήνα του έτους. Το παίρνουμε έτοιμο από τον Πίνακα.

T_a = μέση μηνιαία θερμοκρασία [°C]

k_c = ο φυτικός συντελεστής (αδιάστατος, εξαρτάται από την καλλιέργεια)

Ποσοστό ωρών ηλιοφάνειας

Ο πιο κάτω πίνακας δίνει το ποσοστό ωρών ηλιοφάνειας του κάθε μήνα ως ποσοστό των συνολικών ωρών ηλιοφάνειας του έτους. Επιλέγουμε το γεωγραφικό πλάτος στο οποίο βρίσκετε η καλλιέργεια και το μήνα.

Monthly Percentage of Daytime hours in the Year

<i>Latitude</i>		<i>Jan</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Aug</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec.</i>
<i>N</i>													
0°		8.49	7.67	8.49	8.22	8.49	8.22	8.49	8.49	8.19	8.49	8.22	8.49
10°		8.11	7.40	8.44	8.43	8.81	8.57	8.84	8.74	8.26	8.29	7.89	8.08
20°		7.73	7.26	8.20	8.52	9.14	9.22	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.88
30°		7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
40°		6.73	6.73	8.30	8.92	9.99	10.08	10.34	9.56	8.41	7.78	6.73	6.53
50°		5.98	6.32	8.25	9.25	10.69	10.93	10.90	10.00	8.44	7.43	6.07	5.65
60°		4.67	5.70	8.05	9.66	11.72	12.39	12.33	10.72	8.57	7.00	5.04	4.15

Παράδειγμα 1: Μέθοδος Blaney-Criddle

Τοποθεσία Λεμεσός (35N).

Μέγεθος γεωργικής έκτασης 10 km².

α. Να βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς για τον μήνα Ιούλιο.
(Μέση θερμοκρασία Ιουλίου $T_a=28$ °C).

β. Να βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για καλλιέργεια ντομάτας τον μήνα Ιούλιο.

γ. Να βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για καλλιέργεια μηλιάς τον μήνα Ιούλιο.



Τυπικές τιμές του φυτικού συντελεστή k_c

Τυπικές τιμές του φυτικού συντελεστή k_c για δενδρώδεις καλλιέργειες

Πίν. 3.21 Διακύμανση του φυτικού συντελεστή k_c στην Ελλάδα για διάφορες δενδρώδεις καλλιέργειες.

Καλλιέργεια	Απρ.	Μαι.	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.
Ροδακινιά, Βερικοκιά, Αχλαδιά, Δαμασκη- νιά, Φιστικιά		0.45	0.50	0.80	0.65	0.60	
Κερασιά, Μηλιά, Καρυδιά		0.45	0.65	0.80	0.65	0.60	
Εσπεριδοειδή	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.80
Αμπελώνες		0.30	0.35	0.50	0.45	0.35	
Ελαιώνες		0.25	0.35	0.45	0.45	0.30	

Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας (1992).

Τυπικές τιμές του φυτικού συντελεστή k_c

Τυπικές τιμές του φυτικού συντελεστή k_c για φυτά

Καλλιέργ.	Περιοχή	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Μηδική	Θερμή, Πεδινή	0.35	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.80	0.55	0.30
"	Παραθαλ. Υψηλή	-	-	-	0.37	0.56	0.75	0.92	1.00	1.03	0.98	0.82	-
"	Εσωτερική Πεδινή	-	-	0.57	0.78	0.93	1.02	1.01	0.95	0.84	0.63	0.42	-
Αβοκάντο	Παραθαλ.	0.15	0.25	0.40	0.52	0.63	0.73	0.75	0.69	0.60	0.48	0.32	0.19
Αραβόσιτος	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.12	0.40	0.60	0.62	0.45	-	-	-
Βαμβάκι	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.30	0.45	0.90	1.00	1.00	-	-	-
Χλοοτάπητας	Παραθαλ.	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35

Μετεωρολογικά Δεδομένα

Πηγές μετεωρολογικών δεδομένων:

- Βάσεις Δεδομένων από την Μετεωρολογική Υπηρεσία κάθε χώρας
- Βάσεις Δεδομένων από δορυφόρους
- Κύπρος – [Τμήμα Μετεωρολογίας](#)
- Ελλάδα – [ΕΜΥ](#)

Αγρομετεωρολογικά Δελτία

Κύπρος – Κέντρο εξυπηρέτησης Αγρότη - [Παράδειγμα δελτίου](#)

Ελλάδα – ΕΜΥ - Αγρομετεωρολογικό Δελτίο

http://www.hnms.gr/emy/el/agriculture/agriculture_bulletin

Παράδειγμα 2: Αρδευτικές Ανάγκες Golf

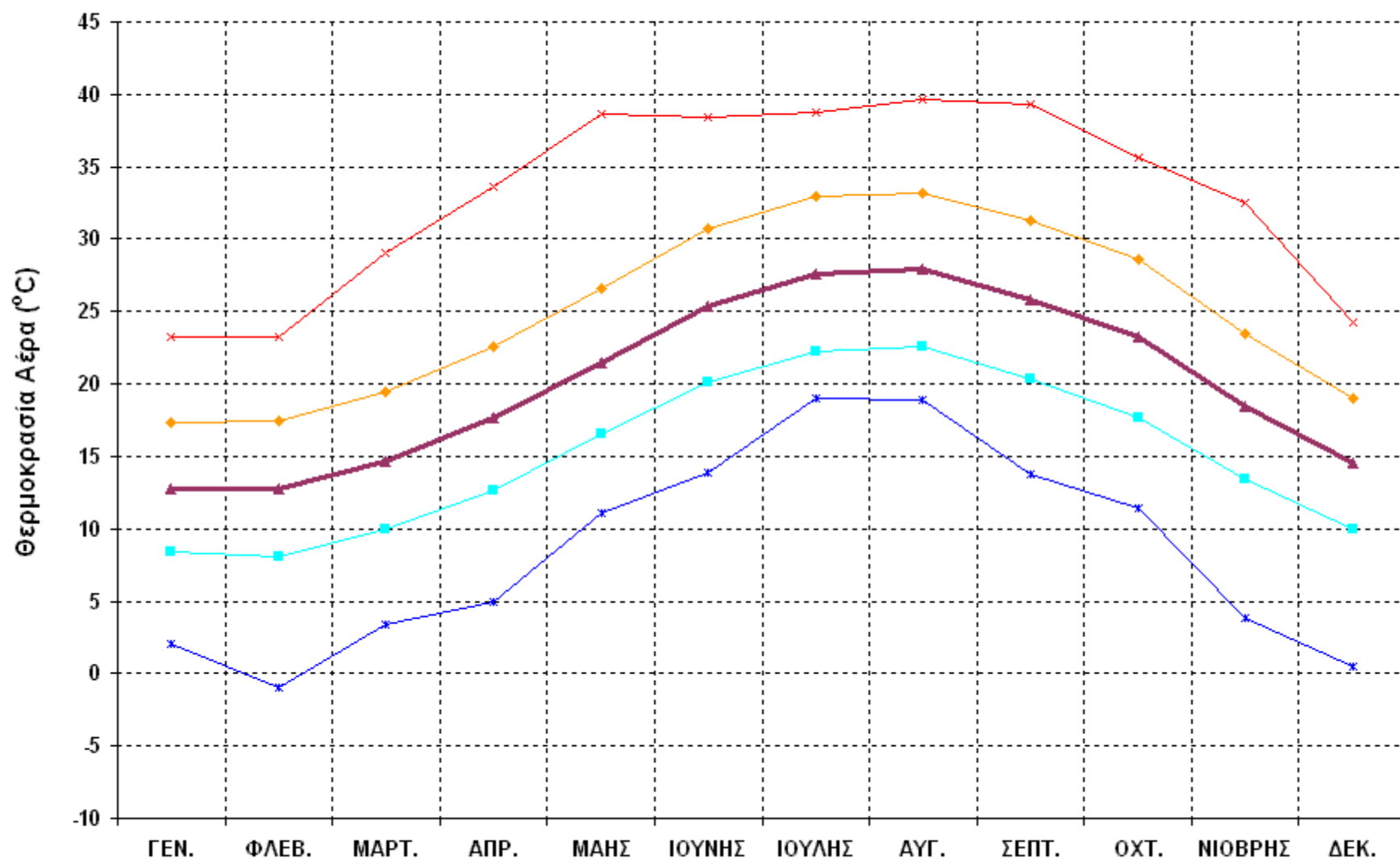
Τοποθεσία Λεμεσός (35N). Έκταση Ανάπτυξης 10 km². Χλοοτάπητας

α. Να βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς για όλους τους μήνες.

β. Να βρεθεί η ετήσια δυνητική εξατμισοδιαπνοή και οι ετήσιες ανάγκες σε νερό άρδευσης

Καλλιέργ.	Περιοχή	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Μηδική	Θερμή, Πεδινή	0.35	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.80	0.55	0.30
"	Παραθαλ. Υψηλή	-	-	-	0.37	0.56	0.75	0.92	1.00	1.03	0.98	0.82	-
"	Εσωτερική Πεδινή	-	-	0.57	0.78	0.93	1.02	1.01	0.95	0.84	0.63	0.42	-
Αβοκάντο	Παραθαλ.	0.15	0.25	0.40	0.52	0.63	0.73	0.75	0.69	0.60	0.48	0.32	0.19
Αραβόσιτος	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.12	0.40	0.60	0.62	0.45	-	-	-
Βαμβάκι	Πεδινή Εσωτερική	-	-	-	-	0.30	0.45	0.90	1.00	1.00	-	-	-
Χλοοτάπητας	Παραθαλ.	0.24	0.38	0.55	0.70	0.88	0.92	0.94	0.92	0.80	0.72	0.54	0.35

Μηνιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας Αέρα στη ΛΕΜΕΣΟ (ΔΗΜ. ΚΗΠΟ) (1991 - 2000)



—◆— Μέση Ημερήσια Μέγιστη
—■— Μέση Ημερήσια Ελάχιστη
—▲— Μέση Ημερήσια Θερμ.
—×— Απόλυτη Μέγιστη
—×— Απόλυτη Ελάχιστη

Παράδειγμα 3: Υδατικό Έργο Περιοχής (Kilifi)

Για την τοποθεσία Kilifi (3° Βόρεια, $T_a=25^\circ\text{C}$), να εκτιμηθούν οι ανάγκες σε νερό Ύδρευσης και Άρδευσης ώστε να προγραμματισθεί η κατασκευή του υδατικού συστήματος της περιοχής.

- Γεωργική Έκταση: 80 km^2
(μόνο καλλιέργειες ζαχαρότευτλου $k_c = 0,85$)
- Πληθυσμός (2020): 130 000 με ετήσια αύξηση 5%
- Διάρκεια ζωής σχεδιασμού του έργου: 50 χρόνια

