



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ
ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκτίμηση και ανάλυση ευαισθησίας του κλιματικού υδατικού ισοζυγίου
(climate water budget) στον ελλαδικό χώρο

Χρήστος Ξ. Κούκης

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ιωάννης Τσίρος, Καθηγητής ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2021**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκτίμηση και ανάλυση ευαισθησίας του κλιματικού υδατικού ισοζυγίου
(climate water budget) στον ελλαδικό χώρο

«Estimation and sensitivity analysis of the climate water balance
(climate water budget) in Greece»

Χρήστος Ξ. Κούκης

Εξεταστική Επιτροπή:

Ιωάννης Τσίρος, Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)

Γαρυφαλλιά Οικονόμου, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Γεώργιος Παπαδόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Εκτίμηση και ανάλυση ευαισθησίας του κλιματικού υδατικού ισοζυγίου (climate water budget) στον ελλαδικό χώρο

*ΠΜΣ: Καινοτόμες Εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών και στην Αγρομετεωρολογία
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή εστιάζει στον μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου με τη μέθοδο Thornthwaite για 73 περιοχές της Ελλάδας από δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών της Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) που είναι ή ήταν εγκατεστημένοι στις περιοχές αυτές. Η χρονοσειρά των δεδομένων καλύπτει το διάστημα από το έτος 1955 έως το έτος 1997 και διαφοροποιείται ανάλογα με τη περιοχή.

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε με βάση το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις του Ελλαδικού χώρου τα κλιματικά δεδομένα που απαιτούνται για τη εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου είναι πολύ περιορισμένα.

Ο βασικός στόχος υπολογισμού της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου στις 73 αυτές περιοχές του Ελλαδικού χώρου είναι η εκτίμηση της διαφοράς (θετικής, αρνητικής, μηδενικής) μεταξύ της ανάγκης σε νερό και της διαθέσιμης ποσότητας νερού. Σε περιόδους ξηρασίας οι ανάγκες σε νερό είναι ιδιαίτερα αυξημένες και μάλιστα σε τέτοιο βαθμό που δεν καλύπτονται από τις διαθέσιμες ποσότητες νερού. Στην Ελλάδα παρουσιάζεται το φαινόμενο πολύ συχνών και παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας κατά τις οποίες οι διαθέσιμες ποσότητες νερού είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

Επιστημονική περιοχή: Υδατικό Ισοζύγιο

Λέξεις κλειδιά: Υδατικό Ισοζύγιο, Thornthwaite, Εξατμισοδιαπνοή, Εδαφοϊκανότητα, Υδρολογικός Κύκλος, Κλιματική Ταξινόμηση

Assessment and sensitivity analysis of the climate water balance (climate water budget) in Greece

MSC: Innovative Applications in Sustainable Agriculture, Plant Improvement and Agrometeorology

Department of Plant Production Science

ABSTRACT

This postgraduate thesis focuses on the monthly calculation of the water balance with the Thornthwaite method for 73 regions of Greece from data from meteorological stations of the National Meteorological Service (N.M.Y.) that are or were established in these areas. The time series of data covers the period from 1955 to the year 1997 and varies according to the region.

This method was chosen based on the fact that in many cases in Greece the climatic data required to estimate the water balance are very limited.

The main objective of calculating the equation of the water balance in these 73 regions of Greece is to estimate the difference (positive, negative, zero) between the need for water and the available amount of water. In times of drought, the water needs are particularly high and to such an extent that they are not covered by the available quantities of water. In Greece, there is a phenomenon of very frequent and prolonged periods of drought during which the available quantities of water are particularly low.

Scientific area: Water Balance

Key words: Water Balance, Thornthwaite, Hydrological Cycle, Climate Classification, Soil Evapotranspiration, Evapotranspiration

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	3
1.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΙ.....	4
1.3 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ.....	6
1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	
1.1 ΕΠΟΠΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	8
1.2 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ.....	10
1.3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΝΕΡΟΥ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	16
1.2 ΒΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΤΟΥ ΘΟΡΝΤΗΩΑΙΤΕ.....	17
1.3 ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΠΝΟΗ.....	19
1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΟΡΝΤΗΩΑΙΤΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (ΡΕ).....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
4.1 ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	22
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΘΟΡΝΤΗΩΑΙΤΕ.....	24
4.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΘΟΡΝΤΗΩΑΙΤΕ	
5.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΤΑ ΘΟΡΝΤΗΩΑΙΤΕ.....	49
5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ.....	61

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο «Εκτίμηση και Ανάλυση Ευαισθησίας του Κλιματικού Υδατικού Ισοζυγίου (climate water budget) στον Ελλαδικό Χώρο» εκπονήθηκε στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των μεταπτυχιακών σπουδών στο Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Καινοτόμες Εφαρμογές στην Αειφορική Γεωργία, στη Βελτίωση Φυτών και στην Αγρομετεωρολογία» με εξειδίκευση στην Αγρομετεωρολογία.

Η διατριβή εστιάζει στον μηνιαίο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου με τη μέθοδο Thornthwaite για 73 περιοχές της Ελλάδας από δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών της Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) που είναι ή ήταν εγκατεστημένοι στις περιοχές αυτές. Η χρονοσειρά των δεδομένων καλύπτει το διάστημα από το έτος 1955 έως το έτος 1997 και διαφοροποιείται ανάλογα με τη περιοχή.

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε με βάση το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις του Ελλαδικού χώρου τα κλιματικά δεδομένα που απαιτούνται για τη εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου είναι πολύ περιορισμένα.

Ο βασικός στόχος υπολογισμού της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου στις 73 αυτές περιοχές του Ελλαδικού χώρου είναι η εκτίμηση της διαφοράς (θετικής, αρνητικής, μηδενικής) μεταξύ της ανάγκης σε νερό και της διαθέσιμης ποσότητας νερού. Σε περιόδους ξηρασίας οι ανάγκες σε νερό είναι ιδιαίτερα αυξημένες και μάλιστα σε τέτοιο βαθμό που δεν καλύπτονται από τις διαθέσιμες ποσότητες νερού. Στην Ελλάδα παρουσιάζεται το φαινόμενο πολύ συχνών και παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας κατά τις οποίες οι διαθέσιμες ποσότητες νερού είναι ιδιαίτερα χαμηλές.

Τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια γεωργικών, υδρολογικών και περιβαλλοντικών μελετών.

Εδώ θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή κύριο Ιωάννη Τσίρο Διευθυντή του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας, επιβλέποντα της εν λόγω διατριβής, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς επίσης και για την άριστη συνεργασία και καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης θα ήθελα να δώσω τις ευχαριστίες μου στον Δρ. Νικόλαο Προύτσο, Ερευνητή στον Ερευνητικό Οργανισμό «ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ» για τις ουσιαστικές συμβουλές και την συνεχή καθοδήγηση του που συνέβαλαν στο μέγιστο στην επίτευξη της ολοκλήρωσης της συγκεκριμένης διατριβής.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Γ. Οικονόμου Καθηγήτρια και το κ. Γ. Παπαδόπουλο Αναπληρωτή Καθηγητή για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή, καθώς και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.



Εικόνα 1: Νερό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το νερό (ύδωρ στα Αρχαία Ελληνικά) είναι εκείνη η χημική ανόργανη ένωση που είναι περισσότερο διαδεδομένη στην επιφάνεια του πλανήτη μας της Γης καλύπτοντας περίπου το 70.9% με συνολικό όγκο 1.338.000.000Km³.

Το νερό ως λέξη προέρχεται από τη Βυζαντινή Περίοδο και συγκεκριμένα από τη φράση «νεαρόν ύδωρ» που σημαίνει τρεχούμενο νερό.

Οι ωκεανοί και οι θάλασσες περιέχουν περίπου το 96.5% του συνολικού νερού της Γης. Οι λίμνες, τα ποτάμια και τα έλη περιέχουν περίπου το 1.7%. Σε μορφή πάγου στην Αρκτική και στην Ανταρκτική βρίσκεται περίπου άλλο ένα 1.7%. Στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υγρασίας βρίσκεται περίπου το 0.001%.

Μόνο το 2.5% του συνολικού νερού της Γης είναι πόσιμο και από αυτό περίπου το 98.8% βρίσκεται στα παγοκαλύματα και στα υπόγεια ύδατα. Το υπόλοιπο 1.2% βρίσκεται σε λίμνες και σε ποτάμια.

Στη φυσική του μορφή το νερό συναντάται σε διάφορες μορφές. Αυτές είναι:

1. Υγρή μορφή
2. Στερεή μορφή (πάγος)
3. Αέρια μορφή (υδρατμός)
4. Μορφή υγρού κρυστάλλου (κοντά σε υδρόφιλες επιφάνειες)

Ο μοριακός τύπος του νερού είναι H₂O και θεωρείται μέχρι σήμερα το τρίτο σε αφθονία μόριο στο σύμπαν. Είναι άχρωμο, άγευστο, άοσμο και διαυγές.

Το νερό είναι η μόνη φυσική ουσία που βρίσκεται φυσικά και στις τρεις φυσικές καταστάσεις της ύλης (στερεή, υγρή και αέρια).

Το νερό είναι απαραίτητο για όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη μας. Όλα τα γνωστά έμβια όντα, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου.

αποτελούνται από νερό σε ποσοστό 55-78% το οποίο μπορεί να αγγίξει και το 90% σε κυτταρικές δομές.

Το χημικά καθαρό νερό σε ιδανικές συνθήκες περιβάλλοντος (25⁰C. 1atm) βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία υγρού-αερίου. Στη φύση το βρίσκουμε σε αυτή τη μορφή εξαιρετικά σπάνια μιας και έχει πολύ μεγάλη ικανότητα διάλυσης (ονομάζεται και παγκόσμιος διαλύτης).

Μέσω του κύκλου του νερού (υδρολογικός κύκλος) το νερό κινείται συνεχόμενα στη Γη. Πρόκειται για μία φυσική διαδικασία που περιλαμβάνει:

1. Την εξάτμιση του (κυρίως από τις θάλασσες)
2. Τη μεταφορά του ως υγρασία
3. Τη συμπύκνωση του στην ατμόσφαιρα
4. Τη πτώση του στο έδαφος με τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.α.)
5. Την αποστράγγιση του στο έδαφος
6. Την επιστροφή του στις θάλασσες στο μεγαλύτερο ποσοστό του

1.2 ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΙ

Το νερό έπαιξε σημαντικότερο ρόλο και στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού. Λατρεύτηκε και θεοποιήθηκε από τους περισσότερους, αν όχι όλους, τους αρχαίους πολιτισμούς.

Στην αρχαία Μεσοποταμία (περίπου το 4000 π.χ.) ο Ένκι ήταν ο θεός των πάγων και των ποταμών και δεν είναι καθόλου παράδοξο το ήταν η πιο συγγενική θεότητα με τους ανθρώπους.

Στην Ασσυριακή αλλά και τη Βαβυλωνιακή μυθολογία οι θεοί, οι άνθρωποι και όλα τα δημιουργήματα της φύσης προήλθαν από τη μείξη των υδάτων των ποταμών με αυτών της θάλασσας.

Στην αρχαία Αίγυπτο ο κόσμος δημιουργήθηκε από το χάος που είχε τη μορφή ωκεανού.

Όλες οι μορφές του νερού (ωκεανοί, λίμνες, ποτάμια) λατρεύονταν από τους αρχαίους Έλληνες με κύρια θεότητα τον Ποσειδώνα. Υπάρχουν πλούσιες μυθολογικές ιστορίες στον Ελληνικό πολιτισμό όπως η γέννηση της θεάς Αφροδίτης από τον αφρό της θάλασσας ή η πάλη του ημίθεου Ηρακλή με το ποταμό Αχελώο για τη διεκδίκηση της Δηϊάνειρας. Ακόμα και η γέννηση του ημίθεου Αχιλλέα όπου η μητέρα του θεά Θέτιδα τον βούτηξε στα νερά της Στυγός κάνοντας τον άτρωτο. Κατά τον Ηράκλειτο το ύδωρ αποτελεί «πρώτη αρχή, το πλαστοουργό των πάντων στοιχείο».

Όμως το νερό στην αρχαιότητα χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον και στην ιατρική. Ο Όμηρος αναφέρει στα έπη του την ύπαρξη ζεστών και κρύων λουτρών για ιαματικούς σκοπούς. Επίσης κατά τον 6π.χ. αιώνα στη Κω και στη Πέργαμο υπήρχαν τα Ασκληπιεία όπου τελούνταν υδροθεραπείες. Ο Ιπποκράτης (460-

375π.χ.) ήταν ο πρώτος που μελέτησε την επίδραση των θερμών και ψυχρών λουτρών με την επίδραση του κλίματος θέτοντας τις βάσεις της σύγχρονης κλιματοθεραπείας και υδροθεραπείας.

Ακόμη και στο Χριστιανισμό το νερό αποτελεί μέσο καθαρότητας και εξαγνισμού.

Πέρα από τη θεοποίηση και τη λατρεία του νερού οι αρχαίοι πολιτισμοί έπρεπε και να το διαχειριστούν με σκοπό την επιβίωση αλλά και την ευημερία τους. Έτσι όλοι οι ακμάζοντες πολιτισμοί βρίσκονταν πάντα κοντά σε πόσιμο νερό και δημιούργησαν πολύπλοκα τεχνουργήματα με σκοπό την άρδευση των χωραφιών τους, την αποχέτευση των πόλεων και το πότισμα των ζώων και των κατοίκων τους.

Στην αρχαία Ελλάδα ήδη από τη Μινωική Εποχή στη Κνωσό υπήρχαν αποχετευτικοί αγωγοί. Όμως και στη Ηπειρωτική Ελλάδα κατά τη ίδια χρονική περίοδο δημιουργήθηκαν εγγειοβελτιωτικά έργα, υδρευτικά φράγματα και αποξηράνσεις λιμνών τα οποία μάλιστα συνέχισαν να λειτουργούν μέχρι και τον 2μ.χ. αιώνα σύμφωνα με τον Πausανία.

Στην Αττική παρά την έλλειψη υδάτινων πόρων η ύδρευση εξασφαλιζόταν από τις πηγές στους πρόποδες της Ακρόπολης και από τα πηγάδια των ποταμών Ιλισού και Ηριδανού. Στα τέλη του 6π.χ. αιώνα έγιναν σημαντικά έργα ύδρευσης από τον τύραννο Πεισίστρατο σύμφωνα με το Θουκυδίδη.

Αξίζει εδώ να αναφερθούν και ορισμένα αποφθέγματα με βάση το νερό:

Ψυχή σιν θάνατος ύδωρ γένεσθαι, ύδατι δε θάνατος γην γένεσθαι, εκ γης δε ύδωρ γίνεται, εξ ύδατος δε ψυχή (Ηράκλειτος 544-484π.χ.)

Τα πάντα ρεί και ουδέν μένει (Ηράκλειτος 544-484π.χ.)

Από το νερό μπορούμε να μάθουμε αν μία τοποθεσία είναι υγιεινή ή ανθυγιεινή (Βιτρούβιος 80-15π.χ.)

Άριστον μεν ύδωρ (Πίνδαρος 522-438π.χ.)

Γη και ύδωρ πάντα έσθε όσοι γίνονται ήδε φύονται (Ξενοφάνης 570-480π.χ.)

Ύδωρ θολερόν και απαίδευτον ψυχήν ου δει τάραπτεν (Ισοκράτης 436-338π.χ.)



Εικόνα 2: Μεταφορά νερού στην αρχαία Ελλάδα

1.3 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ

Με την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης (1760μ.χ.), η οποία ώθησε τη σημαντική αύξηση του πληθυσμού της Γης, οι ανάγκες για χρήση του νερού αυξήθηκαν υπερβολικά. Έτσι στις ημέρες μας το σπαταλάμε αλόγιστα και το ρυπαίνουμε χωρίς να προβαίνουμε σε αντίστοιχα μέτρα για την προστασία, τη διάθεση και τη διατήρηση του (G. Tyler – Miller 1999).

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του IWMI (International Water Management Institute) από το έτος 2025, 48 χώρες θα αντιμετωπίσουν σοβαρότατα προβλήματα από την έλλειψη νερού. Αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 35% του παγκόσμιου πληθυσμού (περίπου 2.8 δις άνθρωποι).

Ποιο συγκεκριμένα τα προβλήματα αυτά ανάγονται στη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, στην άρδευση αγροτικών εκτάσεων αλλά και στην οικιακή χρήση του νερού. Ακόμη όμως και όσες χώρες δεν αντιμετωπίσουν προβλήματα στην επάρκεια του νερού θα πρέπει άραυτα να λάβουν μέτρα και επενδύσεις για την εξασφάλιση αλλά και τη διατήρηση του (Παπαζαφειρίου 1999).

Σύμφωνα με την έκθεση του Ευρωπαϊκού προγράμματος LUCINDA 2008 (Land Care In Desertification Affected Area) η Ευρώπη δεν αντιμετωπίζει άμεσο κίνδυνο υδατικών πόρων. Πάραυτα στη Βόρεια Ευρώπη όπου οι υδατικοί πόροι είναι αφθονότεροι επικρατεί πρόβλημα με τη ποιότητα του νερού, ενώ στη Νότια Ευρώπη το πρόβλημα εντοπίζεται στην έντονη εποχική ζήτηση κυρίως λόγω του τουρισμού στη λεκάνη της Μεσογείου καταστρέφοντας τα υπάρχοντα οικοσυστήματα (Καρβούνης 2013).

Στην Ελλάδα οι γεωργικές απαιτήσεις σε νερό προσεγγίζουν το 83-87% των αποθεμάτων των επιφανειακών αλλά και των υπόγειων υδάτων ανά έτος ενώ η υδρευτική χρήση το 10-12% (Υπ. Γεωργίας 2004).

Τα μοντέλα πρόβλεψης της κλιματικής αλλαγής επιβεβαιώνουν ένα ήδη παρατηρήσιμο φαινόμενο. Ενώ στη Βόρεια Ευρώπη οι βροχοπτώσεις αυξάνονται κυρίως τους χειμερινούς μήνες, στη Νότιο και Κεντρική Ευρώπη οι βροχοπτώσεις μειώνονται τους θερινούς μήνες. Η παροδική έλλειψη νερού στην Ιβηρική χερσόνησο την περίοδο Άνοιξης-Καλοκαιριού του 2003 και στον Ελλαδικό χώρο την περίοδο Άνοιξης-Καλοκαιριού του 2007 τονίζουν τη δριμύτητα των παραπάνω συνθηκών (Τσίρος 2017). Η Βόρεια Ευρώπη φαίνεται επιρρεπής σε πλημμύρες, ενώ η Νότια Ευρώπη φαίνεται επιρρεπής στη ξηρασία. Επίσης φαίνεται να αυξάνεται και η πιθανότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων τα τελευταία χρόνια όπως πλημμύρες, θύελλες, ξηρασία, αύξηση θερμοκρασίας κ.α. (Καραβίτης 2015).

Στην έκθεση της ΕΕΑ (European Environment Agency) διαπιστώνεται ότι αν και λίγες Ευρωπαϊκές χώρες υφίστανται ελλείψεις νερού η άνιση κατανομή προσφοράς και ζήτησης στις διάφορες χρονικές περιόδους έχει προκαλέσει τη δημιουργία ευαίσθητων υδρολογικά περιοχών στις οποίες η τοπική κατανάλωση νερού τετραπλασιάζεται τους θερινούς μήνες με αντίκτυπο τη λειτουργία και τη

μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων. Οι ελλείψεις νερού είναι εντονότερες γύρω από μεγαλουπόλεις, σε μικρά νησιά και στις Μεσογειακές παράκτιες τουριστικές περιοχές (Καρβούνης 2013).

1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι ιδιότητες του νερού που το κάνουν τόσο ξεχωριστό είναι:

1. Είναι το μόνο που διαστέλλεται όπως ένα στερεό σώμα και συστέλλεται όπως ένα υγρό.
2. Διαλύει αέρια και ορυκτά
3. Είναι άοσμο, άχρωμο και άγευστο
4. Πήζει στους 0°C και βράζει στους 100°C (σε πίεση 760mmHg)
5. Έχει θερμότητα εξαέρωσης 9720Kcal/ml (είναι η απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για τη διάρρηξη των δεσμών του υδρογόνου)
6. Έχει μεγάλη επιφανειακή τάση. Ο συντελεστής επιφανειακής τάσης είναι $\gamma=72.75\text{dyn/cm}$ (20°C, 1atm) και μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία
7. Μεταξύ δύο μορίων νερού δημιουργούνται ασθενείς δεσμοί (δεσμοί υδρογόνου) ηλεκτροστατικού χαρακτήρα με αποτέλεσμα το νερό να περιτριγυρίζεται από φορτισμένα είδη τα οποία και διαλύει. Εκεί οφείλεται η ενυδάτωση των εδαφών και των ιζημάτων από τα οποία διέρχεται. Τα εδάφη προσθέτουν και αφαιρούν συστατικά από το νερό (Νικολαΐδης, 2005).
8. Μεταβάλλει τη πυκνότητα του με τη θερμοκρασία. Η μέγιστη πυκνότητα επιτυγχάνεται στους 4°C. Όταν η θερμοκρασία μειώνεται κάτω από τους 4°C μειώνεται η πυκνότητα του νερού με αποτέλεσμα να είναι βαρύτερο του πάγου που επιπλέει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγάλοι όγκοι νερού να μη παγώνουν ποτέ όταν οι θερμοκρασίες είναι ιδιαίτερα χαμηλές παρά μόνο επιφανειακά και να μην οδηγούνται σε νέκρωση ή θανάτωση οι υδρόβιοι οργανισμοί σε λίμνες και ποτάμια (Βαλαβανίδης 2007).
9. Έχει μεγάλη διηλεκτρική σταθερά και μεγάλο συντελεστή θερμοχωρητικότητας ($C=1\text{cal/cgr}\cdot\text{grad}^3$). Ο συντελεστής θερμοχωρητικότητας και οι μεγάλες σταθερές τήξης (80cal/gr) και εξαέρωσης (540cal/gr) επιτρέπουν στο νερό να επηρεάζει σημαντικά τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής και κυρίως την απόκλιση μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης θεοκρασίας κατά το εικοσιτετράωρο. Ένα καλό παράδειγμα των ανωτέρω είναι η περιοχή της ερήμου Σαχάρας όπου λείπει το νερό και έχουμε κατά τη διάρκεια της ημέρας πολύ υψηλές θερμοκρασίες (έως και 60°C) και κατά τη διάρκεια της νύκτας αρκετά χαμηλές (έως και -10°C) (Σούλιος 1996).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

1.1 ΕΠΟΠΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Η ικανότητα του πλανήτη μας της Γης να δημιουργήσει αλλά και να συντηρήσει τη δημιουργία της ζωής βασίζεται σε δύο βασικούς πυλώνες. Αυτοί είναι:

1. Την ηλιακή ακτινοβολία που διοχετεύει και παράγει την απαραίτητη ενέργεια μέσω του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης από τη χλωρίδα του πλανήτη.
2. Την παρουσία του νερού όπου με τη συνεχή ανακύκλωση του (Υδρολογικός Κύκλος) μετέχει ενεργά στους κυριότερους βιογεωχημικούς κύκλους (Σίσκος, Σκουλλός 1990).

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την κυκλοφορία και την παρουσία του νερού στην επιφάνεια της Γης, αλλά και στις ποσότητες του νερού που βρίσκονται κάτω από αυτή.

Το νερό στη Γη βρίσκεται σε διαρκή κίνηση και πάντα σε μεταβολή από την υγρή μορφή σε αέρια ή στερεή και αντίστροφα. Ο υδρολογικός κύκλος λειτουργεί στο πλανήτη εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Χωρίς την ύπαρξη του ο πλανήτη μας θα ήταν αφιλόξενος σε κάθε μορφή ζωής.

Ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει αρχή και τέλος. Για πρακτικούς όμως λόγους σαν αφετηρία του παίρνουμε τις θάλασσες. Η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία και κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το θαλασσινό νερό το οποίο με τη σειρά του εξατμίζεται εν μέρει και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα.

Εξάτμιση νερού πραγματοποιείται και από τις λίμνες και τα ποτάμια. από το έδαφος και από την διαπνοή των φυτών.

Μέσω της εξάχνωσης μία μικρή ποσότητα υδρατμών μεταφέρεται από τα μόρια των πάγων και του χιονιού στην ατμόσφαιρα απευθείας χωρίς πρώτα να περάσουν σε υγρή μορφή.

Τα ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τις ποσότητες των υδρατμών στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου λόγω των χαμηλών πιέσεων επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες. Οι χαμηλές αυτές θερμοκρασίες συμπυκνώνουν ένα μέρος των υδρατμών σε σύννεφα, τα οποία κινούνται ανά την Υδρόγειο με τη βοήθεια των ρευμάτων του αέρα. Στη συνέχεια τα σταγονίδια των σύννεφων συγκρούονται μεταξύ τους αυξάνοντας τη μάζα τους και τελικά πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους με τη μορφή κατακρημνισμάτων.

Η μεγαλύτερη ποσότητα των κατακρημνισμάτων (μορφές κατακρημνισμάτων είναι η βροχή, το χιόνι και το χαλάζι) πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Από την ποσότητα των κατακρημνισμάτων που πέφτει στην ξηρά ένα σημαντικό μέρος τους καταλήγει στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της

βαρύτητας ως επιφανειακή απορροή μέσω των ποταμών (ροή σε υδατορεύματα).

Η ποσότητα των κατακρημνισμάτων που δεν ρέει πίσω στους ωκεανούς αποθηκεύεται σε λίμνες. Μέσω του φαινομένου της διήθησης κάποιες ποσότητες ύδατος διαπερνούν το έδαφος σχηματίζοντας το υπόγειο ύδωρ. Μέρος του υπόγειου αυτού ύδατος βρίσκει πάλι δίοδο προς την επιφάνεια του εδάφους με τη μορφή πηγών ή προς τους ωκεανούς μέσω της εκφόρτισης του υπόγειου ύδατος. Ένα άλλο τμήμα του υπόγειου ύδατος διηθείται ακόμη βαθύτερα εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς. Όμως ακόμη και αυτό το νερό με την πάροδο του χρόνου συνεχίζει να κινείται και μέρος του επιστρέφει στους ωκεανούς συμπληρώνοντας τον υδρολογικό κύκλο.



Εικόνα 3: υδρολογικός κύκλος

1.2 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Η Γεωλογική Υπηρεσία των Η.Π.Α. (U.S.G.S.) έχει διακρίνει δεκαέξι συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου τα οποία αναλύονται λεπτομερώς παρακάτω. Αυτά είναι:

1. Αποθήκευση ύδατος στη θάλασσα.

Στους ωκεανούς βρίσκεται αποθηκευμένη πολύ περισσότερη ποσότητα ύδατος από αυτή που βρίσκεται σε κίνηση στον υδρολογικό κύκλο. Συγκεκριμένα από τα $1.386.000.000\text{Km}^3$ του νερού της Γης το 96.5% ($1.338.000.000\text{Km}^3$) είναι αποθηκευμένο στους ωκεανούς, οι οποίοι και παράγουν το 88% του εξατμιζόμενου νερού του υδρολογικού κύκλου. Η ποσότητα του νερού στους ωκεανούς μεταβάλλεται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες. Στις ψυχρές περιόδους λόγω του σχηματισμού παγόβουνων υπάρχει μικρότερη ποσότητα νερού, ενώ τις θερμές περιόδους η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη. Ένα παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι ότι, κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων η στάθμη των ωκεανών ήταν 122μ χαμηλότερη από ότι είναι σήμερα, ενώ πριν 3.5 δις. χρόνια, όπου η Γη ήταν θερμότερη, η στάθμη των ωκεανών ήταν 50μ υψηλότερη από ότι σήμερα. Τα ωκεάνια ρεύματα μετακινούν μεγάλες ποσότητες νερού. Αυτές οι μετακινήσεις επηρεάζουν τον υδρολογικό κύκλο όπως και το κλίμα διαφόρων περιοχών. Το ρεύμα του Κόλπου διασχίζει τον Ατλαντικό ωκεανό μεταφέροντας θερμό νερό από το Μεξικό προς τη Μ. Βρετανία με ταχύτητα 100Km/ημ. Το συγκεκριμένο ρεύμα μετακινεί εκατό φορές περισσότερο νερό από όλα τα ποτάμια της Γης και ευθύνεται για τον ποιο ήπιο καιρό της Μ. Βρετανίας από το καιρό άλλων χωρών που βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος.

2. Εξάτμιση.

Εξάτμιση καλείται η διεργασία εκείνη μέσω της οποίας το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο και αποτελεί το βασικό τρόπο με τον οποίο το νερό από υγρό ξαναπαίρνει στην ατμόσφαιρα και στον υδρολογικό κύκλο. Οι ωκεανοί, οι λίμνες και τα ποτάμια παρέχουν το 90% της υγρασίας της ατμόσφαιρας, ενώ τα φυτά μέσω της διαπνοής το υπόλοιπο 10%. Με τη θερμότητα του ηλίου σπάζουν οι δεσμοί που συγκρατούν ενωμένα τα μόρια του νερού και για το λόγο αυτό το νερό εξατμίζεται εύκολα στο σημείο βρασμού του (100°C) και δυσκολότερα κοντά στο σημείο τήξης του (0°C). Όταν η σχετική υγρασία βρίσκεται στο 100% δεν πραγματοποιείται εξάτμιση. Με την εξάτμιση αφαιρείται θερμότητα από το περιβάλλον και έτσι εξηγείται γιατί δροσιζόμαστε όταν ιδρώνουμε. Παγκοσμίως η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται είναι ίση με τη ποσότητα του νερού που επιστρέφει στη Γη με τη μορφή των κατακρημνισμάτων. Βέβαια στη θάλασσα υπερτερεί η εξάτμιση, ενώ στη στεριά τα κατακρημνίσματα. Από τη στιγμή που εξατμίζεται ένα μόριο νερού μένει στην ατμόσφαιρα για περίπου δέκα ημέρες.

3. Εξατμισοδιαπνοή.

Ορίζεται ως το νερό που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια του εδάφους και από τη διαπνοή των φυτών. Το νερό αυτό μπορεί να είναι υπόγειο

που φτάνει στην εδαφική επιφάνεια μέσω τριχοειδών αγγείων των φυτών. Διαπνοή είναι εκείνη η διεργασία μέσω της οποίας η υγρασία μεταφέρεται από τις ρίζες των φυτών μέχρι τα στόματα των φύλλων όπου και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Ένα φύλλο μπορεί να διακινήσει νερό πολλαπλάσιο του βάρους του. Για παράδειγμα μία βελανιδιά μπορεί να διακινήσει 150.000 λίτρα νερό το χρόνο. Ο ρυθμός διαπνοής μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία (χαμηλότερη θερμοκρασία ισούται με μικρότερη διαπνοή), σχετική υγρασία (μικρότερη υγρασία ισούται με μεγάλη διαπνοή), τον άνεμο (μικρή ένταση ανέμου ισούται με μικρή διαπνοή) και το είδος του φυτού.

4. Εξάχνωση.

Είναι η μετατροπή του νερού από στερεή μορφή απευθείας σε αέρια χωρίς να μεσολαβήσει η υγρή μορφή. Το φαινόμενο της εξάχνωσης παρατηρείται περισσότερο σε μεγάλα υψόμετρα όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι χαμηλή και η ατμόσφαιρα ξηρή.

5. Αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα.

Στην ατμόσφαιρα το νερό αποθηκεύεται με τη μορφή σύννεφων, αλλά και ως αόρατη μορφή υδρατμών. Ο συνολικός όγκος του νερού της ατμόσφαιρας αν ήταν σε υγρή μορφή θα ήταν 12.900km³. Τώρα αν όλος αυτός ο όγκος νερού έπεφτε την ίδια στιγμή με τη μορφή κατακρημνισμάτων θα κάλυπτε το έδαφος με νερό ύψους 2.5εκ.

6. Συμπύκνωση.

Είναι η μετατροπή του νερού από την αέρια μορφή σε υγρή. Η περιεκτικότητα σε νερό της ατμόσφαιρας έχει ένα ανώτατο όριο (όριο κορεσμού), το οποίο αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αν προστεθούν υδρατμοί στην ατμόσφαιρα πάνω από το όριο κορεσμού, οι πλεονάζοντες αυτοί υδρατμοί υγροποιούνται σχηματίζοντας σταγονίδια, παγοκρυστάλλους και σύννεφα. Καθώς τα σταγονίδια ενώνονται μεταξύ τους, μεγαλώνουν σε μάζα και βάρος και πέφτουν στο έδαφος με τη μορφή κατακρημνισμάτων.

7. Κατακρημνίσματα.

Είναι η πτώση του νερού από τα σύννεφα με τη μορφή βροχής, χιονόνερου, χιονιού και χαλαζιού. Τα κατακρημνίσματα αποτελούν τον κύριο τρόπο με τον οποίο το νερό της ατμόσφαιρας επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης, Τα κατακρημνίσματα δεν πέφτουν με τις ίδιες ποσότητες στο κόσμο. Έτσι η μεγαλύτερη μέση ετήσια βροχόπτωση ανήκει στο όρος Waialeale στη Χαβάη με 11.400χιλ. βροχής, ενώ η μικρότερη στο Arica της Χιλής όπου τα διαστήματα μεταξύ των βροχοπτώσεων μπορεί να είναι έως και 14 έτη.

8. Αποθήκευση νερού σε πάγους, παγετώνες και χιόνι.

Το νερό που είναι αποθηκευμένο σε μορφή πάγου είναι και αυτό μέρος του υδρολογικού κύκλου. Το 90% της ποσότητας των πάγων βρίσκεται στην Ανταρκτική και το υπόλοιπο 10% βρίσκεται στη Γροιλανδία. Οι παγετώνες

καλύπτουν το 11% της επιφάνειας της Γης. Αν οι παγετώνες έλιωναν η στάθμη της θάλασσας θα αυξάνονταν κατά 70 μέτρα. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων η στάθμη της θάλασσας ήταν 122 μέτρα χαμηλότερη από ότι είναι σήμερα και οι παγετώνες κάλυπταν το 1/3 περίπου της στεριάς. Πριν από 125.000 χρόνια κατά τη διάρκεια της τελευταίας θερμής περιόδου οι θάλασσες ήταν 5.5 μέτρα υψηλότερες από ότι σήμερα, ενώ πριν από 3.000.000 χρόνια εικάζεται ότι μπορεί και να ήταν ως και 50 μέτρα υψηλότερες.

9. Απορροή από λιώσιμο νερού.

Αποτελεί σημαντική συνιστώσα της κίνησης του νερού. Το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού προκαλεί εκτός από πλημμύρες και κατολισθήσεις βράχων. Η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή, αλλά και από έτος σε έτος.

10. Επιφανειακή απορροή.

Είναι η απορροή κατακρημνισμάτων πάνω από το εδαφικό ανάγλυφο. Η σχέση μεταξύ των κατακρημνισμάτων και της επιφανειακής απορροής μεταβάλλεται στο χώρο και στο χρόνο. Παρόμοιες καταιγίδες σε μία έρημο και σε μία ζούγκλα προκαλούν διαφορετικές επιφανειακές απορροές. Η απορροή εξαρτάται από μετεωρολογικούς παράγοντες και από τη γεωλογία και το ανάγλυφο της περιοχής. Μόνο το 1/3 του όγκου των κατακρημνισμάτων που πέφτει πάνω στο έδαφος επιστρέφει στη θάλασσα. Τα υπόλοιπα 2/3 εξατμίζονται ή διηθούνται προς τα υπόγεια νερά. Μέρος της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιείται και από τον άνθρωπο για την κάλυψη των αναγκών του.

11. Ροή σε ρεύματα.

Αναφέρεται στο νερό που ρέει σε ποτάμια, ρεύματα και ρυάκια. Τα ποτάμια βοηθούν στη διήθηση του νερού και στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων. Επίσης επιστρέφουν στη θάλασσα το μεγαλύτερο μέρος του νερού που εισέρχεται σε αυτά. Κάθε ποτάμι συνδέεται με τη λεκάνη απορροής του. Λεκάνη απορροής καλείται η γεωγραφική εκείνη περιοχή όπου τα νερά της συνεισφέρουν στην απορροή που περνά από τη θέση του υδατορεύματος. Είναι στην ουσία εκείνη η εδαφική έκταση που φιλοξενεί το ποτάμι και όλους τους παραπόταμους του. Η έκταση της λεκάνης απορροής μπορεί να είναι πολύ μικρή (μερικά κυβικά εκατοστά) έως και πολύ μεγάλη (Αμαζόνιος πού φτάνει τα 7.180.000Km³). Η ροή στα υδατορεύματα αλλάζει συνεχώς, ακόμη και από λεπτό σε λεπτό. Ο βασικότερος παράγοντας που επηρεάζει τα ρεύματα νερού είναι τα κατακρημνίσματα και η απορροή αυτών από τις λεκάνες των ποταμών. Η στάθμη των ποταμών αυξάνεται με τη βροχόπτωση. Το μέγεθος των ποταμών εξαρτάται από τη λεκάνη απορροής. Όσο μεγαλύτερη είναι η λεκάνη απορροής τόσο μεγαλύτερος και ο ποταμός.

12. Αποθήκευση γλυκού νερού.

Το γλυκό νερό είναι σπάνια στην επιφάνεια της Γης. Αποτελεί μόνο το 3% του συνολικού νερού του πλανήτη, ενώ οι λίμνες και τα έλη περιέχουν μόνο το 0.29% αυτού. Το 20% του συνολικού γλυκού νερού των λιμνών βρίσκεται στη

λίμνη Βαϊκάλη της Ρωσίας. Τα ποτάμια περιέχουν μόνο το 0.006% του συνολικού γλυκού νερού της Γης.

13. Διήθηση.

Είναι η καθοδική κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα και τα πετρώματα. Τμήμα του νερού που πέφτει με τη μορφή κατακρημνισμάτων διηθείται μέσα στο έδαφος. Τμήμα του διηθούμενου αυτού νερού παραμένει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να καταλήξει σε υδατορεύματα. Ένα άλλο τμήμα του διηθούμενου νερού οδηγείται βαθύτερα στο έδαφος και τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφορείς. Αν τώρα οι υδροφορείς είναι αρκετά πορώδεις και σχετικά κοντά στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργούνται πηγάδια από όπου το νερό μπορεί να αντληθεί εύκολα για την κάλυψη διάφορων αναγκών. Το νερό πριν επιστρέψει στη θάλασσα μπορεί να παραμείνει αποθηκευμένο για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή να ταξιδέψει πολύ μεγάλες αποστάσεις. Καθώς το νερό διηθείται σχηματίζει μία ακόρεστη και μία κορεσμένη ζώνη. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει νερό αλλά και αέρας στα κενά των εδαφικών σχηματισμών. Το άνω μέρος της ακόρεστης ζώνης είναι η εδαφική ζώνη η οποία έχει κενά που δημιουργούνται από το ριζικό σύστημα των φυτών όπου και επιτρέπουν στο νερό να κινηθεί και να αξιοποιηθεί από τα ίδια τα φυτά. Στη κορεσμένη ζώνη το νερό καλύπτει όλους τους πόρους του εδάφους.

14. Αποθήκευση υπόγειου νερού.

Μεγάλες ποσότητες νερού βρίσκονται αποθηκευμένες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό αυτό κινείται με πολύ χαμηλή ταχύτητα και αποτελεί μέρος του υδρολογικού κύκλου. Ο κύριος όγκος του υπόγειου νερού προέρχεται από τη διήθηση των κατακρημνισμάτων. Ο χώρος αποθήκευσης του υπόγειου νερού καλείται υδροφορέας.

15. Εκφόρτιση υπόγειου νερού.

Ένα μέρος του υπόγειου νερού κινείται κοντά στην επιφάνεια και ξαναβγαίνει γρήγορα σε αυτή με τη μορφή της απορροής προς τα υδατορεύματα υπό την επίδραση της βαρύτητας. Η κίνηση του υπόγειου νερού στα βαθύτερα στρώματα εξαρτάται από τη διαπερατότητα και το πορώδες των εδαφικών στρώσεων. Αν το υπόγειο νερό έχει εύκολη κίνηση μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις μέσα σε μερικές ημέρες. Υπάρχει όμως και η πιθανότητα να βυθιστεί σε ακόμη βαθύτερους υδροφορείς και να κάνει χιλιάδες χρόνια μέχρις ότου να ξαναβγει στην επιφάνεια.

16. Πηγές.

Όταν ένα υδροφορέας γεμίζει τόσο ώστε το νερό να υπερχειλίζει προς την επιφάνεια του εδάφους δημιουργούνται πηγές. Το μέγεθος τους μπορεί να είναι μικρό και να ενεργοποιούνται μόνο μετά από δυνατές βροχοπτώσεις ή πολύ μεγάλο που μπορεί να βγάζει χιλιάδες κυβικά μέτρα νερού ανά ημέρα. Πηγές δημιουργούνται σε όλα τα είδη πετρωμάτων, αλλά είναι συνηθέστερες σε ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα, τα οποία διαλύονται από το νερό

ιδιαίτερα αν υπάρχουν σε αυτά ρωγμές. Επίσης λόγω της μεγάλης διαπερατότητας που έχουν αυτά τα δύο είδη πετρωμάτων απορροφούν μεγάλες ποσότητες κατακρημνισμάτων. Το νερό των πηγών είναι συνήθως διαυγές. Η παρουσία χρώματος στο νερό των πηγών είναι δείκτης ότι το νερό διέρχεται γρήγορα χωρίς να φιλτράρεται επαρκώς μέσα από τις υπόγειες διόδους. Οι θερμές πηγές είναι πηγές με χλιαρό, ζεστό ή και καυτό νερό. Αυτό συμβαίνει όταν οι πηγές βρίσκονται σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Έτσι το νερό θερμαίνεται ερχόμενο σε επαφή με τα θερμά πετρώματα κάτω από τη επιφάνεια του εδάφους. Όσο μεγαλύτερο το βάθος τόσο μεγαλύτερη και η θερμότητα του νερού το οποίο αν βρει κάποια διέξοδο προς την επιφάνεια σχηματίζει θερμοπίδακες (όπως τα geyser της Ισλανδίας).



Εικόνα 4: δημιουργία υδροπίδακα (geyser)

1.3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΝΕΡΟΥ

Παγκόσμια κατανομή νερού. Από τα 1.386.000.000Km³ του νερού της Γης το 96.5% είναι αλμυρό. Το 68% του γλυκού νερού είναι αποθηκευμένο με τη μορφή πάγου. Ένα 30% βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε λίμνες και ποτάμια είναι συνολικά 93.100Km³ και αντιπροσωπεύει το 1/150 του 1% του συνολικού νερού της Γης.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΝΕΡΟΥ			
ΜΟΡΦΗ ΝΕΡΟΥ	ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ (Km ³)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΓΛΥΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (%)
ΩΚΕΑΝΟΙ. ΘΑΛΑΣΣΕΣ. ΚΟΛΠΟΙ	1.338.000.000	0	96.5
ΠΑΓΟΒΟΥΝΑ. ΠΑΓΕΤΩΝΕΣ. ΜΟΝΙΜΟ ΧΙΟΝΙ	24.064.000	68.7	1.74
ΥΠΟΓΕΙΟ ΥΔΩΡ	23.400.000	0	1.7
ΓΛΥΚΟ ΥΔΩΡ	10.530.000	30.1	0.76
ΑΛΜΥΡΟ ΥΔΩΡ	12.870.000	0	0.94
ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	16.500	0.05	0.001
ΕΔΑΦΙΚΟΣ ΠΑΓΟΣ. ΜΟΝΙΜΑ ΠΑΓΩΜΕΝΟ ΕΔΑΦΟΣ	300.000	0.86	0.022
ΛΙΜΝΕΣ	176.400	0	0.013
ΓΛΥΚΕΣ ΛΙΜΝΕΣ	91.000	0.26	0.007
ΑΛΜΥΡΕΣ ΛΙΜΝΕΣ	85.400	0	0.006
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	12.900	0.04	0.001
ΕΛΗ	11.470	0.03	0.0008
ΠΟΤΑΜΟΙ	2.120	0.006	0.0002
ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΝΕΡΟ	1.120	0.003	0.0001
ΣΥΝΟΛΟ	1.386.000.000	100	100
<small>ΠΗΓΗ: GLEICK, P.N. 1996: WATER RESOURCES. IN ENCYCLOPEDIA OF CLIMATE AND WEATHER. ED. 64. S. H. SCHNEIDER. OXFORD UNIVERCITY PRESS. NEW YORK. VOL. 2. PP. 817-823</small>			

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το υδατικό ισοζύγιο στην ποιο γενική του μορφή εκφράζεται από την εξίσωση

$$P = AE + R + DS$$

P = βροχόπτωση

AE = πραγματική εξατμισοδιαπνοή

R = απορροή (επιφανειακή και υπόγεια)

DS = μεταβολή εδαφικής υγρασίας

Υπάρχει πάρα πολύ μεγάλος αριθμός εξισώσεων και μεθόδων για την εκτίμηση και υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου οι οποίες ποικίλουν από απλές στατιστικές προσεγγίσεις μέχρι πιθανολογικές και στοχαστικές προσεγγίσεις.

Μια σχετικά απλή αλλά πολύ αξιόπιστη μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή και στη γεωργία είναι η μέθοδος του Thornthwaite (Τσίρος 2016).

Το εννοιολογικό μοντέλο του απλού υδατικού ισοζυγίου αποτέλεσε τη βάση για πολλά μετέπειτα μοντέλα. Το μοντέλο αυτό διαθέτει μία και μοναδική παράμετρο αυτή της μέγιστης υδατοϊκανότητας του εδάφους (St_{max}). Με τη πάροδο του χρόνου το μοντέλο αυτό τροποποιήθηκε και εμπλουτίστηκε από μεγάλο αριθμό ερευνητών (Thornthwaite 1948 Thornthwaite – Mather 1955).

Στον Ελλαδικό χώρο ειδικότερα οι Γιακουμάκης – Ετοί το έτος 1991 πρόσθεσαν και μία δεύτερη παράμετρο αυτή της διήθησης σε βαθείς υδροφορείς.

Περισσότερες από μία παραμέτρους πρόσθεσε και ο Rozosetal το έτος 2003.

Η βλάστηση αντλεί το νερό που χρειάζεται από το έδαφος. Αυτό προσφέρεται μέσω των κατακρημνισμάτων είτε με άμεσο τρόπο κατά τη διάρκεια της διείσδυσης του στα βαθύτερα στρώματα, είτε με έμμεσο τρόπο από την παρουσία ενός υδροφόρου στρώματος πλησίον της επιφάνειας.

Από τις ρίζες των φυτών απορροφάται ένα τμήμα του νερού που διεισδύει στα βαθύτερα στρώματα. Το υπόλοιπο νερό είτε κινείται βαθύτερα για να γεμίσει τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα, είτε κατευθύνεται στην επιφάνεια για να εξατμιστεί. Το νερό που έχει απορροφηθεί από τα φυτά επανέρχεται στο μεγαλύτερο μέρος του στην ατμόσφαιρα μέσω του φαινομένου της διαπνοής. Επομένως η ποσότητα ύδατος που συγκρατείται για τη λειτουργία του μεταβολισμού των φυτών είναι ελάχιστη.

Σε αυτές τις κυκλικές μεταβολές θα πρέπει να γίνει η διάκριση των εξής σταδίων (Μπαλαφούτης – Μαχαίρας 1985):

1. Εμπλουτισμός του εδάφους με νερό
2. Συγκράτηση και μετακίνηση του νερού μέσα στο έδαφος
3. Απορρόφηση του νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών
4. Εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους και των φυτικών οργάνων

Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου εισήχθη στην επιστημονική ορολογία από το κλάδο των Υδρολόγων. Μετέπειτα όμως γενικεύτηκε και χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον από τους Γεωπόνους.

Η βάση για τη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου συνίσταται σε συνάρτηση με τους θερμικούς παράγοντες στον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE), μέγεθος που χρησιμοποιήθηκε πρώτιστα το έτος 1948 από το Thornthwaite.

Συγκρίνοντας τις τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE) με τα ύψη των βροχοπτώσεων κατά έτος ή κατά μήνα υπολογίζεται αφενός η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AE) και αφετέρου ένα πλεόναζα ύδατος (αν αυτό υφίσταται), το οποίο σύμφωνα με διαφορετικές απόψεις αποτελεί τη διαθέσιμη ποσότητα ύδατος για απορροή (Μπαλαφούτης – Μαχαίρας 1985).

1.2 ΒΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ ΤΟΥ THORNTHWAITE

Ο Charles Warren Thornthwaite (7/3/1899-11/6/1963) ήταν κλιματολόγος – γεωγράφος που κατάγονταν από το Bay City του Μίσιγκαν Αμερικής.

Από το 1922 έως το 1924 δίδαξε στο Γυμνάσιο του Owosso. Από το 1924 έως το 1928 εργάστηκε ως γεωγράφος για τη Γεωλογική Έρευνα του Κεντάκι. Από το 1928 έως το 1934 έγινε επίκουρος καθηγητής στο Τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου της Οκλαχόμα. Εν τω μεταξύ σπούδασε γεωγραφία μέσω της Αιγίδας του Πανεπιστημίου Μπέρκλεϋ της Καλιφόρνια. Το 1934 εγκατέλειψε το πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα για να σπουδάσει εσωτερική μετανάστευση εντός των Η.Π.Α. στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβανία. Το 1935 διορίζεται επικεφαλής του Τμήματος Κλιματικής και Φυσικογραφικής Έρευνας της Υπηρεσίας Διατήρησης Εδάφους των Η.Π.Α. στο Υπουργείο Γεωργίας. Το 1946 αφήνει την κυβέρνηση και ιδρύει το Εργαστήριο της Κλιματολογίας στο Σιμπρόκ του Νιού Τζέρσεϋ το οποίο και θα λειτουργήσει μέχρι το θάνατο του το 1963. Τη περίοδο 1947 έως το 1953 ο Thornthwaite ήταν καθηγητής στο πανεπιστήμιο Τζονς-Χόπκινς. Επίσης ήταν αναπληρωτής καθηγητής στο πανεπιστήμιο Ντρέξελ, πρόεδρος της επιτροπής κλιματολογίας του παγκόσμιου μετεωρολογικού οργανισμού, αποδέκτης βραβείων από την ένωση αμερικάνων γεωγράφων όπως και του γεωγραφικού μεταλλίου Callum της αμερικανικής γεωγραφικής εταιρείας.

Παντρεύτηκε το 1925 τη Denzil Slentz και έκαναν τρεις κόρες. Με το θάνατο της συζύγου του το 1962 ο Thornthwaite ίδρυσε το ταμείο υποτροφιών Charles Warren – Denzil Slentz Thornthwaite στη μνήμη της. Τα ταμεία απονέμει ετήσιες

υποτροφίες σε φοιτητές μετεωρολογίας και γεωεπιστημών του κεντρικού πανεπιστημίου του Μίσιγκαν.

Το 1930 έλαβε διδακτορικό δίπλωμα στη Γεωγραφία. Η διατριβή του ήταν μία μελέτη στην αστική γεωγραφία του Louisville του Κεντάκι. Επρόκειτο για ένα ερευνητικό πρόγραμμα όπου χρησιμοποιούσε αεροφωτογραφίες, παρατήρηση πεδίου, ανάλυση δεδομένων και λεπτομερή χαρτογράφηση για την περιγραφή της αστικής γεωγραφίας του Louisville. Αν και μετέπειτα απομακρύνθηκε από την επιστήμη της Γεωγραφίας η διατριβή του αυτή έδειξε πόσο μπροστά από την εποχή του ήταν και πολλές από τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διατριβή είναι πλέον τυπικές διαδικασίες. Το 1931 δημοσιεύει τα Κλίματα της Βόρειας Αμερικής, το οποίο πρόκειται για ένα πάντρεμα της Κλιματολογίας με τη Γεωγραφία.

Μία από τις πρώτες εργασίες του «Μία προσέγγιση προς μία ορθολογική ταξινόμηση του κλίματος» το 1948 θα ήταν και μία από τις σημαντικότερες εφόσον χρησιμοποιήθηκε και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται από την επιστημονική κοινότητα παγκοσμίως. Το 1953 με τον Mather συγγράφουν την «Ισορροπία των υδάτων» που αποτελεί τη δεύτερη σημαντική συμβολή του Thornthwaite στη Κλιματολογία.

Ο Thornthwaite το 1933 επιχείρησε να ταξινομήσει τα κλίματα της Γης χρησιμοποιώντας τη νέα μέθοδο που είχε εφεύρει και η οποία φέρει το όνομα του. Στη μέθοδο αυτή ο Thornthwaite εκτός από τις παραμέτρους της βροχής (P) και της θερμοκρασίας (T) εισήγαγε και την εξάτμιση (E). Με αυτόν το τρόπο του φάνηκε ότι η ταξινόμηση εξυπηρετεί καλύτερα σκοπούς τόσο γεωγραφικούς όσο και υδατικού ισοζυγίου.

Αρχικά υπολόγισε εμπειρικά το λόγο P/E και T/E λόγω της έλλειψης δεδομένων εξάτμισης. Έπειτα υπολόγισε τους δείκτες $\Sigma(P/E)$ και $\Sigma(T/E)$, το άθροισμα δηλαδή των δώδεκα μηνιαίων λόγων P/E και T/E του έτους. Με τη χρήση των δύο αυτών δεικτών που εκφράζουν την αποτελεσματικότητα της βροχής και της θερμοκρασίας, καθώς και με ορισμένες υποδιαίρεσεις που σχετίζονται με εποχιακή κατανομή των βασικών δεικτών η κατάταξη έδωσε 32 κλιματικούς τύπους για ολόκληρη τη Γη.

Το 1948 ο Thornthwaite εισήγαγε την έννοια της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής (ΔΕΔ), η οποία με επάρκεια νερού και βλάστησης θεωρείται ως μία ισοδύναμη κλιματική παράμετρος με τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση (Χρονοπούλου – Σερελή – Φλόκας 2010).



Εικόνα 5: Charles Warren Thornthwaite (7/3/1899 - 11/6/1963)

1.3 ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΠΝΟΗ

Εξάτμιση και διαπνοή (εξατμισοδιαπνοή ή εξατμοδιαπνοή)

Ο όρος εξάτμιση χρησιμοποιείται για τη περιγραφή, τόσο φαινομενικά όσο και ποσοτικά, της μετατροπής του νερού από την υγρή στην αέρια φάση. Ο φυσικός ρυθμός εξάτμισης καθορίζεται από τρεις θεμελιώδεις παράγοντες (Μάρης 2015):

1. Τη φυσική διαθεσιμότητα του ύδατος σε υγρή φάση
2. Τη διαθεσιμότητα ενέργειας στην επιφάνεια του ύδατος για την πραγματοποίηση της εξάτμισης
3. Την ευκολία με την οποία διαχέονται οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα

Διαπνοή

Η εξάτμιση του νερού που παρατηρείται στις φυτικές επιφάνειες και που προϋποθέτει μεταφορά εδαφικού ύδατος στις επιφάνειες αυτές διαμέσου των φυτών (κυρίως από τα στομάτια) καλείται διαπνοή. Η διαπνοή ύδατος αποτελεί ουσιαστικά άμεση εξάτμιση και εξαρτάται από:

1. τη διαθέσιμη ενέργεια
2. την τάση των υδρατμών
3. τον άνεμο

Συνεπώς:

1. η θερμοκρασία
2. η ακτινοβολία
3. η σχετική υγρασία
4. η ταχύτητα του ανέμου

αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες για το ρυθμό της διαπνοής, ενώ επιπρόσθετους παράγοντες αποτελούν (Τσίρος 2016):

1. η περιεκτικότητα σε εδαφικό νερό
2. η συγκέντρωση αλάτων
3. τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας
4. η καλλιεργητική πρακτική
5. τα στάδια ανάπτυξης μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας.

Η βασική διαφορά της διαπνοής από την εξάτμιση είναι ότι τα κύτταρα των φυτών καθορίζουν το ρυθμό της διαπνοής μέσω της ρύθμισης των ανοιγμάτων των στοματίων που υπάρχουν κυρίως στα φύλλα (Μάρης 2015).

Σε μία φυτοκαλλιέργεια επειδή ο διαχωρισμός των απωλειών ύδατος με απευθείας εξάτμιση στην επιφάνεια της και των απωλειών διαπνοής είναι συνήθως πολύ δύσκολος, οι συνολικές απώλειες εξάτμισης του εδαφικού ύδατος θεωρούνται ως ενιαίο σύνολο και χαρακτηρίζονται με τον όρο εξατμισοδιαπνοή. Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης μίας καλλιέργειας τον κυρίαρχο ρόλο στην εξάτμιση κατέχει το έδαφος, αλλά καθώς τα φυτά αναπτύσσονται

καλύπτοντας όλο και περισσότερη επιφάνεια εδάφους η διαπνοή γίνεται η κύρια διαδικασία εξάτμισης από τη φυτοκαλλιέργεια (Τσίρος 2016).

Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AE)

Είναι η πραγματική ποσότητα των υδρατμών που αποδίδεται στην ατμόσφαιρα από μία γήινη επιφάνεια γυμνή ή φυτοκαλυμμένη. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από (Τσίρος 2016):

1. τις μετεωρολογικές συνθήκες
2. το διαθέσιμο νερό για την κάλυψη των αναγκών της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς
3. την ικανότητα απορρόφησης ύδατος από το έδαφος από την τυχόν υφιστάμενη βλάστηση

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (PE).

Είναι η ποσότητα του ύδατος που εξατμίζεται σε ορισμένο χρονικό διάστημα από μία γήινη επιφάνεια (γυμνή ή φυτοκαλυμμένη) στην οποία συνήθως διατίθεται νερό είτε από την ατμόσφαιρα ως βροχή, είτε από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η τιμή της θεωρείται συνεπώς ότι είναι ανεξάρτητη από τη φύση του εδάφους και από το είδος της φυτοκάλυψης και επομένως αποτελεί μια καθαρά κλιματική-μικροκλιματική παράμετρο.

Εναλλακτικά η δυνητική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να οριστεί ως η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να αποδοθεί από μία γυμνή ή φυτοκαλυμμένη έκταση στην ατμόσφαιρα υπό τις υφιστάμενες μετεωρολογικές-κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή διαφέρει σημαντικά από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή ιδιαίτερα στις ξηρές κα ημίξηρες περιοχές. Στην περίπτωση όμως των αρδευόμενων καλλιεργειών η δυνητική εξατμισοδιαπνοή δε διαφέρει σημαντικά από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή και χρησιμοποιείται ως παράμετρος για τον υπολογισμό της ποσότητας του νερού που θα χρειαστούν οι διάφορες καλλιέργειες (Τσίρος 2016).

Για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται πάμπολλοι τύποι και μέθοδοι όπως του Thornthwaite και του Penmann. Στη συγκεκριμένη διατριβή θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος του Thornthwaite η οποία περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ THORNTHWAITE ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (PE)

Η διενέργεια πολύ μεγάλου αριθμού πειραμάτων στο ύπαιθρο οδήγησε τον Thornthwaite στη δημιουργία εμπειρικών τύπων για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής οι οποίοι έχουν γενικά ισχύ. Ο πλέον διαδεδομένος τύπος είναι:

$$PE = PE_o * (D * T) / 360$$

PE = δυνητική εξατμισοδιαπνοή

PE_o = η πρώτη προσέγγιση δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm/μήνα) η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$PE_o = 16 * [(10 * T_\alpha) J]^\alpha$$

T_α = μέση θερμοκρασία αέρα του μήνα i

J = ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας που δίνεται από τη σχέση:

$$J = \sum_{i=1}^n j_{in} = 1.2 \dots 12$$

j_i = μηνιαίως δείκτης θερμοκρασίας που δίνεται από τη σχέση:

$$j_i = 0.09 * T_\alpha^{3/2}$$

$$\alpha = 0.016 * J + 0.5$$

(D * T) / 360 = διόρθωση γεωγραφικού πλάτους

D = αριθμός ημερών του μήνα

T = μέσος αριθμός ωρών ημέρας του μήνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα των 73 περιοχών της Ελλάδας που απαιτήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εκπόνηση της συγκεκριμένης έρευνας ελήφθησαν από μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) που είναι ή ήταν εγκατεστημένοι στις περιοχές αυτές. Η χρονοσειρά των δεδομένων καλύπτει το διάστημα από το έτος 1955 έως το έτος 1997 και διαφοροποιείται ανάλογα με τη περιοχή. Οι περιοχές αυτές μαζί με τα γεωγραφικά πλάτη και μήκη καθώς και τα συνολικά έτη δεδομένων της καθεμιάς τους παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ			
A/A	ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΕΤΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ - ΠΛΑΤΟΣ
1	ΑΓΡΙΝΙΟ	1956-1997	<i>21° 23' E / 38° 37' N</i>
2	ΑΘΗΝΑ	1974-1997	<i>23° 72' E / 37° 98' N</i>
3	ΑΙΓΙΟ	1974-1997	<i>22° 05' E / 38° 15' N</i>
4	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	1951-1997	<i>25° 56' E / 40° 51' N</i>
5	ΑΛΙΑΡΤΟΣ	1967-1997	<i>23° 06' E / 38° 23' N</i>
6	ΑΝΩΓΕΙΑ	1975-1997	<i>24° 53' E / 35° 17' N</i>
7	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	1977-1997	<i>20° 29' E / 38° 11' N</i>
8	ΑΡΤΑ ΠΟΛΗ	1976-1997	<i>20° 59' E / 39° 10' N</i>
9	ΑΡΤΑ ΧΑΛΚΙΑΔΕΣ	1976-1997	<i>21° 00' E / 39° 10' N</i>
10	ΒΟΛΟΣ	1956-1988	<i>22° 57' E / 39° 22' N</i>
11	ΕΔΕΣΣΑ	1975-1996	<i>22° 03' E / 40° 48' N</i>
12	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	1955-1997	<i>23° 45' E / 37° 54' N</i>
13	ΖΑΚΥΝΘΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1982-1997	<i>20° 54' E / 37° 45' N</i>
14	ΖΑΚΥΝΘΟΣ ΠΟΛΗ	1956-1982	<i>20° 54' E / 37° 47' N</i>
15	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1955-1997	<i>25° 11' E / 35° 20' N</i>
16	ΘΗΡΑ	1974-1997	<i>25° 26' E / 36° 25' N</i>
17	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	1956-1997	<i>25° 44' E / 35° 00' N</i>
18	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	1956-1997	<i>20° 51' E / 39° 40' N</i>
19	ΚΑΒΑΛΑ	1956-1984	<i>24° 23' E / 40° 56' N</i>
20	ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	1975-1997	<i>22° 06' E / 38° 02' N</i>
21	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	1956-1997	<i>22° 06' E / 37° 04' N</i>
22	ΚΕΡΚΥΡΑ	1955-1997	<i>19° 55' E / 39° 37' N</i>
23	ΚΟΖΑΝΗ	1955-1997	<i>21° 47' E / 40° 17' N</i>
24	ΚΟΜΟΤΗΝΗ	1955-1983	<i>25° 24' E / 41° 07' N</i>
25	ΚΟΝΙΤΣΑ	1975-1997	<i>20° 45' E / 40° 03' N</i>

26	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	1970-1984	22° 57' E / 37° 56' N
27	ΚΥΘΗΡΑ	1955-1997	23° 01' E / 36° 08' N
28	ΛΑΜΙΑ	1970-1997	22° 24' E / 38° 51' N
29	ΛΑΡΙΣΑ	1955-1997	22° 26' E / 39° 39' N
30	ΛΕΥΚΑΔΑ	1975-1997	20° 43' E / 38° 50' N
31	ΛΗΜΝΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1974-1997	25° 14' E / 39° 45' N
32	ΛΙΔΟΡΙΚΙ	1975-1995	22° 08' E / 38° 31' N
33	ΜΕΘΩΝΗ	1957-1997	21° 42' E / 36° 50' N
34	ΜΗΛΟΣ	1955-1997	24° 26' E / 36° 44' N
35	ΜΙΚΡΑ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ	1957-1997	22° 58' E / 40° 31' N
36	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	1955-1997	26° 36' E / 39° 04' N
37	ΝΑΞΟΣ	1955-1997	25° 23' E / 37° 06' N
38	ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ	1977-1997	21° 49' E / 38° 24' N
39	ΝΑΥΠΛΙΟ	1975-1988	22° 48' E / 37° 34' N
40	ΞΑΝΘΗ	1975-1997	24° 53' E / 41° 08' N
41	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	1975-1981	26° 31' E / 41° 49' N
42	ΠΑΛΛΙΟΧΩΡΑ	1974-1997	23° 68' E / 35° 23' N
43	ΠΑΡΟΣ	1975-1995	25° 09' E / 37° 05' N
44	ΠΑΤΡΑ	1955-1997	21° 44' E / 38° 15' N
45	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	1956-1996	23° 38' E / 37° 56' N
46	ΠΡΕΒΕΖΑ	1971-1997	20° 46' E / 38° 58' N
47	ΠΤΟΛΕΜΑΙΔΑ	1975-1997	21° 41' E / 40° 31' N
48	ΠΥΡΓΟΣ ΗΛΕΙΑΣ	1975-1997	21° 26' E / 37° 40' N
49	ΡΕΘΥΜΝΟ	1957-1997	24° 31' E / 35° 21' N
50	ΡΟΔΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1955-1997	28° 05' E / 36° 24' N
51	ΣΑΜΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1978-1997	26° 55' E / 37° 42' N
52	ΣΑΜΟΣ ΠΟΛΗ	1955-1978	26° 52' E / 37° 46' N
53	ΣΕΡΡΕΣ	1971-1997	23° 34' E / 41° 05' N
54	ΣΗΤΕΙΑ	1960-1997	26° 06' E / 35° 12' N
55	ΣΚΟΠΕΛΟΣ	1956-1997	23° 44' E / 39° 07' N
56	ΣΚΟΤΙΝΑ	1973-1993	22° 30' E / 40° 00' N
57	ΣΚΥΡΟΣ	1955-1997	24° 33' E / 38° 54' N
58	ΣΟΥΔΑ	1958-1997	24° 07' E / 35° 33' N
59	ΣΟΥΦΛΙ	1957-1997	26° 29' E / 41° 19' N
60	ΣΠΑΡΤΗ	1974-1997	22° 25' E / 37° 04' N
61	ΣΠΑΤΑ	1974-1997	23° 54' E / 37° 57' N
62	ΣΠΕΤΣΕΣ	1974-1996	23° 10' E / 37° 16' N
63	ΣΤΕΦΑΝΙ	1975-1997	22° 50' E / 37° 45' N
64	ΣΥΡΟΣ	1970-1996	24° 26' E / 37° 27' N

65	ΤΑΝΑΓΡΑ	1957-1997	23° 33' E / 38° 19' N
66	ΤΡΙΚΑΛΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	1973-1997	21° 46' E / 39° 33' N
67	ΤΡΙΠΟΛΗ	1957-1997	22° 24' E / 37° 32' N
68	ΤΥΜΠΑΚΙ	1957-1997	24° 46' E / 35° 00' N
69	ΦΛΩΡΙΝΑ	1961-1997	21° 25' E / 40° 48' N
70	ΦΟΥΡΝΟΙ	1957-1997	25° 20' E / 35° 16' N
71	ΧΑΛΚΙΔΑ	1957-1997	23° 36' E / 38° 28' N
72	ΧΑΝΙΑ	1961-1994	24° 02' E / 35° 30' N
73	ΧΙΟΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1973-1997	26° 09' E / 38° 21' N

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ THORNTHWAITE

Για τον υπολογισμό του ισοζυγίου ύδατος κατά Thornthwaite πρέπει αρχικά να είναι γνωστό το ποσό του ύδατος που παραμένει μέσα ή πάνω στο έδαφος κατά τη διάρκεια μίας εποχής. Το ποσό αυτό ονομάζεται κατακράτηση (St) και προέρχεται από δύο πηγές (Τσίρος 2016):

1. από τις βροχοπτώσεις (P) κατά τη διάρκεια της θεωρούμενης περιόδου
2. από το νερό που υπάρχει στην επιφάνεια του εδάφους ή μέσα σε αυτό στην αρχή της θεωρούμενης περιόδου όταν υπάρχει πλεόνασμα ύδατος (S).

Βέβαια υπάρχουν και παράγοντες οι οποίοι τείνουν να ελαττώσουν αυτό το πλεόνασμα όπως η εξάτμιση (E) και η απορροή (R) που αποτελεί το νερό που απορρέει στην επιφάνεια ή εισέρχεται σε βαθύτερους ορίζοντες.

Ουσιαστικά η κατακράτηση (St) αποτελεί το απόθεμα στο οποίο προστίθεται το νερό των βροχοπτώσεων και από το οποίο αφαιρείται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (AE).

Η ικανότητα κατακράτησης εξαρτάται από τη φύση του εδάφους, το έδαφος και τη ποσότητα και το είδος της βλάστησης.

Πειράματα έχουν αποδείξει ότι η ικανότητα κατακράτησης στη ζώνη του ριζικού συστήματος των φυτών για διάφορους τύπους εδαφών μεταβάλλεται από μερικά mm ύψους ύδατος για αβαθείς αμμώδεις έδαφος μέχρι και 400mm ύψους ύδατος σε περίπτωση αργιλικού εδάφους μεγάλου σχετικά βάθους και στο οποίο η βλάστηση είναι δενδρώδης με βαθύ ριζικό σύστημα.

Για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου κατά Thornthwaite στη συγκεκριμένη διατριβή κατασκευάζεται πίνακας που περιέχει στη πρώτη κάθετη στήλη τα αρχικά:

1. Της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE)
2. Του ύψους βροχής (P)
3. Τη διαφορά του ύψους βροχής και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (P – PE)

4. Της αθροιστικής δυνητικής απώλειας ύδατος (APWL)
5. Του αποθηκευμένου ύδατος (St)
6. Τη μεταβολή της υγρασίας του εδάφους (ΔSt)
7. Της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (AE)
8. Του ελλείμματος υγρασίας (D)
9. Της πλεονάζουσας υγρασίας (S)

Στις υπόλοιπες κάθετες στήλες τοποθετούνται οι μηνιαίες τιμές των παραπάνω δεδομένων και στη τελευταία κάθετη στήλη τοποθετούνται οι ετήσιες τιμές αυτών (E).

Για τη συμπλήρωση των πινάκων που θα ακολουθήσουν χρησιμοποιήθηκαν από την Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) στοιχεία που αφορούν τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE) και του ύψους βροχής (P) από 73 πόλεις της Ελλάδος. Επίσης στην κάθε πόλη υπολογίζονται διαφορετικοί πίνακες για εδαφική υδατοϊκανότητα 100mm, 150mm, 200mm και 300mm.

ΠΙΝ. 1: ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΟ ΥΔΩΡ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (St) ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (PE) ΥΔΑΤΟΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ 100mm										
WATER RETAINED IN SOIL										
ACCUM P-PE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	99	98	97	96	95	94	93	92	91
10	90	89	88	88	87	86	85	84	83	82
20	81	81	80	79	78	77	77	76	75	74
30	74	73	72	71	70	70	69	68	68	67
40	66	66	65	64	64	63	62	62	61	60
50	60	59	59	58	58	57	56	56	55	54
60	54	53	53	52	52	51	51	50	50	49
70	49	48	48	47	47	46	46	45	45	44
80	44	44	43	43	42	42	41	41	40	40
90	40	39	39	38	38	38	37	37	36	36
100	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33
110	32	32	32	31	31	31	30	30	30	30
120	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27
130	26	26	26	26	25	25	25	24	24	24
140	24	24	23	23	23	23	22	22	22	22
150	22	21	21	21	21	20	20	20	20	20
160	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
170	18	17	17	17	17	17	16	16	16	16
180	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14
190	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13
200	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12
210	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11
220	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
230	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
240	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

250	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
260	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6
270	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
280	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
290	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
300	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4
310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
360	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
370	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
380	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
390	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
410	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
420	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
430	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
440	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
450	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
460	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
470	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
480	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
490	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ΠΙΝ.2: ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΟ ΥΔΩΡ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (St) ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (PE) ΥΔΑΤΟΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ 150mm										
WATER RETAINED IN SOIL										
ACCUM P-PE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	150	149	148	147	146	145	144	143	142	141
10	140	139	138	137	136	135	134	133	132	131
20	131	130	129	128	127	127	126	125	124	123
30	122	122	121	120	119	118	117	116	115	114
40	114	113	113	112	111	111	110	109	108	107
50	107	106	106	105	104	103	103	102	101	100
60	100	99	98	97	97	97	96	95	94	93
70	93	92	92	91	90	90	89	89	88	87
80	87	86	86	85	84	84	84	83	83	82
90	82	81	81	80	79	79	78	77	77	76
100	76	76	75	75	74	74	73	72	72	71
110	71	71	70	70	69	69	68	68	67	67
120	66	66	66	65	65	64	64	63	63	62

130	62	62	61	61	60	60	60	59	59	58
140	58	58	57	57	56	56	55	55	54	54
150	54	53	53	53	52	52	52	52	51	51
160	51	51	50	50	50	49	49	48	48	47
170	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44
180	44	44	44	43	43	43	42	42	42	41
190	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39
200	39	38	38	38	37	37	37	37	36	36
210	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34
220	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32
230	32	31	31	31	31	31	30	30	30	30
240	30	29	29	29	29	28	28	28	28	28
250	28	27	27	27	27	27	26	26	26	26
260	26	26	25	25	25	25	25	24	24	24
270	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23
280	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21
290	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20
300	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18
310	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17
320	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16
330	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
340	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14
350	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13
360	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12
370	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11
380	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
390	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10
400	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
410	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
420	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8
430	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
440	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
450	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
460	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
470	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
480	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
490	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
500	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
510	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
520	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
530	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
540	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
550	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
560	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
570	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

580	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
590	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
610	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
620	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
630	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
640	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
650	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
660	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
670	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
680	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
690	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
700	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
710	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
720	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
730	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
740	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
750	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
760	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
770	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
780	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
790	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
800	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
810	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
820	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
830	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
840	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ΠΙΝ.3: ΑΠΟΘΗΚΕΥΜΕΝΟ ΥΔΩΡ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (St) ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (PE) ΥΔΑΤΟΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ 300mm										
WATER RETAINED IN SOIL										
ACCUM P-PE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	300	299	298	297	296	295	294	293	292	291
10	290	289	288	287	286	285	284	283	282	281
20	280	279	278	278	277	276	275	274	273	272
30	271	270	269	268	268	267	266	265	264	263
40	262	261	260	260	259	258	257	256	255	254
50	254	253	252	251	250	249	248	248	247	246
60	245	244	244	243	242	241	240	240	239	238
70	237	236	236	235	234	233	232	323	231	230
80	229	228	228	227	226	225	225	224	223	222
90	222	221	220	219	219	218	217	216	215	215
100	214	214	213	212	212	211	210	209	209	208
110	207	207	206	205	204	204	203	202	202	201

120	200	200	199	198	198	197	196	196	195	194
130	194	193	192	192	191	191	190	189	189	188
140	187	187	186	186	185	184	184	183	182	182
150	181	181	180	179	179	178	178	177	176	176
160	175	175	174	173	173	172	172	171	171	170
170	170	169	168	168	167	167	166	166	165	164
180	164	163	163	162	162	161	160	160	159	159
190	158	158	157	157	156	156	155	155	154	154
200	153	153	152	152	151	151	150	150	149	149
210	148	148	147	147	146	146	145	145	144	144
220	143	143	142	142	141	141	140	140	139	139
230	138	138	138	137	137	136	136	135	135	134
240	134	133	133	132	132	132	131	131	130	130
250	130	129	128	128	128	127	127	126	126	126
260	125	125	124	124	124	123	123	122	122	121
270	121	121	120	120	119	119	119	118	118	117
280	117	117	116	116	115	115	115	114	114	114
290	113	113	112	112	112	111	111	110	110	110
300	109	109	109	108	108	108	107	107	106	106
310	106	105	105	105	104	104	104	103	103	103
320	102	102	102	101	101	101	100	100	100	99
330	99	98	98	98	98	97	97	97	96	96
340	96	95	95	95	94	94	94	93	93	93
350	92	92	92	92	91	91	91	90	90	90
360	89	89	89	88	88	88	88	87	87	87
370	86	86	86	86	85	85	85	84	84	84
380	84	83	83	83	82	82	82	82	81	81
390	81	80	80	80	80	80	79	79	79	78
400	78	78	78	77	77	77	77	76	76	76
410	76	75	75	75	74	74	74	74	74	73
420	73	73	72	72	72	72	72	71	71	71
430	71	70	70	70	70	70	69	69	69	68
440	68	68	68	68	67	67	67	67	66	66
450	66	66	65	65	65	65	65	64	64	64
460	64	64	63	63	63	63	63	62	62	62
470	62	62	61	61	61	61	61	60	60	60
480	60	60	59	59	59	59	59	58	58	58
490	58	58	57	57	57	57	57	56	56	56
500	56	56	55	55	55	55	55	54	54	54
510	54	54	54	53	53	53	53	53	52	52
520	52	52	52	52	51	51	51	51	51	50
530	50	50	50	50	50	50	49	49	49	49
540	49	49	48	48	48	48	48	48	47	47
550	47	47	47	47	46	46	46	46	46	46
560	46	45	45	45	45	45	45	44	44	44

570	44	44	44	44	44	43	43	43	43	43
580	43	42	42	42	42	42	42	42	42	41
590	41	41	41	41	41	41	40	40	40	40
600	40	40	40	39	39	39	39	39	39	39
610	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37
620	37	37	37	37	37	37	36	36	36	36
630	36	36	36	36	36	36	35	35	35	35
640	35	35	35	34	34	34	34	34	34	34
650	34	34	33	33	33	33	33	33	33	33
660	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
670	32	31	31	31	31	31	31	31	31	31
680	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
690	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29
700	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
710	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27
720	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26
730	26	26	26	26	25	25	25	25	25	25
740	25	25	25	25	25	24	24	24	24	24
750	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23
760	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
770	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
780	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21
790	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20
800	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
810	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19
820	19	19	19	19	19	19	19	19	19	18
830	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
840	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17
850	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
860	17	17	17	17	16	16	16	16	16	16
870	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
880	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15
890	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
900	15	15	14	14	14	14	14	14	14	14
910	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
920	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13
930	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
940	13	13	13	13	12	12	12	12	12	12
950	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
960	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
970	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11
980	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
990	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10
1000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1010	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

1020	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1030	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1040	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1050	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1060	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1070	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1080	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1090	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1100	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1110	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1120	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1130	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1140	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1150	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1160	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1170	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1180	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1190	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
1200	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1210	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1220	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1230	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1240	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1250	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1260	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1270	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1280	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1290	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1300	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1310	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1320	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1330	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1340	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1350	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1360	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1370	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1380	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1390	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1410	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1420	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1430	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1440	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1450	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1460	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

1470	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1480	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1490	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1510	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1520	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1530	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1540	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1550	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1560	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1570	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Για την επίτευξη της συμπλήρωσης των πινάκων ακολουθούμε την εξής μεθοδολογία:

Αρχικά εισάγουμε ανά μήνα τις τιμές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE) και του ύψους βροχής (P) όπως αυτές έχουν αντληθεί από την Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) και υπολογίζουμε και το ετήσιο άθροισμα τους.

Έπειτα υπολογίζουμε για κάθε μήνα τη διαφορά του ύψους βροχής (P) και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (PE) και υπολογίζουμε και εδώ το ετήσιο άθροισμα της. Εδώ με βάση το αποτέλεσμα υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Η διαφορά P-PE είναι αρνητική ή θετική. Ακολουθούν αναλυτικά παραδείγματα υπολογισμού των δύο διαφορετικών αυτών περιπτώσεων.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

$P-PE < 0$ ή $PE < PE_E$ δηλαδή όταν οι εισροές ύδατος είναι λιγότερες από τις εκροές και επομένως έχουμε έλλειμμα υγρασίας. Μία πόλη με αυτό το χαρακτηριστικό είναι αυτή της Λαμίας. Το παράδειγμα αναφέρεται σε εδαφική υδατοϊκανότητα 150mm.

Στη Λαμία παρατηρούμε ότι $\sum_{i=1}^{12} (P-PE) < 0$. Ποιο συγκεκριμένα το ετήσιο P-PE είναι $-328.2 < 0$. Εκκινούμε λοιπόν μία επαναληπτική διαδικασία με σκοπό να εντοπιστεί από ποιο μήνα αρχίζουμε να έχουμε αθροιστική δυνητική απώλεια ύδατος (APWL).

ΛΑΜΙΑ 150mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	11.7	14.2	28.0	54.3	103.3	155.5	174.4	152.8	105.5	59.6	27.9	15.0	902.0
P	64.4	65.2	60.9	46.0	34.1	22.4	18.8	27.0	17.4	71.4	72.9	73.3	573.8
P - PE	52.7	51.0	33.0	-8.3	-69.2	-133.1	-155.6	-125.8	-88.1	11.8	45.0	58.3	-328.2
APWL	0.0	0.0	0.0	-34.5	-103.7	-236.8	-392.4	-518.2	-606.3	0.0	0.0	0.0	
ST	150.0	150.0	150.0	119.0	74.0	30.0	11.0	4.0	2.0	13.8	58.8	117.1	
ΔST	32.9	0.0	0.0	-31.0	-45.0	-44.0	-19.0	-7.0	-2.0	11.8	45.0	58.3	
AE	11.7	14.2	28.0	53.0	79.1	66.4	37.8	34.0	19.4	59.6	27.9	15.0	446.1
D	0.0	0.0	0.0	1.3	24.2	89.1	136.6	118.8	86.1	0.0	0.0	0.0	456.1
S	52.7	51.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	161.1

Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα εξής:

Βήμα 1

Στο τελευταίο μήνα με $P-PE > 0$ θέτουμε $St = 150\text{mm}$. Ο μήνας αυτός είναι ο Μάρτιος για τη περίπτωση της Λαμίας με $P-PE = 33$. Άρα θέτουμε $St_M = 150\text{mm}$. Επομένως $APWL = 0$ και αυτή θα είναι η αφετηρία μας.

Κατασκευάζουμε πίνακα όπου αναγράφεται ο πρώτος μήνας όπου $P-PE < 0$. Ο μήνας αυτός είναι ο Απρίλιος και η τιμή του είναι $-8.3\text{mm} < 0$. Άρα η τιμή έναρξης για το $APWL$ θα είναι η -8.3 .

ΔΟΚΙΜΗ 1	ΛΑΜΙΑ $P-PE_E = -328.2$	St (πιν.2)
ΜΗΝΕΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ $APWL$	
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	$P-PE_M = -8.3$	
ΜΑΙΟΣ	$APWL_M + (P-PE_A) = -8.3 + (-69.2) = -77.5$	
ΙΟΥΝΙΟΣ	$APWL_M + (P-PE_I) = -77.5 + (-133.1) = -210.6$	
ΙΟΥΛΙΟΣ	$APWL_I + (P-PE_I) = -210.6 + (-155.6) = -366.2$	
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	$APWL_I + (P-PE_A) = -366.2 + (-125.8) = -492$	
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	$APWL_A + (P-PE_S) = -492 + (-88.1) = -580.1$	3

Συνεπώς $St_M = St_S + (P-PE > 0)_{ΟΚΤ-ΜΑΡ} = 3 + (52.7 + 51 + 33 + 11.8 + 45 + 58.3) = 3 + 251.8 = 254.8$ Άρα $St_M = 254.8$

Ανατρέχοντας στον πίνακα 2 με εδαφική υδατοϊκανότητα 150mm διαπιστώνουμε ότι η τιμή 254.8 αντιστοιχεί σε 27.

Άρα $APWL_{MAP} = 27 - 0.8 = 26.2$ $APWL_{MAP} = -26.2$

Επομένως στην επόμενη δοκιμή θα ξεκινήσουμε τη δημιουργία του πίνακα για τον εντοπισμό του $APWL$ με $APWL_{MAP} = -26.2$

ΔΟΚΙΜΗ 2	ΛΑΜΙΑ P-PE _E = -328.2	St (πιν.2)
ΜΗΝΕΣ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ APWL	
ΜΑΡΤΙΟΣ	APWL _M = -26.2	
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	APWL _A + (P-PE _M) = -26.2 + (-8.3) = -34.5	
ΜΑΙΟΣ	APWL _M + (P-PE _A) = -34.5 + (-69.2) = -103.7	
ΙΟΥΝΙΟΣ	APWL _M + (P-PE _I) = -103.7 + (-133.1) = -236.8	
ΙΟΥΛΙΟΣ	APWL _I + (P-PE _I) = -236.8 + (-155.6) = -392.4	
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	APWL _I + (P-PE _A) = -392.4 + (-125.8) = -518.2	
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	APWL _A + (P-PE _Σ) = -518.2 + (-88.1) = -606.3	2

Συνεπώς $St_{M2} = St_{OKT2} + (P-PE>0) = 2 + 251.8 = 253.8$ Άρα $St_{M2} = 253.8$

Όποτε σύμφωνα με το πίνακα 2 προκύπτει ότι $St_{M2} = 27$

Άρα $APWL_{M2} = 27 - 0.8 = 26.2$ $APWL_{M2} = -26.2$

Υπολογίζουμε την ακρίβεια λάθους της μεθόδου μας.

Οπότε έχουμε $(St_M - St_{M2})/St_M = (254.8 - 253.8)/254.8 = 1/254.8 = 0.003\%$

Με παραδοχή ακρίβειας $0.003\% < 10\%$ τα αποτελέσματα θεωρούνται άκρως ικανοποιητικά και τα διατηρούμε χωρίς να προβούμε σε άλλη δοκιμή.

Οπότε και έχουμε $St_M = 253.8$ και $APWL_M = -26.2$

Το $St_M = 253.8$ θα το μετατρέψουμε σε 150 που είναι και η μέγιστη υδατοϊκανότητα του εδάφους που μελετάμε.

Άρα $St_M = 150$ και $APWL_M = -26.2$

Υπολογίζουμε το APWL όμοια με τη δοκιμή 2. Όποτε έχουμε:

$$APWL_M = -26.2$$

$$APWL_A = -34.5$$

$$APWL_M = -103.7$$

$$APWL_I = -236.8$$

$$APWL_I = -392.4$$

$$APWL_A = -518.2$$

$$APWL_\Sigma = -606.3$$

Βήμα 2

Υπολογίζουμε το St για τους μήνες Μάρτιο έως και Σεπτέμβριο. Το St είναι συνάρτηση του APWL και το βρίσκουμε από τον πίνακα 2. Άρα έχουμε:

$$St_M = APWL_M = 26.2 \text{ από πίνακα 2} = 126$$

$$St_A = APWL_A = 34.5 \text{ από πίνακα 2} = 119$$

$$St_M = APWL_M = 103.7 \text{ από πίνακα 2} = 74$$

$$St_I = APWL_I = 236.8 \text{ από πίνακα 2} = 30$$

$$St_I = APWL_I = 392.4 \text{ από πίνακα 2} = 11$$

$$St_A = APWL_A = 518.2 \text{ από πίνακα 2} = 4$$

$$St_\Sigma = APWL_\Sigma = 606.3 \text{ από πίνακα 2} = 2$$

Για τους μήνες Οκτώβριο έως και Φεβρουάριο όπου $P-PE > 0$ προσθέτουμε νερό ίσο με $P-PE$. Επομένως έχουμε:

$$St_O = St_\Sigma + (P-PE_O) = 2 + 11.8 = 13.8$$

$$St_N = St_O + (P-PE_N) = 13.8 + 45 = 58.8$$

$$St_\Delta = St_N + (P-PE_\Delta) = 58.8 + 58.3 = 117.1$$

$$St_I = St_\Delta + (P-PE_I) = 117.1 + 52.7 = 169.8$$

Επειδή $169.8 > 150$ που είναι και η μέγιστη υδατοϊκανότητα εδάφους που μελετάμε θέτουμε:

$$St_I = 150$$

$$St_\Phi = 150$$

$$St_M = 150$$

Βήμα 3

Υπολογίζουμε το ΔSt $\Delta St = St_{TE\Lambda} - St_{APX}$ Επομένως έχουμε:

$$\Delta St_I = St_I - St_\Delta = 150 - 117.1 = 32.9$$

$$\Delta St_\Phi = St_\Phi - St_I = 150 - 150 = 0$$

$$\Delta St_M = St_M - St_\Phi = 150 - 150 = 0$$

$$\Delta St_A = St_A - St_M = 119 - 150 = -31$$

$$\Delta St_M = St_M - St_A = 74 - 119 = -45$$

$$\Delta St_I = St_I - St_M = 30 - 74 = -44$$

$$\Delta St_I = St_I - St_I = 11 - 30 = -19$$

$$\Delta St_A = St_A - St_I = 4 - 11 = -7$$

$$\Delta St_{\Sigma} = St_{\Sigma} - St_A = 2 - 4 = -2$$

$$\Delta St_O = St_O - St_{\Sigma} = 13.8 - 2 = 11.8$$

$$\Delta St_N = St_N - St_O = 58.8 - 13.8 = 45$$

$$\Delta St_{\Delta} = St_{\Delta} - St_N = 117.1 - 58.8 = 58.3$$

Βήμα 4

Υπολογίζουμε το ΑΕ. Η ΑΕ = ΡΕ εφόσον $P-PE > 0$. Όταν όμως $P-PE < 0$ η $AE = P + |\Delta St|$. Άρα:

$$AE_I = (P - PE)_I = 11.7$$

$$AE_{\Phi} = (P - PE)_{\Phi} = 14.2$$

$$AE_M = (P - PE)_M = 28$$

$$AE_A = P_A + |\Delta St|_A = 46 + 7 = 53$$

$$AE_M = P_M + |\Delta St|_M = 34.1 + 45 = 79.1$$

$$AE_I = P_I + |\Delta St|_I = 22.4 + 44 = 66.4$$

$$AE_I = P_I + |\Delta St|_I = 18.8 + 19 = 37.8$$

$$AE_A = P_A + |\Delta St|_A = 27 + 7 = 34$$

$$AE_{\Sigma} = P_{\Sigma} + |\Delta St|_{\Sigma} = 17.4 + 2 = 19.4$$

$$AE_O = (P - PE)_O = 59.6$$

$$AE_N = (P - PE)_N = 27.9$$

$$AE_{\Delta} = (P - PE)_{\Delta} = 15$$

Βήμα 5

Υπολογίζουμε το έλλειμμα υγρασίας (D). Όταν $P-PE > 0$ τότε $D=0$. Όταν $P-PE < 0$ τότε $D=PE-AE$. Επομένως έχουμε:

$$D_I = 0$$

$$D_{\Phi} = 0$$

$$D_M = 0$$

$$D_A = PE_A - AE_A = 54.3 - 53 = 1.3$$

$$D_M = PE_M - AE_M = 103.3 - 79.1 = 24.2$$

$$D_I = PE_I - AE_I = 155.5 - 66.4 = 89.1$$

$$D_I = PE_I - AE_I = 174.4 - 37.8 = 136.6$$

$$D_A = PE_A - AE_A = 152.8 - 34 = 118.8$$

$$D_\Sigma = PE_\Sigma - AE_\Sigma = 105.5 - 19.4 = 86.1$$

$$D_O = 0$$

$$D_N = 0$$

$$D_\Delta = 0$$

Βήμα 6

Για την ολοκλήρωση του πίνακα μένει να υπολογίσουμε τη πλεονάζουσα υγρασία (S).

Το $S=0$ όταν $P-PE < 0$.

Όταν $P-PE > 0$ τότε έχουμε δύο περιπτώσεις:

- 1) Αν $St-1 \geq 150$ τότε $S = P-PE$
- 2) Αν $St-1 < 150$ τότε $S = St-1 + (P-PE) - 150$

Σε περίπτωση που προκύψει αρνητικός αριθμός για τους μήνες όπου $P-PE > 0$ τότε θέτουμε την τιμή 0 στον πίνακα.

Άρα:

$$S_I = (P-PE)_I = 52.7$$

$$S_\Phi = (P-PE)_\Phi = 51$$

$$S_M = (P-PE)_M = 33$$

$$S_A = 0$$

$$S_M = 0$$

$$S_I = 0$$

$$S_I = 0$$

$$S_A = 0$$

$$S_\Sigma = 0$$

$$S_O = St_{O-1} + (P-PE)_O - 150 = 12.8 + 11.8 - 150 = -125.4 = 0$$

$$S_N = St_{N-1} + (P-PE)_N - 150 = 57.8 + 45 - 150 = -47.2 = 0$$

$$S_{\Delta} = St_{\Delta-1} + (P-PE)_{\Delta} - 150 = 116.1 + 38.3 - 150 = 24.4$$

Εδώ λοιπόν ολοκληρώνεται η διαδικασία υπολογισμού του πίνακα υδατικού ισοζυγίου για την πόλη της Λαμίας για εδαφική υδατοϊκανότητα 150mm.



Εικόνα 6: Έδαφος

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

$P-PE > 0$ ή $PE > PE_E$ όταν δηλαδή οι εισροές ύδατος είναι μεγαλύτερες από τις εκροές και επομένως έχουμε πλεόνασμα υγρασίας. Μια πόλη με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η πόλη των Ανωγείων Κρήτης.

Το παράδειγμα αυτό θα το υπολογίσουμε με εδαφική υδατοϊκανότητα 100mm.

Στα ανώγεια παρατηρούμε ότι $\sum_{i=1}^{12} (P-PE) > 0$. Ποιο συγκεκριμένα το ετήσιο P-PE είναι 264.2 για υδατοϊκανότητα εδάφους στα 100mm.

ΑΝΩΓΕΙΑ 100mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	15.8	15.4	27.8	51.8	91.2	129.8	143.2	129.7	92.4	61.3	33.3	21.1	813.2
P	190.9	174.0	130.4	52.2	22.0	13.7	6.0	3.2	38.9	108.0	150.7	187.8	1.077.4
P - PE	175.1	158.6	102.6	0.4	-69.2	-116.1	-137.2	-126.5	-53.5	46.7	117.4	166.7	264.2
APWL	0.0	0.0	0.0	0.0	-69.2	-185.3	-322.5	-449.0	-502.5	0.0	0.0	0.0	
ST	100.0	100.0	100.0	100.0	49.0	15.0	4.0	1.0	1.0	47.7	100.0	100.0	
ΔST	0.0	0.0	0.0	0.0	-51.0	-35.0	-11.0	-3.0	0.0	46.7	52.3	0.0	
AE	15.8	15.4	27.8	51.8	73.0	48.7	17.0	6.2	38.9	61.3	33.3	21.1	410.3
D	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	81.1	126.2	123.5	53.5	0.0	0.0	0.0	402.5
S	15.8	15.4	27.8	51.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	21.1	165.2

Βήμα 1

Θέτουμε $St_i=100$. Όταν συναντήσουμε τον πρώτο μήνα με $P-PE < 0$ (Μάιος - 69.2) ξεκινάμε να συμπληρώνουμε τις τιμές APWL με πρώτη τιμή αυτή του μήνα Μαΐου. Συνεχίζουμε να προσθέτουμε αθροιστικά τους επόμενους μήνες με αρνητικό πρόσημο και σταματούμε τη διαδικασία μόλις φτάσουμε σε μήνα με θετικό πρόσημο ($P-PE > 0$). Έτσι έχουμε:

$$APWL_M = -69.2$$

$$APWL_I = APWL_M + (P-PE_I) = -69.2 + (-116.1) = -185.3$$

$$APWL_I = APWL_I + (P-PE_I) = -185.3 + (-137.2) = -322.5$$

$$APWL_A = APWL_I + (P-PE_A) = -322.5 + (-126.5) = -449$$

$$APWL_\Sigma = APWL_A + (P-PE_\Sigma) = -449 + (-53.5) = -502.5$$

Βήμα 2

Υπολογισμός St. Από το μήνα Ιανουάριο και για όσους μήνες έχουμε $P-PE > 0$ η τιμή του St θα είναι συνεχώς 100 λόγω του πλεονάσματος υγρασίας. Από τον πρώτο μήνα με $P-PE < 0$ (Μάιος) το St είναι συνάρτηση του APWL και υπολογίζεται από τον πίνακα 1. Οπότε έχουμε:

$$St_I = 100$$

$$St_\Phi = 100$$

$$St_M = 100$$

$$St_A = 100$$

$$St_M = APWL_M = 69.2 \text{ από πίνακα 1} = 49$$

$$St_I = APWL_I = 185.3 \text{ από πίνακα 1} = 15$$

$$St_I = APWL_I = 322.5 \text{ από πίνακα 1} = 4$$

$$St_A = APWL_A = 449 \text{ από πίνακα 1} = 1$$

$$St_\Sigma = APWL_\Sigma = 502.5 \text{ από πίνακα 1} = 1$$

Για τους μήνες Οκτώβριο έως και Δεκέμβριο όπου $P-PE > 0$ προσθέτουμε νερό ίσο με P-PE. Επομένως έχουμε:

$$St_O = St_\Sigma + (P-PE_O) = 1 + 46.7 = 47.7$$

$$St_N = St_O + (P-PE_N) = 47.7 + 117.4 = 165.1$$

$$St_\Delta = St_N + (P-PE_\Delta) = 165.1 + 166.7 = 331.8$$

Λόγω της υδατοϊκανότητας του εδάφους που είναι στα 100mm όταν το $St > 100$ το θέτουμε ως 100. Οπότε:

$$St_N = 100$$

$$St_\Delta = 100$$

Βήμα 3

Υπολογίζουμε το ΔSt $\Delta St = St_{TE\Lambda} - St_{APX}$ Επομένως έχουμε:

$$\Delta St_I = St_I - St_{\Delta} = 100 - 100 = 0$$

$$\Delta St_{\Phi} = St_{\Phi} - St_I = 100 - 100 = 0$$

$$\Delta St_M = St_M - St_{\Phi} = 100 - 100 = 0$$

$$\Delta St_A = St_A - St_M = 100 - 100 = 0$$

$$\Delta St_M = St_M - St_A = 49 - 100 = -51$$

$$\Delta St_I = St_I - St_M = 15 - 49 = -35$$

$$\Delta St_I = St_I - St_I = 4 - 15 = -11$$

$$\Delta St_A = St_A - St_I = 1 - 4 = -3$$

$$\Delta St_{\Sigma} = St_{\Sigma} - St_A = 1 - 1 = 0$$

$$\Delta St_O = St_O - St_{\Sigma} = 47.7 - 1 = 46.7$$

$$\Delta St_N = St_N - St_O = 100 - 47.7 = 52.3$$

$$\Delta St_{\Delta} = St_{\Delta} - St_N = 100 - 100 = 0$$

Βήμα 4

Υπολογίζουμε το ΑΕ. Η ΑΕ = ΡΕ εφόσον $P-PE > 0$. Όταν όμως $P-PE < 0$ η $AE = P + |\Delta St|$. Άρα:

$$AE_I = (P - PE)_I = 15.8$$

$$AE_{\Phi} = (P - PE)_{\Phi} = 15.4$$

$$AE_M = (P - PE)_M = 27.8$$

$$AE_A = (P - PE)_A = 51.8$$

$$AE_M = P_M + |\Delta St|_M = 22 + 51 = 73$$

$$AE_I = P_I + |\Delta St|_I = 13.7 + 35 = 48.7$$

$$AE_I = P_I + |\Delta St|_I = 6 + 11 = 17$$

$$AE_A = P_A + |\Delta St|_A = 3.2 + 3 = 6.2$$

$$AE_{\Sigma} = P_{\Sigma} + |\Delta St|_{\Sigma} = 38.9 + 0 = 38.9$$

$$AE_O = (P - PE)_O = 61.3$$

$$AE_N = (P - PE)_N = 33.3$$

$$AE_{\Delta} = (P - PE)_{\Delta} = 21.1$$

Βήμα 5

Υπολογίζουμε το έλλειμμα υγρασίας (D). Όταν $P-PE>0$ τότε $D=0$. Όταν $P-PE<0$ τότε $D=PE-AE$. Επομένως έχουμε:

$$D_I = 0$$

$$D_{\Phi} = 0$$

$$D_M = 0$$

$$D_A = 0$$

$$D_M = PE_M - AE_M = 91.2 - 73 = 18.2$$

$$D_I = PE_I - AE_I = 129.8 - 48.7 = 81.1$$

$$D_I = PE_I - AE_I = 143.2 - 17 = 126.2$$

$$D_A = PE_A - AE_A = 129.7 - 6.2 = 123.5$$

$$D_{\Sigma} = PE_{\Sigma} - AE_{\Sigma} = 92.4 - 38.9 = 53.5$$

$$D_O = 0$$

$$D_N = 0$$

$$D_{\Delta} = 0$$

Βήμα 6

Για την ολοκλήρωση του πίνακα μένει να υπολογίσουμε τη πλεονάζουσα υγρασία (S).

Το $S=0$ όταν $P-PE<0$.

Όταν $P-PE>0$ τότε έχουμε δύο περιπτώσεις:

3) Αν $St-1 \geq 100$ τότε $S=P-PE$

4) Αν $St-1 < 100$ τότε $S=St-1+(P-PE)-100$

Σε περίπτωση που προκύψει αρνητικός αριθμός για τους μήνες όπου $P-PE>0$ τότε θέτουμε την τιμή 0 στον πίνακα.

Άρα:

$$S_I = (P-PE)_I = 15.8$$

$$S_{\Phi} = (P-PE)_{\Phi} = 15.4$$

$$S_M = (P-PE)_M = 27.8$$

$$S_A = (P-PE)_A = 51.8$$

$$S_M = 0$$

$$S_I = 0$$

$$S_I = 0$$

$$S_A = 0$$

$$S_\Sigma = 0$$

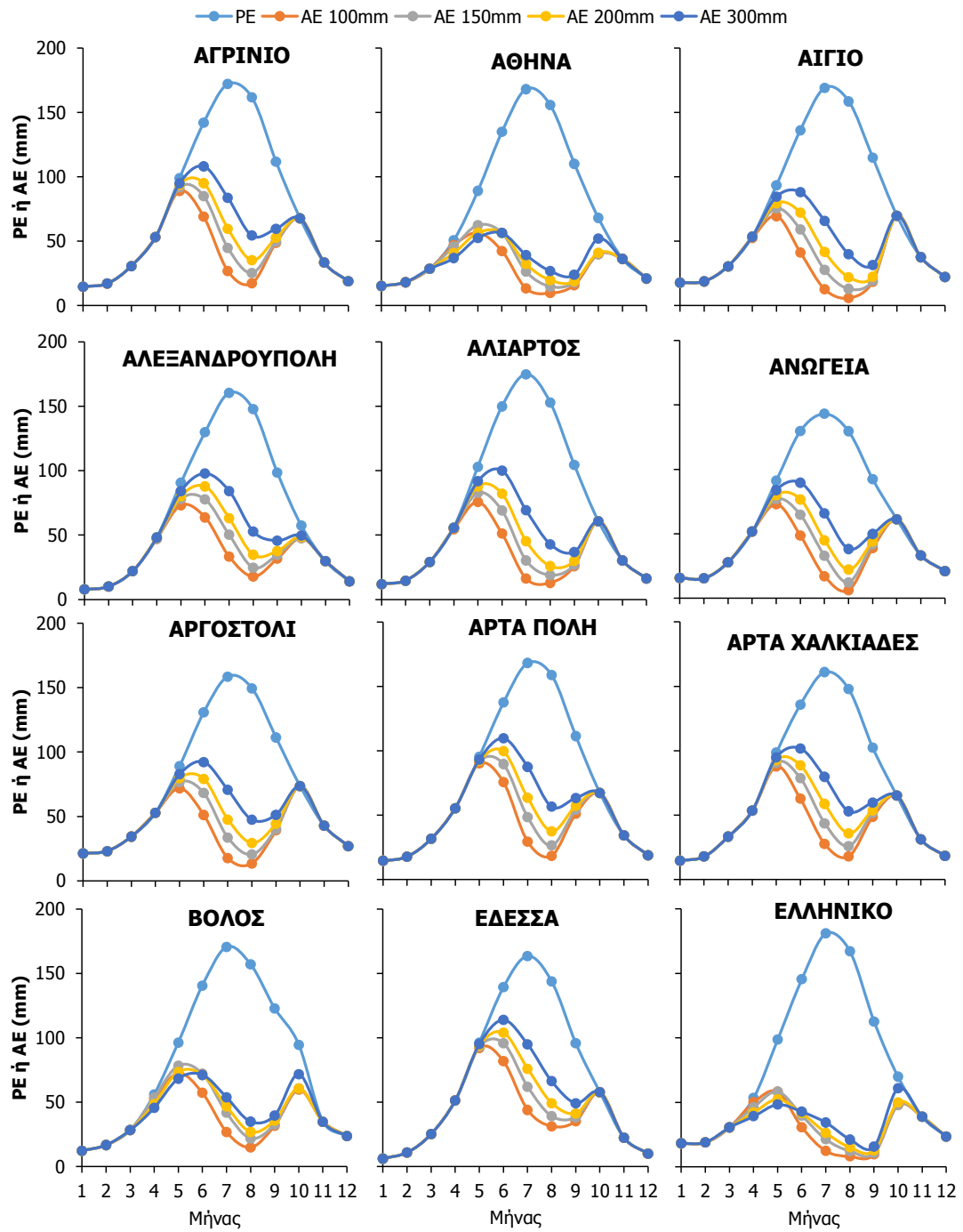
$$S_O = S_{t_{O-1}} + (P-PE)_O - 100 = 46.7 + 46.7 - 100 = -6.6 = 0$$

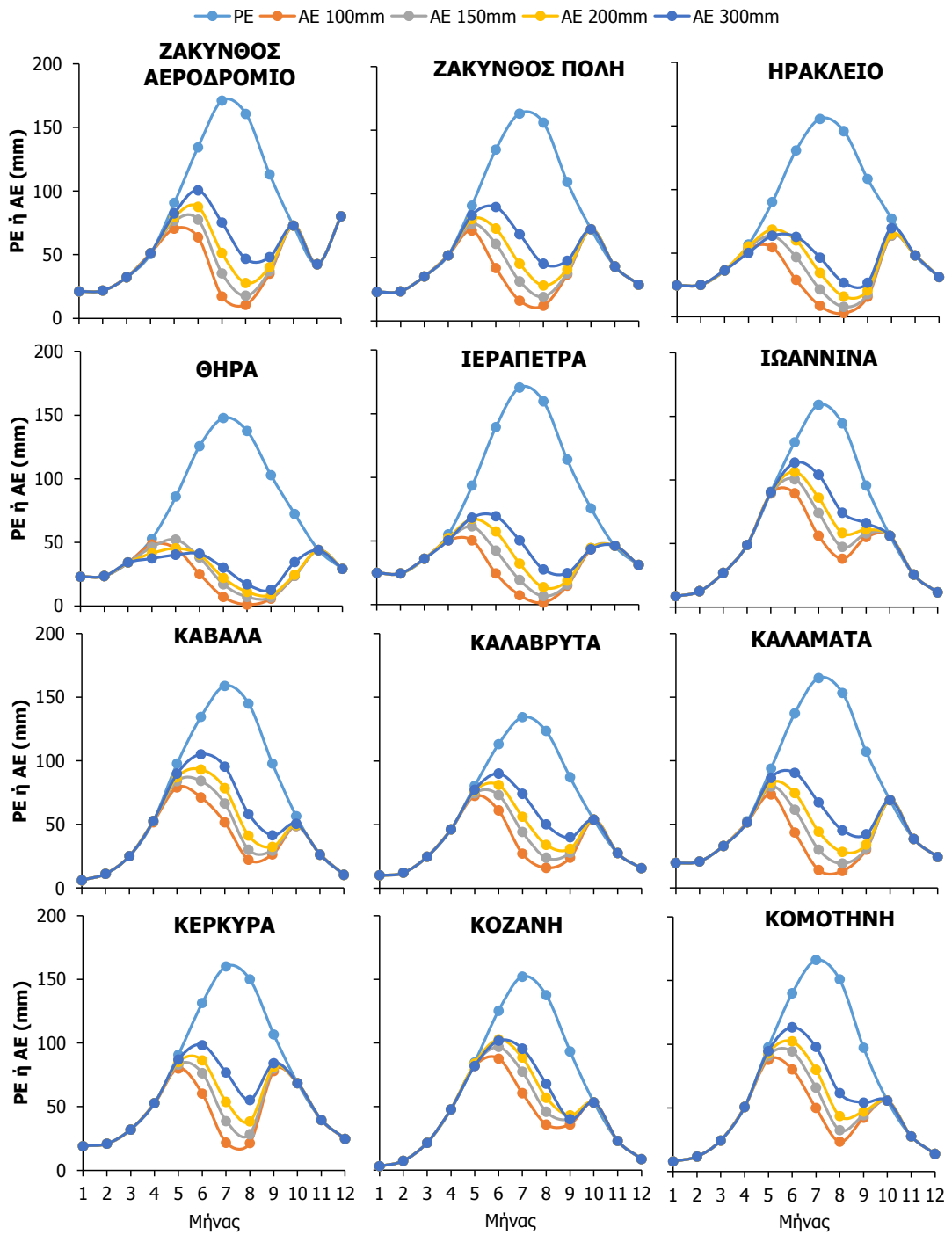
$$S_N = (P-PE)_N = 33.3$$

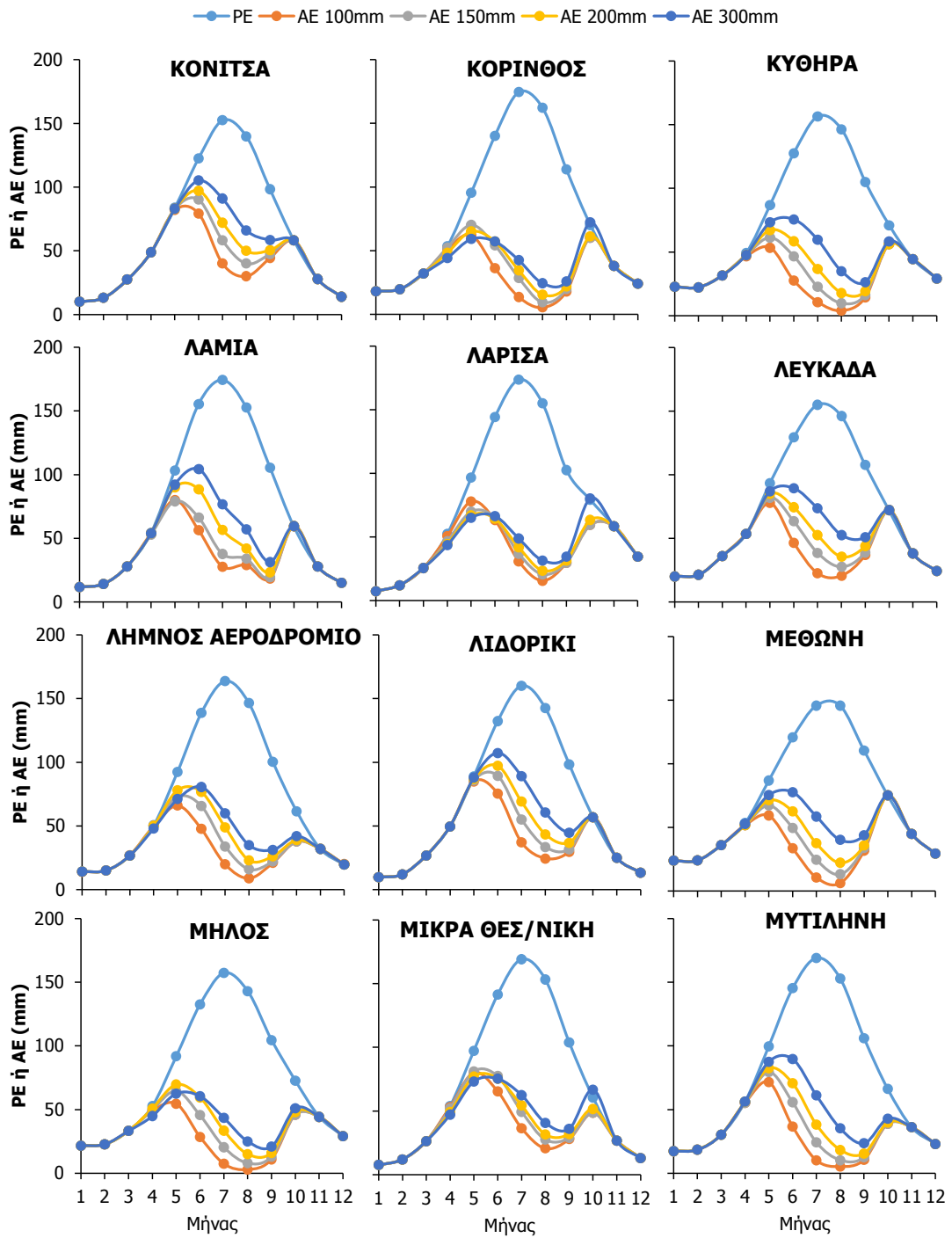
$$S_\Delta = (P-PE)_\Delta = 21.1$$

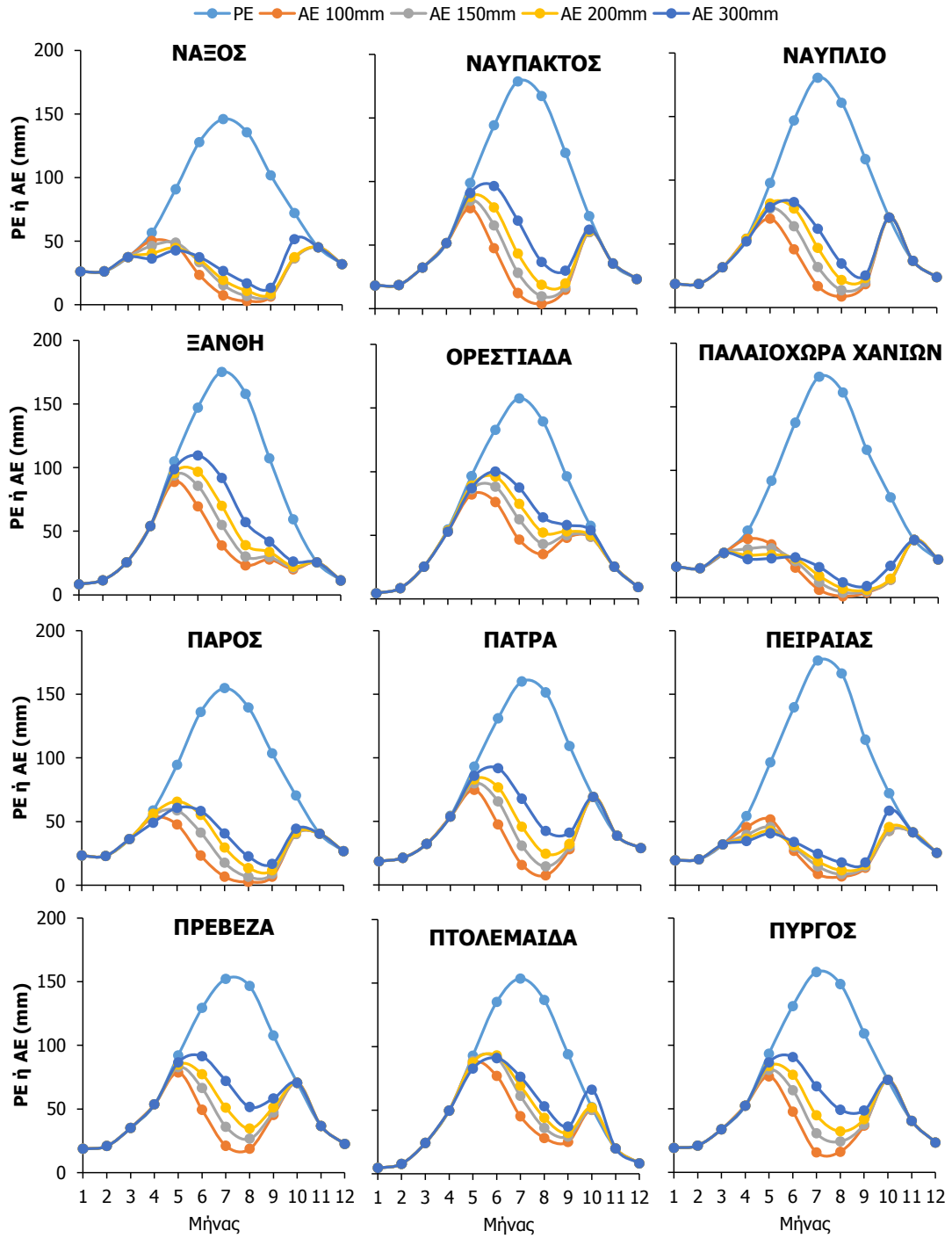
Εδώ λοιπόν ολοκληρώνεται η διαδικασία υπολογισμού του πίνακα υδατικού ισοζυγίου για την πόλη των Ανωγείων για εδαφική υδατοϊκανότητα 100mm.

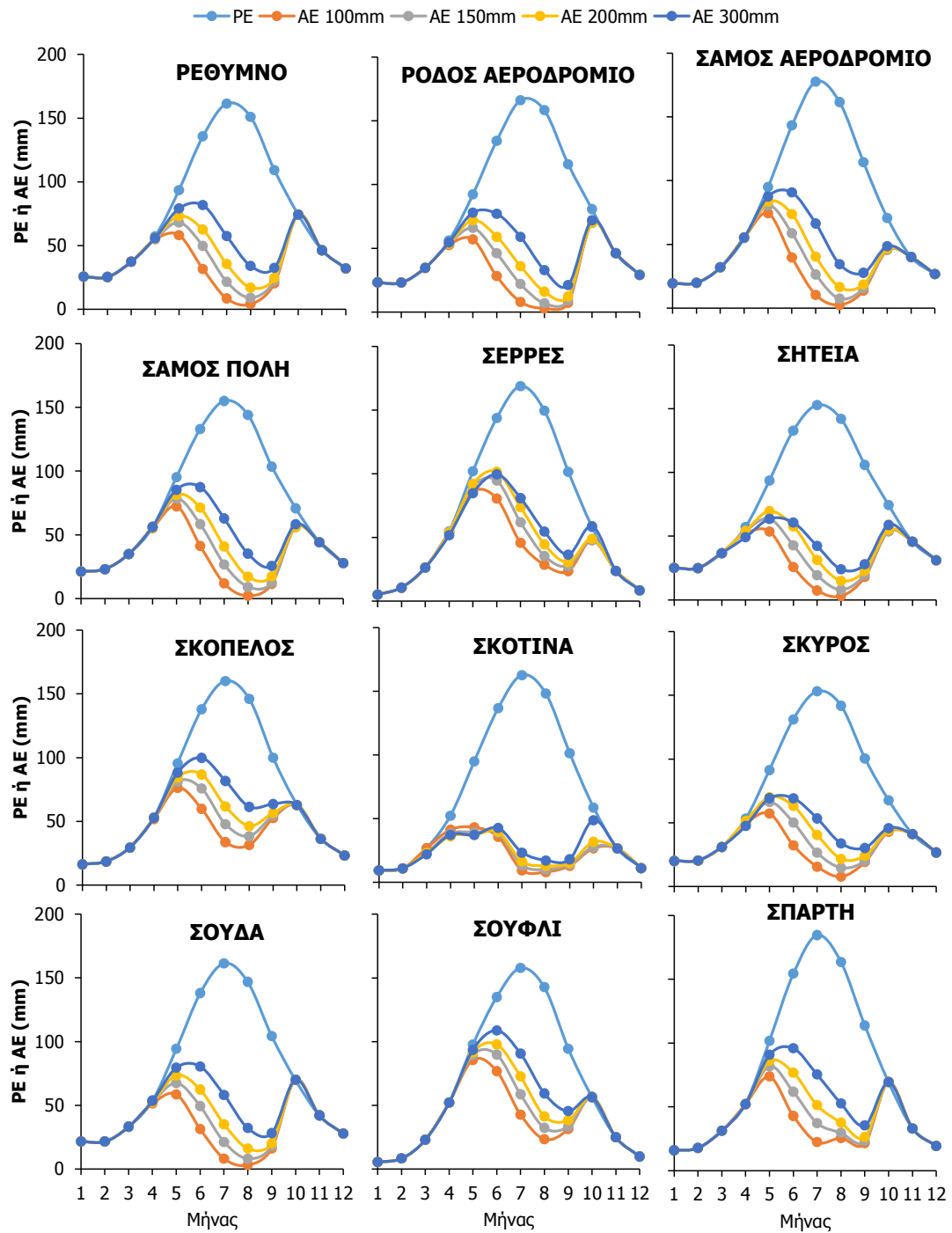
Ακολουθούν διαγράμματα για τις 73 περιοχές της μελέτης με την δυνητική (PE) και την πραγματική (AE) εξατμισοδιαπνοή για εδαφική υδατοϊκανότητα 100mm, 150mm, 200mm και 300mm.

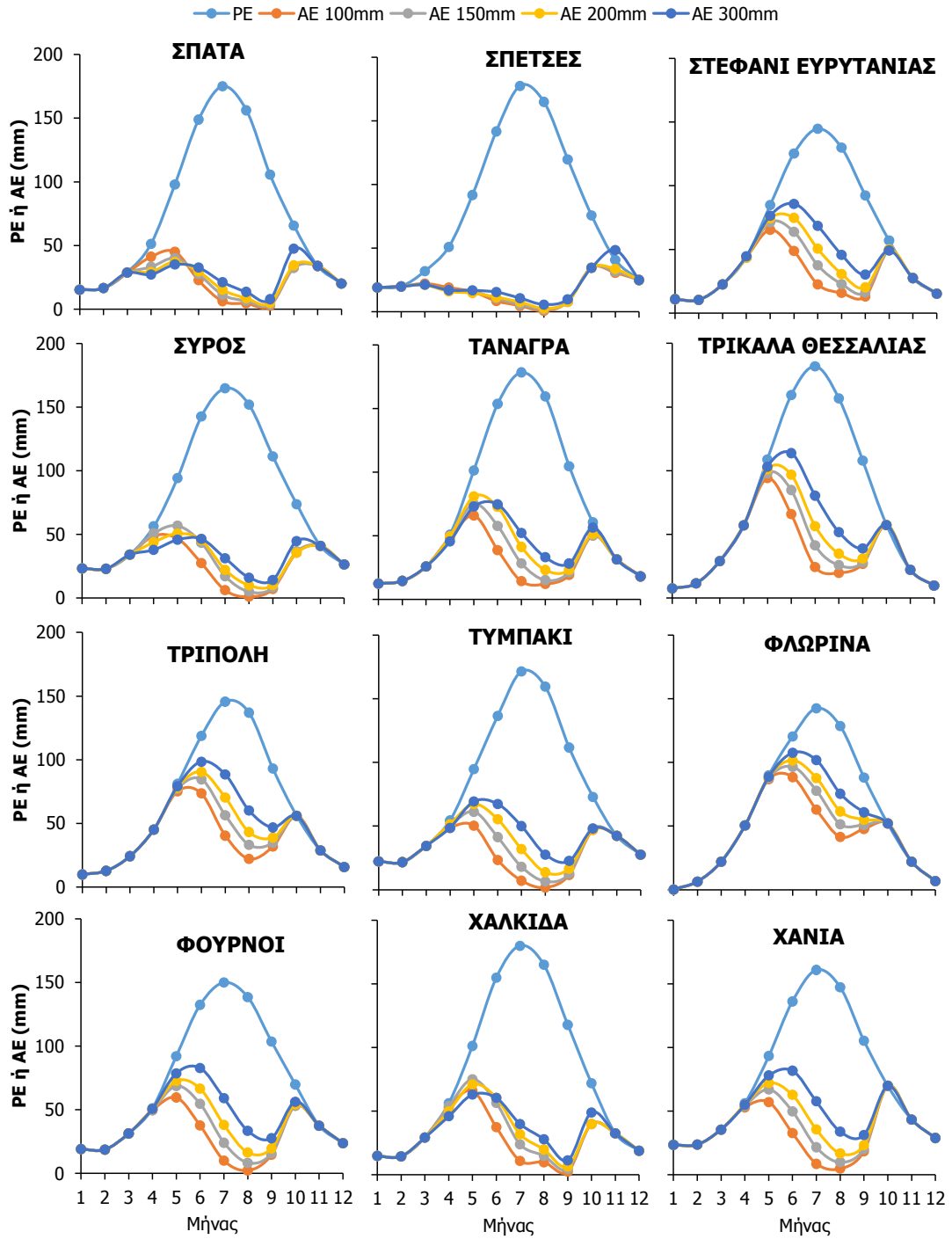


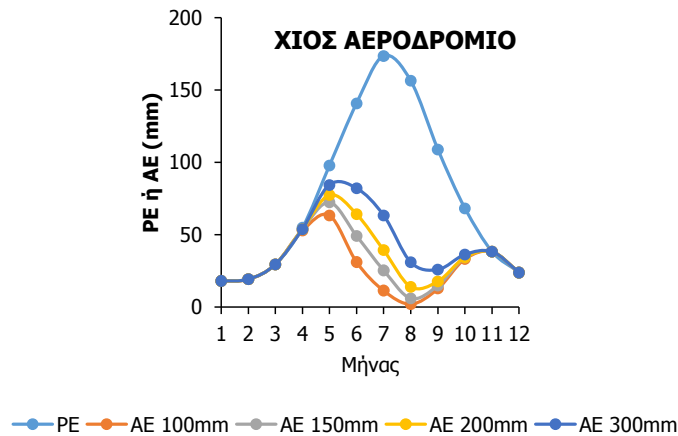












ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΤΑ THORNTHWAITE

Ο Thornthwaite για την ταξινόμηση των κλιμάτων εκτός από τις παραμέτρους της βροχής και της θερμοκρασίας λαμβάνει υπόψη και την εξάτμιση. Έτσι η κλιματική ταξινόμηση εξυπηρετεί καλύτερα σκοπούς τόσο γεωγραφικούς όσο και υδατικού ισοζυγίου. Τέσσερα κλιματικά κριτήρια ή δείκτες αποτελούν τη βάση της ταξινόμησης και το κλίμα κάθε σταθμού παριστάνεται με 4 αντίστοιχα γράμματα.

1. Δείκτης υγρασίας I_m

Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση αυτού του δείκτη αποτελεί η γνώση του υδατικού ισοζυγίου στην επιφάνεια του εδάφους. Η επάρκεια υγρασίας εδάφους για κάθε μήνα καθορίζεται από το μηνιαίο δείκτη υγρασίας:

$$I_0 = 100 \cdot (S - D) / PE$$

S = Πλεόνασμα ύδατος

D = Έλλειμμα ύδατος

Ο τύπος αυτός στη περίπτωση που το υδατικό περιεχόμενο σε υγρασία εδάφους παραμένει σταθερό μετατρέπεται ως εξής:

$$I_0 = 100 \cdot (P / PE) - 1$$

P = Βροχόπτωση

PE = δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Για ολόκληρο το έτος η επάρκεια υγρασίας καθορίζεται από το δείκτη:

$$I_m = \sum^{12} I_u$$

Που είναι το άθροισμα των 12 μηνιαίων τιμών.

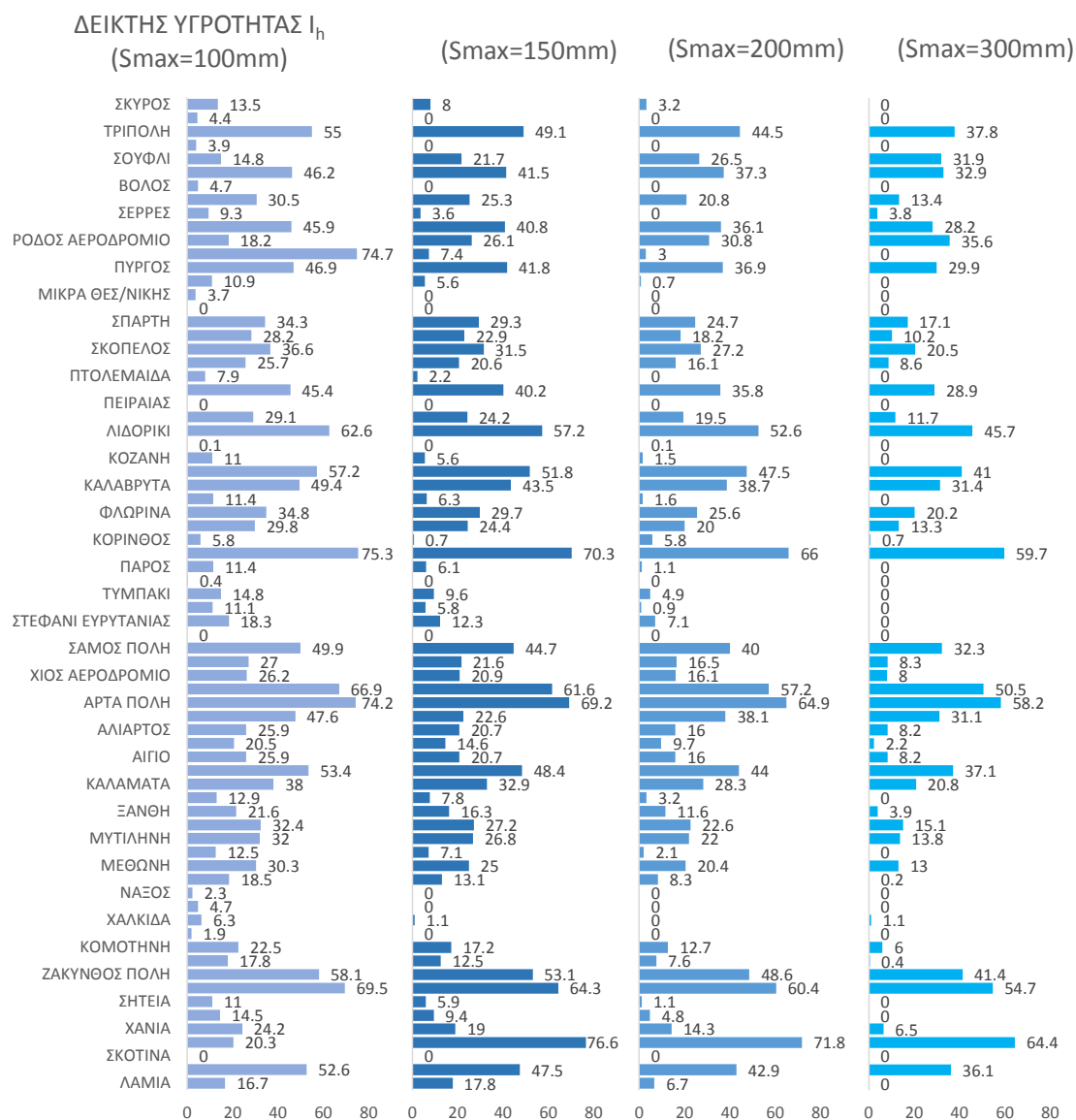
Στον πίνακα 5.1 δίνονται τα όρια του ετήσιου δείκτη υγρασίας I_m για τους 9 τύπους κλίματος της ταξινόμησης Thornthwaite.

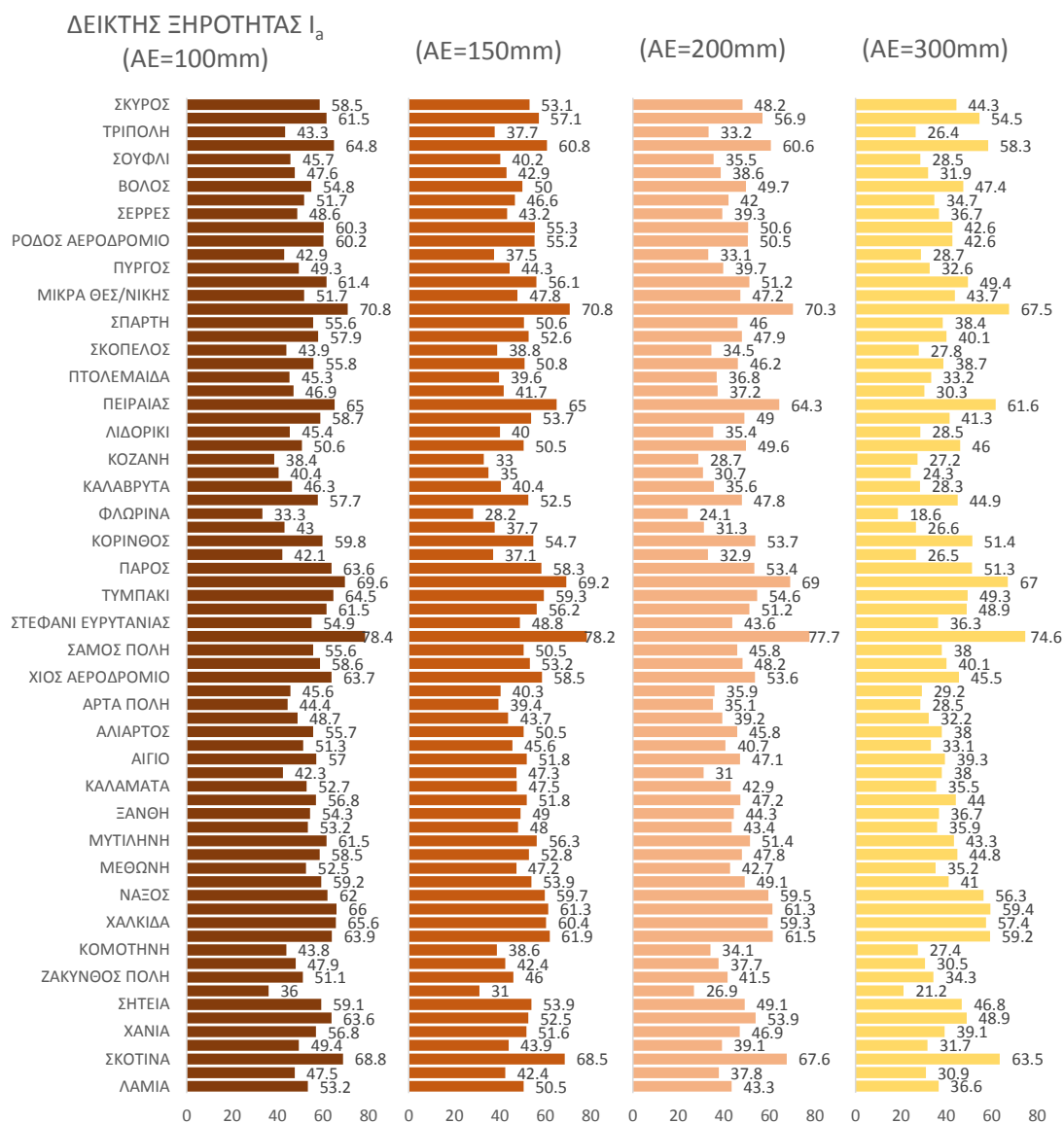
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1	
ΤΥΠΟΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ I_m
A ΠΟΛΥ ΥΓΡΟ	ΠΑΝΩ ΑΠΟ 100
B ₄ ΥΓΡΟ	80 ΕΩΣ 100
B ₃ ΥΓΡΟ	60 ΕΩΣ 80
B ₂ ΥΓΡΟ	40 ΕΩΣ 60
B ₁ ΥΓΡΟ	20 ΕΩΣ 40
C ₂ ΗΜΙΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΞΗΡΟ	0 ΕΩΣ 20
C ₁ ΗΜΙΥΓΡΟ ΠΡΟΣ ΞΗΡΟ	-33.3 ΕΩΣ 0
D ΗΜΙΞΗΡΟ	-66.7 ΕΩΣ -33.3
E ΞΗΡΟ	-100 ΕΩΣ -66.7

2. Δείκτες ξηρότητας I_a και υγρότητας I_h

Χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των εποχιακών μεταβολών. Στα υγρά κλίματα το ετήσιο έλλειμμα ύδατος D που εκφράζεται ως ποσοστό % της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής PE αποτελεί τον δείκτη ξηρότητας I_a . Στα ξηρά κλίματα το ετήσιο πλεόνασμα ύδατος S που εκφράζεται ως ποσοστό % της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής PE αποτελεί τον δείκτη υγρότητας I_h . Τα όρια των δεικτών αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2 που ακολουθεί, ενώ ακολουθούν και δύο γραφήματα με τα αποτελέσματα των δεικτών αυτών για τις 73 περιοχές της μελέτης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2	
ΥΓΡΑ ΚΛΙΜΑΤΑ (A, B, C ₂)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΞΗΡΟΤΗΤΑΣ I_a
r ΚΑΘΟΛΟΥ Η ΜΗΔΑΜΙΝΟ ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΥΔΑΤΟΣ	0 ΕΩΣ 10
s ΜΕΤΡΙΟ ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΘΕΡΟΣ	10 ΕΩΣ 20
w ΜΕΤΡΙΟ ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΧΕΙΜΩΝΑ	10 ΕΩΣ 20
s ₂ ΜΕΓΑΛΟ ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΘΕΡΟΣ	ΠΑΝΩ ΑΠΟ 20
w ₂ ΜΕΓΑΛΟ ΕΛΛΕΙΜΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ	ΠΑΝΩ ΑΠΟ 20
ΞΗΡΑ ΚΛΙΜΑΤΑ (C ₁ , D, E)	ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΓΡΟΤΗΤΑΣ I_h
d ΚΑΘΟΛΟΥ Η ΜΗΔΑΜΙΝΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΥΔΑΤΟΣ	0 ΕΩΣ 16.7
s ΜΕΤΡΙΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ	16.7 ΕΩΣ 33.3
w ΜΕΓΑΛΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΘΕΡΟΣ	16.7 ΕΩΣ 33.3
s ₂ ΜΕΓΑΛΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΧΕΙΜΩΝΑ	ΠΑΝΩ ΑΠΟ 33.3
w ₂ ΜΕΓΑΛΟ ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΘΕΡΟΣ	ΠΑΝΩ ΑΠΟ 33.3





3. Δείκτης θερμικής αποτελεσματικότητας I_{θ}

Η θερμοκρασία ή η θερμική επίδραση είναι ουσιαστικά η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και ως κλιματικός δείκτης θερμικής αποτελεσματικότητας I_{θ} εκφράζεται σε cm. Ο ετήσιος δείκτης I_{θ} είναι το άθροισμα των μηνιαίων τιμών όπως φαίνονται στον πίνακα 5.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3	
ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ I_{θ}	
ΤΥΠΟΙ	I_{θ} (cm)
A ΜΕΓΑΘΕΡΜΑ	114 ΚΑΙ ΠΑΝΩ
B ₄ ΜΕΣΟΘΕΡΜΑ	99.7 ΕΩΣ 114
B ₃ ΜΕΣΟΘΕΡΜΑ	85.5 ΕΩΣ 99.7
B ₂ ΜΕΣΟΘΕΡΜΑ	71.2 ΕΩΣ 85.5
B ₁ ΜΕΣΟΘΕΡΜΑ	57 ΕΩΣ 71.2
C ₂ ΜΙΚΡΟΘΕΡΜΑ	42.7 ΕΩΣ 57
C ₁ ΜΙΚΡΟΘΕΡΜΑ	28.5 ΕΩΣ 42.7
D ΤΟΥΝΔΡΑ	14.2 ΕΩΣ 28.5
E ΠΑΓΩΜΕΝΑ	ΚΑΤΩ ΑΠΟ 14.2

4. Δείκτης θερινής συγκέντρωσης C_{θ}

Το ποσοστό % της μέσης ετήσιας ΡΕ που συγκεντρώνουν οι 3 θερινοί μήνες εκφράζει τον λεγόμενο δείκτη θερινής συγκέντρωσης C_{θ} σύμφωνα και με τον πίνακα 5.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4	
ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ C_{θ}	
ΤΥΠΟΙ	C_{θ} (%)
a	ΚΑΤΩ ΑΠΟ 48
b	48 ΕΩΣ 51.9
b ₃	51.9 ΕΩΣ 56.3
b ₂	56.3 ΕΩΣ 61.6
b ₁	61.6 ΕΩΣ 68
c ₂	68 ΕΩΣ 76.3
c ₁	76.3 ΕΩΣ 88
d	ΠΑΝΩ ΑΠΟ 88

5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Στη παράγραφο αυτή παραθέτονται τα αποτελέσματα του υδατικού ισοζυγίου με έμφαση στο μέγεθος και στη χρονική διάρκεια του υδατικού ελλείμματος όπως αυτό προκύπτει για τις 73 περιοχές της μελέτης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη παράμετρο αυτή λόγω της σπουδαιότητας της στη μελέτη γεωργικών περιοχών στον Ελλαδικό χώρο, καθώς επίσης και λόγω της άμεσης σύνδεσης της με την έννοια της γεωργικής ξηρασίας που αποτελεί σημαντική πτυχή της κλιματικής μεταβλητότητας και της κλιματικής μεταβολής στον Ελλαδικό χώρο αλλά και στον ευρύτερο Μεσογειακό (Τσίρος 2016).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πινάκων για τις 73 περιοχές του Ελλαδικού χώρου και για υδατοϊκανότητα εδάφους στα 100mm, 150mm, 200mm και 300mm παρατηρούμε ότι στη συντριπτική πλειοψηφία τους παρουσιάζουν υδατικό έλλειμμα (για την ακρίβεια μόνο 13 από τις 73 περιοχές παρουσιάζουν πλεόνασμα ύδατος). Επίσης παρατηρούμε ότι για κάθε περιοχή όσο αυξάνεται η υδατοϊκανότητα εδάφους από τα 100mm στα 300mm τόσο μειώνεται και το έλλειμμα ύδατος. Παράδειγμα αυτού του φαινομένου είναι η πόλη της Λαμίας όπου για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm το έλλειμμα ύδατος είναι 480.3mm, ενώ για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm το έλλειμμα ύδατος είναι 456.1mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm το υδατικό έλλειμμα είναι 391.3mm και τέλος για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm το έλλειμμα ύδατος είναι 330.3mm. Ακόμη παρατηρούμε ότι με την αύξηση της υδατοϊκανότητας του εδάφους από τα 100mm στα 300mm αυξάνεται και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Η Σκύρος για παράδειγμα για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm παρουσιάζει πραγματική εξατμισοδιαπνοή 363.5mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm παρουσιάζει πραγματική εξατμισοδιαπνοή 411.5mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm παρουσιάζει πραγματική εξατμισοδιαπνοή 454.5mm και για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm παρουσιάζει πραγματική εξατμισοδιαπνοή 488.5mm. Τέλος παρατηρούμε ότι με την αύξηση της υδατοϊκανότητας του εδάφους από τα 100mm στα 300mm μειώνεται και το πλεόνασμα του ύδατος. Ένα παράδειγμα είναι η πόλη της Λευκάδας όπου για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm το πλεόνασμα ύδατος είναι 472.3mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm το πλεόνασμα ύδατος είναι 426.3mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm το πλεόνασμα ύδατος είναι 385.3mm και για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm το πλεόνασμα ύδατος είναι 324.1mm.

Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (Νοέμβριο έως και Φεβρουάριο) δεν παρουσιάζεται σε καμία περιοχή έλλειμμα ύδατος. Αυτό συμβαίνει διότι την χειμερινή περίοδο επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και άφθονα κατακρημνίσματα με αποτέλεσμα τα διαθέσιμα ποσά ύδατος προς εξατμισοδιαπνοή να είναι σημαντικά μικρότερα από αυτά που είναι διαθέσιμα στο έδαφος. Σε αυτό συμβάλουν και τα φυτά μιας και αρκετά είδη είναι φυλλοβόλα οπότε με την έλλειψη φυλλώματος μειώνουν τη διαδικασία της διαπνοής. Το πλεόνασμα αυτό του νερού αναπληρώνει τα εδαφικά αποθέματα και συμβάλει στη διαδικασία της απορροής. Παρόλα αυτά όμως σε αρκετές περιοχές (27 από τις 73) όπως στη Σκύρο για παράδειγμα το πλεόνασμα ύδατος είναι σχεδόν μηδαμινό ή πολύ μικρό σύμφωνα με το δείκτη ξηρότητας I_h του Thornthwaite. Για την ακρίβεια

για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm το πλεόνασμα ύδατος είναι 118.7mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm το πλεόνασμα ύδατος είναι 70.7mm, για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm το υδατικό πλεόνασμα είναι 28.4mm και τέλος για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm το πλεόνασμα ύδατος είναι μηδενικό. Παρατηρούμε και εδώ ότι με την αύξηση της υδατοϊκανότητας του εδάφους από τα 100mm στα 300mm ότι μειώνεται το πλεόνασμα ύδατος.

Έλλειμμα σε νερό (όχι όμως ιδιαίτερα σημαντικό) αρχίζει να παρουσιάζεται την περίοδο της άνοιξης (από το μήνα Μάρτιο). Ένα παράδειγμα του ελλείμματος αυτού είναι η πόλη της Σκοτίας με έλλειμμα ύδατος για το μήνα Μάρτιο 1.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 3.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 3.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 4.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm. Τη περίοδο της άνοιξης αυξάνονται οι απαιτήσεις ύδατος σε εξατμισοδιαπνοή μιας και αυξάνεται η θερμοκρασία, μειώνονται τα κατακρημνίσματα και τα φυτά αναγεννιούνται και διαπνέουν περισσότερο. Το έδαφος όμως έχει ακόμη ικανά αποθέματα σε νερό και έτσι οι ελλείψεις που παρατηρούνται δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Τις μεγαλύτερες ελλείψεις σε νερό την περίοδο αυτή παρουσιάζουν κυρίως τα νησιά τον Νοτίου Αιγαίου, η Βορειοανατολική Κρήτη και η πλειοψηφία των παράκτιων περιοχών της Ανατολικής Ελλάδας.

Η έλλειψη νερού κορυφώνεται τη περίοδο του καλοκαιριού σε όλες της περιοχές της Ελλάδας. Οι θερμοκρασία αυξάνεται κατακόρυφα, τα κατακρημνίσματα είναι μηδενικά ή ελάχιστα και τα φυτά διαπνέουν στο μέγιστο. Επομένως τα εδαφικά υδατικά αποθέματα εξαντλούνται και το έλλειμμα ύδατος αυξάνεται στο μέγιστο δυνατό ολόκληρου του έτους. Μάλιστα τη θερινή περίοδο η γεωγραφική διανομή του ελλείμματος ύδατος είναι σχεδόν όμοια με την ετήσια γεωγραφική διανομή ελλείμματος ύδατος. Ένα παράδειγμα είναι το νησί των Σπετσών με έλλειμμα ύδατος για τους θερινούς μήνες 470.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 466.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 462.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 452.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Τη περίοδο του φθινόπωρου η έλλειψη ύδατος συνεχίζει να υφίσταται σε ολόκληρο σχεδόν τον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζοντας μάλιστα γεωγραφική διανομή σχεδόν όμοια με αυτή της θερινής περιόδου. Παρόλο που οι τιμές της θερμοκρασίας μειώνονται και τα κατακρημνίσματα παρουσιάζουν αύξηση παρατηρείται σημαντικό έλλειμμα ύδατος μιας και τα αποθέματα ύδατος του εδάφους έχουν εξαντληθεί σχεδόν ή πλήρως κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Η Παλαιοχώρα Χανίων είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του μεγάλου υδατικού ελλείμματος κατά τη διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών με 177mm υδατικού ελλείμματος για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 176mm υδατικού ελλείμματος για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 174mm υδατικού ελλείμματος για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 161mm υδατικού ελλείμματος για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Γεωγραφικά παρατηρείται ότι οι Δυτικές περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζουν γενικά μικρότερο υδατικό έλλειμμα από τις Ανατολικές περιοχές. Για παράδειγμα η πόλη της Ναυπάκτου που βρίσκεται στη Δυτική Ελλάδα παρουσιάζει ετήσιο

υδατικό έλλειμμα 566.8mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 519mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 473.8mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 398.8mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm, ενώ η πόλη των Σπάτων που βρίσκεται στην Ανατολική Ελλάδα παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 647mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 647mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 643mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 617mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Όμοια οι Βόρειες περιοχές παρουσιάζουν μικρότερο έλλειμμα ύδατος από τις Νότιες περιοχές. Η πόλη της Σπάρτης που βρίσκεται στη Νότιο Ελλάδα παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 532mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 484.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 440.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 368.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm, ενώ η πόλη του Σουφλίου που βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 368.6mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 324.6mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 286.6mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 230.6mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Το μεγαλύτερο υδατικό έλλειμμα παρουσιάζεται στα νησιά του Νοτίου Αιγαίου (στη Θήρα παρουσιάζεται ετήσιο υδατικό έλλειμμα 568.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 533.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 531.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 511.9mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm), στη Νοτιοανατολική Στερεά Ελλάδα (στο Πειραιά παρουσιάζεται ετήσιο υδατικό έλλειμμα 622.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 622.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 616.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 590.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm) και στη Βορειοανατολική Πελοπόννησο (στη πόλη της Πάτρας παρουσιάζεται ετήσιο υδατικό έλλειμμα 470.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 423.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 382.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 315.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm), ενώ το μικρότερο υδατικό έλλειμμα παρουσιάζεται στη Βορειοδυτική Μακεδονία (στην Έδεσσα παρουσιάζεται ετήσιο υδατικό έλλειμμα 354mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 310mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 274mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 219mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm) και στην Ήπειρο (στη πόλη της Πρέβεζας παρουσιάζεται ετήσιο υδατικό έλλειμμα 415.5mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 369.5mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 329.5mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 268.5mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm).

Στη Κρήτη παρατηρείται αύξηση του υδατικού ελλείμματος από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά και μείωση υδατικού ελλείμματος από τις ακτές προς τους ορεινούς όγκους. Τα Ανώγεια, για παράδειγμα, που βρίσκονται στη Δυτική ορεινή Κρήτη παρουσιάζουν ετήσιο υδατικό έλλειμμα 402.5mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 357.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 318.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 258.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm, ενώ η Ιεράπετρα που βρίσκεται στην Ανατολική και παράκτια Κρήτη παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 616.7mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 567.7mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 522.7mm για

υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 474.7mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm .

Όμως οι ακτές της Κρήτης παρουσιάζουν μικρότερο έλλειμμα ύδατος σε σχέση με τα νησιά του Νότιου Αιγαίου. Παράδειγμα αυτού η παράκτια πόλη των Χανίων που παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 524.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 476.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 433.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 361.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm και το νησί της Σύρου που παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 622.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 577.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 577.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 559.3mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Επίσης οι ακτές του Ιονίου Πελάγους έχουν μεγαλύτερο έλλειμμα ύδατος σε σχέση με τους ορεινούς όγκους της Δυτικής Ελλάδας. Η Μεθώνη παράκτια πόλη του Ιονίου Πελάγους παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 470.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 423.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 382.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 315.2mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm, ενώ η ορεινή Έδεσσα παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 354mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 310mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 274mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 219mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Ακόμη τα νησιά του Βορείου Αιγαίου έχουν μικρότερο υδατικό έλλειμμα σε σχέση με τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου. Για παράδειγμα η Σκόπελος παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 387.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 342.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 304.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 245.1mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm, ενώ η Χίος παρουσιάζει ετήσιο υδατικό έλλειμμα 593.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 100mm, 544.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 150mm, 499.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 200mm και 423.4mm για υδατοϊκανότητα εδάφους 300mm.

Η γεωγραφική αυτή διανομή του υδατικού ελλείμματος στον Ελλαδικό χώρο οφείλεται στο ετήσιο ύψος βροχής και στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή της εκάστοτε περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι, η μέθοδος του Thornthwaite για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, όπου χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη αλλά και εύχρηστη για τη μελέτη των 73 πόλεων του Ελλαδικού χώρου με ακρίβεια και αξιοπιστία.

Τα αποτελέσματα υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου για τις 73 πόλεις της Ελλάδας μας πληροφορούν για το ποιες από αυτές τις πόλεις παρουσιάζουν πλεόνασμα ή έλλειμμα ύδατος. μας δίνουν στοιχεία για την βροχόπτωση κάθε περιοχής αλλά μας δίνουν και τις τιμές της δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Το σημαντικότερο είναι ότι οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν είτε μηνιαία είτε ετήσια για κάθε πόλη ή στοιχείο που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε.

Έτσι λοιπόν μπορούμε με ακρίβεια να βρούμε το έλλειμμα ύδατος σε μια περιοχή και να χρησιμοποιήσουμε την κατάλληλη ποσότητα άρδευσης χωρίς να προβούμε σε σπατάλη του πολύτιμου πλέον ύδατος βοηθώντας στο μέγιστο τις αγροτικές περιοχές, ιδιαίτερα της χώρας μας που πλήττεται από έντονα φαινόμενα ξηρασίας και συνεπώς έλλειψης νερού.

Ακόμη τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου και άλλων περιοχών της χώρας μας και όχι μόνο.

Τέλος τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκπόνηση μελετών υδρολογικής, περιβαλλοντικής αλλά και αγροτικής φύσης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tyller – Miller G.: «Βιώνοντας στο Περιβάλλον – Προβλήματα Περιβαλλοντικών Συστημάτων 1999». Τόμος 1. Κεφ. 9. Σελ. 247. Μετάφραση Ταλαντοπούλου Μαρία
2. C. W. Thornthwaite 1948: «An Approach Towards a Rational Classification of Climate. Geographical Ren.». Σελ. 38. 55-94
3. C.W. Thornthwaite. Jr. Mather «The Water Balance» Publication in Climatology 1955
4. Ζ. Παπαζαφειρίου: «Οι Ανάγκες σε Νερό των Καλλιεργειών». Εκδόσεις Ζήτη 1999. Θεσσαλονίκη
5. Ι. Ξ. Τσίρος: «Ακραία Καιρικά Φαινόμενα & Κλιματική Αλλαγή». Σημειώσεις Πανεπιστημιακών Παραδόσεων του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής. Εκδόσεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2017
6. Ι. Ξ. Τσίρος: «Γεωργική Μετεωρολογία». Σημειώσεις Πανεπιστημιακών Παραδόσεων του Τμήματος Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής. Εκδόσεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2017
7. Χ. Καραβίτης – Σ. Αγγελίδης: «Διαχείριση Περιβάλλοντος, Διαχείριση Υδάτινων Πόρων & Περιβάλλον». Εκδόσεις Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2015
8. Σ. Καρβούνης – Δ. Γεωργακέλλος: «Διαχείριση Περιβάλλοντος – Επιχειρήσεις & Βιώσιμη Ανάπτυξη». Εκδόσεις Α. Σταμούλης. Αθήνα 2013
9. Α. Βαλαβανίδης: «Οικοτοξικολογία & Περιβαλλοντική Τοξικολογία – Ερευνητική Μεθοδολογία για την Εκτίμηση Οικολογικού Κινδύνου από Επικίνδυνες Χημικές Ουσίες». Εκδόσεις Σύγχρονα Θέματα. Αθήνα 2007
10. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: «Κλιματικά Στοιχεία Σταθμών ΕΜΥ. Περίοδος 1955-1997». Δ/ση Κλιματολογίας. Τμήμα Ελέγχου – Επεξεργασίας. Αθήνα 1999
11. Π. Σίσκος – Μ. Σκουλλός: «Περιβαλλοντική Χημεία Β». Εκδόσεις Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 1990
12. Χ. Μπαλαφούτης – Π. Μαχαίρας: «Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας με Στοιχεία Βιοκλιματολογίας». Εκδόσεις Γιαχούδης – Γιαπούδης. Θεσσαλονίκη 1986 – 1999
13. Α. Φλόκας. Α. Χρονοπούλου-Σερελή: «Μαθήματα Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας Β Έκδοση». Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη 2010
14. Χ. Λάζος: «Μηχανική & Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα». Εκδόσεις Αίολος. Αθήνα 1993
15. Γ. Τσακίρης: «Υδατικοί Πόροι – Τεχνική Υδρολογία». Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα 1995
16. Δ. Κοτούλας: «Ορεινή Υδρονομική Τόμος Α τα Ρέοντα Ύδατα». Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Εκδόσεων 2004
17. Γ. Σούλιος: : «Γενική Υδρολογία» Β Τόμος Univercity Studio Press Θεσσαλονίκη 1996
18. GLEICK. P.N. 1996: WATER RESOURCES. IN ENCYCLOPEDIA OF CLIMATE AND WEATHER. ED. 64. S. H. SCHNEIDER. OXFORD UNIVERCITY PRESS. NEW YORK. VOL. 2. PP. 817-823

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. el.wikipedia.org/wiki/νερό
2. greenapple.gr/2019/3/16
3. worldwatermuseum.com
4. thermalsprings.gr
5. gnomikologikon.gr
6. en.wikipedia.org/wiki/c._w._thornthwaite
7. usgs.gov/special.topic/water-science-school/water-cycle-greek
8. <https://docplayer.gr/12607032-> Tehniki-ydrologia-kefalaio-5-o-aporroi-fotios-p-maris.html) Μάρης Φώτιος 2015

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. tilestwra.com/ta-pio-mageftika-idatina-topia-tou-kosmou
2. meganisitimes.gr/2011/06/26/ύδρευση-αποχέτευση-στην-αρχαιότητα
3. el.wikipedia.org/wiki/κύκλος_του_νερού
4. gr.depositphotos.com/23716505/stock-illustration-now-geysers-work-vector-diagram.html
5. jstor.org/stable/212388?seq=1
6. geoponikokentro.com/index.php/en/useful/ni-xrisima/edafos

ΠΑΡΑΤΗΜΑ - ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Παρακάτω ακολουθούν συμπληρωμένοι οι πίνακες δύο πόλεων (Ιωάννινα και Ορεστιάδα) που επιλέχθηκαν (μία υγρή περιοχή και μία ξηρή περιοχή) για εδαφικές υδατοϊκανότητες 100mm, 150mm, 200mm και 300mm αντίστοιχα.

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 100mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	8.6	12.6	27.0	49.0	90.7	129.6	159.0	144.4	95.5	56.0	25.5	11.7	809.6
P	124.2	111.6	95.4	78.0	69.3	43.5	32.0	31.2	54.0	99.5	167.9	174.9	1.081.5
P - PE	115.6	99.0	68.4	29.0	-21.4	-86.1	-127.0	-113.2	-41.5	43.5	142.4	163.2	271.9
APWL	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.7	-108.2	-235.2	-348.0	-390.0	0.0	0.0	0.0	
ST	100.0	100.0	100.0	100.0	80.0	34.0	10.0	3.0	2.0	46.0	100.0	100.0	
ΔST	0.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	-46.0	-24.0	-7.0	-1.0	44.0	54.0	0.0	
AE	8.6	12.6	27.0	49.0	89.3	89.5	56.0	38.2	55.0	56.0	25.5	11.7	518.4
D	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	40.5	103.0	105.8	41.0	0.0	0.0	0.0	292.0
S	115.6	99.0	68.4	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.9	163.2	563.1

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 150mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	8.6	12.6	27.0	49.0	90.7	129.6	159.0	144.4	95.5	56.0	25.5	11.7	809.6
P	124.2	111.6	95.4	78.0	69.3	43.5	32.0	31.2	54.0	99.5	167.9	174.9	1.081.5
P - PE	115.6	99.0	68.4	29.0	-21.4	-86.1	-127.0	-113.2	-41.5	43.5	142.4	163.2	271.9
APWL	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.7	-108.2	-235.2	-348.0	-390.0	0.0	0.0	0.0	
ST	150.0	150.0	150.0	150.0	130.0	73.0	31.0	15.0	11.0	55.0	150.0	150.0	
ΔST	0.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	-57.0	-42.0	-16.0	-4.0	44.0	95.0	0.0	
AE	8.6	12.6	27.0	49.0	89.3	100.5	74.0	47.2	58.0	56.0	25.5	11.7	559.4
D	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	29.5	85.0	96.8	38.0	0.0	0.0	0.0	251.0
S	115.6	99.0	68.4	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.9	163.2	522.1

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 200mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	8.6	12.6	27.0	49.0	90.7	129.6	159.0	144.4	95.5	56.0	25.5	11.7	809.6
P	124.2	111.6	95.4	78.0	69.3	43.5	32.0	31.2	54.0	99.5	167.9	174.9	1.081.5
P - PE	115.6	99.0	68.4	29.0	-21.4	-86.1	-127.0	-113.2	-41.5	43.5	142.4	163.2	271.9
APWL	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.7	-108.2	-235.2	-348.0	-390.0	0.0	0.0	0.0	
ST	200.0	200.0	200.0	200.0	179.0	116.0	62.0	35.0	28.0	72.0	200.0	200.0	
ΔST	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.0	-63.0	-54.0	-27.0	-7.0	44.0	128.0	0.0	
AE	8.6	12.6	27.0	49.0	90.3	106.5	86.0	58.2	61.0	56.0	25.5	11.7	592.4
D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	23.5	73.0	85.8	35.0	0.0	0.0	0.0	218.0
S	115.6	99.0	68.4	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	163.2	489.1

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 300mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	8.6	12.6	27.0	49.0	90.7	129.6	159.0	144.4	95.5	56.0	25.5	11.7	809.6
P	124.2	111.6	95.4	78.0	69.3	43.5	32.0	31.2	54.0	99.5	167.9	174.9	1.081.5
P - PE	115.6	99.0	68.4	29.0	-21.4	-86.1	-127.0	-113.2	-41.5	43.5	142.4	163.2	271.9
APWL	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.7	-108.2	-235.2	-348.0	-390.0	0.0	0.0	0.0	
ST	300.0	300.0	300.0	300.0	279.0	209.0	137.0	94.0	82.0	126.0	268.0	300.0	
ΔST	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.0	-70.0	-72.0	-43.0	-12.0	44.0	142.0	32.0	
AE	8.6	12.6	27.0	49.0	90.3	113.5	104.0	74.2	66.0	56.0	25.5	11.7	638.4
D	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	16.5	55.0	69.8	30.0	0.0	0.0	0.0	172.0
S	115.6	99.0	68.4	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	130.9	442.9

ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ 100mm													
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	4.4	8.2	25.2	54.4	96.5	132.8	157.5	139.5	96.2	57.2	25.2	9.1	806.2
P	55.7	32.6	39.0	38.6	50.0	44.1	30.5	31.0	47.0	48.8	72.9	73.2	563.4
P - PE	51.3	24.4	13.8	-15.8	-46.5	-88.7	-127.0	-108.5	-49.2	-8.4	47.7	64.1	-242.8
APWL	0.0	0.0	0.0	-15.4	-62.4	-151.3	-278.8	-387.8	-436.8	-445.0	0.0	0.0	
ST	100.0	100.0	100.0	86.0	54.0	22.0	6.0	2.0	1.0	1.0	49.0	100.0	
ΔST	0.0	0.0	0.0	-14.0	-32.0	-32.0	-16.0	-4.0	-1.0	0.0	48.0	51.0	
AE	4.4	8.2	25.2	52.6	82.0	76.1	46.5	35.0	48.0	48.8	25.2	9.1	461.1
D	0.0	0.0	0.0	1.4	15.0	56.9	111.5	105.0	48.0	8.2	0.0	0.0	346.0
S	51.3	24.4	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	102.7

ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ 150mm

	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	4.4	8.2	25.2	54.4	96.5	132.8	157.5	139.5	96.2	57.2	25.2	9.1	806.2
P	55.7	32.6	39.0	38.6	50.0	44.1	30.5	31.0	47.0	48.8	72.9	73.2	563.4
P - PE	51.3	24.4	13.8	-15.8	-46.5	-88.7	-127.0	-108.5	-49.2	-8.4	47.7	64.1	-242.8
APWL	0.0	0.0	0.0	-15.4	-62.4	-151.3	-278.8	-387.8	-436.8	-445.0	0.0	0.0	
ST	150.0	150.0	150.0	135.0	99.0	55.0	23.0	11.0	8.0	8.0	56.0	120.0	
ΔST	30.0	0.0	0.0	-15.0	-36.0	-44.0	-32.0	-12.0	-3.0	0.0	48.0	64.0	
AE	4.4	8.2	25.2	53.6	86.0	88.1	62.5	43.0	50.0	48.8	25.2	9.1	504.1
D	0.0	0.0	0.0	0.4	11.0	44.9	95.5	97.0	46.0	8.2	0.0	0.0	303.0
S	21.7	24.4	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.9

ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ 200mm

	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	4.4	8.2	25.2	54.4	96.5	132.8	157.5	139.5	96.2	57.2	25.2	9.1	806.2
P	55.7	32.6	39.0	38.6	50.0	44.1	30.5	31.0	47.0	48.8	72.9	73.2	563.4
P - PE	51.3	24.4	13.8	-15.8	-46.5	-88.7	-127.0	-108.5	-49.2	-8.4	47.7	64.1	-242.8
APWL	0.0	0.0	0.0	-15.4	-62.4	-151.3	-278.8	-387.8	-436.8	-445.0	0.0	0.0	
ST	186.0	200.0	200.0	185.0	146.0	94.0	50.0	29.0	23.0	22.0	70.0	134.0	
ΔST	52.0	14.0	0.0	-15.0	-39.0	-52.0	-44.0	-21.0	-6.0	-1.0	48.0	64.0	
AE	4.4	8.2	25.2	53.6	89.0	96.1	74.5	52.0	53.0	49.8	25.2	9.1	540.1
D	0.0	0.0	0.0	0.4	8.0	36.9	83.5	88.0	43.0	7.2	0.0	0.0	267.0
S	0.0	10.6	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4

ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ 300mm

	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ε
PE	4.4	8.2	25.2	54.4	96.5	132.8	157.5	139.5	96.2	57.2	25.2	9.1	806.2
P	55.7	32.6	39.0	38.6	50.0	44.1	30.5	31.0	47.0	48.8	72.9	73.2	563.4
P - PE	51.3	24.4	13.8	-15.8	-46.5	-88.7	-127.0	-108.5	-49.2	-8.4	47.7	64.1	-242.8
APWL	0.0	0.0	0.0	-45.9	-92.9	-181.8	-309.3	-418.3	-467.3	-445.0	0.0	0.0	
ST	232.0	257.0	271.0	257.0	220.0	164.0	107.0	74.0	63.0	68.0	116.0	180.0	
ΔST	52.0	25.0	14.0	-14.0	-37.0	-56.0	-57.0	-33.0	-11.0	5.0	48.0	64.0	
AE	4.4	8.2	25.2	52.6	87.0	100.1	87.5	64.0	58.0	53.8	25.2	9.1	575.1
D	0.0	0.0	0.0	1.4	10.0	32.9	70.5	76.0	38.0	3.2	0.0	0.0	232.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0