



ΟΔΥΣΣΕΥΣ

NAMA

ΕΜΠ

ΔΕΥΑΚ

ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ

MDS



Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης 2000-2006
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ
ΣΥΖΕΥΞΗ ΜΕ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΟΔΥΣΣΕΥΣ

Τεύχος 5

Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου εκτίμησης
υδατικών αναγκών

Ε. Ρόζος

Αθήνα
Ιούνιος 2005

Συνεργαζόμενοι φορείς



NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων
Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων



Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης
Καρδίτσας



Αειφορική Δωδεκανήσου Α.Ε.



Άδωνις Κοντός και ΣΙΑ Ε.Ε. (Marathon Data Systems)

Ενότητα Εργασίας 3

**Ανάπτυξη δέσμης μαθηματικών μοντέλων για την
ανάλυση, εκτίμηση και προσομοίωση των
συνιστωσών διαχείρισης των υδατικών πόρων**

Τεύχος 5

**Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου εκτίμησης
υδατικών αναγκών**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για τον υπολογισμό των υδατικών αναγκών σε ένα υδrosύστημα. Λειτουργεί υποστηρικτικά του μοντέλου διαχείρισης «Υδρονομέας» και σε συνδυασμό με το σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας και την βάση δεδομένων, αλλά έχει ληφθεί μέριμνα ώστε να μπορεί να λειτουργεί και αυτόνομα. Στον υπολογισμό των υδατικών αναγκών λαμβάνονται υπόψη οι χρήσεις νερού για κτηνοτροφία, βιομηχανία, ύδρευση και γεωργία. Το μοντέλο βασίζεται σε μια ιεραρχική οργάνωση, δημιουργώντας δύο ομάδες, τους «χρήστες» και τους «καταναλωτές». Ο «καταναλωτής» αναφέρεται σε ένα σύνολο ομοειδών μονάδων, με κοινή πρακτική διαχείρισης, ενώ ο «χρήστης» αναφέρεται σε μια ευρύτερη οντότητα ζήτησης, που περιλαμβάνει ομοιότυπους καταναλωτές. Επιπλέον, το μοντέλο, για την υποστήριξη αναλύσεων σε επίπεδο διαχείρισης, δημιουργεί ομάδες χρηστών, οι υδατικές ανάγκες των οποίων θεωρείται ότι συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένους κόμβους

ABSTRACT

This model is an integrated tool for the calculation of the water needs of a hydrosystem. It may be used auxiliary to the water management program "Hydronomeas" combined with a GIS but it is designed so that it can work as a stand alone program. The needs for urban water supply, for farming, for industry and for irrigation are taken into account for the calculation of total water needs. The model classifies the needs by introducing two categories the "water users" and the "consumers". A "water user" refers to a set of similar units, with common management strategy, while "consumers" is a set of "water users". The program may group the "consumers" and calculate subtotals of water needs if it is imposed from the hydrosystem.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων	1
Πίνακας πινάκων	3
Πίνακας σχημάτων	3
1 Εισαγωγή	5
2 Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών	6
3 Κτηνοτροφικές ανάγκες	7
4 Βιομηχανικές ανάγκες.....	8
5 Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών	9
5.1 Υπολογισμός αναγκών αρδεύσιμης έκτασης	9
5.2 Εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών.....	9
5.3 Δυναμική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς με μέθοδο Penman-Monteith	10
5.4 Δυναμική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς με απλή και τροποποιημένη μέθοδο Blaney-Criddle	11
5.5 Δυναμική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς με εμπειρική μέθοδο.....	12
<i>Αναφορές – βιβλιογραφία.....</i>	<i>13</i>
6 Παράρτημα.....	14

Πίνακας πινάκων

Πίν. 1: Ανηγμένη κατανάλωση ανά μήνα.....	6
Πίν. 2: Ανηγμένη κατανάλωση χοίρων ανά μήνα.....	7
Πίν. 3: Εισροή και εκροή από βιομηχανία φαγητού.....	8
Πίν. 4: Μέση δυνητική εξατμοδιαπνοή για διάφορα κλίματα (mm/day).....	12
Πίν. 5: Ανάγκες σε νερό για κάθε κατηγορία ζώου (Lt/ζωο/ημέρα).	14
Πίν. 6: Εισροές βιομηχανιών (hm ³)	14
Πίν. 7: Εκροές βιομηχανιών (hm ³).....	15
Πίν. 8: Τιμές φυτικού συντελεστή κατά FAO (1998).....	16

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1: Κτηνοτροφικός χρήστης και καταναλωτές.....	7
Σχήμα 2: Σχηματικό διάγραμμα της τυπικής εποχιακής μεταβολής του φυτικού συντελεστή k_c . Ο χρόνος μετριέται σε ημέρες και το 0 είναι η μέρα σποράς.	10
Σχήμα 3: Αλγόριθμος υπολογισμού δυνητικής εξατμοδιαπνοής κατά Penman-Monteith	18

1 Εισαγωγή

Το παρόν τεύχος περιγράφει το μοντέλο ΔΨΟΣ το οποίο σύμφωνα με την ανάλυση απαιτήσεων συμβάλει στον υπολογισμό των υδατικών αναγκών για κτηνοτροφία, βιομηχανία, ύδρευση και γεωργία. Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για τον υπολογισμό και την ταξινόμηση των υδατικών αναγκών σε ένα υδροσύστημα. Λειτουργεί υποστηρικτικά του μοντέλου διαχείρισης «Υδρονομέας» και σε συνδυασμό με το σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας (ΣΓΠ) και την βάση δεδομένων, αλλά έχει ληφθεί μέριμνα ώστε να μπορεί να λειτουργεί και αυτόνομα. Συνδυάζει την πληροφορία από οδηγίες διεθνών (FAO) και ελληνικών οργανισμών (Υπουργείο Γεωργίας), με τους υπολογιστικούς αλγορίθμους από επιστημονικά περιοδικά και καθιερωμένα βιβλία υδρολογίας.

Κατά το σχεδιασμό, δόθηκε έμφαση στη γενικότητα, έτσι ώστε το εν λόγω μοντέλο να μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και διεθνώς. Ειδικά για τον ελληνικό χώρο, αξιοποιήθηκε η υφιστάμενη εμπειρία της ερευνητικής ομάδας.

Εκτός την αυτονομία ως προς τα άλλα υποστηρικτικά υπολογιστικά συστήματα (βάσεις δεδομένων, ΣΓΠ) και την γενικότητα, έχει δοθεί μέριμνα στο να μπορεί να είναι και φειδωλό ως προς τα δεδομένα. Έτσι το ΔΨΟΣ ενσωματώνει τυπικές τιμές κατανάλωσης για όλες τις κατηγορίες χρηστών (κτηνοτροφία, βιομηχανία, ύδρευση και άρδευση). Ειδικά για την άρδευση ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμοδιαπνοής μπορεί να γίνει με τέσσερις μεθόδους αναλόγως των διαθέσιμων δεδομένων:

- η Penman-Monteith είναι η ακριβέστερη αλλά απαιτεί την γνώση της μέσης μέγιστης και ελάχιστης μηνιαίας θερμοκρασίας, την μέση μηνιαία σχετική υγρασία, την μέση μηνιαία σχετική ηλιοφάνεια και την μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου.
- η τροποποιημένη Blaney-Criddle είναι θεσμοθετημένη από τους ελληνικούς κανονισμούς και απαιτεί την μέση μηνιαία θερμοκρασία, την μέση μηνιαία σχετική υγρασία, την μέση μηνιαία σχετική ηλιοφάνεια και την μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου.
- η Blaney-Criddle απαιτεί μόνο την μέση μηνιαία θερμοκρασία.
- η εμπειρική μέθοδος απαιτεί μόνο ένα ποιοτικό δείκτη θερμοκρασίας που εκτιμάται από τον χρήστη.

Το μοντέλο ταξινομεί την πληροφορία αποθηκεύοντας την σε δύο ιεραρχικές ομάδες, τους «χρήστες» και τους «καταναλωτές». Ο «καταναλωτής» αναφέρεται σε ένα σύνολο ομοειδών μονάδων, με κοινή πρακτική διαχείρισης, ενώ ο «χρήστης» αναφέρεται σε μια ευρύτερη οντότητα ζήτησης, που περιλαμβάνει ομοίωτους καταναλωτές. Επιπλέον, το μοντέλο, για την υποστήριξη αναλύσεων σε επίπεδο διαχείρισης, δημιουργεί ομάδες χρηστών, οι υδατικές ανάγκες των οποίων θεωρείται ότι συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένους κόμβους. Οι χρήστες νερού και οι κόμβοι κατανάλωσης μαζί με τα δεδομένα τους (πλήθος μονάδων, τυπικές τιμές ανηγμένης κατανάλωσης, μετεωρολογικά δεδομένα) αποτελούν ένα σενάριο ζήτησης. Το σενάριο αυτό μπορεί να αποθηκευτεί σε βάση δεδομένων ή σε αρχείο.

2 Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών

Η εκτίμηση των μηνιαίων υδατικών αναγκών μιας αστικής περιοχής γίνεται πολλαπλασιάζοντας τον πληθυσμό της αστικής περιοχής με τον πίνακα της κατανάλωσης σε λίτρα ανά κάτοικο ανά ημέρα (βλέπε Πίν. 1):

$$(\text{ανάγκες ύδρευσης})_i = (\text{πληθυσμός}) \times (\text{ανηγμένη κατανάλωση})_i \times (\text{μέρες μήνα}) \quad (1)$$

όπου i είναι ο μήνας. Οι τιμές του πίνακα μπορούν να αλλάξουν από τον χρήστη και να αποθηκευτούν στην βάση ή σε αρχείο μαζί με το σενάριο κατανάλωσης.

Πίν. 1: Ανηγμένη κατανάλωση ανά μήνα

	Lt/κατ./ημέρα
Ιανουάριος	120
Φεβρουάριος	120
Μάρτιος	120
Απρίλιος	120
Μάιος	120
Ιούνιος	140
Ιούλιος	150
Αύγουστος	150
Σεπτέμβριος	140
Οκτώβριος	120
Νοέμβριος	120
Δεκέμβριος	120

3 Κτηνοτροφικές ανάγκες

Μια κτηνοτροφική μονάδα (χρήστης) δύναται να έχει πολλούς καταναλωτές δηλαδή μπορεί να εκτρέφει διάφορα ήδη ζώων (βλέπε Σχήμα 1). Για παράδειγμα μια μονάδα μπορεί να εκτρέφει δύο είδη πουλερικών τα οποία έχουν διαφορετικές υδατικές ανάγκες. Κάθε είδος (καταναλωτής) συνοδεύεται και από ένα πίνακα (βλέπε Πίν. 2) που αντιστοιχεί στις ιδιαιτερότητες του ζώου. Το πρόγραμμα είναι εφοδιασμένο με «ερήμην» τιμές κατανάλωσης για τα ζώα που φαίνονται στον Πίν. 5 και που έχουν προκύψει από μελέτη του ΕΜΠ (1996).

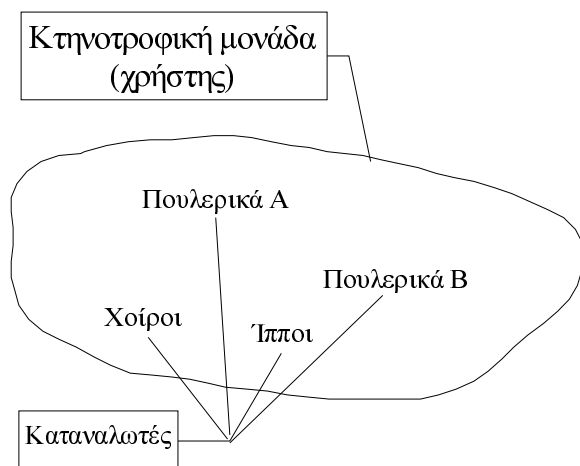
Η εκτίμηση των μηνιαίων υδατικών αναγκών μιας κτηνοτροφικής μονάδας γίνεται πολλαπλασιάζοντας τον πληθυσμό του κάθε είδους ζώου (καταναλωτής) με τον αντίστοιχο πίνακα κατανάλωσης, και προσθέτοντας τα γινόμενα.

$$(\text{ανάγκες κτην. χρήστη})_i = \sum_j (\text{μονάδες})_j \times (\text{κατανάλωση})_{ij} \times (\text{μέρες μήνα}) \quad (2)$$

όπου i είναι ο μήνας και j ο καταναλωτής.

Πίν. 2: Ανηγμένη κατανάλωση χοίρων ανά μήνα

	Lt/ζώο/ημέρα
Ιανουάριος	15
Φεβρουάριος	15
Μάρτιος	15
Απρίλιος	15
Μάιος	15
Ιούνιος	15
Ιούλιος	15
Αύγουστος	15
Σεπτέμβριος	15
Οκτώβριος	15
Νοέμβριος	15
Δεκέμβριος	15



Σχήμα 1: Κτηνοτροφικός χρήστης και καταναλωτές

4 Βιομηχανικές ανάγκες

Μια βιομηχανική περιοχή (χρήστης) μπορεί να έχει πολλούς καταναλωτές δηλαδή διαφορετικές βιομηχανίες (βλέπε Σχήμα 2). Κάθε βιομηχανία απαιτεί μια ποσότητα νερού για να λειτουργήσει και συνήθως επιστρέφει μια μικρότερη ποσότητα νερού. Η διαφορά είναι το νερό που είτε ενσωματώνεται στο προϊόν είτε εξατμίζεται (π.χ. θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο). Κάθε βιομηχανία συνοδεύεται από ένα πίνακα παρόμοιο με τον Πίν. 3. Το πρόγραμμα είναι εφοδιασμένο με στοιχεία για της βιομηχανίες που φαίνονται στον Πίν. 6 και Πίν. 7, τα οποία έχουν προκύψει από στατιστικές μελέτες του Καναδικού υπουργείου περιβάλλοντος (2002).

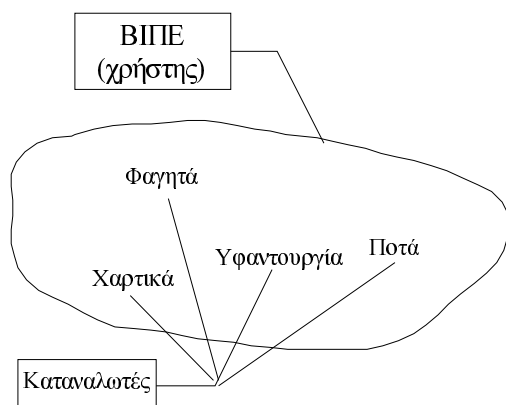
Η εκτίμηση των μηνιαίων υδατικών αναγκών μιας βιομηχανικής περιοχής γίνεται πολλαπλασιάζοντας τον πληθυσμό των βιομηχανιών της κάθε ομάδας με την αντίστοιχη διαφορά εισροής μείον την εκροή του εκάστοτε μήνα, και προσθέτοντας τα γινόμενα.

$$(\text{ανάγκες ΒΙΠΕ})_i = \sum_j (\text{μονάδες})_j \times (\text{εισροή-εκροή})_{ij} \quad (3)$$

όπου i είναι ο μήνας και j ο καταναλωτής. Στην παραγωγή ενέργειας από θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο μονάδες θεωρούνται η ισχύς του εργοστασίου σε MW.

Πίν. 3: Εισροή και εκροή από βιομηχανία φαγητού.

	Εισροή (hm ³)	Εκροή (hm ³)
Ιανουάριος	0.0144	0.0129
Φεβρουάριος	0.0149	0.0132
Μάρτιος	0.0149	0.0132
Απρίλιος	0.0151	0.0134
Μάιος	0.0182	0.0163
Ιούνιος	0.0206	0.0183
Ιούλιος	0.0202	0.018
Αύγουστος	0.0216	0.0193
Σεπτέμβριος	0.0225	0.02
Οκτώβριος	0.0189	0.0168
Νοέμβριος	0.0166	0.0147
Δεκέμβριος	0.0146	0.013



Σχήμα 2: Βιομηχανικός χρήστης και καταναλωτές.

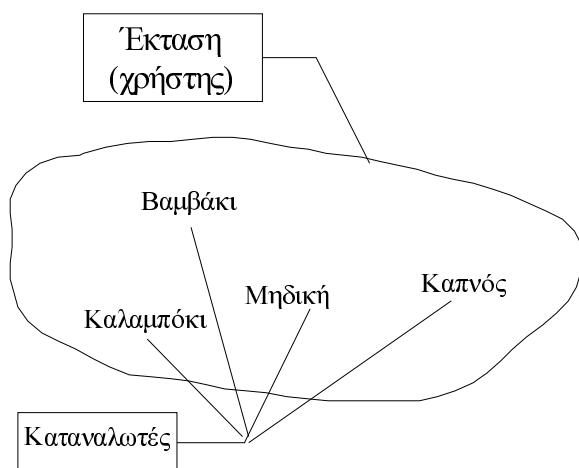
5 Εκτίμηση αρδευτικών αναγκών

5.1 Υπολογισμός αναγκών αρδεύσιμης έκτασης

Μέσα σε μια ευρύτερη αρδεύσιμη έκταση (π.χ. ΤΟΕΒ) υπάρχουνε διάφορες καλλιέργειες (βλέπε Σχήμα 3). Αφού υπολογιστούν οι ανάγκες σε ύψος νερού E_c (mm/μήνα) όλων των καλλιεργειών (καταναλωτές), μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές ανάγκες της έκτασης ανά μήνα με την σχέση:

$$(\text{αρδευτικές ανάγκες})_i = \sum_j (\text{έκταση})_j \times (E_c)_{ij} \quad (4)$$

όπου i είναι ο μήνας και j η καλλιέργεια (καταναλωτής).



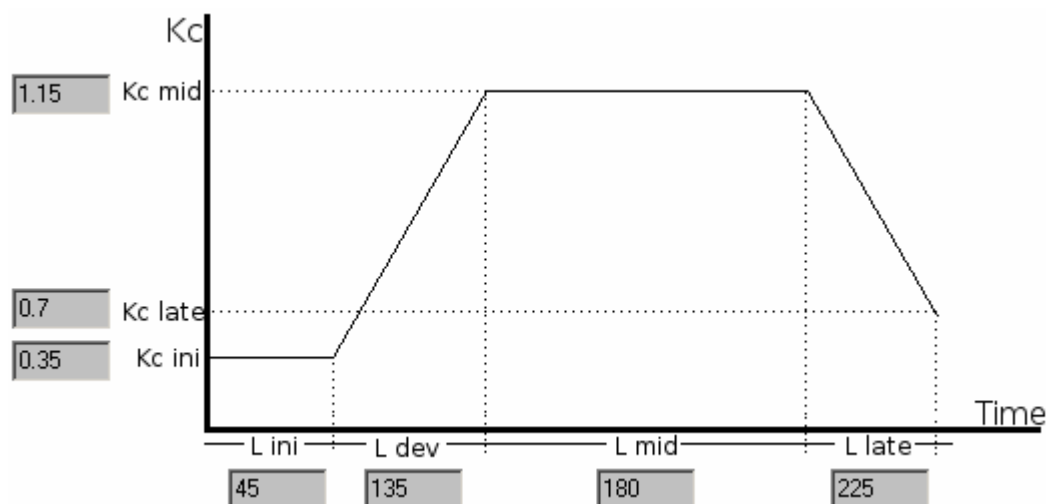
Σχήμα 3: Αρδευτικός χρήστης και καταναλωτές.

5.2 Εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών

Η εκτίμηση της υδατικής κατανάλωση των φυτικών καλλιεργειών που αρδεύονται, η οποία ταυτίζεται με τη δυνητική εξατμοδιαπνοή τους, γίνεται μέσω της εμπειρικής εξίσωσης:

$$E_c = k_c E_{rc} \quad (5)$$

Όπου E_c η δυνητική εξατμοδιαπνοή της συγκεκριμένης καλλιέργειας που ενδιαφέρει, E_{rc} η εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς και k_c ο εμπειρικός συντελεστής, γνωστός ως φυτικός συντελεστής. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (ύψος και διάπλαση των φυτών, επιφανειακή και αεροδυναμική αντίσταση, κλιματολογικές συνθήκες, κ.α.). Μετά από συστηματικές πειραματικές μελέτες έχουν βρεθεί οι τιμές του συντελεστή k_c ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και με το στάδιο ανάπτυξης της. Τυπική καμπύλη της εξέλιξης του συντελεστή φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (από φόρμα του προγράμματος ΔΙΨΟΣ).



Σχήμα 4: Σχηματικό διάγραμμα της τυπικής εποχιακής μεταβολής του φυτικού συντελεστή k_c . Ο χρόνος μετριέται σε ημέρες όπου το 0 είναι η μέρα σποράς.

Το ΔΙΨΟΣ έχει ενσωματωμένες τιμές φυτικών συντελεστών 50 καλλιεργειών (βλέπε Πίν. 8 στο παράρτημα) όπως αυτές δίνονται στην οδηγία του FAO (1998).

5.3 Δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς με μέθοδο Penman-Monteith

Η δυνητική εξατμοδιαπνοή κατά Penman-Monteith απαιτεί μέσες μηνιαίες τιμές για ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία, σχετική υγρασία, σχετική ηλιοφάνεια και ταχύτητα ανέμου. Ο υπολογισμός της σύμφωνα με FAO (1998), δίνεται από τον τύπο:

$$E_{rc} = \frac{\Delta (S_n - L_n - G) / (\lambda \rho_w) + \gamma F_u D / \rho_w}{\Delta + \gamma r_{sa}} \quad (6)$$

όπου:

- E_{rc} δυνητική εξατμοδιαπνοή (mm/day)
- Δ κλίση της καμπύλης πίεση ατμών – θερμοκρασία (kPa /°C)
- S_n Η ακτινοβολία βραχέων κυμάτων που παραμένει στο έδαφος μετά την ανάκλαση ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- L_n Η ακτινοβολία μακρών κυμάτων που διαφεύγει από το έδαφος ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- G ροή ενέργειας από-προς το έδαφος ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- λ λαθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (MJ/kg)
- ρ_w πυκνότητα νερού = $1 \text{ kg mm}^{-1} \text{ m}^{-2}$
- γ ψυχομετρικός συντελεστής (kPa/°C).
- F_u Η συνάρτηση ανέμου ($\text{kg kPa}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- D Το έλλειμμα κορεσμού στην ατμόσφαιρα (kPa)
- r_{sa} τιμή που εξαρτάται από την αεροδυναμική αντίσταση και την αντίσταση επιφανείας

Ο πρώτος όρος της άθροισης στον αριθμητή του κλάσματος, αναφέρεται στην εξάτμιση λόγω ακτινοβολίας (ενεργειακός παράγοντας) και ο δεύτερος στην εξάτμιση λόγω ανέμου (παράγοντας μεταφοράς). Τα παραπάνω μεγέθη προκύπτουν μέσω μιας πολύπλοκης διαδικασίας που περιλαμβάνει τον υπολογισμό των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του ατμοσφαιρικού αέρα και των υδρατμών,

διαφόρων αστρονομικών μεγεθών και τέλος μεγεθών που υπεισέρχονται στον υπολογισμό της ακτινοβολίας. Η διαδικασία αυτή έχει τυποποιηθεί σε αλγόριθμο τριών σταδίων όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 του παραρτήματος. Ορισμένα πλαίσια στο σχήμα έχουν δύο σχέσεις. Η πρώτη σχέση είναι για τον υπολογισμό εξατμωσης από υδάτινη επιφάνεια και η δεύτερη σχέση για τον υπολογισμό δυνητικής εξατμοδιαπνοής από καλλιέργεια αναφοράς. Τα μεγέθη ανά στάδιο είναι:

Δεδομένα

z	υψόμετρο (m)
u	ταχύτητα ανέμου (m/s)
T_x, T_n	μέση μέγιστη και ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}\text{C}$)
U	μέση μηνιαία σχετική υγρασία
n/N	μέση μηνιαία σχετική ηλιοφάνεια
J	Ημέρα του χρόνου (1-365)
φ	γεωγραφικό πλάτος (rad)

Στάδιο 1

p	ατμοσφαιρική πίεση (kPa)
T	μέση μηνιαία θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
e^*	πίεση κορεσμού υδρατμών (kPa)
ω_s	γωνία ώρας δύσης ηλίου (rad)
d_r	εκκεντρότητα περιστροφής γής
decl	ηλιακή απόκλιση (rad)

Στάδιο 2

e	Πραγματική πίεση υδρατμών (kPa)
ω_s	γωνία ώρας δύσης ηλίου (rad)

Στάδιο 3

ϵ_n	συντελεστής του νόμου θερμικής εκπομπής μη μελανού σώματος
f_L	συντελεστής μείωσης ακτινοβολίας μακρών λόγω νέφωσης
f_S	συντελεστής μείωσης ακτινοβολίας βραχέων λόγω νέφωσης

Το G υπολογίζεται από τον τύπο $0.07(T_{\text{month},i+1} - T_{\text{month},i})$ όπου $T_{\text{month},i+1}$ και $T_{\text{month},i}$ είναι οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του επόμενου και του προηγούμενου μήνα.

5.4 Δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς με απλή και τροποποιημένη μέθοδο Blaney-Criddle

Η μέθοδος Blaney-Criddle έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα σε πολλές χώρες και ειδικότερα στην Ελλάδα για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών. Στην αρχική της μορφή, εκτιμά τη μηνιαία δυνητική εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, με βάση την ακόλουθη απλή σχέση, η οποία έχει μοναδικό μετεωρολογικό δεδομένο εισόδου τη θερμοκρασία:

$$E_{rc} = 0.254 p (32 + 1.8 T_a) \quad (7)$$

όπου η δυνητική εξατμοδιαπνοή E_{rc} εκφράζεται σε mm/μήνα και η θερμοκρασία T_a σε $^{\circ}\text{C}$ και p είναι το ποσοστό (%) των ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα σε σχέση με το σύνολο των ωρών ημέρας του έτους. Το ποσοστό αυτό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$p = 100 \times \frac{N \times \mu}{365 \times 12} \quad (8)$$

όπου N η μέση αστρονομική διάρκεια της μέρας σε h , και μ ο αριθμός ημερών του συγκεκριμένου μήνα.

Στην πιο εξελιγμένη μορφή της, η τροποποιημένη εξίσωση Blaney-Criddle εκτιμά την εξατμοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς και γράφεται:

$$E_{rc} = a_{BC} + b_{BC} [0.254 p (32 + 1.8 T_a)] \quad (9)$$

με

$$a_{BC} = 0.43 U_{\min} - n/N - 1.41 \quad (10)$$

$$b_{BC} = 0.82 - 0.41 U_{\min} + 1.07 n/N + 0.066u - 0.6 U_{\min} n/N - 0.06 U_{\min} u \quad (11)$$

όπου N/n η σχετική ηλιοφάνεια, U_{\min} η ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία και u η ταχύτητα ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας σε m/s , μετρημένη σε ύψος 2 m . Στην Ελλάδα, η τροποποιημένη εξίσωση Blaney-Criddle έχει θεσμοθετηθεί, μαζί με τη μέθοδο Doorenbos-Pruitt, ως μία από τις εγκεκριμένες μεθόδους εκτίμησης των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών (Υπουργείο Γεωργίας, 1992).

5.5 Δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς με εμπειρική μέθοδο

Ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς με εμπειρική μέθοδο γίνεται με τον πίνακα τυπικών τιμών εξατμοδιαπνοής ανά κλιματική κατηγορία και ανά μηνιαία θερμοκρασία που δίνεται από FAO (1986). Για τον υπολογισμό το μόνο που χρειάζεται είναι εκτίμηση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για την εκάστοτε κλιματική ζώνη.

Πίν. 4: Μέση δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς για διάφορα κλίματα (mm/day)

Κλιματική ζώνη	Μέση ημερήσια θερμοκρασία		
	< 15°C	15-25°C	>25°C
Ερημικό	4	7	9
Ξηρό	4	6	8
Ημίξηρο	3	5	7
Υγρό	1	3	5

Αναφορές – βιβλιογραφία

Δ. Κουτσογιάννης & Θ. Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, ΕΜΠ, Αθήνα 1999

Παράρτημα 1: Υπολογισμός μεγεθών, Ταξινόμηση ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων με βάση τις αποδελτιωμένες μελέτες του ΥΒΕΤ, με χρήση συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας, 64 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Νοέμβριος 1996.

Υπουργείο Γεωργίας, Εκσυγχρονισμός της μεθοδολογίας υπολογισμού των αναγκών των φυτών σε νερό που χρησιμοποιείται σε γεωργοτεχνικές μελέτες των εγχειοβελτιωτικών έργων και προσαρμογή στις Ελληνικές συνθήκες, Υπουργική Απόφαση, 120.344/11-2-1992, 1992.

Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs, Training manual no. 3, FAO 1986.

Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome 1998.

Industrial Water Use, 1996, Minister of Public Works and Government Services Canada, 2002

6 Παράρτημα

Πίν. 5: Ανάγκες σε νερό για κάθε κατηγορία ζώου (Lt/ζωο/ημέρα).

Βοοειδή	70
Προβατοειδή	15
Αγροειδή	15
Χοίροι	15
Ιπποειδή	70
Κουνέλια	2
Πουλερικά	0.5

Πίν. 6: Εισροές βιομηχανιών (hm³)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Φαγητά	0.014	0.015	0.015	0.015	0.018	0.021	0.020	0.022	0.022	0.019	0.017	0.015
Ποτά	0.045	0.041	0.053	0.052	0.057	0.059	0.050	0.050	0.048	0.050	0.053	0.047
Ελαστικά	0.010	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.012	0.011	0.010	0.010
Πλαστικά	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
Κλωστουργία	0.060	0.053	0.058	0.060	0.073	0.098	0.097	0.102	0.121	0.120	0.080	0.078
Υφαντουργία	0.024	0.024	0.025	0.025	0.028	0.028	0.024	0.027	0.029	0.029	0.029	0.026
Ξυλουργεία	0.010	0.010	0.009	0.007	0.008	0.010	0.008	0.007	0.007	0.008	0.006	0.007
Χαρτοβιομηχανία	0.684	0.626	0.667	0.634	0.667	0.692	0.766	0.774	0.717	0.700	0.667	0.651
Μεταλλουργία	0.525	0.518	0.538	0.531	0.544	0.518	0.551	0.571	0.577	0.584	0.551	0.551
Επεξεργασία μετάλλων	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Μεταφορικός εξοπλισμός	0.010	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.009
Ανόργανα μη μεταλλικά	0.011	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.013	0.012	0.011
Πετρέλαια άνθρακες	1.125	1.043	1.139	1.070	1.166	1.180	1.276	1.262	1.221	1.098	1.084	1.070
Χημικά προϊόντα	0.174	0.163	0.172	0.172	0.172	0.130	0.119	0.117	0.141	0.156	0.161	0.176

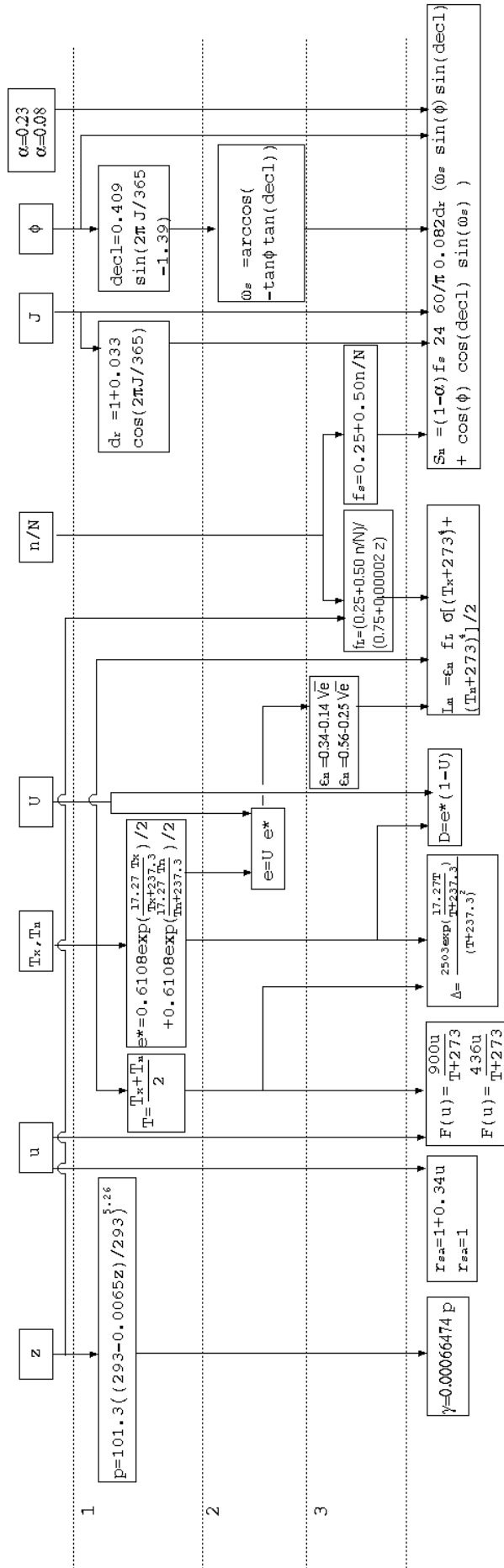
Πίν. 7: Εικροές βιομηχανιών (hm³)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Φαγητά	0.013	0.013	0.013	0.013	0.016	0.018	0.018	0.019	0.020	0.017	0.015	0.013
Ποτά	0.034	0.032	0.041	0.040	0.044	0.046	0.038	0.038	0.037	0.038	0.040	0.036
Ελαστικά	0.009	0.009	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.009	0.009
Πλαστικά	0.002	0.002	0.002	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002
Κλωστουργία	0.058	0.052	0.056	0.058	0.071	0.095	0.094	0.099	0.118	0.117	0.078	0.076
Υφαντουργία	0.020	0.021	0.021	0.022	0.024	0.024	0.021	0.024	0.025	0.025	0.025	0.023
Ευλουργεία	0.007	0.007	0.007	0.005	0.006	0.007	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005
Χαρτοβιομηχανία	0.623	0.571	0.608	0.578	0.608	0.631	0.698	0.706	0.653	0.638	0.608	0.593
Μεταλλουργία	0.480	0.474	0.492	0.486	0.498	0.474	0.504	0.522	0.528	0.534	0.504	0.504
Επεξεργασία μετάλλων	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Μεταφορικός εξοπλισμός	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.007	0.007	0.007	0.006
Ανόργανα μη μεταλλικά	0.009	0.008	0.009	0.009	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.009	0.009
Πετρέλαια άνθρακες	1.057	0.980	1.070	1.005	1.096	1.108	1.199	1.186	1.147	1.031	1.018	1.005
Χημικά προϊόντα	0.160	0.150	0.158	0.158	0.158	0.119	0.109	0.107	0.129	0.143	0.148	0.162

Πίν. 8: Τιμές φυτικού συντελεστή κατά FAO (1998)

	L ini	L dev	L mid	L late	Kc ini	Kc mid	Kc late
Κριθάρι	20	45	105	135	0.30	1.15	0.25
Καλαμπόκι	27	72	125	160	0.30	1.20	0.60
Κεχρί	20	50	105	140	0.30	1.00	0.30
Βρώμη	20	45	105	135	0.30	1.15	0.25
Ρύζι	30	60	120	150	1.05	1.20	0.90
Σόργο	20	55	100	130	0.30	1.00	0.55
Σιτάρι	20	45	105	135	0.30	1.15	0.25
Βαμβάκι	45	135	180	225	0.35	1.15	0.70
Λινάρι	25	60	110	150	0.35	1.10	0.25
Μηδική	10	30	50	60	0.40	0.95	0.90
Οπώρες	60	150	270	365	0.80	1.00	0.80
Ελιές	30	120	180	270	0.65	0.70	0.70
Φυστίκια Αιγίνης	20	80	110	150	0.40	1.10	0.45
Καρυδιές	20	30	160	190	0.50	1.10	0.65
Αμπέλι	20	70	145	205	0.30	0.85	0.45
Φασόλια ξερά	20	50	80	90	0.40	1.15	0.35
Φασόλια πράσινα	20	50	80	90	0.50	1.05	0.90
Φακή	20	50	110	150	0.40	1.10	0.30
Μπιζέλια, Φάβα, Κουκιά	20	50	85	100	0.40	1.15	0.30
Σόγια	20	45	120	150	0.40	1.15	0.50
Φυτό καστορέλαιου	25	65	130	180	0.35	1.15	0.55
Φυστίκια κάσιους	35	80	115	140	0.40	1.15	0.60
Πασατέμπος	20	55	100	125	0.35	1.00	0.25
Σουσάμι	20	50	90	110	0.35	1.10	0.25
Ηλιανθός	25	60	105	130	0.35	1.00	0.35
Παντζάρια	15	40	60	70	0.50	1.05	0.95
Πατατιές	30	65	115	145	0.50	1.15	0.75
Γλυκοπατάτες	20	50	110	150	0.50	1.15	0.65
Σακχαρότευτλο	30	75	165	180	0.35	1.20	0.70
Καπνός	10	35	70	105	0.35	1.20	0.75
Αγκινάρα	40	80	330	360	0.50	1.00	0.95
Σπαράγγι	90	120	320	365	0.50	0.95	0.30
Λάχανο	40	100	150	165	0.70	1.05	0.95
Καρότα	30	70	130	150	0.70	1.05	0.95
Σέλινο	25	65	160	180	0.70	1.05	1.00
Κουνουπιδομπρόκολα	20	50	70	80	0.70	0.95	0.80
Αγγούρι	20	50	90	105	0.50	1.00	0.80
Μελιντζάνα	30	75	115	140	0.60	1.05	0.90
Μαρούλι	20	50	65	75	0.70	1.00	0.95
Πεπόνι	25	60	100	120	0.50	1.05	0.75
Κρεμμύδι ξηρό	15	40	110	150	0.70	1.05	0.75
Κρεμμύδι πράσινο	25	55	65	70	0.70	1.00	1.00

Πιπεριές	30	65	105	125	0.60	1.05	0.90
Κολοκυθάκι	20	50	80	100	0.50	1.00	0.80
Ραπανάκια	5	15	30	35	0.70	0.90	0.85
Σπανάκι	20	40	60	65	0.70	1.00	0.95
Κολοκύθα	20	50	75	90	0.50	1.00	0.80
Φράουλα	20	45	295	325	0.40	0.85	0.75
Ντομάτα	30	70	115	145	0.60	1.15	0.80
Καρπούζι	20	50	80	110	0.40	1.00	0.75



Σχήμα 5: Αλγόριθμος υπολογισμού δυναμικής εξατμοδιαπνοής κατά Penman-Monteith