



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ-ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Το υδατικό αποτύπωμα του αμπελιού στην Ελλάδα»



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΩΡΑΪΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΕΜ: 00833

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΑΣΠΙΔΟΥ ΧΡΥΣΗ

ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΒΟΛΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 14219/1
Ημερ. Εισ.: 03-08-2017
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2015
ΜΩΡ

© 2015 Μωραΐτης Γεώργιος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Μέλη Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Λασπίδου Χρυσή

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Κανακούδης Βασίλειος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σπηλιωτόπουλος Μάριος

Μέλος Ε.ΔΙ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια, κυρία Λασπίδου, για όλη τη βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε όλα τα χρόνια που τη γνωρίζω, αλλά και για τις ωραίες συζητήσεις και την υπομονή που έχει δείξει. Οφείλω να ευχαριστήσω και τα δύο μέλη της επιτροπής, τον κύριο Κανακούδη και τον κύριο Σπηλιωτόπουλο, που αποδέχθηκαν να κρίνουν την προσπάθεια αυτή αλλά και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν.

Για τη βοήθεια τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου και τα υπέροχα χρόνια που περάσαμε στο Βόλο, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου Βασίλη Παπαδήμα, Γιαννούλα Χατζοπούλου, Ιωάννα Παπαδιώτη, Φυλλιώ Αζαριάδη, Μαίρη Σουμπάκα, Κώστα Μακρή, Γρηγόρη Σαρβάνη, Αχιλλέα Μανώλη και Χάρη Σιδέρη. Ένα μεγάλο ευχαριστώ, για τις ατελείωτες ώρες υπομονής και βοήθειας τις τελευταίες εβδομάδες της διπλωματικής, στον Γιάννη Γαλιατσάτο.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την ηθική, κυρίως, υποστήριξη ώστε να επιτύχω τους στόχους μου και τις καθημερινές προσπάθειες που καταβάλλουν για το μέλλον μου.

Γιώργος Μωραΐτης,
Βόλος, Σεπτέμβριος 2015

Πρόλογος

Το υδατικό αποτύπωμα του αμπελιού στην Ελλάδα. Σε αυτή τη μελέτη υπολογίζονται τα πράσινα, μπλε και γκρι υδατικά αποτυπώματα των αμπελώνων της Ελλάδας για 56 ποικιλίες αμπέλου με έτος βάσης το 2011. Οι αμπελώνες προέρχονται από τον χάρτη χρήσης γης CORINE 2000 (CLC2000) και τα κλιματολογικά τους δεδομένα από ένα σύνολο 116 σταθμών ανά την Ελλάδα. Για τον υπολογισμό των υδατικών αποτυπωμάτων είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, των αρδευτικών αναγκών και της ετήσιας έκπλυσης αζώτου για κάθε αμπελώνα. Τα δεδομένα που απαιτούνται για τους παραπάνω υπολογισμούς προέρχονται από χάρτες, εμπειρικές σχέσεις και πεδοσυναρτήσεις διεθνώς αποδεκτές και εφαρμοζόμενες. Οι υδατικοί συντελεστές μεταξύ των ποικιλιών διαφέρουν μεταξύ τους, κυρίως λόγω της χρονικής μεταβλητής των σταδίων του καλλιεργητικού τους κύκλου αλλά και της χρήσης για την οποία προορίζονται (οινοποιήσιμες, επιτραπέζιες). Οι διαφορές των αποτυπωμάτων της ίδιας ποικιλίας, σε διαφορετικές αμπελοπαραγωγικές περιοχές, δικαιολογούνται από τις κλιματολογικές και εδαφολογικές διαφορές που παρατηρούνται. Σε αυτή την εργασία, εκτός του υπολογισμού των αποτυπωμάτων, γίνονται πιο ξεκάθαρες οι επιδράσεις των διαφόρων παραγόντων της καλλιέργειας της αμπέλου στο τελικό αποτέλεσμα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Πρόλογος.....	ii
Λίστα Εικόνων	v
Λίστα Πινάκων.....	vi
1. Εισαγωγή	1
2. Πράσινο υδατικό αποτύπωμα.....	6
2.1 Εξάτμιση	7
2.2 Διαπνοή	7
2.3 Εξατμισοδιαπνοή	8
2.4 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς, ET_0	10
2.5 Ψυχομετρική σταθερά, γ	14
2.6 Ταχύτητα του ανέμου, u_2	14
2.7 Κλίση καμπύλης πίεσης κορεσμού υδρατμών, Δ	15
2.8 Πίεση κορεσμού των υδρατμών, e_s	16
2.9 Πραγματική πίεση υδρατμών, e_a	16
2.10 Καθαρή ακτινοβολία, R_n	17
2.11 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σε βέλτιστες συνθήκες, ET_c	21
2.12 Συντελεστής καλλιέργειας αρχικής περιόδου, $K_{c_{ini}}$	26
2.13 Χαρακτηριστική καμπύλη εδαφικής υγρασίας, $XKY \theta(\psi)$	30
2.11Πεδοσυναρτήσεις, Pedotransfer functions (PTf)	32
2.14 Μέθοδος απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number) της SCS.....	36
2.15 Συντελεστής καλλιέργειας μέσης περιόδου, $K_{c_{mid}}$	43
2.16 Συντελεστής καλλιέργειας τελικού σταδίου, $K_{c_{end}}$	45
2.17 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, $ET_{c_{adj}}$	47
3.Μπλε υδατικό αποτύπωμα	54
4.Γκρι υδατικό αποτύπωμα.....	57
5. Αποτελέσματα	61
6. Σχόλια	70
Βιβλιογραφία	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	75

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Μεταβολή ποσοστού συμμετοχής στην εξατμισοδιαπνοή στην διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης μίας ετήσιας καλλιέργειας [1]	9
Εικόνα 2. Τυπικό διάγραμμα αναλογίας εδαφικής εξάτμισης προς εξατμισοδιαπνοή και ύψους εδαφικής υγρασίας που έχει εξατμιστεί [1].....	28
Εικόνα 3. Ιδεατή χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας [13].....	31
Εικόνα 4. Τρίγωνο μηχανικής σύστασης κατά HYPRES [21].....	33
Εικόνα 5. Τυπική μορφή συντελεστών καλλιέργειας, παράδειγμα ελάχιστων τιμών συντελεστών καλλιέργειας, από τους υπολογισμούς για την ποικιλία Ρομπόλα.	42
Εικόνα 6. Τυπική μορφή συντελεστών καλλιέργειας, παράδειγμα μέγιστων τιμών συντελεστών καλλιέργειας, από τους υπολογισμούς για την ποικιλία Ρομπόλα.	42
Εικόνα 7. Μεταβολές του συντελεστή καλλιέργειας για 4 συνθήκες ελάχιστης υγρασίας βάσει διαφορετικών υψών καλλιέργειας και εντάσεων ανέμων.....	44
Εικόνα 8. Δυνητική εξατμισοδιαπνοή, βάσει Penman-Monteith και μεταβολή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής αμπέλου συναρτήσει της ηλικίας της. Περιοχή μελέτης Ουάσιγκτον, ΗΠΑ. [29]	46
Εικόνα 9. Τρισδιάστατη γραφική αναπαράσταση της εξίσωσης 46 για όλες τις πιθανές κοκκομετρίες εδάφους για σταθερές τιμές πυκνότητας, βάθους ρίζας και ποσοστό οργανικής ύλης.....	49
Εικόνα 10. Μέσο Υδατικό Αποτύπωμα για την Παραγωγή της Ποικιλίας (α) Ασύρτικο (β) Αγιωργήτικο (γ) Αθήρι	63
Εικόνα 11. Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας (α) Sauvignon blanc (β) Ραζακί	65
Εικόνα 12. Αναλογία αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Σουλτανίνα για οινοποίηση.....	66

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Προτεινόμενα στάδια καλλιεργητικού κύκλου για 5 καλλιέργειες [1]....	24
Πίνακας 2. Ενδεικτικές τιμές συντελεστών καλλιέργειας και μέγιστου ύψους [1] ...	26
Πίνακας 3. Αναφορά 7 συνεχών πεδοσυναρτήσεων για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών του εδάφους.....	34
Πίνακας 4. Εδαφικοί τύποι SCS και αντίστοιχοι ρυθμοί διήθησης [24].....	38
Πίνακας 5. AMC με βάση το συνολικό ύψος βροχής (mm) των προηγούμενων 5 ημερών.....	39
Πίνακας 6. Συντελεστές CN για διαφορετικές χρήσεις γης, διαχείρισης, υδρολογικών συνθηκών και υδρολογικών εδαφικών τύπων θεωρώντας AMC II και $I_a=0.2S$ [24].....	39
Πίνακας 7. Ανώτερα όρια χρήσης νερού (mm) για άρδευση αμπελώνων ανά υδατικό διαμέρισμα. Τα όρια ισχύουν ανά μήνα και όχι αθροιστικά.	52
Πίνακας 8. Απόδοση άρδευσης ανά μέθοδο [43].....	55

1. Εισαγωγή

Το υδατικό αποτύπωμα (Water Footprint) ενός προϊόντος, συχνά αναφέρεται και ως «περιεχόμενο εικονικό νερό» (Virtual Water Content) του προϊόντος. Η χρήση των όρων «περιεχόμενο εικονικό νερό» και «ενσωματωμένο νερό» αναφέρονται αποκλειστικά στην ποσότητα νερού που ενσωματώνεται στο προϊόν, ενώ ο όρος «υδατικό αποτύπωμα» αναφέρεται, εκτός από τον όγκο του νερού, στην προέλευση και την χρονική περίοδο που χρησιμοποιήθηκε. Έτσι, το υδατικό αποτύπωμα WF ενός προϊόντος αποτελεί πολυδιάστατο δείκτη χρήσης νερού για το προϊόν [38]. Το εικονικό νερό VW, χρησιμοποιείται σαν όρος σε επίπεδο υπερτοπικών ή διεθνών μεταφορών (εικονικού) νερού μέσω των προϊόντων.

Το υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος καθορίζεται από τη συνολική ποσότητα γλυκού νερού που χρησιμοποιείται, άμεσα ή έμμεσα, για την παραγωγή του. Υπολογίζεται από την καταναλωτική χρήση νερού και την μόλυνση σε όλα τα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας. Ασφαλώς και η χρήση νερού ή η μόλυνση δεν υπάρχει μόνο στο στάδιο παραγωγής του προϊόντος αλλά μπορεί να επέλθει με τη χρήση του. Αυτός ο παράγοντας χρήσης νερού δεν υπολογίζεται στο υδατικό αποτύπωμα του προϊόντος αλλά σε αυτό του καταναλωτή. Στην περίπτωση των αγροτικών προϊόντων, το WF εκφράζεται συνήθως ανά κιλό ή τόνο παραγόμενου προϊόντος (m^3/ton ή litres/kg) ενώ σε περιπτώσεις που το προϊόν αποτελεί μονάδα μέτρησης, συνηθίζεται έκφραση ανά κομμάτι. Συσχέτιση του WF μπορεί να γίνει και με την τιμή πώλησης του προϊόντος, δίνοντας μια αίσθηση για το οικονομικό όφελος που προσφέρει η χρήση του νερού.

Το υδατικό αποτύπωμα χωρίζεται ανάλογα την προέλευση του σε:

- Πράσινο
- Μπλε
- Γκρι

Το πράσινο υδατικό αποτύπωμα, αποτελεί δείκτη χρήσης του πράσινου νερού. Ως πράσινο νερό, ονομάζεται το νερό που προέρχεται από βροχοπτώσεις αλλά δεν απορρέει επιφανειακά, ούτε διηθείται στους υπόγειους υδροφορείς. Πρόκειται για το

νερό που αποθηκεύεται στο έδαφος ή προσωρινά στο φύλλωμα των φυτών ή την εδαφική επιφάνεια και τελικά εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά [38].

Το μπλε υδατικό αποτύπωμα, αποτελεί το δείκτη κατανάλωσης αυτού που ονομάζεται μπλε νερό. Με τον όρο μπλε νερό εννοούμε το γλυκό νερό από υπόγειους ή επιφανειακούς υδατικούς πόρους.

Το τρίτο κομμάτι του υδατικού αποτυπώματος, αφορά στην προσομοίωση της μόλυνσης από μια παραγωγική διαδικασία. Το γκρι υδατικό αποτύπωμα ορίζεται ως η ποσότητα γλυκού νερού που απαιτείται για την αφομοίωση του παράγοντα ρύπανσης, με βάση την υφιστάμενη κατάσταση του αποδέκτη και τα ελάχιστα αποδεκτά όρια.

Ο διαχωρισμός της κατανάλωσης νερού για την παραγωγική διαδικασία σε πράσινο και μπλε νερό έχει μεγάλη σημασία λόγω των διαφορών που παρουσιάζονται μεταξύ των δύο πηγών τους. Η πρώτη διαφορά είναι η ευκολία και το κόστος εκμετάλλευσης του καθενός. Η ποσότητα βροχής που δεσμεύεται από το χώμα μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμη για τις ανάγκες των καλλιεργειών χωρίς κάποιο κόστος, αφού η πρόσληψη γίνεται απευθείας από τις ρίζες των φυτών. Η κακή διαχείριση του εδάφους της καλλιέργειας ή η υδροβόρα φύση του φυτού μπορεί να οδηγήσει σε μείωση αυτού σε σημείο που παύει να είναι διαθέσιμο. Τότε προκύπτει η ανάγκη άντλησης νερού από τους υπόγειους υδροφορείς ή από κάποια επιφανειακή πηγή. Η μεταφορά του απαιτούμενου όγκου, εκτός τους κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας των υποδομών, εμπεριέχει και άλλο ένα κόστος. Το κόστος ευκαιρίας αυτού του όγκου νερού που αντλείται για μια χρήση. Όταν το νερό αυτό αντλείται από ένα φυσικό πόρο παύει να είναι διαθέσιμο για άλλη χρήση. Ειδικά σε περιπτώσεις που ο υδατικός πόρος έχει μειωμένο δυναμικό, τότε η ποσότητα αυτή έχει μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής σε αυτό. Αν δεν υπάρχει ορθολογική διαχείριση του πόρου και συγκεκριμένα των αντλήσεων που γίνονται από αυτόν, τότε το πρόβλημα απλά επιδεινώνεται. Επιπλέον σημασία έχει και η χρονική παράμετρος της απόληψης. Σε περιόδους χαμηλού υδατικού δυναμικού η πίεση που ασκείται από την άντληση μιας απολύτως δικαιολογημένης και αναγκαίας ποσότητας X είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι σε περιόδους επάρκειας.

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός των υδατικών αποτυπώματων της διαδικασίας παραγωγής σταφυλιού στην Ελλάδα. Οι μεταβλητές κάθε αποτυπώματος υπολογίστηκαν ξεχωριστά, με τα εξής βήματα:

- Υπολογισμός Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής Αμπέλου
- Υπολογισμός Ανάγκης Άρδευσης
- Υπολογισμός Έκπλυσης αζώτου από νιτρικά λιπάσματα

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι η προτεινόμενη από τον FAO. Αρχικά προσδιορίστηκε η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς, στη συνέχεια η εξατμισοδιαπνοή σε βέλτιστες συνθήκες με χρήση κατάλληλα τροποποιημένων συντελεστών και τέλος η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της αμπέλου. Για τα στάδια υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, τα απαραίτητα κλιματολογικά δεδομένα προήλθαν από αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς του ΕΑΑ και της ΕΜΥ. Η ενεργός βροχόπτωση υπολογίστηκε με τη μέθοδο CN της SCS. Δεδομένα που αφορούσαν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους υπολογίστηκαν με τη χρήση της πεδοσυνάρτησης HYPRES και την εξίσωση του van Genuchten για την χαρακτηριστική καμπύλη του εδάφους. Εδαφολογικά δεδομένα απαραίτητα για την επίλυση της HYPRES προήλθαν από χάρτες που παρασχέθηκαν από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (Joint Research Centre). Επιπλέον υποθέσεις για συντελεστές εξισώσεων ή υποθέσεις έγιναν βάσει της βιβλιογραφίας. Ο προσδιορισμός της θέσης και του μεγέθους κάθε αμπελώνα έγινε με τη χρήση του χάρτη χρήσης γης CORINE 2000. Στοιχεία για τις ποικιλίες και τα ποσοστά καλλιέργειας τους ανά περιφέρεια, βρέθηκαν από την ΕΛΣΤΑΤ. Τα φαινολογικά στάδια ή στάδια του καλλιεργητικού κύκλου της αμπέλου, για κάθε ποικιλία, βρέθηκαν από βιβλιογραφία. Οι υπολογισμοί των εξισώσεων έγιναν με τη χρήση Excel ενώ για τα κλιματολογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά κάθε αμπελώνα έγινε χρήση της πλατφόρμας Arc-GIS. Τα υδατικά αποτυπώματα προσδιορίζονται ανά ποικιλία και περιφέρεια και εμφανίζονται σε γραφήματα στο τέλος της εργασίας.

Η δομή της διπλωματικής είναι η εξής:

- Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή. Γίνεται μια μικρή εισαγωγή στην έννοια του υδατικού αποτυπώματος και παρουσιάζεται συνοπτικά ο στόχος και η μεθοδολογία της εργασίας
- Κεφάλαιο 2 Πράσινο υδατικό αποτύπωμα. Ορίζεται το πράσινο υδατικό αποτύπωμα. Σε αυτό το κεφάλαιο βρίσκονται οι εξισώσεις και οι μεθοδολογίες που προτείνονται από τον FAO για να υπολογιστεί η

εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Παρουσιάζεται συνοπτικά η επεξεργασία κάποιων δεδομένων και στη συνέχεια αναλύονται οι παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Ακολουθεί ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Συνέχεια έχει ο υπολογισμός των συντελεστών καλλιέργειας και των δεδομένων που απαιτούνται. Για την εύρεση των συντελεστών καλλιέργειας χρειάζεται να υπολογιστούν πρώτα οι κατ' όγκο περιεκτικότητες σε νερό του εδάφους και η ενεργή βροχόπτωση σε κάθε αμπελώνα. Για τις ανάγκες υπολογισμού αυτών των μεταβλητών γίνεται χρήση της εξίσωσης van Genuchten για τη χαρακτηριστική καμπύλη, της πεδοσυνάρτησης HYPRES αλλά και της μεθόδου απορροϊκού συντελεστή της SCS για τη βροχόπτωση. Για την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, υπολογίστηκε το υδατικό ισοζύγιο κάθε αμπελώνα και βρέθηκαν οι αρδευτικές του ανάγκες καθώς και ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης. Τέλος υπολογίστηκε το πράσινο υδατικό αποτύπωμα όλων των αμπελώνων για κάθε ποικιλία.

- Κεφάλαιο 3 Μπλε υδατικό αποτύπωμα. Ορίζεται το μπλε υδατικό αποτύπωμα και η εφαρμοζόμενη άρδευση βάσει του συντελεστή αποδοτικότητας e_a . Τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό του αποτυπώματος έχουν υπολογισθεί και αναλυθεί στο κεφάλαιο 1. Υπολογίζεται το μπλε υδατικό αποτύπωμα όλων των αμπελώνων για κάθε ποικιλία.
- Κεφάλαιο 4 Γκρι υδατικό αποτύπωμα. Ορίζεται το γκρι υδατικό αποτύπωμα. Γίνεται χρήση της εξίσωσης de Willigen για τον προσδιορισμό της ετήσιας έκπλυσης αζώτου από την εφαρμογή νιτρικών λιπασμάτων στο αμπέλι. Υπολογίζεται το γκρι υδατικό αποτύπωμα.
- Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα και σχόλια. Παρουσιάζονται ενδεικτικά γραφήματα των υδατικών αποτυπώματων για κάποιες ποικιλίες και γίνεται σχολιασμός τους με βάση τις υποθέσεις που έχουν προηγηθεί για τον υπολογισμό τους.
 - Παράρτημα. Στο παράρτημα, ο αναγνώστης θα βρει όλα τα αποτελέσματα της διπλωματικής, καθώς και κάποιους πίνακες με δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.

2. Πράσινο υδατικό αποτύπωμα

Το πράσινο υδατικό αποτύπωμα αποτελεί δείκτη χρήσης του πράσινου νερού. Ως πράσινο νερό ορίζεται το νερό που προέρχεται από βροχοπτώσεις αλλά δεν απορρέει επιφανειακά ούτε διηθείται στους υπόγειους υδροφορείς. Πρόκειται για το νερό που αποθηκεύεται στο έδαφος ή προσωρινά στο φύλλωμα των φυτών ή την εδαφική επιφάνεια και τελικά εξατμίζεται ή διαπνέεται από τα φυτά [38]. Το πράσινο νερό μιας περιοχής δεν δεσμεύεται πλήρως για τους καλλιεργητικούς σκοπούς ενός φυτού, καθώς υπάρχει το φαινόμενο της εξάτμισης που χρησιμοποιεί ένα ποσοστό, αλλά επίσης επειδή υπάρχουν περίοδοι που το φυτό δεν είναι «ενεργό».

Το πράσινο υδατικό αποτύπωμα αποδίδει το συνολικό ύψος του νερού, προερχόμενου από βροχόπτωση, που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Αυτός ο χρονικός προσδιορισμός έχει μεγάλη σημασία στην περίπτωση υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος της παραγωγής αγροτικών προϊόντων, [38] όπου η χρήση πράσινου νερού κατηγοριοποιείται ως:

- Εξατμισοδιαπνοή από το φυτό και την περιοχή της καλλιέργειας
- Ενσωμάτωση στο παραγόμενο προϊόν

Η εξατμισοδιαπνοή είναι άμεσα συναρτώμενη της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας, όπως θα αναλυθεί και αργότερα. Συχνά, οι υδατικές ανάγκες του φυτού δεν καλύπτονται πλήρως ή καθόλου από το νερό που προέρχεται από τη βροχή. Αυτό συμβαίνει είτε λόγω των τεράστιων αναγκών του φυτού σε νερό από τη φύση του (υδροβόρες καλλιέργειες), είτε λόγω μικρών υψών βροχής και κακών εδαφολογικών συνθηκών. Στην περίπτωση που αυτό συμβεί σε μια καλλιέργεια, επεμβαίνει ο ανθρώπινος παράγοντας, μέσω της χρήσης νερού για άρδευση. Το εισαγόμενο από την άρδευση νερό, μπορεί να αποθηκεύεται στο έδαφος, όμως επειδή δεν προέρχεται άμεσα από τη βροχόπτωση δεν αθροίζεται με το πράσινο νερό στους υπολογισμούς του αποτυπώματος. Για τον υπολογισμό του πράσινου υδατικού αποτυπώματος αγροτικών προϊόντων, συνηθίζεται να παραλείπεται η ποσότητα νερού που ενσωματώνεται στο προϊόν, αφού θεωρείται πολύ μικρή σε σχέση με την συνολική εξατμισοδιαπνοή και επιπλέον είναι πρακτικά αδύνατος ο διαχωρισμός του ενσωματωμένου νερού σε νερό από τη βροχή ή το πότισμα.

Όπως αναφέρθηκε, συχνά οι υδατικές ανάγκες του νερού για την ικανοποίηση της εξατμισοδιαπνοής του προέρχονται από το πότισμα. Ως αποτέλεσμα, δεν μπορεί να αποδοθεί ολόκληρη η εξατμισοδιαπνοή στο πράσινο υδατικό αποτύπωμα. Το ύψος νερού που εισρέει και αποθηκεύεται στο έδαφος από ένα γεγονός βροχής ονομάζεται ενεργή βροχόπτωση P_e και αποτελεί την ανανέωση του πράσινου νερού. Σε περίπτωση που η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπερβαίνει το άθροισμα ΣP_e τότε μόνο η ποσότητα αυτή υπολογίζεται ως WF_{green} ενώ η διαφορά της από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή καλύπτεται μέσω άρδευσης.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, έγινε χρήση της προτεινόμενης από τον FAO μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για 56 ποικιλίες αμπέλου σε όλους τους αμπελώνες της Ελλάδας.

2.1 Εξάτμιση

Στην υδρολογία, ως εξάτμιση εννοείται το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο το νερό (υγρή φάση) μετατρέπεται σε υδρατμούς (αέρια φάση) και διαφεύγει από μία επιφάνεια. Τέτοιες επιφάνειες είναι λίμνες, φράγματα, ποτάμια αλλά και το έδαφος και η επιφάνεια των φύλλων ενός φυτού. Για την αλλαγή φάσης απαιτείται δέσμευση ενέργειας, η οποία μπορεί να προέλθει από την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος με θερμές αέριες μάζες και την αποθηκευμένη θερμότητα στο έδαφος. Καθώς το νερό εξατμίζεται, ο αέρας γίνεται κορεσμένος και ο ρυθμός μεταβολής μειώνεται ή ακόμα και μηδενίζεται, αν δεν υπάρχει υποκατάσταση με ακόρεστο αέρα μέσω των ανέμων.

Όταν η εξεταζόμενη επιφάνεια εξάτμισης είναι το έδαφος, η σκίαση από φυτά, ορεινούς όγκους ή ανθρωπογενείς κατασκευές και το διαθέσιμο νερό στη ζώνη εξάτμισης αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό του φαινομένου [1],[2].

2.2 Διαπνοή

Διαπνοή είναι η διεργασία μέσω της οποίας η υγρασία μεταφέρεται από τις ρίζες των φυτών μέχρι τους μικρούς πόρους που βρίσκονται στο κάτω μέρος των φύλλων όπου και μετατρέπεται σε υδρατμό και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα [4]. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή είναι η θερμοκρασία, η σχετική

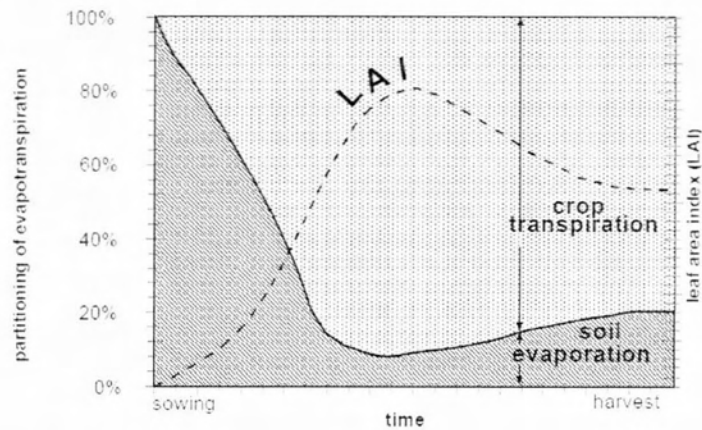
υγρασία, ο άνεμος αλλά και ο τύπος του φυτού, αφού ο ρυθμός διαπνοής διαφέρει μεταξύ των φυτών, τόσο λόγω πρακτικών καλλιέργειας όσο και λόγω της φυσιολογίας τους. Η διαθέσιμη υγρασία αλλά και η ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει νερό στις ρίζες των φυτών είναι επίσης παράγοντας που επηρεάζει το ρυθμό της διαπνοής.

Οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι (ωκεανοί, λίμνες, ποτάμια κλπ) παρέχουν το 90% της ατμοσφαιρικής υγρασίας μέσω της εξάτμισης ενώ τα φυτά, μέσω της διαπνοής, παρέχουν το υπόλοιπο 10% [4].

2.3 Εξατμισοδιαπνοή

Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται το σύνολο των απωλειών από τη συνδυασμένη διαδικασία της διαπνοής της χλωρίδας και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους και των υγρών φύλλων. Ο διαχωρισμός των δύο αυτών φαινομένων είναι δύσκολος, καθώς συμβαίνουν ταυτόχρονα και αλληλοεπηρεάζονται.

Σε μια καλλιέργεια για παράδειγμα, όσο το φυτό αναπτύσσει το φύλλωμα του, μειώνει το ποσοστό του εδάφους που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία, άρα και την μέγιστη ενέργεια που μπορεί να δεσμευτεί για την εξάτμιση της εδαφικής υγρασίας. Επιπλέον, ειδικά στην περίπτωση θαμνώδους βλάστησης, μεταβάλλεται η ένταση του ανέμου, άρα και ο ρυθμός ανανέωσης του κορεσμένου αέρα, ανάμεσα στο έδαφος και το φυτό. Αποτέλεσμα αυτού του συνδυασμού είναι η μείωση του ρυθμού εδαφικής εξάτμισης, άρα και του ποσοστού συμμετοχής της στην εξατμισοδιαπνοή [εικ. 1].



Εικόνα 1. Μεταβολή ποσοστού συμμετοχής στην εξατμισοδιαπνοή στην διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης μίας ετήσιας καλλιέργειας [1]

Υπάρχουν φυσικές μέθοδοι για την εκτίμηση της εξατμίσης (εξατμισίμετρα, λυσίμετρα), αλλά η συνολική εξατμοδιαπνεόμενη ποσότητα υπολογίζεται εμμέσως, από το υδρολογικό ισοζύγιο, με θεωρούμενες γνωστές τις τιμές των άλλων παραμέτρων. Στα πλαίσια των υδρολογικών και υδρογεωλογικών μελετών διακρίνεται η θεώρηση της δυνητικής, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής [2] και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Τα τελευταία 50 περίπου χρόνια δημιουργήθηκαν πολλές φόρμουλες, κυρίως εμπειρικές, για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Κοινό χαρακτηριστικό όλων ήταν η περιορισμένη ισχύς τους, αφού απαιτούσαν βαθμονόμηση σε τοπικές συνθήκες χωρίς πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Από τις πρώτες προτεινόμενες για παγκόσμια χρήση μεθόδους ήταν οι Blaney-Criddle και η τροποποιημένη Penman, με την τελευταία να υπερεκτιμά την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς. Με το πέρασ κάποιων χρόνων και την περαιτέρω έρευνα του φαινομένου, δημιουργήθηκε η εξίσωση των Penman-Monteith που προτείνεται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής παγκοσμίως.

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, για τον καθορισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των αμπελώνων ακολουθήθηκε η προτεινόμενη από τον FAO διαδικασία.

Τα στάδια της διαδικασίας είναι τα εξής:

- Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς, ET_0
- Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας σε βέλτιστες συνθήκες, ET_c
- Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, $ET_{c_{adj}}$

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς υπολογίζεται με τη χρήση της εξίσωσης FAO Penman-Monteith για τα μετεωρολογικά δεδομένα κάθε αμπελώνα και στη συνέχεια, με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών, μετασχηματίζεται στην εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας σε βέλτιστες συνθήκες. Στο τελευταίο βήμα, αφού υπολογιστούν πιθανές υδατικές ή περιβαλλοντικές πιέσεις στην καλλιέργεια, υπολογίζεται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Σε όλα τα στάδια της διαδικασίας, κυρίως για να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως αυτό της έλλειψης δεδομένων, γίνονται κατάλληλες υποθέσεις.

2.4 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς, ET_0

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής αναφοράς λαμβάνονται υπόψη μία θεωρητική καλλιέργεια, με σταθερά χαρακτηριστικά. Ως καλλιέργεια αναφοράς, ο FAO ορίζει «μια υποθετική καλλιέργεια αναφοράς με υπόθεση ύψους 0.12 μέτρα, σταθερή συνολική αντίσταση επιφάνειας 70 δευτ/ μέτρο και λευκαύγεια (albedo) 0.23» [1]. Αυτή η υποθετική καλλιέργεια προσομοιάζει μια επιφάνεια γρασιδιού σταθερού ύψους, ενεργά αναπτυσσόμενου, που σκιάζει πλήρως το έδαφος και έχει επαρκές νερό. Με τη χρήση της εξίσωσης FAO Penman-Monteith εκφράζεται πλήρως η καλλιέργεια αναφοράς καταλήγοντας στα ασφαλέστερα και καλύτερα σε προσέγγιση αποτελέσματα για κάθε περιοχή μελέτης, συγκριτικά με τις υπόλοιπες εξισώσεις που προτάθηκαν [1]. Η τροποποιημένη μέθοδος FAO Penman-Monteith μπορεί να εκτιμήσει ικανοποιητικά την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς στο μεγαλύτερο μέρος από τις περιοχές της Ελλάδας. Ωστόσο, ακόμη και αυτή η μέθοδος τείνει να παράγει υπερεκτιμήσεις της ET_0 κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και υποεκτίμησης κατά τους χειμερινούς μήνες [5],[6],[7]. Με τη χρήση της μπορεί να εξεταστεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή εξαρτώμενη μόνο από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτό επιτρέπει την σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών κλιματολογικών συνθηκών, στους υπό μελέτη αμπελώνες.

Η εξίσωση FAO Penman-Monteith [εξ. 1] λαμβάνει υπόψη την εισαγόμενη στο σύστημα από τον ήλιο ενέργεια, την ενέργεια που απορροφά ή εκλύει το έδαφος, τη θερμοκρασία, την ένταση του ανέμου αλλά και την διαφορά στην τάση ατμών που λειτουργεί ως διαφορά δυναμικού και προκαλεί εξάτμιση.

$$ET_o = \frac{0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T + 273} * u_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0.34 * u_2)} \quad [\text{εξ.1}]$$

Όπου:

- ET_o , η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/day)
- Δ , η κλίση της καμπύλης στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας (kPa)
- R_n , η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια της καλλιέργειας (MJ/(m²*d))
- G , η κατακόρυφη ροή ενέργειας από το έδαφος που μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμική ενέργεια (MJ/(m²*d))
- γ , η ψυχομετρική σταθερά (kPa/ °C)
- T , η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε ύψος αναφοράς 2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (°C)
- u_2 , η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος αναφοράς 2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (m/s)
- e_s , η πίεση κορεσμού των υδρατμών (kPa)
- e_a , η πραγματική πίεση υδρατμών (kPa)

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τη χρήση της εξίσωσης είναι, πέρα από τις συντεταγμένες της υπό μελέτη περιοχής, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ακτινοβολία και η ένταση του αέρα για ωριαίο, ημερήσιο, δεκαήμερο ή μηνιαίο βήμα υπολογισμού. Μετά από έρευνα, οι περισσότερες πλήρεις χρονοσειρές που ήταν διαθέσιμες αφορούσαν το έτος 2011. Αυτές προέρχονται από 102 σταθμούς [πιν. Α παράρτημα] ανά την Ελλάδα και περιέχουν δεδομένα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης μηνιαία θερμοκρασίας καθώς και συνολικής μηνιαίας βροχόπτωσης, αριθμό γεγονότων βροχής ανά μήνα και μέσης μηνιαίας έντασης ανέμου. Τα δεδομένα αυτά, όπως και προηγούμενων και επόμενων από το 2011 ετών, είναι διαθέσιμα από το www.meteo.gr/meteosearch. Πρόκειται για τα δεδομένα από το σύνολο των

αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΕΑ). Το δίκτυο αυτόματων σταθμών του ΕΑΑ αποτελείται από σταθμούς τύπου Davis, οι οποίοι μετρούν όλες τις βασικές μετεωρολογικές παραμέτρους, δηλαδή πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, βροχόπτωση, διεύθυνση και ένταση του ανέμου. Όλες οι καταγραφές (ανά 10 λεπτά) συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από το ΕΑΑ και περνούν από ποιοτικό έλεγχο πριν αρχειοθετηθούν και δημοσιευθούν.

Τα υψόμετρα των σταθμών κυμαίνονται από παραθαλάσσια (3 μέτρα) έως και πολύ ορεινά (2080 μέτρα). Ενώ είναι γεγονός η ύπαρξη αμπελώνων σε υψόμετρα άνω των 1000 μέτρων, που παράγουν μάλιστα και υψηλής ποιότητας κρασιά, εντούτοις είναι ελάχιστα και σε περιοχές που δεν χαρακτηρίζονται από ανοιξιάτικους παγετούς, που μπορούν να καταστρέψουν το φυτό. Οι συνήθειες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην πλειοψηφία των πολύ ορεινών περιοχών της Ελλάδας είναι αποτρεπτικές για την καλλιέργεια αμπέλου θέτοντας έτσι ένα ανώτατο υψόμετρο για την παρούσα μελέτη. Αποκλείοντας τους σταθμούς με υψόμετρο άνω των 1000 μέτρων, γειτονικοί σταθμοί «καλύπτουν» αμπελώνες στους πρόποδες των ορεινών όγκων, που διαφορετικά θα είχαν επεξεργαστεί με βάση τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά χιονοδρομικών κέντρων. Προκύπτει λοιπόν ένα μειωμένο δίκτυο 89 μετεωρολογικών σταθμών, για τους οποίους οι χωρικές συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) και το ύψος είναι διαθέσιμα για κάθε σταθμό. Τα δεδομένα που παρέχουν οι παραπάνω σταθμοί είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, αλλά όχι αρκετά, αφού απαιτούνται και δεδομένα ηλιοφάνειας ή ακτινοβολίας.

Διαθέσιμα πλήρη στοιχεία για την ηλιοφάνεια διέθεταν 27 σταθμοί, διαφορετικοί από τους προηγούμενους, καθώς και δεδομένα θερμοκρασιών και βροχόπτωσης. Αυτοί οι σταθμοί παρέχονται από την ΕΜΥ και περιέχουν δεδομένα ακτινοβολίας στη μορφή συνολικών ωρών ηλιοφάνειας ανά μήνα. Οι μέσες ημερήσιες μηνιαίες ώρες ακτινοβολίας είναι συνήθως παραπλήσιες για περιοχές που δεν χωρίζονται από μεγάλους ορεινούς όγκους και οι αέριες μάζες που δημιουργούν τα σύννεφα είναι ίδιες για αυτές τις περιοχές [1]. Με αυτή τη λογική, ένα μικρότερο σύνολο σταθμών θα μπορούσε να παρέχει ικανοποιητική προσομοίωση της ακτινοβολίας που δέχονται οι υπό μελέτη περιοχές.

Μετεωρολογικά δεδομένα, όπως βροχή, θερμοκρασία, άνεμος, παρατηρούνται και μετρώνται από σημειακές πηγές. Όπως είναι φυσικό, αυτά τα δεδομένα χαρακτηρίζουν πλήρως την τοπική περιοχή όμως, όσο αυξάνεται η απόσταση από το σταθμό, μειώνεται και η ισχύς αυτών των δεδομένων. Για την χωρική παρεμβολή των δεδομένων, από τους σταθμούς στους υπό μελέτη αμπελώνες, υπάρχει πλήθος μεθόδων τα αποτελέσματα των οποίων διαφέρουν έντονα και κάποιες δείχνουν να προσομοιώνουν καλύτερα συγκεκριμένα μετεωρολογικά δεδομένα από άλλες. Μία σειρά από μελέτες, έδειξαν ότι οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων μεθόδων χωρικής παρεμβολής είναι λόγω της φύσης των κλιματικών παραμέτρων, της διαμόρφωσης των χωρικών δεδομένων, τις παραδοχές που γίνονται κ.λπ., και όχι από την ίδια τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής [6].

Η πλειοψηφία των επιλεγμένων σταθμών δεν έχουν πλήρεις χρονοσειρές σε προηγούμενα ή επόμενα έτη ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί ασφαλής στατιστικός έλεγχος, τόσο για τα δεδομένα του 2011 όσο και για τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής που επιλέχθηκε. Επιπλέον, ο αριθμός, αλλά και την πυκνότητα, των διαθέσιμων σταθμών θεωρήθηκαν ανεπαρκείς για να δημιουργηθούν ισοϋέτιες και ισοθερμικές καμπύλες πανελλαδικά και να παραχθεί η συνεχής μεταβολή των φαινομένων. Μέθοδοι, όπως αυτή της βροχοβαθμίδας, αγτιμετωπίζουν επίσης σημαντικά προβλήματα στην προσομοίωση της μεταβολής του φαινομένου βάσει της μεταβλητής του υψομέτρου. Η άποψη ότι το ύψος των κατακρημνισμάτων αυξάνεται όσο αυξάνεται το υψόμετρο του σταθμού, είναι γενικά αποδεκτή. Προσεκτικότερη παρατήρηση του φαινομένου αυτού στον ελλαδικό χώρο, σε σταθμούς που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους και απέχουν υψομετρικά, έδειξε ότι η μεταβολή αυτή συμβαίνει όσο πλησιάζουν τον κεντρικό ορεινό άξονα, ενώ ο ρυθμός αύξησης του μέσου ετήσιου ύψους βροχής κυμαίνεται από 35mm έως 125mm ανά 100 μέτρα στα διάφορα γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδας [8]. Με βάση τα παραπάνω, επιλέχθηκε η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen ως η απλούστερη και «ασφαλέστερη» μέθοδος για τις ανάγκες αυτής της μελέτης, αφού υπάρχει γνώση εκ των προτέρων και δεν αγνοούνται τα στατιστικά σφάλματα που καταγράφονται από πολλές εργασίες, λόγω της απλουστευτικής και ντετερμινιστικής λογικής της.

Οι μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής από μετεωρολογικά δεδομένα απαιτούν διάφορες κλιματολογικές και φυσικές παραμέτρους. Μερικά από τα στοιχεία μετριούνται άμεσα στους μετεωρολογικούς σταθμούς, ενώ άλλες

παράμετροι, που σχετίζονται με κοινώς μετρούμενα δεδομένα, μπορούν να υπολογισθούν με την βοήθεια άμεσων ή εμπειρικών σχέσεων [1]. Ακολουθεί ανάλυση όλων των βημάτων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς για κάθε παράμετρο της εξίσωσης FAO Penman-Monteith [εξ.1].

2.5 Ψυχομετρική σταθερά, γ

Η ψυχομετρική σταθερά, με μονάδες kPa/°C δίνεται από τον τύπο:

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\epsilon * \lambda} \quad [\text{εξ.2}].$$

Όπου:

c_p , η ειδική θερμότητα αέρα για σταθερή πίεση, $1.013 * 10^{-3}$ MJ/(kg*°C)

ϵ , ο λόγος μοριακών βαρών νερού προς ξηρού αέρα, αδιάστατο και ίσο με 0.622

λ , η λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσεως, 2.45 MJ/kg και

P , η ατμοσφαιρική πίεση με μονάδες kPa, που δίνεται από την εξίσωση:

$$P = 101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * z}{293} \right)^{5.26} \quad [\text{εξ.2.1}].$$

Όπου:

z , το υψόμετρο του αμπελώνα (m)

2.6 Ταχύτητα του ανέμου, u_2

Η ταχύτητα του ανέμου που εισάγεται στην εξίσωση FAO Penman-Monteith, είναι σε ύψος αναφοράς 2 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό είναι το σύνηθες ύψος των αγρομετεωρολογικών σταθμών. Οι σταθμοί, από τους οποίους προήλθαν τα δεδομένα, είναι μετεωρολογικοί και το σύνηθες ύψος τους είναι στα 10 μέτρα. Για να προσαρμοστούν τα δεδομένα ταχύτητας του ανέμου που λαμβάνονται από πηγές που διατίθενται σε ύψος μεγαλύτερο από το κανονικό ύψος των 2 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους, μια λογαριθμική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί, η οποία δίνεται από την εξίσωση 3.

$$u_2 = u_z * \frac{4.87}{\ln(67.8 * z - 5.42)} \quad [\text{εξ.3}].$$

Όπου:

u_2 , η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος αναφοράς 2 μέτρα από το έδαφος

u_z , η ταχύτητα του ανέμου όπως μετρήθηκε από το σταθμό και

z , το ύψος του σταθμού (m)

Είναι απαραίτητος ο ορισμός ενός κατώτατου ορίου ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις της αστάθειας του οριακού στρώματος και η άνωση του θερμού αέρα, στην ανταλλαγή των υδρατμών, όταν ο αέρας είναι ήρεμος. Θέτοντας τον περιορισμό

$u_2 \geq 0,5\text{m/s}$ στην εξίσωση 1, βελτιώνεται η ακρίβεια εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, υπό συνθήκες πολύ χαμηλής ταχύτητας ανέμου [1].

2.7 Κλίση καμπύλης πίεσης κορεσμού υδρατμών, Δ

Η κλίση της καμπύλης της σχέσης πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας αέρα δίνεται από την εξίσωση:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad [\text{εξ.4}].$$

Για τις ανάγκες της εξίσωσης 1, χρησιμοποιούμε την μέση ημερήσια θερμοκρασία T_{mean} (°C) στη θέση της θερμοκρασίας T στην παραπάνω εξίσωση.

2.8 Πίεση κορεσμού των υδρατμών, e_s

Η πίεση κορεσμού των υδρατμών, είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του αέρα και μπορεί να υπολογισθεί με την εξίσωση:

$$e^o = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right) \quad [\text{εξ.5}].$$

Λόγω της μη γραμμικότητας της παραπάνω εξίσωσης, η μέση πίεση κορεσμού για μια ημέρα, εβδομάδα ή μήνα θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο μέσος όρος μεταξύ της πίεσης κορεσμού της μέσης ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας αέρα. Η χρήση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, αντί των ημερήσιων ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών, οδηγεί σε χαμηλότερες εκτιμήσεις για τη μέση τάση κορεσμού των υδρατμών. Το αντίστοιχο έλλειμμα πίεσης υδρατμών, μια παράμετρος που εκφράζει την εξατμιστική δύναμη της ατμόσφαιρας, θα είναι επίσης μικρότερο και το αποτέλεσμα θα είναι υποεκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς [1]. Λόγω των παραπάνω, γίνεται χρήση της εξίσωσης 6 για τον υπολογισμό της μέσης πίεσης κορεσμού.

$$e_s = \frac{e^o_{(T_{\max})} + e^o_{(T_{\min})}}{2} \quad [\text{εξ.6}].$$

Όπου:

T_{\max} η μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία και

T_{\min} η μέση ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία.

2.9 Πραγματική πίεση υδρατμών, e_a

Καθώς η θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία πρέπει ο αέρας να ψυχθεί για να γίνει κορεσμένος, η πραγματική πίεση ατμών είναι η πίεση κορεσμού υδρατμών στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου (T_{dew}). Όταν τα δεδομένα υγρασίας λείπουν ή είναι αμφιβόλου ποιότητας, η εκτίμηση της πραγματικής πίεσης, μπορεί να επιτευχθεί με την παραδοχή ότι η θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι κοντά στην ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία. Η υπόθεση αυτή υποθέτει σιωπηρά ότι, κατά την ανατολή του ηλίου, όταν η θερμοκρασία αέρα είναι κοντά στην ελάχιστη, τότε ο αέρας είναι σχεδόν κορεσμένος με υδρατμούς και η σχετική υγρασία είναι σχεδόν 100%. [1]. Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5 και

θέτοντας $T=T_{\text{dew}}=T_{\text{min}}-1$ ($^{\circ}\text{C}$), υπολογίζεται η πραγματική πίεση υδρατμών για κάθε αμπελώνα.

2.10 Καθαρή ακτινοβολία, R_n

Ο υπολογισμός της καθαρής ακτινοβολίας γίνεται μέσα από ένα σύνολο 9 εξισώσεων, μέσω των οποίων επιδρούν οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Η εξίσωση που ορίζει την καθαρή ακτινοβολία είναι η διαφορά μεταξύ της καθαρής εισερχόμενης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος και της καθαρής εξερχόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος [εξ.7].

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad [\text{εξ.7}].$$

Η καθαρή εισερχόμενη ακτινοβολία, προκύπτει από την ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Η ανακλώμενη ακτινοβολία επηρεάζεται από τη λευκαύγεια (albedo) της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει. Βάσει αυτού του αδιάστατου παράγοντα, η ανακλώμενη αποτελεί ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας και η καθαρή εισερχόμενη ακτινοβολία R_{ns} μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$R_{ns} = (1 - a) * R_s \quad [\text{εξ.8}].$$

Όπου:

R_s , η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία

a είναι ο συντελεστής της λευκαύγειας που, όπως έχει οριστεί για την υποθετική καλλιέργεια αναφοράς, ισούται με 0.23

Αφού τα δεδομένα ηλιοφάνειας, που είναι διαθέσιμα, είναι στη μορφή των αθροισμένων ωρών ηλιοφάνειας ανά μήνα, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία R_s θα υπολογιστεί με τη χρήση του τύπου του Angstrom [εξ.9]. Η εξίσωση αυτή, συνδέει την ηλιακή ακτινοβολία με την εξωγήινη ακτινοβολία (extraterrestrial radiation) και τη διάρκεια ηλιοφάνειας.

$$R_s = \left(a_s + b_s * \frac{n}{N} \right) * R_a \quad [\text{εξ.9}].$$

Όπου:

n , οι πραγματικές ώρες ηλιοφάνειας

N , οι μέγιστες δυνητικές ώρες ηλιοφάνειας

R_a , η εξωγήινη ακτινοβολία

a_s , η σταθερά παλινδρόμησης, που εκφράζει το ποσοστό της εξωγήινης ακτινοβολίας που φτάνει στη γη σε πλήρη συννεφιά

$a_s + b_s$, το ποσοστό της εξωγήινης ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη σε συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας

Οι τιμές των a_s και b_s στην εξίσωση 9, εξαρτώνται και μεταβάλλονται βάσει των ατμοσφαιρικών συνθηκών, όπως υγρασία και αιωρούμενα σωματίδια σκόνης, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το μήνα που εξετάζεται. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις ακτινοβολίας και δεν μπορεί να γίνει βαθμονόμηση, για τη βελτιστοποίηση των συντελεστών, προτείνεται από τον FAO ως καταλληλότερη υπόθεση αυτή των $a_s=0.25$ και $b_s=0.5$ [1].

Επόμενο βήμα για τον υπολογισμό της εξίσωσης του Angstrom είναι η εύρεση των μέγιστων δυνητικών ωρών ηλιοφάνειας με την εξίσωση:

$$N = \frac{24}{\pi} * \omega_s \quad [\text{εξ.10}].$$

Όπου ω_s είναι η γωνία κλίσης του ήλιου στη δύση του.

Με τη χρήση των εξισώσεων 11 και 12, προκύπτει η τιμή της ω_s για κάθε σταθμό ηλιοφάνειας.

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta)) \quad [\text{εξ.11}].$$

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\frac{2 * \pi}{365} * J - 1.39\right) \quad [\text{εξ.12}].$$

Όπου:

φ , το γεωγραφικό πλάτος σε ακτίνια (rad)

δ , η ηλιακή απόκλιση (rad)

J , ο αριθμός της ημέρας του έτους, από 1 έως 365

Για τον υπολογισμό του λόγου n/N της εξίσωσης 9, υπολογίσθηκαν οι ω_s και N των σταθμών για κάθε μέρα του 2011 και αθροίσθηκαν οι μέρες κάθε μήνα ξεχωριστά. Ακολούθως βρέθηκε ο μηνιαίος λόγος n/N των σταθμών και χρησιμοποιήθηκε στην εξίσωση του Angstrom για την εισερχόμενη ακτινοβολία κάθε αμπελώνα. Αυτή η υπόθεση έγινε λόγω της σημαντικής διαφοράς του γεωγραφικού πλάτους του κάθε σταθμού από αυτό των αμπελώνων που υπολογίζονται με τα δεδομένα του. Το ποσοστό ηλιοφάνειας του σταθμού χρησιμοποιείται ως δείκτης των μετεωρολογικών χαρακτηριστικών που επικρατούν στην περιοχή που καλύπτει ο σταθμός. Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει τις μετρούμενες ώρες ηλιοφάνειας είναι τα χαρακτηριστικά που επικρατούν στην περιοχή του σταθμού. Ένας μεγάλος ορεινός όγκος, υψηλή δασώδης βλάστηση που περιβάλλει το σταθμό και η ύπαρξη χιονιού μπορούν να δώσουν εσφαλμένες μετρήσεις ή μετρήσεις που χαρακτηρίζουν την περιοχή με απόλυτο τρόπο και δεν είναι δυνατή η ευρύτερη χρήση τους. Δυστυχώς ένας τέτοιος έλεγχος ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης και τα δεδομένα των σταθμών θεωρήθηκαν ικανά να αναχθούν στις ευρύτερες περιοχές των πολυγώνων Thiessen.

Η τελευταία μεταβλητή της εξίσωσης 9 είναι η εισερχόμενη εξωγήινη ακτινοβολία R_a . Οι διαθέσιμες εξισώσεις εξαρτώνται από το βήμα υπολογισμού της, με μέγιστο αυτό του ημερήσιου υπολογισμού με την εξίσωση 13.

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} * G_{sc} * d_r * [\omega_s * \sin(\varphi) * \sin(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_s)]$$

[εξ.13].

Όπου:

G_{sc} , ηλιακή σταθερά ίση με 0.0802 MJ/(m²*min)

d_r , ανάστροφος της σχετικής απόστασης Γης-Ήλιου

Η μεταβλητή d_r στη συνέχεια υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2 * \pi}{365} * J\right)$$

[εξ.14].

Με τη χρήση των εξισώσεων 8 ως 14 υπολογίζεται η καθαρή εισερχόμενη ακτινοβολία R_{ns} . Για την ολοκλήρωση της εξίσωσης 7, πρέπει να υπολογιστεί και η καθαρή εξερχόμενη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος R_{nL} .

Η καθαρή ροή ενέργειας που αφήνει την επιφάνεια της Γης είναι μικρότερη από αυτή που εκπέμπεται και δίνεται από τον νόμο των Stefan-Boltzmann, λόγω της απορρόφησης και της καθοδικής ακτινοβολίας από τον ουρανό. Οι υδρατμοί, τα σύννεφα, το διοξείδιο του άνθρακα και η σκόνη δρουν ως απορροφητές και πηγές εκπομπής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Αφού η υγρασία και η νέφωση διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, ο νόμος των Stefan-Boltzmann διορθώνεται από αυτούς τους δύο παράγοντες κατά την εκτίμηση της καθαρής εξερχόμενης ακτινοβολίας ενώ οι συγκεντρώσεις των άλλων απορροφητών θεωρούνται σταθερές [1]. Τα παραπάνω δημιουργούν την εξίσωση 15, που προτείνεται από τον FAO.

$$R_s = \sigma * \left(\frac{T_{maxK}^4 + T_{minK}^4}{2} \right) * (0.34 - 0.14 * \sqrt{e_a}) \quad [\text{εξ.15}].$$

$$* \left(1,35 * \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

Όπου:

σ , η σταθερά του Stephan, ίση με $4.903 * 10^{-9}$ MJ/(K*m²*day)

T_{maxK} , η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία σε Kelvin

T_{minK} , η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία σε Kelvin

R_{so} , η ηλιακή ακτινοβολία σε συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας

Η μετατροπή των μέσων ημερήσιων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών από βαθμούς Κελσίου σε Kelvin γίνεται με τον τύπο $T_{iK} = T_{oC} + 273.16$ ενώ η μεταβλητή R_{so} υπολογίζεται από την εξίσωση 16:

$$R_{so} = (0.75 + 2 * 10^{-5} * z) * R_a \quad [\text{εξ.16}].$$

G , κατακόρυφη ροή ενέργειας από το έδαφος που μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμική ενέργεια

Πολύπλοκα μοντέλα είναι διαθέσιμα για να περιγράψουν την κατακόρυφη ροή ενέργειας από το έδαφος. Επειδή αυτή είναι μικρή σε σύγκριση με την εισαγόμενη στο σύστημα ακτινοβολία, ιδιαίτερα όταν η επιφάνεια καλύπτεται από βλάστηση και τα βήματα υπολογισμού είναι μεγαλύτερα του ημερήσιου, ένας απλός σε διαδικασία υπολογισμός προτείνεται από τον FAO, με βάση την ιδέα ότι η θερμοκρασία του εδάφους ακολουθεί τη θερμοκρασία του αέρα [1]. Με την υπόθεση ότι η θερμοχωρητικότητα του εδάφους είναι σταθερή και ίση με 2.1 MJ/(m³*°C) και

το εδαφικό ύψος που συμβάλει στη διαδικασία είναι 2 μέτρα, προκύπτουν οι εξισώσεις 17 και 18.

$$G_{month\ i} = 0.07 * (T_{month\ i+1} - T_{month\ i-1}) \quad [\text{εξ.17}].$$

$$G_{month\ i} = 0.14 * (T_{month\ i} - T_{month\ i-1}) \quad [\text{εξ.18}].$$

όταν η μέση θερμοκρασία του επόμενου μήνα είναι άγνωστη

Στο σύνολο των 18 παραπάνω εξισώσεων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών στον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET_0 για κάθε μήνα του 2011 και κάθε αμπελώνα ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά από μήνα σε μήνα και από περιοχή σε περιοχή με αναμενόμενο όμως τρόπο. Οι θερινοί μήνες έχουν πολλαπλάσια εξατμισοδιαπνοή από τους χειμερινούς και το εύρος των τιμών τους είναι πολύ κοντά στα αναμενόμενα όρια ($1\text{mm} < \text{Expected value of daily } ET_0 < 8\text{mm}$), με την μικρότερη τιμή να παρουσιάζεται για την ελάχιστη παρατηρημένη θερμοκρασία και την μέγιστη για το θερμότερο και πιο κοντά στον Ισημερινό σταθμό.

2.11 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σε βέλτιστες συνθήκες, ET_c

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σε βέλτιστες συνθήκες βασίζεται στις υποθέσεις ότι οι υπό μελέτη καλλιέργειες δεν έχουν προσβληθεί από αρρώστιες, δεν αντιμετωπίζουν έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις με ιδανικές εδαφικές συνθήκες και φθάνουν σε πλήρη παραγωγικότητα για τις δεδομένες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν[1]. Ως επόμενο βήμα της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, που επηρεάζεται μόνο από τους κλιματικούς παράγοντες, πλέον εισάγεται η επιρροή των χαρακτηριστικών του ίδιου του φυτού στην εξατμισοδιαπνοή, μέσω του συντελεστή καλλιέργειας.

Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας μπορεί να μετρηθεί άμεσα, μέσω μεθόδων ισοζυγίου ενέργειας και της μεταφοράς μάζας ή μπορεί να μετρηθεί και με τη χρήση λυσίμετρων και από μελέτες του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους της καλλιέργειας. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να γίνει και με κατάλληλη χρήση της εξίσωσης FAO Penman-Monteith, για τις κλιματολογικές συνθήκες που

επικρατούν στην περιοχή της καλλιέργειας. Το φυτό μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του καλλιεργητικού κύκλου, και μαζί του μεταβάλλονται και τα χαρακτηριστικά του που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή. Η συνολική επιφάνεια του φυλλώματος αυξάνεται, συνήθως μη γραμμικά, ενώ αναπτύσσεται και σε ύψος αλλάζοντας την αντίσταση στη μεταφορά των υδρατμών για την περιοχή ανάμεσα στο φυτό και το έδαφος. Επιπλέον, η λευκαύγεια του φυλλώματος δεν παραμένει σταθερή, είτε λόγω φυσιολογίας είτε λόγω του διαθέσιμου νερού, ενώ αλλάζουν και οι παράγοντες της εδαφικής εξάτμισης. Όλα τα παραπάνω αποτελούν μεταβλητές της εξίσωσης FAO Penman-Monteith και είναι εξαιρετικά δύσκολο και δαπανηρό να μετρηθούν αναλυτικά για κάθε χρονικό βήμα της εξίσωσης. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη για ένα συντελεστή συσχέτισης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Πρόκειται για ένα συντελεστή που δείχνει με σχετικά ακριβή τρόπο τη σχέση της καλλιέργειας με την καλλιέργεια αναφοράς ως προς τα χαρακτηριστικά που επιδρούν στην εξατμισοδιαπνοή. Με αυτό τον τρόπο ο μελετητής μπορεί να υπολογίσει την εξατμισοδιαπνοή χωρίς να χρειάζεται πολύπλοκα και ευμετάβλητα δεδομένα.

Προτείνονται δύο προσεγγίσεις στην εύρεση του συντελεστή καλλιέργειας από τον FAO, αυτές του ενιαίου και του διπλού συντελεστή. Στην τελευταία προσέγγιση ο συντελεστής διαιρείται σε δύο παράγοντες, που περιγράφουν ξεχωριστά, για τα φαινόμενα της εξάτμισης και της διαπνοής, τη σχέση της καλλιέργειας αναφοράς και της πραγματικής. Ο ενιαίος συντελεστής είναι ένας ήδη συνδυασμένος συντελεστής που περιγράφει το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής της πραγματικής καλλιέργειας ως ποσοστό της υποθετικής. Η χρήση του καθενός προτείνεται για συγκεκριμένους σκοπούς, με τον διπλό συντελεστή να συνίσταται για έρευνες και μελέτες. Ωστόσο, ο υπολογισμός του απαιτεί τα δεδομένα να έχουν ωριαίο ή ημερήσιο βήμα, ενώ η θεώρηση σταθερών μέσων ημερήσιων τιμών θα αποτελούσε λάθος χρήση της μεθόδου. Έτσι, επιλέχθηκε η χρήση του ενιαίου συντελεστή, παρόλο που δεν προτείνεται ως η βέλτιστη μεθοδολογία για έρευνες.

Η εξίσωση της μεθόδου αυτής είναι η εξίσωση 19 για όλη τη διάρκεια του καλλιεργητικού κύκλου του φυτού. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας που επιδρούν στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής μεταβάλλονται συνεχώς και δεν μπορούν να αποδοθούν με τη χρήση μίας και μόνο τιμής στον συντελεστή καλλιέργειας. Για το λόγο αυτό, ο καλλιεργητικός κύκλος

χωρίζεται σε 4 «χαρακτηριστικά» στάδια, από άποψη ανάπτυξης και λειτουργίας του φυτού, στα οποία και αναθέεται μια τιμή του συντελεστή καλλιέργειας.

$$ET_C = K_C * ET_0 \quad [\text{εξ.19}].$$

Τα 4 στάδια της καλλιέργειας αποτελούν περιόδους με σχετικά υψηλή ομογένεια στη συμπεριφορά των χαρακτηριστικών του φυτού, ώστε να έχει τη βέλτιστη αποτελεσματικότητα ο συντελεστής καλλιέργειας.

Σύμφωνα με τον FAO [1], ο καλλιεργητικός κύκλος ξεκινά με την αρχική περίοδο, που διαρκεί από την εμφάνιση των οφθαλμών μέχρι να καλύψει το 10% του εδάφους. Το στάδιο αυτό ταυτίζεται με την ανάπτυξη των νέων φύλλων για τις πολυετείς καλλιέργειες. Κατά την αρχική περίοδο, υπάρχει μόνο ένα μικρό ποσοστό από το τελικό φύλλωμα του φυτού με αποτέλεσμα το κύριο φαινόμενο που συνεισφέρει στην εξατμισοδιαπνοή να είναι η εδαφική εξάτμιση. Ο συντελεστής καλλιέργειας της αρχικής περιόδου μικραίνει όσο περιορίζεται η διαθέσιμη εδαφική υγρασία λόγω περιορισμένης βροχόπτωσης.

Το δεύτερο στάδιο είναι αυτό της ανάπτυξης του φυτού, και οριοθετείται από την πλήρη κάλυψη του εδάφους ή την έναρξη της ανθοφορίας. Σε κάποιες καλλιέργειες, όπως αυτές του καλαμποκιού και της πατάτας, το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται όταν η σκίαση του εδάφους από το φυτό είναι σχεδόν πλήρης. Ασφαλώς, το φυτό μπορεί να συνεχίσει να αυξάνει το ύψος ή τη συνολική επιφάνεια του φυλλώματος του και μετά από αυτό το στάδιο, όμως το ποσοστό σκίασης του εδάφους θα μείνει πρακτικά αμετάβλητο. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία και ο ρυθμός ανανέωσης του κορεσμένου αέρα πάνω από το έδαφος αρχίζουν να περιορίζονται, αρχίζει να φθίνει η συμμετοχή της εδαφικής εξάτμισης στη συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και να αυξάνεται αυτή της διαπνοής του φυτού.

Το τρίτο στάδιο ορίζεται από τη λειτουργία του φυτού και φτάνει μέχρι την αρχή της ωρίμανσης των καρπών του φυτού. Αυτό συνήθως σηματοδοτείται από τα πρώτα κίτρινα φύλλα, την έναρξη της φυλλοβολίας ή το «μαύρισμα» των καρπών. Πρόκειται για το μεγαλύτερο σε διάρκεια στάδιο για την πλειοψηφία των πολυετών και ετήσιων καλλιεργειών. Η απόκλιση του συντελεστή καλλιέργειας από την μονάδα, ως τιμή αναφοράς, οφείλεται κυρίως στη διαφορά του ύψους της

καλλιέργειας από την υποθετική αλλά και από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες [1].

Το τέταρτο στάδιο του κύκλου καλλιέργειας είναι το τέλος της περιόδου. Όπως είναι εύκολα κατανοητό, φθάνει μέχρι τη συγκομιδή, την πλήρη «γήρανση» ή την πλήρη φυσική ξήρανση, οπότε και παύει η καλλιεργητική έννοια του φυτού. Σε αρκετές περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει παγετός, το φυτό μπορεί να αναπτύσσεται αδιάκοπα όλο το χρόνο, οπότε η ημερομηνία λήξης του καλλιεργητικού κύκλου ταυτίζεται με την έναρξη του επόμενου. Στον πίνακα που ακολουθεί, υπάρχουν τα κατά προσέγγιση στάδια για ορισμένες καλλιέργειες, ανάμεσα τους και αυτή του αμπελιού.

Φυτό	Αρχική (L_{ini})	Ανάπτυξη (L_{dev})	Μέσα (L_{mid})	Τέλος (L_{late})	Σύνολο	Έναρξη	Περιοχή/Κλίμα
Ανανάς	60	120	600	10	790	-	Χαβάη, ΗΠΑ
Πατάτα	25	30	45	30	130	Μάιος	Ηπειρωτικό κλίμα
	45	30	70	20	165	Απρίλιος	Αιναταχο, ΗΠΑ
Τομάτα	30	40	40	25	135	Ιανουάριος	Ξηρές περιοχές
	30	40	45	30	145	Απρίλιος	Μεσόγειος
Ελιά	30	90	60	90	270	Μάρτιος	Μεσόγειος
Αμπέλι	20	40	120	60	240	Απρίλιος	Μικρά γεωγραφικά πλάτη
	20	50	90	20	180	Μάιος	Μεγάλα γεωγραφικά πλάτη
	30	60	40	80	210	Απρίλιος	Μεσαία γεωγραφικά πλάτη

Πίνακας 1. Προτεινόμενα στάδια καλλιεργητικού κύκλου για 5 καλλιέργειες [1]

Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε από τον παραπάνω πίνακα ότι η διάρκεια κάθε σταδίου, αλλά και η συνολική, εξαρτάται έντονα από την περιοχή και το κλίμα στο οποίο αναπτύσσεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του αμπελιού με έντονες διαφοροποιήσεις, κυρίως στο τρίτο στάδιο, βάσει του γεωγραφικού πλάτους στο οποίο καλλιεργείται. Θα μπορούσε να δικαιολογηθεί από τις σημαντικές κλιματικές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα σε αυτές τις περιοχές αλλά και από την συνολική προσλαμβάνουσα ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία. Όμως είναι γνωστό ότι η καλλιεργητική συμπεριφορά του αμπελιού εξαρτάται από την ποικιλία και το ριζικό υποκείμενο με το οποίο «εμβολιάζεται».

Άρα οι μεγάλες διαφορές μπορούν να δικαιολογηθούν και από το ποσοστό συγκεκριμένων ποικιλιών αμπέλου, που επιλέγονται επειδή ευδοκιμούν ή προσαρμόζονται στις συνθήκες (ηλιοφάνειας, εδαφικές, μετεωρολογικές) που επικρατούν στις περιοχές καλλιέργειας τους.

Η ημερομηνία έναρξης του καλλιεργητικού κύκλου, αλλά και η διάρκεια των επιμέρους σταδίων για κάθε ποικιλία αμπέλου, δεν αποτελούν σταθερές. Μεταβάλλονται ανάλογα το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος, οπότε εμφανίζονται περιοχές όπου χαρακτηρίζουν μία ποικιλία πρώιμη, κανονική ή όψιμη ως προς τις υπόλοιπες περιοχές. Ακόμα και αυτός ο τοπικός χαρακτήρας μπορεί να μεταβληθεί από τις κλιματικές συνθήκες που μπορούν να εμφανιστούν στην περιοχή, οι οποίες είναι εκτός του μέσου όρου. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αποδοχή της πολυπλοκότητας του υπολογισμού των ορίων και της διάρκειας των σταδίων για κάθε αμπελώνα με ακρίβεια.

Δεδομένα για τα φαινολογικά στάδια 72 ποικιλιών αμπέλου βρέθηκαν σε αντίστοιχα βιβλιογραφία και εργασίες καταγραφής και ταξινόμησης των ποικιλιών [9],[10],[11]. Τα στάδια αυτά μετρήθηκαν σε μία μόνο περιοχή για κάθε ποικιλία και δεν αποτελούν το μέσο όρο για την Ελλάδα, παρά μόνο για τις συγκεκριμένες περιοχές και τα έτη που μετρήθηκαν. Λόγω της αδυναμίας υπολογισμού του συνολικού καλλιεργητικού κύκλου και των φαινολογικών σταδίων κάθε ποικιλίας για κάθε περιοχή της Ελλάδας, έγινε η υπόθεση της «πανελλαδικής συμπεριφοράς» της ποικιλίας, ανεξάρτητα των κλιματικών, υψομετρικών και άλλων μεταβλητών. Η υπόθεση αυτή ασφαλώς και περιέχει σφάλματα, κυρίως στην χρονική κατανομή της υπολογιζόμενης εξατμισοδιαπνοής, όμως, εκτός του ότι είναι αναπόφευκτη επιλογή, δίνει σαφώς μικρότερα σφάλματα από την θεώρηση μιας ενιαίας υποθετικής ποικιλίας σταθερού χαρακτήρα. Τα στάδια του καλλιεργητικού κύκλου κάθε ποικιλίας παρουσιάζονται στον αντίστοιχο πίνακα του παραρτήματος [πιν. Β].

Ενδεικτικές τιμές για τους επιμέρους συντελεστές καλλιέργειας κάθε σταδίου που προέρχονται από ανεξάρτητες μελέτες, δίνονται συγκεντρωτικά από τον FAO [πίν. 2]. Αυτές οι τιμές αντιστοιχούν κυρίως σε υγρό κλίμα με μέση ημερήσια σχετική υγρασία (RH_{min}) 45% και ανέμους μέσης ταχύτητας 2m/s. Προτείνεται ο εκ νέου υπολογισμός τους ή η κατάλληλη τροποποίηση τους ώστε να αντιστοιχούν στις κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης.

Φυτό	Συνθήκες/χρήση	Kc _{ini}	Kc _{mid}	Kc _{end}	Μέγιστο ύψος φυτού (m)
Ανανάς	Γυμνό έδαφος	0.50	0.30	0.30	0.6-1.2
	Έδαφος καλυμμένο με γρασίδι	0.50	0.50	0.30	0.6-1.2
Πατάτα	-	-	1.15	0.75	0.6
Τομάτα	-	-	1.15	0.70-0.90	0.6
Ελιά	40-60% κάλυψη από το φύλλωμα	0.65	0.70	0.70	3-5
Αμπέλι	Επιτραπέζιο ή σταφίδες	0.30	0.85	0.45	2
	Οινοποιήσιμο	0.30	0.70	0.45	1.5-2

Πίνακας 2. Ενδεικτικές τιμές συντελεστών καλλιέργειας και μέγιστου ύψους [1]

2.12 Συντελεστής καλλιέργειας αρχικής περιόδου, Kc_{ini}

Οι διατιθέμενες από τον FAO [1] τιμές του συντελεστή αποτελούν απλές εκτιμήσεις με τυπική άρδευση και δεν προτείνονται παρά μόνο για προκαταρκτικές μελέτες. Κατά την αρχική περίοδο, υπάρχει μόνο ένα μικρό ποσοστό από το τελικό φύλλωμα του φυτού με αποτέλεσμα το κύριο φαινόμενο που συνεισφέρει στην εξατμισοδιαπνοή να είναι η εδαφική εξάτμιση. Οι παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής σε αυτό το στάδιο είναι το ύψος βροχής ή άρδευσης αλλά και ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ 2 διαδοχικών συμβάντων τους.

Η εδαφική εξάτμιση, σε συνθήκες μηδενικής κάλυψης, χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις. Η πρώτη είναι αυτή στην οποία η εξάτμιση περιορίζεται μόνο από τη διαθέσιμη ενέργεια (energy limited stage). Κατά τη διάρκεια της, η εδαφική υγρασία μεταφέρεται στο ανώτερο στρώμα του με ρυθμό ικανό να καλύψει τις ανάγκες της δυναμικής εδαφικής εξάτμισης E_{so} , που ρυθμίζεται από την επάρκεια ενέργειας στην επιφάνεια του εδάφους [1]. Η τιμή της δίνεται από τη σχέση 20.

$$E_{so} = 1.15 * ET_o \quad [εξ.20].$$

Στην εξίσωση 20, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς ET_o παίρνει την τιμή του μέσου όρου της αρχικής περιόδου για κάθε αμπέλι. Ο συντελεστής 1.15 δείχνει την αυξημένη εξάτμιση λόγω της χαμηλής λευκαύγειας του βρεγμένου

εδάφους, καθώς και την πιθανά αποθηκευμένη σε αυτό ενέργεια, από προηγούμενες ξηρές περιόδους.

Το δεύτερο διακριτό στάδιο της εδαφικής εξάτμισης είναι αυτό που περιορίζεται από τους εδαφικούς παράγοντες (soil limited stage), δηλαδή από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία. Σε αυτό το στάδιο, ο ρυθμός μεταφοράς της υγρασίας στα ανώτερα στρώματα του εδάφους δεν επαρκεί για να καλύψει το ρυθμό εξάτμισης. Το ανώτερο στρώμα του εδάφους εμφανίζεται στεγνό και μέρος της εξάτμισης προκύπτει κάτω από την επιφάνεια [1]. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση του ρυθμού εξάτμισης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.

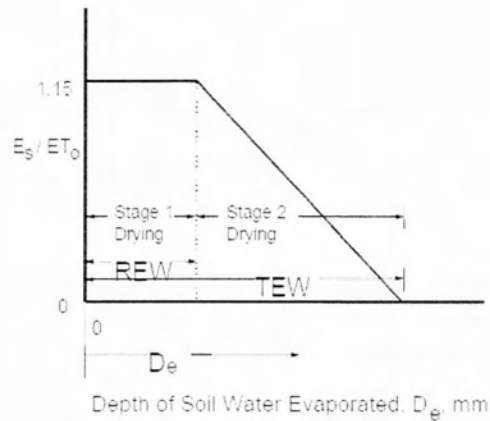
Ο ρυθμός της εδαφικής εξάτμισης στο δεύτερο στάδιο, μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στη ζώνη εξάτμισης προς το μέγιστο δυνατό ύψος νερού που μπορεί να εξατμιστεί από τη ζώνη αυτή. Το συνολικό ύψος που μπορεί να εξατμιστεί από την εδαφική ζώνη συμβολίζεται ως TEW (Total Evaporable Water) και το μέγιστο ύψος που το οποίο δυνητικά εξατμίζεται κατά το πρώτο στάδιο ως REW (Readily Evaporable Water). Θεωρώντας, κατά το δεύτερο στάδιο, τη γραμμική σχέση του ρυθμού της εδαφικής εξάτμισης με την εναπομείνουσα εδαφική υγρασία, προκύπτει η εξίσωση 21:

$$E_s = E_{so} * \left(\frac{TEW - D_e}{TEW - REW} \right) \quad [\text{εξ.21}].$$

όπου D_e το ύψος νερού που έχει εξατμιστεί από την εδαφική ζώνη (mm) και E_s , η εδαφική εξάτμιση κατά το δεύτερο στάδιο.

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για την περίοδο που η εξάτμιση περιορίζεται μόνο από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, δηλαδή όταν $D_e > REW$. Η χρονική διάρκεια που απαιτείται για να ολοκληρωθεί το πρώτο στάδιο δίνεται από τη σχέση 22 και μετριέται σε μέρες.

$$t_1 = \frac{REW}{E_{so}} \quad [\text{εξ.22}].$$



Εικόνα 2. Τυπικό διάγραμμα αναλογίας εδαφικής εξάτμισης προς εξατμισοδιαπονή και ύψους εδαφικής υγρασίας που έχει εξατμιστεί [1]

Οι παραπάνω εξισώσεις για το εύρος από REW έως TEW δίνουν τη γενική εξίσωση [εξ. 23] του συντελεστή καλλιέργειας για τη δεύτερη φάση της εδαφικής εξάτμισης στην αρχική περίοδο.

$$K_{C\ ini} = \frac{TEW - (TEW - REW) * \exp\left(\frac{-(t_w - t_1) * E_{so} * \left(1 + \frac{REW}{TEW - REW}\right)}{TEW}\right)}{t_w * ET_0} \quad [\text{εξ.23}].$$

Όπου:

t_w , ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στα γεγονότα βροχής ή άρδευσης κατά την αρχική περίοδο και υπολογίζεται ως εξής:

$$t_w = \frac{L_{ini}}{n_w + 0.5} \quad [\text{εξ.24}].$$

με L_{ini} τη διάρκεια της αρχικής περιόδου σε ημέρες και n_w τα συμβάντα βροχής ή άρδευσης σε αυτές τις μέρες.

Η εξίσωση 23 ισχύει για $t_w > t_1$, οπότε και ισχύει ότι $K_{C\ ini} = E_s/ET_0$. Το άνω όριο του συντελεστή είναι 1.15, ενώ για $t_w < t_1$ το σύνολο του φαινομένου λαμβάνει χώρα εντός της πρώτης φάσης και ισχύει $K_{C\ ini} = E_{so}/ET_0 = 1.15$.

Το μέγιστο ύψος εδαφικής υγρασίας που μπορεί να εξατμιστεί από το έδαφος υπολογίζεται από τις εξισώσεις 25 και 26. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ή γενικά

κρύων περιόδων, συνήθως δεν φτάνει αρκετή ενέργεια από την ακτινοβολία να διαπεράσει την επιφάνεια του εδάφους και να εξατμίσει αρκετή εδαφική υγρασία [1]. Για αυτό προτείνεται η χρήση της εξίσωσης 26 κάτω από την προϋπόθεση μιας ελάχιστης εξατμισοδιαπνοής αναφοράς.

$$TEW = 1000 * (\theta_{FC} - 0.5 * \theta_{wp}) * z_e \quad [\text{εξ.25}].$$

$$TEW = 1000 * (\theta_{FC} - 0.5 * \theta_{wp}) * z_e * \sqrt{\frac{ET_o}{5}} \quad [\text{εξ.26}].$$

όταν $ET_o > 5 \text{mm/day}$

Οι μεταβλητές θ_{FC} και θ_{wp} αποτελούν χαρακτηριστικά αλλά όχι σταθερές του εδάφους. Συγκεκριμένα είναι οι κατ' όγκο περιεκτικότητες νερού της υδατοϊκανότητας (field capacity) και του σημείου μαρασμού (wilting point) αντίστοιχα. Ως υδατοϊκανότητα ορίζεται η ποσότητα νερού που συγκρατείται στο έδαφος μετά την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού και ο ρυθμός της προς τα κάτω κίνησης του έχει δραστικά περιοριστεί. Το σημείο μαρασμού, αναφέρεται στην κατάσταση όπου ο βραδύς ρυθμός πρόσληψης νερού από τις ρίζες του φυτού δεν είναι ικανός να καλύψει τις ανάγκες του, ακόμη κι αν έχει μηδενιστεί η διαπνοή του [14]. Ο παράγοντας z_e της εξίσωσης είναι το βάθος του εδάφους που ξηραίνεται μέσω της εξάτμισης. Στην περίπτωση που το βάθος αυτό είναι άγνωστο, προτείνεται να ληφθεί ίσο με 0.15 μέτρα [1].

Το μέσο ύψος νερού ανά γεγονός, που εισχωρεί στο έδαφος από τη βροχόπτωση και την άρδευση κατά την αρχική περίοδο, υπολογίζεται με τη σχέση:

$$P_{mean} = \frac{(\sum P_n + \sum I_w)}{n_w} \quad [\text{εξ.27}].$$

Όπου:

$\sum P_n$, το συνολικό ύψος ενεργής βροχόπτωσης που εισχώρησε στο έδαφος (mm)

$\sum I_w$, το συνολικό ύψος νερού που εισχώρησε στο έδαφος από την άρδευση (mm)

Στην περίπτωση που οι τιμές της εξίσωσης 27 είναι μικρότερες από το μέγιστο ύψος εδαφικής υγρασίας που μπορεί να εξατμιστεί ($P_{mean} < TEW$) το φαινόμενο της εξάτμισης μπορεί να τερματιστεί νωρίτερα, ακόμα και για την πρώτη φάση (energy

limited stage)[1]. Οι τιμές των TEW και REW πρέπει να διορθωθούν βάσει του P_{mean} (εξ. 28,29).

$$TEW_{cor} = \min \left(TEW, P_{mean} + \frac{W_{ini}}{n_w} \right) \quad [\text{εξ.28}].$$

$$REW_{cor} = REW * \min \left(\frac{P_{mean} + \frac{W_{ini}}{n_w}}{TEW}, 1 \right) \quad [\text{εξ.29}].$$

Όπου:

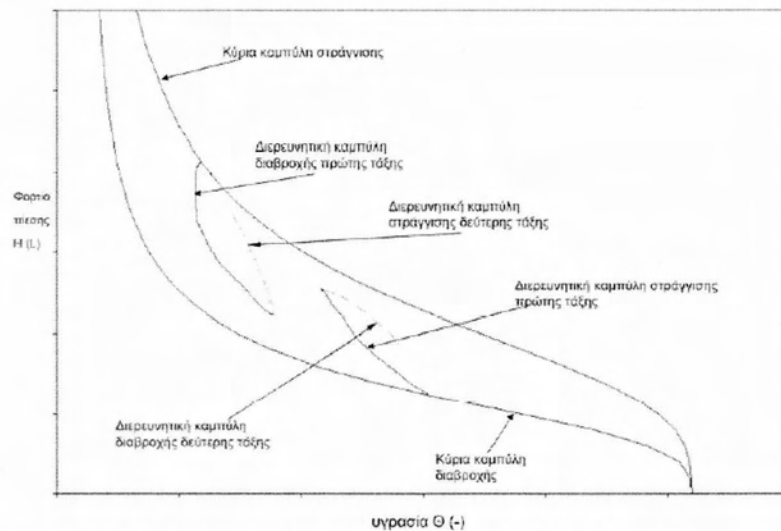
W_{ini} , το ύψος νερού που υπάρχει στη ζώνη εξάτμισης του εδάφους, σε βάθος z_e , στο ξεκίνημα της αρχικής περιόδου. Ταυτίζεται με την τιμή TEW όταν η αρχική εδαφική υγρασία είναι πλήρης (field capacity), την οποία και θεωρούμε ως αρχική συνθήκη.

Οι λύσεις των εξισώσεων 28 και 29 χρησιμοποιούνται στη θέση των TEW και REW της εξίσωσης 23. Για την επίλυση της, χρειάζεται να υπολογιστούν πρώτα οι κατ' όγκο περιεκτικότητες σε νερό του εδάφους και η ενεργή βροχόπτωση σε κάθε αμπελώνα. Για τις ανάγκες υπολογισμού αυτών των μεταβλητών θα γίνει χρήση εξίσωσης για τη χαρακτηριστική καμπύλη, πεδοσυναρτήσεων αλλά και της μεθόδου απορροϊκού συντελεστή CN της SCS για τη βροχόπτωση.

2.13 Χαρακτηριστική καμπύλη εδαφικής υγρασίας, ΧΚΥ $\theta(\psi)$

Η χαρακτηριστική καμπύλη του εδάφους $\theta(\psi)$ προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ της υγρασίας του εδάφους και της πίεσης του εδαφικού νερού. Η καμπύλη αυτή υπολογίζεται με ακρίβεια πειραματικά, προσθέτοντας ή αφαιρώντας νερό σε ένα εδαφικό δείγμα. Οι δύο αυτοί τρόποι μεταβολής της εδαφικής υγρασίας, δεν παράγουν μια και μοναδική καμπύλη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υστέρηση και πρόκειται στην ουσία για τη μη μοναδική σχέση μεταξύ εδαφικής υγρασίας και πίεσης. Παράγοντες που επιδρούν για τη δημιουργία των δύο καμπυλών είναι κυρίως το πορώδες και η είσοδος και η ταυτόχρονη παρουσία αέρα μέσα στους πόρους με το νερό [13]. Όταν το έδαφος υπόκειται σε ένα μόνο φαινόμενο, διαβροχής ή στράγγισης, τότε η σχέση της υγρασίας με την πίεση είναι μονοσήμαντη ενώ στην περίπτωση εναλλαγής μεταξύ των φαινομένων παρουσιάζονται βρόγχοι που τείνουν να ενώσουν τις δυο καμπύλες [εικ.3]. Στην τελευταία περίπτωση, για τον υπολογισμό

της χαρακτηριστικής καμπύλης, πρέπει να ενσωματωθεί το φαινόμενο της υστέρησης. Συνήθως, για πρακτικούς λόγους θεωρείται ότι οι καμπύλες συμπίπτουν [14],[15].



Εικόνα 3. Ιδεατή χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας [13]

Η χρήση της χαρακτηριστικής καμπύλης, μπορεί να μας δώσει τις τιμές θ_{FC} και θ_{WP} που είναι απαραίτητες για την εύρεση του συντελεστή καλλιέργειας αλλά και του μέγιστου και ελάχιστου ύψους εδαφικής υγρασίας για το υδατικό ισοζύγιο.

Υπάρχουν αρκετές εξισώσεις που προσομοιώνουν τη σχέση πίεσης και εδαφικής υγρασίας και ξεχωρίζει αυτή του van Genuchten (εξίσωση 30) [16].

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha * |\psi|)^n]^m} \quad [\text{εξ.30}]$$

Όπου:

$\theta(\psi)$, η εδαφική υγρασία για δεδομένη πίεση

θ_r , η υπολειμματική υγρασία (cm^3/cm^3)

θ_s , η εδαφική υγρασία κορεσμού (cm^3/cm^3)

ψ , η πίεση (kPa)

α (kPa), n (αδιάστατο), m (αδιάστατο) προσδιοριζόμενες σταθερές για την χαρακτηριστική καμπύλη

Συνήθως η σταθερά m μπορεί να υπολογιστεί ως συναρτώμενη της n με τη σχέση

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

Η κατ' όγκο υγρασία υδατοϊκανότητας σε μια χαρακτηριστική καμπύλη, θεωρείται ότι προκύπτει κατά προσέγγιση σε πίεση 33 kPa , ενώ το σημείο μαρασμού στα 1500 kPa [17]. Για τον υπολογισμό των θ_{FC} και θ_{WP} μέσω της εξίσωσης του van Genuchten θα πρέπει να υπολογίσουμε τις σταθερές a, n αλλά και τις τιμές των θ_r και θ_s για κάθε αμπελώνα. Σε αυτό μας βοηθούν οι πεδοσυναρτήσεις.

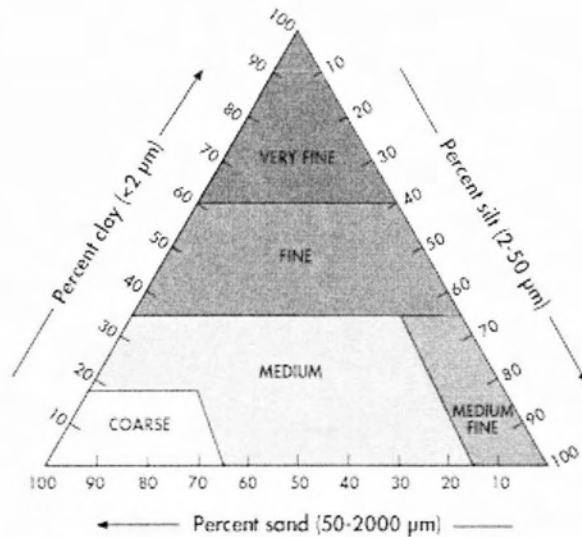
2.11 Πεδοσυναρτήσεις, Pedotransfer functions (PTF)

Πεδοσυναρτήσεις ονομάζονται εκείνες οι μαθηματικές συναρτήσεις που μπορούν να μετασχηματίσουν τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα στο πεδίο, σε δεδομένα που χρειαζόμαστε [12]. Οι πεδοσυναρτήσεις χρησιμοποιούν εύκολα μετρήσιμα μεγέθη (Ph, ποσοστό άμμου, πυκνότητα και άλλα) που χαρακτηρίζουν το έδαφος και υπολογίζουν άλλα, πιο δύσκολα μετρήσιμα, μεγέθη. Οι πεδοσυναρτήσεις μπορούν να λειτουργούν με κλάσεις, δίνοντας αποτελέσματα σε κάθε ομάδα εδάφους ή να είναι συνεχείς οπότε και παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα με την διαφοροποίηση έστω και ενός γνωστού εδαφικού χαρακτηριστικού. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες πεδοσυναρτήσεις στη διεθνή αλλά και ελληνική βιβλιογραφία για τον υπολογισμό εδαφικών χαρακτηριστικών ή διεργασιών. «Οι πεδοσυναρτήσεις της βιβλιογραφίας δεν μπορούν άκριτα να αντικαταστήσουν τις μετρήσεις πεδίου» [12], όμως μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικά τα χαρακτηριστικά του εδάφους στα πλαίσια μελετών που εξετάζουν φαινόμενα σε υπερτοπικό επίπεδο, όταν και παρουσιάζονται σημαντικά προβλήματα από έλλειψη δεδομένων και δεν υπάρχει δυνατότητα δειγματοληψίας. Αυτό τις καθιστά εύχρηστα εργαλεία σε μελέτες ή μοντέλα του κλάδου διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Οι κατ' όγκο περιεκτικότητες θ_{FC} και θ_{WP} και η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα αποτελούν εδαφικά χαρακτηριστικά τα οποία προσπαθούν αρκετές πεδοσυναρτήσεις να προσομοιώσουν. Αυτό γίνεται είτε μέσω άμεσου υπολογισμού αυτών των τιμών είτε μέσω υπολογισμού των μεταβλητών των εξισώσεων της χαρακτηριστικής καμπύλης. Οι πεδοσυναρτήσεις κλάσεων προσομοιώνουν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των μάλλον ευρέων κλάσεων εδαφικής υφής, με αποτέλεσμα να μην δίνουν αποτελέσματα για ένα συγκεκριμένο αμπελώνα. Αντίθετα, οι συνεχείς πεδοσυναρτήσεις βρίσκουν εφαρμογή όταν απαιτούνται δεδομένα για μια συγκεκριμένη περιοχή [18]. Για αυτό το λόγο μελετήσαμε τη χρήση μόνο συνεχών πεδοσυναρτήσεων, που θα προσδιορίσουν τα εδαφικά χαρακτηριστικά κάθε

αμπελώνα. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ονόματα, τα απαιτούμενα δεδομένα και τι αποδίδουν 7 συνεχείς πεδοσυναρτήσεις της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Οι πεδοσυναρτήσεις που αναπτύχθηκαν από τη βάση δεδομένων HYPRES (Hydraulic PRoperties of European Soils) χρησιμοποιούνται από το Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών των εδαφών. Πρόκειται για συναρτήσεις που δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στα ευρωπαϊκά εδάφη, αφού τα 5521 πειραματικά δεδομένα, στα οποία στηρίχθηκε η ανάπτυξη τους, προέρχονται από 1777 σημεία της Ευρώπης. Οι εξισώσεις διαφοροποιούνται ανάμεσα στα επιφανειακά και χαμηλότερα στρώματα του εδάφους. Για να υπάρχει όμως συμβατότητα μεταξύ των ευρωπαϊκών χαρτών και των πεδοσυναρτήσεων, έγινε η παρακάτω θεώρηση για την ταξινόμηση των εδαφικών κόκκων. Για τον άργιλο θεωρούνται οι κόκκοι μικρότεροι των 2 μm , για την ιλύς ανάμεσα σε 2 και 50 μm και για την άμμο μεταξύ 50 και 2000 μm [18]. Η αναφορά αυτής της ταξινόμησης είναι σημαντική, αφού η χρήση δεδομένων κοκκομετρίας διαφορετικής ταξινόμησης στις εξισώσεις HYPRES θα ήταν λανθασμένη.



Εικόνα 4. Τρίγωνο μηχανικής σύστασης κατά HYPRES [21]

Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν οι πεδοσυναρτήσεις HYPRES είναι η χρήση, ως πηγή δημιουργίας τους, δεδομένων ευρωπαϊκών εδαφών αλλά και η πολύ καλή προσομοίωση που προσφέρει λόγω της προσθήκης των μεταβλητών φαινόμενης πυκνότητας και οργανικής ύλης που επηρεάζουν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του εδάφους και της διαφοροποίησης ανάμεσα στα επιφανειακά και κατώτερα στρώματα

[20]. Ένας επιπλέον παράγοντας στην επιλογή αυτών, είναι και η διαδεδομένη χρήση τους από το Κοινό Κέντρο Ερευνών στις μελέτες και τους χάρτες που δημοσιεύουν [18].

Όνομα PT function	Δεδομένα	Αποδίδει
HYPRES	Ιλύς (Si, %) Άργιλος (Cl, %) Φαινόμενη πυκνότητα (BD, t m-3) Οργανική ύλη (OM, %) Επιφανειακό έδαφος (topsoil ,ποιοτική μεταβλητή, δυαδικής μορφής 1.0)	θ_s, θ_r, a, n Εξίσωση van Genuchten
British Soil Service	Ιλύς (Si, %), Άργιλος (Cl, %) Φαινόμενη πυκνότητα (BD, t m-3) Οργανικός άνθρακας (OC, %)	$\theta(-20 \text{ kPa})$ $\theta(-40 \text{ kPa})$ $\theta(-200 \text{ kPa})$ $\theta(-1500 \text{ kPa})$ μόνο για το ανώτερο στρώμα εδάφους
Brakensiek-Rawls	Άμμος (Sa, %) Άργιλος (Cl, %) Φαινόμενη πυκνότητα (BD, t m-3) Οργανική ύλη (OM, %)	$\theta(-33 \text{ kPa})$ $\theta(-1500 \text{ kPa})$
Hutson	Ιλύς (Si, %) Άργιλος (Cl, %)	$\theta(-33 \text{ kPa})$ $\theta(-1500 \text{ kPa})$
Manrique	Άμμος (Sa, %) Άργιλος (Cl, %) Φαινόμενη πυκνότητα (BD, t m-3)	$\theta(-33 \text{ kPa})$ $\theta(-1500 \text{ kPa})$
Rawls	Άμμος (Sa, %) Άργιλος (Cl, %) Φαινόμενη πυκνότητα (BD, t m-3) Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC, cmol(+) kg-1)	$\theta(-33 \text{ kPa})$ $\theta(-1500 \text{ kPa})$
Vereecken	Άμμος (Sa, %) Άργιλος (Cl, %) Φαινόμενη πυκνότητα (BD, t m-3) Οργανικός άνθρακας (OC, %)	θ_s, θ_r, a, n Εξίσωση van Genuchten

Πίνακας 3. Αναφορά 7 συνεχών πεδοσυναρτήσεων για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών του εδάφους

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, οι εξισώσεις HYPRES αφορούν τις μεταβλητές της εξίσωσης van Genuchten και δίνονται ως εξής:

$$\begin{aligned} \theta_s = & 0.7919 + 0.001691 * Cl - 0.29619 * BD - 0.000001491 * Si^2 \\ & + 0.0000821 * OM^2 + 0.02427 * Cl^{-1} + 0.011113 * Si^{-1} \\ & + 0.01472 * \ln(Si) - 0.0000733 * OM * Cl - 0.000619 \\ & * BD * Cl - 0.001183 * BD * OM - 0.0001664 * Topsoil \\ & * Si \end{aligned} \quad [εξ.31].$$

$$\begin{aligned} \ln(a) = & -14.96 + 0.03135 * Cl + 0.0351 * Si + 0.646 * OM + 15.29 * BD \\ & - 0.192 * Topsoil - 4.671 * BD^2 - 0.000781 * Cl^2 \\ & - 0.00687 * OM^2 + 0.0449 * OM^{-1} + 0.0663 * \ln(Si) \\ & + 0.1482 * \ln(OM) - 0.04546 * BD * Si - 0.4852 * BD \\ & * OM + 0.00673 * Topsoil * Cl \end{aligned} \quad [εξ.32].$$

$$\begin{aligned} \ln(n - 1) = & 25.23 - 0.02195 * Cl + 0.0074 * Si - 0.194 * OM + 45.5 * \\ & BD - 7.24 * BD^2 + 0.0003658 * Cl^2 + 0.002885 * OM^2 - 12.81 * BD^{-1} - \\ & 0.1524 * Si^{-1} - 0.02264 * BD * Cl + 0.0896 * BD * OM + 0.00718 * \\ & Topsoil * Cl \end{aligned} \quad [εξ.33].$$

$$\theta_r = \begin{cases} 0.025 & \text{όταν ταυτόχρονα ισχύει ότι άργιλος} < 18\% \text{ και άμμος} > 65\% \\ 0.01 & \text{στις υπόλοιπες περιπτώσεις} \end{cases}$$

Η πεδοσυνάρτηση που αφορά την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα K_s (mm/day) είναι η εξής:

$$\begin{aligned} \ln(K_s) = & 7.755 + 0.0352 * Si + 0.93 * Topsoil - 0.967 * BD^2 - \\ & 0.000484 * Cl^2 - 0.000322 * Si^2 + 0.001 * Si^{-1} - 0.0748 * OM^{-1} - \\ & 0.643 * \ln(Si) - 0.01398 * BD * Cl - 0.1673 * BD * OM + 0.02986 * \\ & Topsoil * Cl - 0.03305 * Topsoil * Si \end{aligned} \quad [εξ.34].$$

Στις παραπάνω εξισώσεις το ποσοστό αργίλου αναφέρεται ως Cl, το ποσοστό ιλύος ως Si, η φαινόμενη πυκνότητα ως BD, το ποσοστό οργανικής ουσίας ως OM και η αναφορά ή μη στην επιφανειακή ζώνη του εδάφους ως Topsoil. Η τελευταία έχει δυαδική μορφή, δηλαδή παίρνει τις τιμές 0 ή 1. Η σταθερά m της εξίσωσης van Genuchten υπολογίζεται από τη σχέση $m = 1 - \frac{1}{n}$.

Για την επίλυση των πεδοσυναρτήσεων HYPRES έγινε άδεια χρήση δεδομένων προερχόμενων από την Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων

(ESDB) και συγκεκριμένα δεδομένων φαινόμενης πυκνότητας, ποσοστού αργίλου, ιλύος, άμμου και ποσοστού οργανικού άνθρακα. Τα δεδομένα αυτά δίνονται από ξεχωριστούς χάρτες, για ολόκληρη την Ευρώπη και η ανάλυση τους είναι 1km*1km. Ως δεδομένα που μεταφέρονται στα χαρακτηριστικά εδάφους κάθε αμπελώνα, υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών που βρίσκονται εντός των ορίων της επιφάνειας.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία το ποσοστό οργανικού άνθρακα και αυτό της οργανικής ουσίας στο έδαφος συνδέονται με τη σχέση: $OM = 1.724 * OC$ [17],[23]. Με όλα τα απαραίτητα δεδομένα διαθέσιμα, υπολογίστηκαν οι μεταβλητές της εξίσωσης van Genuchten σε κάθε αμπελώνα. Η κατ' όγκο υγρασία υδατοϊκανότητας θ_{FC} σε μια χαρακτηριστική καμπύλη, θεωρείται ότι προκύπτει σε πίεση 33 kPa, ενώ για το σημείο μαρασμού θ_{WP} στα 1500 kPa [17].

Η μόνη πλέον μεταβλητή που απαιτείται για τις εξισώσεις 21 έως 29 (συντελεστής καλλιέργειας αρχικής περιόδου) είναι το ύψος ενεργής βροχόπτωσης που εισχωρεί στο έδαφος.

2.14 Μέθοδος απορροϊκού συντελεστή CN (Curve Number) της SCS

Η μέθοδος απορροϊκού συντελεστή CN αποτελεί μια απλή, ευρέως χρησιμοποιούμενη και αποδοτική μέθοδο προσδιορισμού της απορροής από ομοιόμορφη βροχή σε μία περιοχή. Παρόλο που η μέθοδος αναπτύχθηκε για υπολογισμό απορροής βάσει ενός γεγονότος βροχής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό μέσων τιμών μηνιαίου ή ακόμα και ετήσιου βήματος. Η σχέση βροχής και απορροής αποδίδεται σύμφωνα με την SCS (Soil Conservation Service) με την εξίσωση $\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$. F είναι η πραγματική συγκράτηση υγρασίας από το έδαφος, Q ο όγκος απορροής, P ο όγκος βροχόπτωσης, I_a η αρχική συγκράτηση υγρασίας και S η μέγιστη ικανότητα συγκράτηση υγρασίας [24]. Η πραγματική συγκράτηση υγρασίας θεωρείται $F = (P - I_a) - Q$ [εξ.35].

Η απορροή Q, μέσω της ισοδύναμης απορροϊκής βροχής P_e γράφεται ως εξής:

$$P_e = \begin{cases} \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S} & \text{για } P > 0.2S \\ 0 & \text{για } P \leq 0.2S \end{cases} \quad [\text{εξ.36}]$$

Η αρχική συγκράτηση επηρεάζεται από τη χρήση γης, τη διαχείριση της, τη φυτοκάλυψη και τη συγκράτηση νερού από αυτή, τη διηθητικότητα του εδάφους, την ύπαρξη κοιλοτήτων που συγκρατούν νερό αλλά και από την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους πριν τη βροχή (Antecedent soil Moisture Condition, AMC) [24]. Η αρχική συγκράτηση δίνεται από την εμπειρική σχέση:

$$I_a = 0.2 * S \quad [\text{εξ.37}]$$

Η εξίσωση αυτή όμως έχει αποδειχθεί ότι περιέχει σφάλματα αν χρησιμοποιηθεί σε περιοχές με έντονη την ανθρωπογενή παρέμβαση, όπως για παράδειγμα σε πόλεις. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, οι ίδιοι παράγοντες που επηρεάζουν την I_a θα επηρεάζουν και τη μέγιστη συγκράτηση S . Με τη χρήση του παράγοντα CN, η αποθηκευτικότητα αποδίδεται ως:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [\text{εξ.38}]$$

και με μονάδες mm.

Ο απορροϊκός συντελεστής CN δείχνει τη συνολική επιρροή των παραγόντων που αναφέρθηκαν νωρίτερα για την αρχική συγκράτηση υγρασίας.

Η SCS αρχικά κατηγοριοποιεί τα εδάφη με βάση τα εδαφικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν.

- Τύπος A. Περιέχει εδάφη με μεγάλη τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα (Βαθιά αμμώδη, βαθιά πηλώδη, συσσωματούμενα ιλυώδη)
- Τύπος B. Περιέχει εδάφη με μέτρια τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα (Ρηχά πηλώδη, πηλοαμμώδη)
- Τύπος C. Περιέχει εδάφη με μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα (Αργιλοπηλώδη, ρηχά αμμοπηλώδη, εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, εδάφη πλούσια σε άργιλο)
- Τύπος D. Περιέχει εδάφη με πολύ μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα (Εδάφη που διογκώνονται όταν υγραίνονται και ορισμένα αλατούχα εδάφη) [24]

Οι τέσσερις τύποι εδαφών μπορούν να βρεθούν είτε βάσει των εδαφολογικών χαρακτηριστικών τους, από εδαφολογικούς χάρτες ή από τον ελάχιστο ρυθμό διήθησης. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι κατηγορίες εδαφών της SCS σε αντιπαραβολή με τους αντίστοιχους ρυθμούς διήθησης.

Τύπος	Ελάχιστος ρυθμός διήθησης (cm/hr)
A	0.76-1.14
B	0.38-0.76
C	0.13-0.38
D	0.00-0.13

Πίνακας 4. Εδαφικοί τύποι SCS και αντίστοιχοι ρυθμοί διήθησης [24]

Στη συνέχεια κατηγοριοποιείται η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους βάσει τριών χαρακτηριστικών. Αυτά είναι η χρήση γης, η γεωργική πρακτική και οι υδρολογικές συνθήκες. Οι υδρολογικές συνθήκες βασίζονται στο αν η βλάστηση είναι πυκνή και σε καλή κατάσταση, αν το έδαφος είναι πλούσιο σε οργανική ύλη και έχει καλή δομή και χωρίζονται σε κακές, δυσμενείς, μέτριες και καλές συνθήκες [24].

Ο τελευταίος παράγοντας που επιδρά στην αποθηκευτικότητα, και ενσωματώνεται στην τελική τιμή του συντελεστή CN, είναι της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης του εδάφους (AMC). Αυτή επηρεάζει σημαντικά τον όγκο αλλά και το ρυθμό της απορροής, και η SCS ορίζει τρεις τύπους προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης και κατατάσσει τελικά τις εξής εδαφικές καταστάσεις:

- Κατάσταση I. Ξηρά εδάφη, όμως η εδαφική υγρασία είναι πάνω από το σημείο μαρασμού.
- Κατάσταση II. Μέση υγρασιακή κατάσταση.
- Κατάσταση III. Υγρό έδαφος, λόγω μεγάλης βροχόπτωσης ή χαμηλής βροχόπτωσης και χαμηλών θερμοκρασιών το τελευταίο πενήνημερο. [24]

Για την κατηγοριοποίηση βάσει τιμών και όχι ποιοτικών χαρακτηριστικών της κάθε εδαφικής κατάστασης, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας 5. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι τρεις τύποι AMC για τη καλλιεργητική περίοδο με βάση το συνολικό ύψος βροχής των τελευταίων 5 ημερών.

AMC	Χειμερινή περίοδος	Καλλιεργητική περίοδος
I	<12.7	<35.6
II	12.7-27.9	35.6-53.3
III	>27.9	>53.3

Πίνακας 5. AMC με βάση το συνολικό ύψος βροχής (mm) των προηγούμενων 5 ημερών

Ο συντελεστής CN για την κατάσταση II και θεωρώντας την ισχύ της εξίσωσης 36 έχει αποδοθεί από την SCS. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ένα τμήμα του συνολικού πίνακα της SCS.

Περιγραφή χρήσης γης/ Διαχείρισης/ Υδρολογικών συνθηκών		Υδρολογικός τύπος εδάφους			
		A	B	C	D
Ανοιχτοί χώροι, αλάνες, πάρκα κ.α.					
Φυτοκάλυψη ≥70% της επιφάνειας	Καλές συνθήκες	39	61	74	80
Φυτοκάλυψη 50-70% της επιφάνειας	Κακές συνθήκες	49	69	79	84
Χέρσες εκτάσεις		77	86	91	94
Γραμμικές καλλιέργειες					
Ευθείες γραμμές	Καλές συνθήκες	72	81	88	91
Ευθείες γραμμές	Κακές συνθήκες	67	78	85	89
Κατά τις ισοϋψείς	Καλές συνθήκες	70	79	84	88
Κατά τις ισοϋψείς	Κακές συνθήκες	65	75	82	86
Σε αναβαθμούς	Καλές συνθήκες	66	74	80	82
Σε αναβαθμούς	Κακές συνθήκες	62	71	78	81

Πίνακας 6. Συντελεστές CN για διαφορετικές χρήσεις γης, διαχείρισης, υδρολογικών συνθηκών και υδρολογικών εδαφικών τύπων θεωρώντας AMC II και $I_a=0.2S$ [24]

Για τη μετατροπή των συντελεστών όταν η προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση είναι διαφορετική της κατάστασης II, για την οποία έχουν υπολογιστεί οι τιμές του παραπάνω πίνακα, προτείνεται η χρήση των παρακάτω σχέσεων:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.4036 + 0.0059 * CN_{II}} \quad [\text{εξ.39}]$$

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.334 + 0.01334 * CN_{II}} \quad [\text{εξ.40}]$$

Η μέθοδος αυτή της SCS είναι η μόνη μέθοδος που δίνει αποτελέσματα συγκράτησης υγρασίας από το έδαφος χωρίς να απαιτούνται στοιχεία έντασης ή διάρκειας βροχόπτωσης. Είναι μία εμπειρική, στατιστικά ελεγμένη και παγκοσμίως

αποδεκτή μέθοδος. Παρόλα αυτά δεν παραβλέπονται τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την υιοθέτηση αυτής. Αρχικά, κύριο θέμα συζήτησης στο σχολιασμό της μεθόδου, αποτελεί η έλλειψη φυσικού νοήματος του συντελεστή απορροής και η γενικευμένη θεώρηση μιας σταθερής αρχικής συγκράτησης I_a ίση με το 20% της αποθηκευτικότητας S . Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λάθος υπολογισμούς, κυρίως σε αστικές λεκάνες. Επιπλέον, τίθενται και περιορισμοί στη χρήση της μεθόδου καθώς, όταν ο συντελεστής απορροής CN προκύπτει μικρότερος του 40, προτείνεται η χρήση διαφορετικής μεθόδου [24],[27]

Οι αμπελώνες εμπίπτουν στην κατηγορία των γραμμικών καλλιεργειών του πίνακα της SCS. Η διαχείριση τους δεν αποτελεί σταθερά αλλά μεταβάλλεται ανάλογα τις επικρατούσες συνθήκες και συγκεκριμένα ανάλογα με την κλίση. Η κλίση του εδάφους επηρεάζει τη διάβρωση του εδάφους, την ποσότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αλλά και τη διάταξη των γραμμών του αμπελιού.

Θεωρούμε ότι ισχύει ο εξής κανόνας:

- Κλίση > 20%, επιβεβλημένη η χρήση αναβαθμών
- Κλίση 10-20%, εγκατάσταση των σειρών κατά τις ισοϋψείς του αμπελώνα
- Κλίση < 10%, καλλιέργεια αμπελιού σε ευθείες, κατά τη διεύθυνση της κλίσης του εδάφους [26]

Χρησιμοποιώντας τους ρυθμούς διήθησης κάθε αμπελώνα, όπως αυτοί υπολογίστηκαν από την πεδοσυνάρτηση της HYPRES προηγουμένως, κατατάσσονται τα εδάφη τους σύμφωνα με τον πίνακα 4. Με τη χρήση του λογισμικού GIS βρέθηκε η μέση κλίση κάθε αμπελώνα και στη συνέχεια εφαρμόζοντας τον κανόνα κλίσης-διαχείρισης, που αναφέρθηκε πριν, επιλέγεται η αντίστοιχη διαχείριση της καλλιέργειας. Σε κάθε περίπτωση, οι υδρολογικές συνθήκες θεωρούνται ως καλές, αφού υπολογίζονται μεταβλητές που αφορούν την εξατμισοδιαπνοή κάτω από βέλτιστες συνθήκες. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας σε βέλτιστες συνθήκες βασίζεται στις υποθέσεις ότι οι υπό μελέτη καλλιέργειες δεν έχουν προσβληθεί από αρρώστιες, δεν αντιμετωπίζουν έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, αναπτύσσονται σε μεγάλες εκτάσεις με ιδανικές εδαφικές συνθήκες και φθάνουν σε πλήρη παραγωγικότητα για τις δεδομένες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν [1].

Γίνεται επιπλέον η υπόθεση της ομοιόμορφης χρονικής κατανομής των γεγονότων βροχής μέσα στο μήνα. Με την παραπάνω υπόθεση, υπολογίζεται η συνολική βροχόπτωση ανά πενήμερο της αρχικής περιόδου, άρα και η προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση (AMC) μέσω του πίνακα 5. Ακολουθώντας τις εξισώσεις μετασχηματισμού 39 και 40, βρίσκουμε τον συντελεστή CN για τους αμπελώνες που έχουν προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση διαφορετική της κατάστασης II.

Με την επίλυση των εξισώσεων 36,37 και 38 υπολογίζονται όλες τις μεταβλητές για την εύρεση της πραγματικής συγκράτησης F (εξίσωση 35). Η πραγματική συγκράτηση F, όταν αναχθεί στις εξισώσεις του συντελεστή καλλιέργειας, ταυτίζεται με το μέσο ύψος νερού ανά γεγονός, που εισχωρεί στο έδαφος από τη βροχόπτωση κατά την αρχική περίοδο P_n .

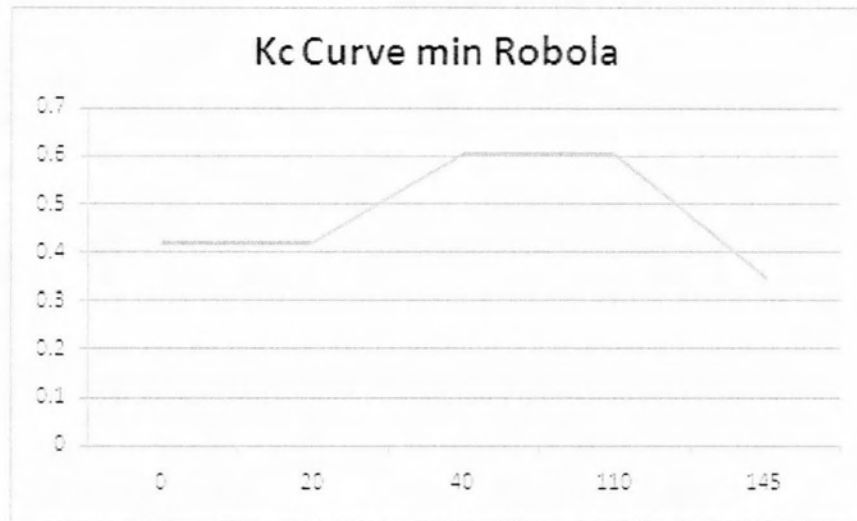
Εν κατακλείδι, με τα παραπάνω βήματα έχουν υπολογιστεί όλες τις μεταβλητές των εξισώσεων 25 έως 29 που αφορούν τον συντελεστή καλλιέργειας αρχικής περιόδου (εξίσωση 23) για κάθε αμπέλι και κάθε ποικιλία. Η μεταβλητή της άρδευσης αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

Συντελεστής καλλιέργειας περιόδου ανάπτυξης, $K_{c_{dev}}$

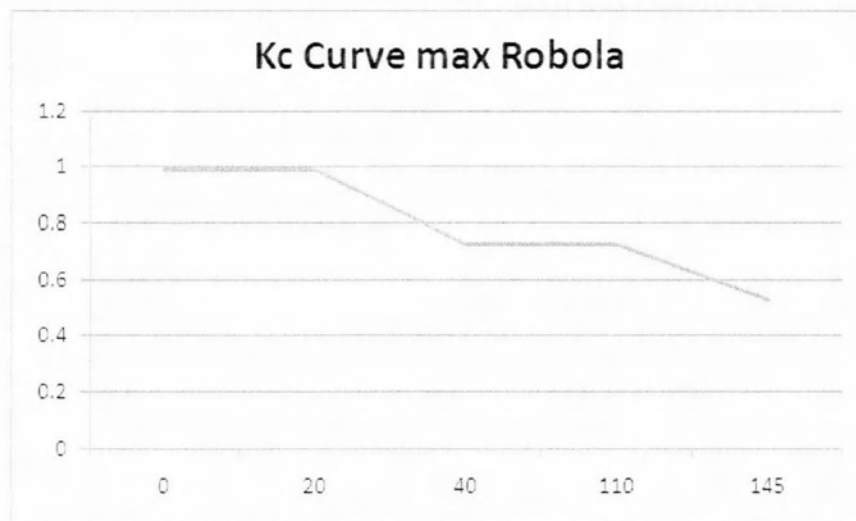
Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση των σταδίων του καλλιεργητικού κύκλου, το δεύτερο στάδιο του είναι αυτό της ανάπτυξης του φυτού. Ασφαλώς, το φυτό μπορεί να συνεχίσει να αυξάνει το ύψος ή τη συνολική επιφάνεια του φυλλώματος του, με το ποσοστό σκίασης του εδάφους να μένει αμετάβλητο. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία και ο ρυθμός ανανέωσης του κορεσμένου αέρα πάνω από το έδαφος αρχίζουν να περιορίζονται, αρχίζει να φθίνει η συμμετοχή της εδαφικής εξάτμισης στη συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και να αυξάνεται αυτή της διαπνοής του φυτού.

Η περίοδος αυτή αποτελεί μετάβαση από την αρχική περίοδο στη μέση περίοδο καλλιέργειας, οπότε και τα χαρακτηριστικά του φυτού θεωρούνται σταθερά. Ως αποτέλεσμα, και ο συντελεστής καλλιέργειας για αυτήν την περίοδο αποτελεί μεταβλητό μέγεθος, που ξεκινά από την τιμή του συντελεστή της αρχικής περιόδου και φτάνει μέχρι την τιμή αυτού της μέσης περιόδου. Η συνήθης συμπεριφορά της εξίσωσης του συντελεστή είναι αυξητική όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Στην περίπτωση όμως που ο συντελεστής της αρχικής περιόδου λάβει μεγάλη τιμή, δηλαδή

υπάρχει έντονη εδαφική εξάτμιση, η μορφή της καμπύλης των συντελεστών δεν είναι η συνήθης και ο συντελεστής της περιόδου ανάπτυξης μειώνεται γραμμικά (εικ. 6).



Εικόνα 5. Τυπική μορφή συντελεστών καλλιέργειας, παράδειγμα ελάχιστων τιμών συντελεστών καλλιέργειας, από τους υπολογισμούς για την ποικιλία Ρομπόλα.



Εικόνα 6. Τυπική μορφή συντελεστών καλλιέργειας, παράδειγμα μέγιστων τιμών συντελεστών καλλιέργειας, από τους υπολογισμούς για την ποικιλία Ρομπόλα.

Ο υπολογισμός του συντελεστή καλλιέργειας της περιόδου ανάπτυξης, δεν έγινε με ημερήσιο βήμα. Για κάθε μήνα που ανήκει έστω και μερικώς στην περίοδο ανάπτυξης, υπολογίστηκε η τιμή του συντελεστή για το μέσο της χρονικής περιόδου του τμήματος της περιόδου ανάπτυξης. Για παράδειγμα, η περίοδος ανάπτυξης για την ποικιλία Ρομπόλα είναι από 25 Απριλίου ως τις 15 Μαΐου. Ο συντελεστής καλλιέργειας για τον Απρίλιο θεωρείται σταθερός, με τιμή αυτή που παρουσιάζει στις 27 Απριλίου. Για το μήνα Μάιο αντίστοιχα, αυτή η σταθερή τιμή, είναι η τιμή που

εμφανίζεται στις 7 του μήνα. Αυτή η θεώρηση, επιτρέπεται λόγω της σταθερής γραμμικής μεταβολής του συντελεστή ανά ημέρα και της χρήσης των μέσων τιμών εξαμηνιαίας για κάθε μήνα. Έτσι, ενώ οι μισές μέρες της περιόδου μέσα στο μήνα υπερεκτιμώνται, οι υπόλοιπες μισές υποεκτιμώνται. Τα σφάλματα αυτά αλληλοαναιρούνται και το συνολικό σφάλμα για το μήνα μηδενίζεται.

2.15 Συντελεστής καλλιέργειας μέσης περιόδου, K_{Cmid}

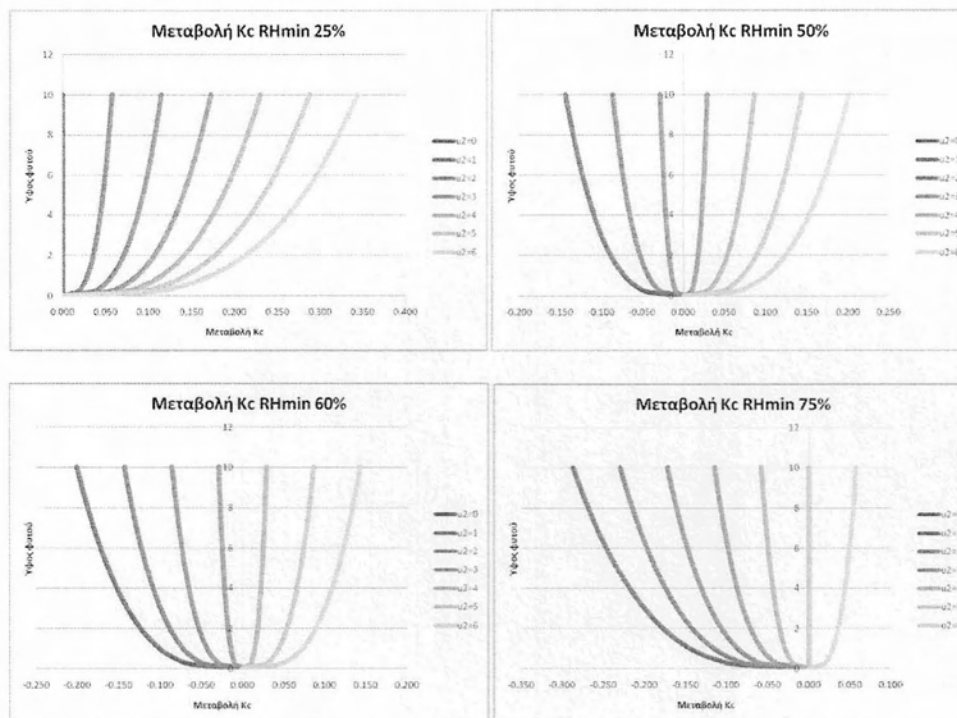
Από τον FAO, υπάρχουν διαθέσιμες τιμές για τους συντελεστές καλλιέργειας και αναφέρθηκαν στον πίνακα 2. Η απόκλιση του συντελεστή καλλιέργειας μέσης περιόδου από την μονάδα, ως τιμή αναφοράς, οφείλεται κυρίως στη διαφορά του ύψους της καλλιέργειας από την υποθετική αλλά και από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες [1]. Ανάλογα την προτεινόμενη χρήση κάθε ποικιλίας, προτείνεται και ο αντίστοιχος συντελεστής για τη μέση περίοδο. Ο συντελεστής αυτός όμως αναφέρεται στις εξής συνθήκες:

- Υγρό κλίμα, με μέση ημερήσια σχετική υγρασία (RH_{min}) 45%
- Ανέμους μέσης ταχύτητας 2m/s

Οι συντελεστές αυτοί πρέπει να μετασχηματιστούν κατάλληλα ώστε να χαρακτηρίζουν τις μέσες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε αμπελώνα κατά την μέση περίοδο. Οι διαφορές στην αεροδυναμική της καλλιέργειας αναφοράς και της πραγματικής καλλιέργειας αφορούν, εκτός από το φύλλωμα του φυτού και, τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες αλλά και το ύψος του φυτού. Πιο ξηρά κλίματα και έντονοι άνεμοι, θα δώσουν μεγαλύτερη τιμή στον συντελεστή καλλιέργειας από την προτεινόμενη (εικόνα 7).

Από τον FAO [1] προτείνεται η παρακάτω σχέση μετασχηματισμού των συντελεστών στις νέες συνθήκες υγρασίας και ανέμου αλλά και το θεωρούμενο ύψος του φυτού.

$$K_{Cmid} = K_{Cmid\ table} + [0.04 * (u_2 - 2) - 0.004 * (RH_{min} - 45)] * \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad [\text{εξ.41}]$$



Εικόνα 7. Μεταβολές του συντελεστή καλλιέργειας για 4 συνθήκες ελάχιστης υγρασίας βάσει διαφορετικών υψών καλλιέργειας και εντάσεων ανέμων.

Για τον υπολογισμό της εξίσωσης 41, υπολογίζεται το μέσο ελάχιστο ποσοστό υγρασίας για την μέση περίοδο κάθε ποικιλίας με τον τύπο:

$$RH_{min} = \frac{e^{\circ}(T_{dew})}{e^{\circ}(T_{max})} * 100 \quad [εξ.42]$$

Ως ύψος φυτού θεωρείται 1.5 μέτρο για όλες τις ποικιλίες. Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου, όπως έχει αναφερθεί και στο κομμάτι υπολογισμού της πραγματικής πίεσης υδρατμών e_a , δίνεται από τη σχέση $T_{dew} = T_{min} - 1$ (°C).

Ο συντελεστής $K_{c_{mid}}$ επηρεάζεται λιγότερο, σε σχέση με τον $K_{c_{ini}}$, από τη συχνότητα διαβροχής. Καθώς η καλλιέργειας βρίσκεται στο μέγιστο σημείο ανάπτυξης, και θεωρείται πλήρης η κάλυψη του εδάφους, το φαινόμενο της εξάτμισης έχει ελάχιστη επιρροή στον συντελεστή [1]. Στις περιπτώσεις ακραίων συχνοτήτων διαβροχής, περισσότερο από 1 γεγονότα ανά 3 ημέρες, ο συντελεστής της μέσης περιόδου μπορεί απλουστευτικά να αντικατασταθεί από το εύρος τιμών 1.1-1.3. Αυτή η τιμή προσομοιώνει καλύτερα την κατάσταση του μόνιμα υγρού εδάφους και της εντονότερης εξάτμισης.

2.16 Συντελεστής καλλιέργειας τελικού σταδίου, $K_{C_{end}}$

Το τέταρτο στάδιο του κύκλου καλλιέργειας είναι το τέλος της περιόδου. Όπως είναι εύκολα κατανοητό, φθάνει μέχρι τη συγκομιδή, την πλήρη «γήρανση» ή την πλήρη φυσική ξήρανση, οπότε και παύει η καλλιεργητική έννοια του φυτού. Η τιμή του συντελεστή για αυτή την περίοδο, μεταβάλλεται γραμμικά, όμοια με τον συντελεστή περιόδου ανάπτυξης. Η αρχική τιμή του είναι αυτή του μετασχηματισμένου συντελεστή μέσης περιόδου. Το κατώτερο όριο, που παρουσιάζεται την τελευταία μέρα του καλλιεργητικού κύκλου υπολογίζεται από τη σχέση 43. Οι λόγοι μετασχηματισμού είναι ίδιοι όπως και παραπάνω.

$$K_{C_{end}} = K_{C_{end\ table}} + [0.04 * (u_2 - 2) - 0.004 * (RH_{min} - 45)] * \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad [\text{εξ.43}]$$

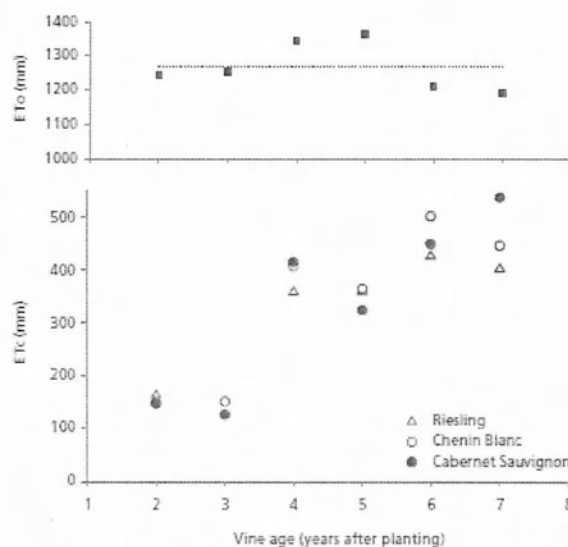
Ακολουθώντας τη διαδικασία μεταβολής ανά μήνα, όπως και για τον συντελεστή της περιόδου ανάπτυξης, υπολογίσθηκε ο συντελεστής του τέλους κάθε ποικιλίας, για κάθε μήνα που βρίσκεται εντός αυτού του σταδίου.

Στην διάρκεια των υπολογισμών των συντελεστών καλλιέργειας, έγινε επιπλέον η υπόθεση της πανομοιότυπης διαχείρισης των αμπελώνων σε όλη την Ελλάδα. Είναι εύκολα κατανοητό ότι πρόκειται για μια απλουστευτική υπόθεση, η οποία όμως είναι αδύνατο να μη συμβεί. Το σταθερό, για όλες τις ποικιλίες και περιοχές, ύψος καλλιέργειας εμπεριέχει αυτή τη γενικευμένη υπόθεση. Είναι γνωστό πως κάθε περιοχή έχει μια συνήθη και διαδεδομένη πρακτική καλλιέργειας του αμπελιού, κυρίως λόγω των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Παράδειγμα αποτελούν οι Κυκλάδες όπου, λόγω των ισχυρών ριπών ανέμου που παρουσιάζουν, η καλλιεργητική πρακτική του «όρθιου αμπελιού» αποτελεί κίνδυνο για την καλλιέργεια και συχνά, αλλά όχι πάντα, αποφεύγεται. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την εξατμισοδιαπνοή, εκτός του ύψους, είναι και η συνολική επιφάνεια φυλλώματος. Σε αυτή την περίπτωση έγινε κρυφή υιοθέτηση μιας και μόνο πρακτικής κλαδέματος έμμεσα, λόγω της χρήσης του συντελεστή καλλιέργειας που προτείνεται από τον FAO. Ο μετασχηματισμός του συντελεστή, έχει να κάνει με το γεγονός ότι έχει υπολογισθεί για συγκεκριμένες συνθήκες υγρασίας και ανέμου. Όμως ο μετασχηματισμένος συντελεστής αντιπροσωπεύει πλέον την επίδραση συγκεκριμένων φυσικών χαρακτηριστικών της αμπέλου, σε διάφορα κλίματα, σε

σύγκριση με αυτά της καλλιέργειας αναφοράς. Αυτά τα χαρακτηριστικά παραμένουν σταθερά στον συντελεστή, άρα και η πρακτική καλλιέργειας που τα επιτρέπει.

Η υπόθεση της πανομοιότυπης διαχείρισης των αμπελώνων δε θα μπορούσε να μη συμβεί, αφού μελετάμε το σύνολο των αμπελώνων στην Ελλάδα και όχι ένα αμπέλι ή αμπελουργική περιοχή σε τοπικό επίπεδο. Επιπλέον, οι σύγχρονοι αμπελώνες ακολουθούν «νόρμες» ή «βέλτιστες πρακτικές» που παράγουν μια ομοιογένεια σε επίπεδο διαχείρισης και καλλιεργητικής πρακτικής. Έτσι, η ενιαία αντιμετώπιση σε αυτή τη μελέτη δεν αποτελεί ακραίο λάθος, αλλά περιέχει σφάλματα ακρίβειας που είναι αδύνατο να υπολογισθούν, παρά από μελέτες σε τοπικό επίπεδο.

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί η σχέση ανάμεσα στην ηλικία της αμπέλου και της μέσης ετήσιας εξατμισοδιαπνοής της. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς το ριζικό σύστημα και ο κορμός του φυτού αναπτύσσονται, φτάνουν τη μέγιστη απόδοσή τους 6-7 χρόνια μετά την φύτευση τους. Ανάλογη είναι και η συμπεριφορά της εξατμισοδιαπνοής της αμπέλου, η οποία φαίνεται να αυξάνεται όσο αυξάνεται η ηλικία του φυτού [28]. Αυτή η σχέση, δεν εντάχθηκε στα πλαίσια της μελέτης, αφού η ηλικία του αμπελώνα είναι ένα ακόμα δεδομένο άκρως τοπικού χαρακτήρα.



Εικόνα 8. Δυνητική εξατμισοδιαπνοή, βάσει Penman-Monteith και μεταβολή πραγματικής εξατμισοδιαπνοής αμπέλου συναρτήσει της ηλικίας της. Περιοχή μελέτης Ουάσιγκτον, ΗΠΑ. [29]

2.17 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, ET_{Cadj}

Το προηγούμενο κεφάλαιο ασχολήθηκε με τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής όλων των αμπελώνων της Ελλάδας, για κάθε ποικιλία, κάτω από βέλτιστες συνθήκες. Η ιδανικότητα όμως των συνθηκών δεν είναι σύνηθες φαινόμενο στις καλλιέργειες. Συχνά παρουσιάζονται ασθένειες ή έντομα, ελλείψεις κάποιου θρεπτικού, προβλήματα λόγω χρήσης νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα ή έλλειψη ικανοποιητικής ποσότητας νερού. Όλα τα παραπάνω επιδρούν στην ανάπτυξη και το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας με αποτέλεσμα να διαφέρει από αυτήν των βέλτιστων συνθηκών.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται πολλές επιρροές στο φυτό της αμπέλου από την έλλειψη νερού. Τα αποτελέσματα αυτής δεν είναι πάντα αρνητικά, με συνέπεια συχνά να επιδιώκεται η στερητική άρδευση των οινοπαραγωγικών αμπελώνων. Η απόκριση της αμπέλου στην υδατική καταπόνηση δεν είναι ίδια για όλες τις ποικιλίες. Συγκριτικά με τις ερυθρές ποικιλίες, οι λευκές είναι γενικά πιο ευάλωτες σε περιόδους περιορισμένης εδαφικής υγρασίας με συχνά αρνητικά αποτελέσματα [28],[30],[31]. Επιπλέον, η απόκρισή της εξαρτάται και από την χρονική περίοδο στην οποία εμφανίζεται η υδατική καταπόνηση. Λεπτομέρειες για τη σχέση απόκρισης της αμπέλου και χρονικής περιόδου που εμφανίζεται η υδατική καταπόνηση μπορεί να βρεθεί στην αντίστοιχη βιβλιογραφία [28],[32],[33],[34],[35]. Επιπλέον, μια ηθελημένη στερητική πρακτική άρδευσης, ως μέσο απόδοσης συγκεκριμένων χαρακτηριστικών στο παραγόμενο προϊόν, επιδρά στους συντελεστές καλλιέργειας. Η πρακτική άρδευσης ενός αμπελώνα σε κάθε περίπτωση αποτελεί επιλογή του παραγωγού, ανάλογα τον επιθυμητό χαρακτήρα του τελικού προϊόντος που επιζητεί. Πρόκειται δηλαδή για ένα ακόμα μοντέλο διαχείρισης τοπικού και υποκειμενικού χαρακτήρα, που δεν μπορεί να ενταχθεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης παρά μόνο σαν αναφορά.

Όταν η εδαφική υγρασία μειωθεί περισσότερο από ένα όριο, τότε θεωρούμε ότι παρουσιάζεται υδατική καταπόνηση στο φυτό. Το φαινόμενο αυτό μειώνει την εξατμισοδιαπνοή του φυτού και η επίδραση αυτή προσομοιώνεται με τη χρήση του συντελεστή υδατικής καταπόνησης K_s . Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή τότε δίνεται

από τη σχέση $ET_{C_{adj}} = K_s * K_c * ET_o$ [εξ.44] και ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης από τη σχέση:

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \quad [\text{εξ.45}]$$

όπου:

TAW το συνολικό διαθέσιμο ύψος νερού (mm)

RAW το εύκολα διαθέσιμο ύψος νερού (mm)

D_r πτώση εδαφικής υγρασίας στο ύψος της ρίζας (mm)

Το συνολικό διαθέσιμο ύψος νερού εντός του εδάφους αφορά το νερό που είναι αποθηκευμένο στο έδαφος και διαθέσιμο στις ρίζες του φυτού. Μετά από έντονες βροχοπτώσεις και αρδεύσεις το έδαφος στραγγίζει το επιπλέον νερό μέχρι να φτάσει το σημείο υδατοϊκανότητας (field capacity). Σε περίοδο που τα υδατικά διαθέσιμα του εδάφους δεν ανανεώνονται φυσικά ή τεχνητά, το διαθέσιμο νερό στις ρίζες μειώνεται ως αποτέλεσμα απορρόφησης του από το φυτό. Όσο η υπολειπόμενη ποσότητα συνεχίζει να μειώνεται, τόσο πιο δύσκολη είναι η πρόσληψή της από το ριζικό σύστημα, με αποτέλεσμα όταν η εδαφική υγρασία φτάσει το λεγόμενο σημείο μαρασμού (wilting point), ο ρυθμός πρόσληψης να μηδενίζεται [1].

Το συνολικό διαθέσιμο ύψος νερού (TAW) δίνεται από τη σχέση:

$$TAW = 1000 * (\theta_{FC} - \theta_{WP}) * z_r \quad [\text{εξ.46}]$$

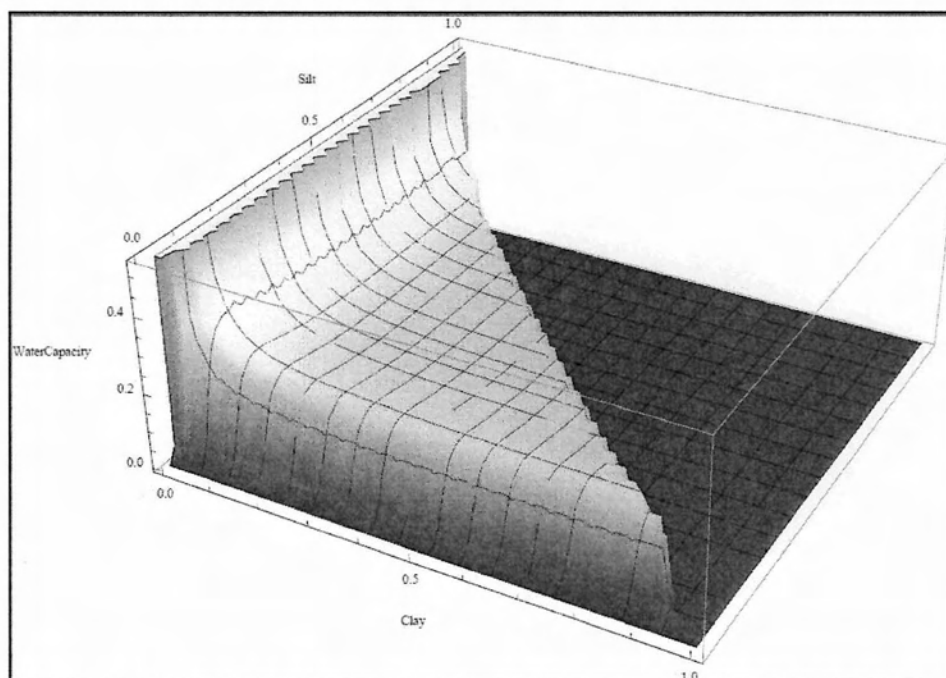
Όπου:

z_r , το μέγιστο βάθος της ρίζας του φυτού (m)

θ_{FC} , θ_{WP} όπως έχουν οριστεί και πριν

Ως μέγιστο βάθος της ρίζας για όλες τις ποικιλίες αμπέλου, χρησιμοποιήθηκε η προτεινόμενη από τον FAO τιμή του 1.5 μέτρου [1].

Η συμπεριφορά του συνολικά διαθέσιμου ύψους νερού TAW, συναρτήσει των πεδοσυναρτήσεων της HYPRES που παράγουν τους συντελεστές θ_{FC} και θ_{WP} συναρτήσει μόνο της κοκκομετρίας του εδάφους, παρουσιάζεται στην εικόνα 9.



Εικόνα 9. Τρισδιάστατη γραφική αναπαράσταση της εξίσωσης 46 για όλες τις πιθανές κοκκομετρίες εδάφους για σταθερές τιμές πυκνότητας, βάθους ρίζας και ποσοστό οργανικής ύλης.

Ενώ η εδαφική υγρασία είναι διαθέσιμη για τις ρίζες του φυτού, μέχρι το σημείο μαρασμού, εντούτοις υπάρχει ένα όριο πρόσληψης της πέρα από το οποίο παρουσιάζεται η υδατική καταπόνηση του φυτού. Η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να προσληφθεί από το φυτό και να μην παρουσιαστεί η καταπόνηση, ονομάζεται εύκολα διαθέσιμο ύψος νερού (readily available water) και θεωρείται ως ποσοστό του συνολικά διαθέσιμου.

$$RAW = p * TAW \quad [εξ.47]$$

Το ποσοστό p που σηματοδοτεί την έναρξη της υδατικής καταπόνησης του φυτού, για την καλλιέργεια αμπέλου εξαρτάται από τη χρήση της ποικιλίας. Για οινοπαραγωγικές ποικιλίες ο FAO προτείνει την τιμή $p_{table/wine} = 0.45$ και για επιτραπέζιες ή ποικιλίες σταφίδας η τιμή $p_{table/table \text{ or } raisin} = 0.35$ όταν η μέση εξατμισοδιαπνοή βέλτιστων συνθηκών ET_c είναι περίπου 5mm/day . Ο

μετασχηματισμός αυτών των τιμών για διαφορετικές τιμές εξατμισοδιαπνοής μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση 48.

$$p = p_{table} + 0.04 * (5 - ET_C) \quad [εξ.48]$$

Το ποσοστό p έχει ελάχιστο όριο 0.1 και μέγιστο 0.8 [1].

Η ελάττωση της εδαφικής υγρασίας στο ύψος της ρίζας, προκύπτει από τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους. Η γενική εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, εκφραζόμενου ως πτώση της εδαφικής υγρασίας, είναι η εξής:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad [εξ.49]$$

όπου:

$D_{r,i}$ η πτώση της εδαφικής υγρασίας την περίοδο i (mm)

$D_{r,i-1}$ η πτώση της εδαφικής υγρασίας την προηγούμενη της περιόδου i (mm)

P_i η βροχόπτωση την περίοδο i (mm)

RO_i η απορροή την περίοδο i (mm)

I_i το ύψος νερού που εισχωρεί στο έδαφος από την άρδευση την περίοδο i (mm)

CR_i η τριχοειδής ανύψωση την περίοδο i (mm)

$ET_{c,i}$ η εξατμισοδιαπνοή υπό βέλτιστες συνθήκες την περίοδο i (mm)

DP_i η απώλεια νερού από τη ζώνη του ριζικού συστήματος μέσω βαθιάς διήθησης την περίοδο i (mm)

Όπως έχει γραφτεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι περίοδοι του καλλιεργητικού κύκλου του φυτού δεν ταυτίζονται με το χρονικό διάστημα του μήνα. Για παράδειγμα, η αρχική περίοδος της ποικιλίας Κοτσιφάλι ξεκινά στις 25 Μαρτίου και τελειώνει στις 25 Απριλίου. Στη συνέχεια από 25 Απριλίου μέχρι 15 Μαΐου μπαίνει στην περίοδο ανάπτυξης και από 15 Μαΐου μέχρι 25 Ιουλίου στη μέση περίοδο. Η πλήρης ωρίμανση και των καρπών συμβαίνει στις 31 Αυγούστου. Για κάθε περίοδο ισχύει ξεχωριστή τιμή για τον συντελεστή καλλιέργειας, άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μηνιαίο βήμα στους υπολογισμούς του υδατικού ισοζυγίου. Συγκεκριμένα για το Κοτσιφάλι, και στη συνέχεια αντίστοιχα για τις υπόλοιπες ποικιλίες, υπολογίζεται αρχικά το υδατικό ισοζύγιο για τις περιόδους 25 Μαρτίου έως 31 Μαρτίου και 1 Απριλίου ως 25 Απριλίου. Ο λόγος που χωρίζεται η αρχική περίοδος σε δύο στάδια είναι, επειδή κάθε μήνας παρουσιάζει διαφορετικά ύψη και

συχνότητα βροχόπτωσης. Έτσι, για το τελευταίο εξαήμερο του Μαρτίου, υπολογίζεται το συνολικό ύψος απορροής ΣRO (αναφορά ως ΣΡε στην μέθοδο της SCS), βάσει του αριθμού γεγονότων που συμβαίνουν σε 6 ημέρες και της μέσης απορροής ανά γεγονός. Για αυτή την περίοδο επίσης γίνεται χρήση του συντελεστή καλλιέργειας $K_{c_{ini}}$ για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής ETc. Στη συνέχεια υπολογίζεται, με τον ίδιο συντελεστή καλλιέργειας αλλά για τη μέση απορροή ανά γεγονός και τον αριθμό γεγονότων που συμβαίνουν σε 25 μέρες, το υδατικό ισοζύγιο για το δεύτερο στάδιο της αρχικής περιόδου, από 1 έως 25 Απριλίου. Όμοια αντιμετωπίζονται και οι επόμενες 3 περίοδοι του καλλιεργητικού κύκλου της ποικιλίας.

Η μέση απορροή ανά γεγονός βροχής, έχει υπολογισθεί με τη μέθοδο SCS και συγκεκριμένα με την εξίσωση 36.

Ως απώλεια νερού μέσω βαθιάς διήθησης DP_i , υπολογίστηκε η ποσότητα εισαγόμενου, από βροχή ή άρδευση, νερού που υπερβαίνει τη μέγιστη αποθηκευτικότητα του εδάφους [36].

Η εισροή νερού από τριχοειδή ανύψωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα CR_i , δε μπορεί να θεωρηθεί για αυτή την εργασία, αφού δεν υπάρχουν δεδομένα για την απόστασή του από το ριζικό σύστημα των αμπέλων.

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία και συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό κατώτατων και ανώτατων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην άρδευση (Κ.Υ.Α. Φ16/6631/89) [37] θέτονται τα όρια για τη χρήση αρδευτικού νερού ανά Υδατικό Διαμέρισμα και κατηγορία καλλιεργειών για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου (πίνακας 7).

Υδατικό Διαμέρισμα	March	April	May	June	July	August	September	October
GR01 Δυτική Πελοπόννησος	0	69	99	110	115	113	88	0
GR02 Βόρεια Πελοπόννησος	0	77	102	115	124	118	93	0
GR03 Ανατολική Πελοπόννησος	0	74	99	113	121	115	93	0
GR04 Δυτική Στερεά Ελλάδα	0	58	88	113	124	115	80	0
GR05 Ήπειρος	0	44	80	107	121	115	69	0
GR06 Αττική	0	74	102	115	124	118	93	0
GR07 Ανατολική Στερεά Ελλάδα	0	69	96	110	124	115	88	0
GR08 Θεσσαλία	0	66	88	110	124	115	82	0
GR09 Δυτική Μακεδονία	0	66	74	99	110	104	77	0
GR10 Κεντρική Μακεδονία	0	63	85	102	118	110	80	0
GR11 Ανατολική Μακεδονία	0	66	88	99	113	107	82	0
GR12 Θράκη	0	63	88	102	115	110	80	0
GR13 Κρήτη	0	77	102	115	124	118	96	0
GR14 Νήσοι Αιγαίου	0	77	102	115	118	113	93	0

Πίνακας 7. Ανώτερα όρια χρήσης νερού (mm) για άρδευση αμπελώνων ανά υδατικό διαμέρισμα. Τα όρια ισχύουν ανά μήνα και όχι αθροιστικά.

Για τον υπολογισμό της άρδευσης έγινε η υπόθεση της βέλτιστης υδατικής συνθήκης. Όταν η πτώση της εδαφικής υγρασίας D_r , χωρίς τον συνυπολογισμό της άρδευσης στην εξίσωση, υπερβεί το εύκολα διαθέσιμο ύψος νερού RAW, τότε εμφανίζεται το φαινόμενο της υδατικής καταπόνησης, άρα και ανάγκη άρδευσης. Η ποσότητα που είναι απαραίτητο να εισχωρήσει στο έδαφος τότε είναι ίση με την D_r . Όμως, υπακούοντας την ελληνική νομοθεσία για τα ανώτερα όρια, τίθεται η διπλή ανισότητα

$\Sigma D_{r_{month}} \leq \Sigma I_{month} \leq I_{month \text{ limit}}$. Έτσι, η ανώτερη αθροιστική χρήση νερού για άρδευση στους αμπελώνες θεωρούμε ότι ακολουθεί τις τιμές του πίνακα 7 για κάθε Υδατικό Διαμέρισμα και μήνα. Ασφαλώς, κάποιες εκτάσεις αμπελώνων λαμβάνουν νερό μόνο από τη βροχή (rain fed) ενώ η χρήση παράνομων γεωτρήσεων, με αποτέλεσμα την εντατική χρήση νερού για άρδευση, αποτελεί ευρέως διαδεδομένο φαινόμενο στην Ελλάδα. Η παραπάνω υπόθεση αποτελεί μια ασφαλή προσέγγιση των αρδευτικών αναγκών και της πιθανά εφαρμοζόμενης άρδευσης, βάσει της ελληνικής νομοθεσίας.

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται υπολογισμός της πτώσης της εδαφικής υγρασίας D_r , άρα και των συντελεστών υδατικής καταπόνησης K_s για κάθε περίοδο, όπως αυτές έχουν αναλυθεί. Ο συντελεστής υδατικής καταπόνησης στην περίπτωση που η πτώση της εδαφικής υγρασίας είναι μικρότερη από το εύκολα διαθέσιμο νερό στη ζώνη του ριζικού συστήματος ($D_r < RAW$) είναι ίσος με τη μονάδα. Αυτό συμβαίνει αφού, όπως είπαμε καινωρίτερα, το όριο εμφάνισης του φαινομένου της υδατικής καταπόνησης, και της επίδρασης του στην εξατμισοδιαπνοή, είναι η τιμή RAW.

Με το κεφάλαιο της πραγματική εξατμισοδιαπνοής $ET_{C_{adj}}$, ολοκληρώνονται τα βήματα υπολογισμού της ενότητας της εξατμισοδιαπνοής. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η προτεινόμενη από τον FAO, ενώ για την προσέγγιση παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκαν προσεγγίσεις και μεθοδολογίες ευρέως αποδεκτές. Τα σφάλματα ή προβλήματα που μπορεί να προέκυψαν, σχολιάζονται για κάθε προσέγγιση ή μεθοδολογία στο αντίστοιχο σημείο.

Για τον υπολογισμό του πράσινου υδατικού αποτυπώματος, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του κεφαλαίου, υπολογίστηκε μόνο η εξατμισοδιαπνοή που ικανοποιείται από την εισαγόμενη στο έδαφος βροχόπτωση και την υπάρχουσα αποθηκευμένη ποσότητα βροχής από προηγούμενους μήνες. Άρα για τις περιόδους που δεν έχει εκτιμηθεί ανάγκη άρδευσης, όλη η εξατμισοδιαπνοή προέρχεται πλήρως από το πράσινο νερό και ισχύει :

$$ET_{green\ i} = \sum ET_{C\ adj\ i}$$

Όταν σε κάποιο μήνα ή στάδιο της καλλιέργειας θεωρήσαμε ότι πραγματοποιήθηκε άρδευση, τότε η πράσινη εξατμισοδιαπνοή θεωρήσαμε ότι ικανοποιήθηκε από την βροχή και όχι από τα διαθέσιμα αποθέματα πράσινου νερού. Υπολογίστηκε ίση με το συνολικά εισαγόμενο ύψος βροχής στο έδαφος για τη δεδομένη περίοδο (εξ.50).

$$ET_{green\ i} = \sum P_{e\ i} \quad [εξ.50]$$

Για την μετατροπή των μονάδων της εξατμισοδιαπνοής από mm σε m^3/ha , πολλαπλασιάζεται επί 10.

Χρήση στοιχείων από την ΕΛΣΤΑΤ έγινε για το ποσοστό χρήσης και την απόδοση των ποικιλιών, σε επίπεδο περιφερειών, όπως φαίνεται στους πίνακες του παραρτήματος. Με βάση αυτά υπολογίστηκε το πράσινο υδατικό αποτύπωμα της διαδικασίας παραγωγής σε κάθε περιφέρεια της Ελλάδας ανά εκτάριο για κάθε ποικιλία. Επειδή δεν ήταν γνωστή η ποικιλία που χρησιμοποιείται σε κάθε αμπελώνα, αλλά το ποσοστό που αυτή κατέχει συνολικά στους αμπελώνες της περιφέρειας, έγινε υπόθεση ότι όλες οι ποικιλίες που χρησιμοποιούνται στην περιφέρεια, έχουν σταθερό ποσοστό παρουσίας σε όλους τους αμπελώνες της.

3.Μπλε υδατικό αποτύπωμα

Το μπλε υδατικό αποτύπωμα, αποτελεί το δείκτη κατανάλωσης αυτού που ονομάζεται μπλε νερό. Με τον όρο μπλε νερό ορίζεται το γλυκό νερό από υδατικούς πόρους, επιφανειακούς ή υπόγειους, όπως ποτάμια, λίμνες, υπόγειοι υδροφορείς αλλά και ανθρωπίνες κατασκευές όπως τα φράγματα και οι μονάδες αφαλάτωσης.

Η καταναλωτική χρήση αυτών των υδάτων προσδιορίζεται με τους εξής 4 τρόπους:

- Το νερό εξατμίζεται
- Το νερό ενσωματώνεται στο παραγόμενο προϊόν
- Το νερό δεν επιστρέφει στην ίδια λεκάνη απορροής
- Το νερό δεν επιστρέφει την ίδια περίοδο

Η χρήση του νερού λοιπόν, στα πλαίσια του υδατικού αποτυπώματος, αποκτά, εκτός από κατηγορία κατανάλωσης, χρονικό και χωρικό χαρακτήρα. Η λέξη «κατανάλωση» δεν σημαίνει και «εξαφάνιση» της ποσότητας νερού, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό παραμένει εντός του υδρολογικού κύκλου και πάντα επιστρέφει κάπου [38]. Με τη χρήση αυτού του όρου, εννοείται η χωρική και χρονική δέσμευση ή απομάκρυνση από τον υδρολογικό κύκλο ποσότητας νερού, οπότε και δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μια άλλη παραγωγική διαδικασία, για παράδειγμα, όταν το νερό, αντλούμενο από τον υπόγειο υδροφορέα, χρησιμοποιηθεί για την άρδευση μια καλλιέργειας. Μέρος αυτού χάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής, άλλο απορροφάται από τις ρίζες και ενυδατώνει τους ιστούς του φυτού, άλλο απορρέει επιφανειακά και εξέρχεται της λεκάνης, ενώ και ένα μέρος του διηθείται βαθιά προς τον υπόγειο υδροφορέα από όπου προήλθε. Όλες αυτές οι επιμέρους ποσότητες παύουν να είναι διαθέσιμες για την αρδευόμενη επιφάνεια. Ακόμα και το νερό που διηθείται βαθιά στο έδαφος προς τον υδροφορέα, δεν ενσωματώνεται άμεσα αλλά μετά από αρκετό καιρό. Μπορεί λοιπόν το φυτό να δέσμευσε μόνο μέρος από το σύνολο της άρδευσης, όμως, για να καλυφθούν οι υδατικές του ανάγκες, προέκυψαν ταυτόχρονα και απώλειες στην άμεσα διαθέσιμη ποσότητα νερού του πόρου.

Ο υπολογισμός του, για τη διαδικασία παραγωγής σε ένα αμπελώνα, δίνεται από τη σχέση:

$$WF_{blue} = ET_{blue} + BlueWaterIncorporation + LostReturnFlow \quad [εξ.51]$$

Όπου:

ET_{blue} , η εξατμισοδιαπνοή που ικανοποιείται από την άρδευση

$BlueWaterIncorporation$, το νερό της άρδευσης που ενσωματώνεται στο προϊόν

$LostReturnFlow$, το ύψος άρδευσης που δεν είναι διαθέσιμο προς

επαναχρησιμοποίηση στην ίδια λεκάνη για την ίδια περίοδο με την απόληψη

Η τελευταία ποσότητα συνήθως υπολογίζεται με τη χρήση του δείκτη αποδοτικότητας της άρδευσης. Υπάρχουν διαφορετικές τιμές που προτείνονται από τον FAO για διαφορετικές μεθόδους ποτίσματος (πίν. 8).

Μέθοδος άρδευσης	Συντελεστής απόδοσης άρδευσης ea
Επιφανειακή άρδευση (αυλάκια κτλ)	60%
Με τεχνητή βροχή	75%
Στάγδην άρδευση	90%

Πίνακας 8. Απόδοση άρδευσης ανά μέθοδο [43]

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο του πράσινου υδατικού αποτύπωματος, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας συνήθως ικανοποιείται μόνο μερικώς από την βροχή. Η υπολειπόμενη εξατμισοδιαπνοή ικανοποιείται από το νερό της άρδευσης (εξ. 52).

$$ET_{blue} = \sum ET_{C adj} - ET_{green} \quad [εξ.52]$$

Το συνολικό μπλε υδατικό αποτύπωμα θεωρείται ίσο με την εφαρμοζόμενη άρδευση, αφού μέρος αυτής ικανοποιεί την υπολειπόμενη εξατμισοδιαπνοή. Η άρδευση που επιλέχθηκε, παίζει έναν ακόμα σημαντικό ρόλο. Ικανοποιεί τη συνθήκη μη παρουσίας της υδατικής καταπόνησης στον αμπελώνα. Ασφαλώς, στις περιοχές και για τους μήνες που οι αρδευτικές ανάγκες του αμπελιού υπερέβαιναν τα καθορισμένα από τον νόμο όρια, θεωρήθηκε η μέγιστη δυνατή κατά το ΦΕΚ άρδευση και το φαινόμενο της υδατικής καταπόνησης εμφανίστηκε. Όπως και για το πράσινο υδατικό αποτύπωμα, η ποσότητα αρδευτικού νερού που ενσωματώνεται στο φυτό και τον καρπό του δεν υπολογίστηκαν αφού είναι εξαιρετικά δύσκολος ο διαχωρισμός τους. Οι απώλειες κατά την εφαρμογή της επίσης υπολογίζονται με τη χρήση των

συντελεστών απόδοσης, αφού και αυτές είτε εξατμίζονται είτε διηθούνται και παύουν να είναι διαθέσιμες την ίδια χρονική περίοδο για επαναχρησιμοποίηση από την πηγή τους. Η συνολικά εφαρμοζόμενη άρδευση είναι το άθροισμα της κάλυψης των αναγκών εξατμισοδιαπνοής των φυτών και των απωλειών εφαρμογής της.

$$I_{applied} = \frac{I_t}{e_a} \quad [\text{εξ.53}]$$

Ο συντελεστής απόδοσης e_a που χρησιμοποιήθηκε, για την άρδευση των αμπελώνων, είναι αυτός της τεχνητής βροχής.

Το μπλε υδατικό αποτύπωμα εκφράζεται όπως και το πράσινο ανά εκτάριο σε κάθε περιφέρεια.

4.Γκρι υδατικό αποτύπωμα

Το τρίτο κομμάτι του υδατικού αποτυπώματος, αφορά στην προσομοίωση της μόλυνσης από μια παραγωγική διαδικασία. Το γκρι υδατικό αποτύπωμα ορίζεται ως η ποσότητα γλυκού νερού που απαιτείται για την αφομοίωση του παράγοντα ρύπανσης, με βάση την υφιστάμενη κατάσταση του αποδέκτη και τα ελάχιστα αποδεκτά όρια. Ενώ στην πραγματικότητα υπολογίζεται η ποσότητα νερού που απαιτείται για τη διάλυση του ρυπαντή, προτιμάται ο όρος αφομοίωση για την αποφυγή σύγχυσης με την παλιά ρητορική-λογοπαίγνιο, "the solution to pollution is dilution" [2],[38],[42].

Συγκριτικά με τους υπόλοιπους δείκτες χρήσης νερού, ειδικά για την γεωργία, το γκρι υδατικό αποτύπωμα είναι αυτό που έχει λάβει τη μικρότερη προσοχή [44]. Εκτός της άρδευσης, στα πλαίσια μιας καλλιέργειας, παρουσιάζεται ακόμα μία ανθρωπογενής παρέμβαση. Σύμφωνα με το νόμο του «ελαχίστου» (ή νόμου του Liebig), «η ανάπτυξη ενός οργανισμού εξαρτάται από εκείνο το στοιχείο του υποστρώματος που βρίσκεται σε μικρότερη, σχετικώς, ποσότητα, δηλαδή σε αναλογία σημαντικώς διαφορετική από την προβλεπόμενη ή απαιτούμενη για την εξέλιξη ενός φυσικού μηχανισμού» [40]. Το στοιχείο αυτό, ορίζεται ως περιοριστικός παράγοντας. Τέτοιοι παράγοντες για τα φυτά, συνήθως είναι τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Τα θρεπτικά συστατικά όπως άζωτο, φώσφορος, κάλιο, μαγνήσιο και άλλα αποτελούν, σε διαφορετικές ποσότητες, την απαιτούμενη ανόργανη θρέψη ενός φυτού. Η ανόργανη θρέψη προσφέρει τα απαραίτητα στοιχεία για τη σωστή λειτουργία των μηχανισμών του φυτού και είναι υπεύθυνη για τη ζωνρότητα και την απόδοση του. Σε διαφορετικές περιόδους ή περιοχές, μπορεί να παρουσιαστεί έντονη μείωση αυτών, είτε λόγω εντατικής καλλιέργειας είτε λόγω απώλειας μέσω του εδάφους μετά από μεγάλες βροχοπτώσεις. Τότε ο άνθρωπος επεμβαίνει στο περιβάλλον της καλλιέργειας, προσθέτοντας λίπασμα για να εξαλείψει τον περιοριστικό παράγοντα. Συνήθως όμως δεν συμπληρώνει απλά τα απαιτούμενα θρεπτικά, αλλά χρησιμοποιεί μεγαλύτερες ποσότητες λιπάσματος, από τις συνιστώμενες ή προτεινόμενες, προσδοκώντας μεγαλύτερη συγκομιδή.

Μετά την ανακάλυψη της μεθόδου Χάμπερ-Μπος το 1911, με αποτέλεσμα την φθηνή παραγωγή νιτρικών λιπασμάτων, και με την αύξηση των απαιτήσεων σε αγροτικά προϊόντα που σηματοδότησε η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, ο

γεωργικός τομέας παγκοσμίως αποθέτει τεράστιες ποσότητες αζώτου και άλλων στοιχείων στα εδάφη. Πρόκειται για ένα αναγκαίο κακό, αφού η χρήση των λιπασμάτων είναι υπεύθυνη για την κατακόρυφη αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής και την κάλυψη των αναγκών μας, ενώ ταυτόχρονα παράγει και φαινόμενα ευτροφισμού σε επιφανειακούς υδατικούς πόρους και απαγορευτικών, για τη χρήση του νερού, συγκεντρώσεων στους υπόγειους. Τα προβλήματα υψηλών συγκεντρώσεων, πέρα από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων ή τη μη συμμόρφωση με τους κανόνες χρήσης τους, εν μέρει οφείλονται και στα φυσικά χαρακτηριστικά κάθε εδάφους και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην καλλιέργεια.

Η περιβαλλοντική πίεση που ασκείται στο έδαφος και τους υδροφορείς από την γεωργία, εκτός της έντονης χρήσης λιπάσματος που έχει ως αποτέλεσμα τις υψηλές συγκεντρώσεις στοιχείων, κυρίως αζώτου και φωσφόρου, προέρχεται και από τη χρήση ζιζανιοκτόνων που οδηγεί σε τοξικότητα. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης θα υπολογιστούν μόνο τα φορτία αζώτου, θεωρώντας τις βέλτιστες τακτικές χρήσης νιτρικών λιπασμάτων.

«Φυσικά, για να ληφθεί μια ακριβής εικόνα για το γκρι αποτύπωμα νερού της καλλιέργειας, κάποιος πρέπει να έχει μια καλή εκτίμηση της εφαρμογής λιπάσματος αζώτου για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, καθώς και του εφαρμοζόμενου αζώτου που χάνεται μέσω της έκπλυσης» [44].

Για τον υπολογισμό της ετήσιας έκπλυσης αζώτου χρησιμοποιούμε την εξίσωση 54, η οποία αποτελεί μια συνάρτηση που συνδέει την ετήσια έκπλυση αζώτου με τις συνθήκες διαβροχής [49]. Πρόκειται για μια διαδεδομένη εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε σε αρκετές μελέτες [50].

$$N = 21.37 + \frac{P}{c * L} * [0.0037 * S + 0.0000601 * N_{org} - 0.00362 * U] \quad [\text{εξ.54}]$$

Όπου:

N, η έκπλυση αζώτου (kg NO₃-N/ha)

P, το άθροισμα ετήσιας βροχόπτωσης και εφαρμοζόμενης άρδευσης (mm)

c, το ποσοστό αργίλου (%)

L, το βάθος ρίζας (m)

S, η εφαρμοζόμενη λίπανση αζώτου (kg N/ha)

N_{org} , το άζωτο από την οργανική ουσία του εδάφους (kg N/ha)

U, η πρόσληψη αζώτου από το φυτό (kg N/ha)

Σύμφωνα με το ΦΕΚ για την ορθή γεωργική πρακτική [46], για την καλλιέργεια της αμπέλου οι ενδεικτικές ποσότητες λίπανσης είναι 5-15 λιπαντικές μονάδες αζώτου και 0-5 λιπαντικές μονάδες φωσφόρου. Ως λιπαντική μονάδα ορίζεται η ποσότητα του λιπάσματος που περιέχει 1 κιλό θρεπτικού. Άρα ως S ορίζεται η μέση τιμή των 10kg N/στρέμμα ή 100 kg N/ha.

Για το άζωτο από την οργανική ουσία N_{org} , βάσει πηγών [47], 1% οργανικής ουσίας στο έδαφος, αποδίδει ετήσια 20 lbsN/acre, δηλαδή 2.24 kg N/ha.

Τέλος, για την πρόσληψη του αζώτου από την άμπελο, μια γενική τιμή που προτείνεται είναι η δέσμευση από το σταφύλι 1.5 kg N ανά τόνο παραγόμενου προϊόντος. Ασφαλώς και η δέσμευση αζώτου δεν συμβαίνει μόνο από τον καρπό αλλά και από τον κορμό και το φύλλωμα. Για την παραγωγή ενός τόνου σταφυλιών, το αμπέλι δεσμεύει τελικά συνολικά 3.5-4 kg N. [47]

Η εξίσωση υπολογισμού του γκρι υδατικού αποτυπώματος (m^3/ha) είναι:

$$WF_{grey} = \frac{N_{leach}}{c_{max} - c_{nat}} \quad [εξ.55]$$

Όπου:

N_{leach} , η ποσότητα αζώτου που χάνεται μέσω έκπλυσης και καταλήγει στους υδροφορείς
(kg N/ha)

C_{max} , η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση αζώτου στο νερό (kg N/ m^3)

C_{nat} , η παρούσα συγκέντρωση αζώτου στον αποδέκτη (kg N/ m^3)

Η έκπλυση του αζώτου δίνεται από την εξίσωση του de Willigen και η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση ορίζεται στα 50mg N/l δηλαδή 0.05 kg N/ m^3 [48]. Ως παρούσα συγκέντρωση στον αποδέκτη έγινε υπόθεση της τιμής 0 αφού δεν ήταν γνωστά ακριβώς τα επίπεδα συγκέντρωσης των αποδεκτών κάτω από τους αμπελώνες. Αυτή η υπόθεση μπορεί να οδηγήσει σε υποεκτίμηση του αποτυπώματος σε περιπτώσεις που οι παρούσες συγκεντρώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες [38][44].

Όμοια με τα δυο προηγούμενα αποτελέσματα των αποτυπωμάτων, το γκρι υδατικό αποτύπωμα αποδίδεται και σε μονάδες m³/τόνο προϊόντος.

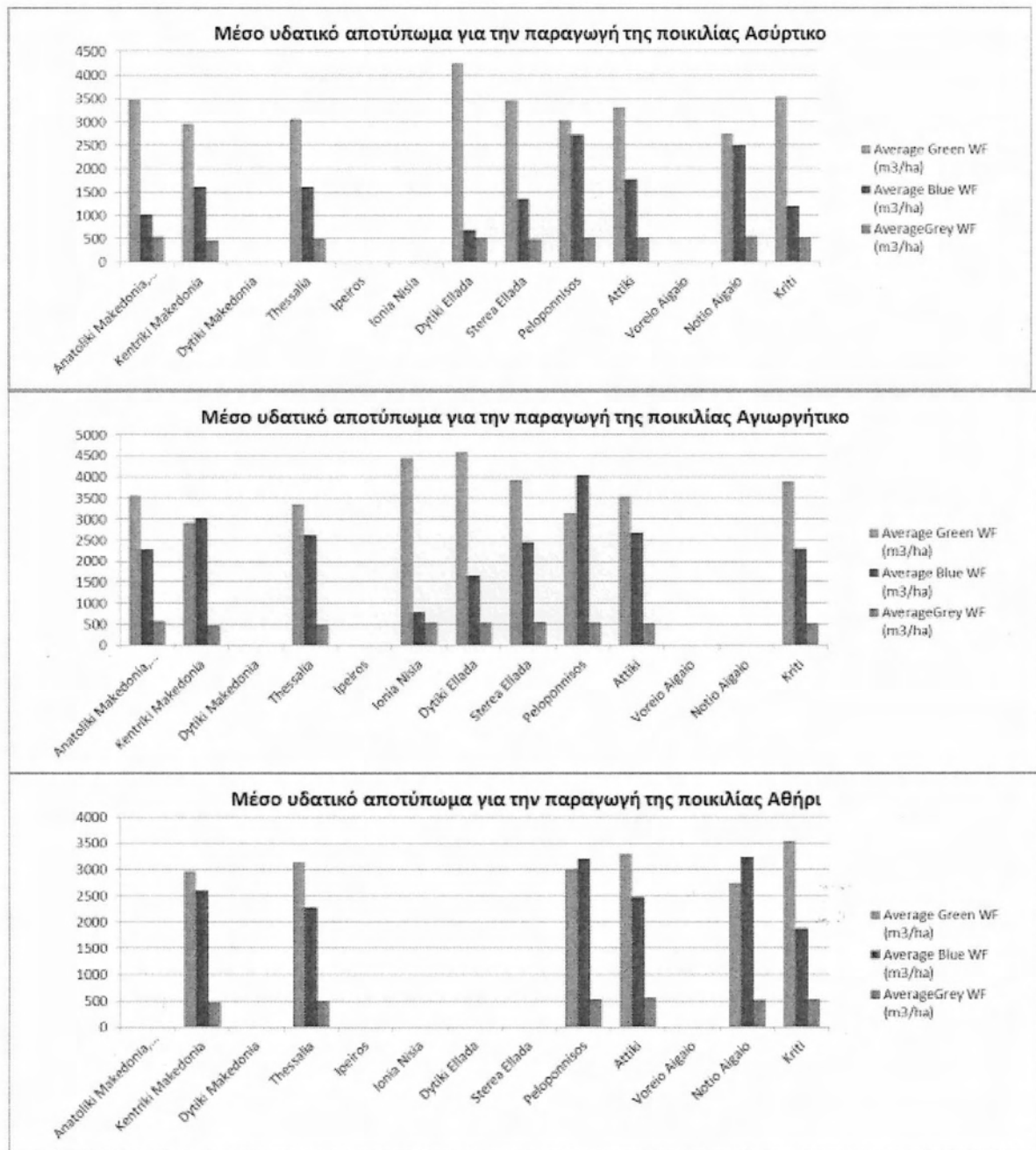
5. Αποτελέσματα

Στο τέλος της διπλωματικής παρατίθενται τα αποτελέσματα στη μορφή γραφημάτων για κάθε ποικιλία που εξετάστηκε. Μελετήθηκαν συνολικά 56 ποικιλίες (Αγιωργήτικο, Ξινόμαυρο, Ασύρτικο, Μοσχάτο Λευκό, Ροδίτης, Σαββατιανό, Μοσχοφίλερο, Αθήρι, Μαυροδάφνη, Κοτσιφάλι, Λιάτικο, Μανδηλαριά, Λημινό, Βιλάνα, Μαλαγουζιά, Μονεβασιά, Ρομπόλα, Ντεμπίνα, Ρωμαίικο, Νεγκόσα, Λαγόρθη, Γουστολίδι, Θραναθήρι, Φωκιανό, Μπατίκι, Βερτζάμι, Ζουμιάτικο, Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah, Chardonnay, Sauvignon blanc, Μοσχάτο Αμβούργου, Refosco, Μοσχάτο Αλεξάνδριας, Cabernet Franc, Ugni blanc, Carignan, Semillon, Riesling, Terbanillo de roja, Ciscnaut, Σουλτανίνα, Ραζακί, Σιδερίτης, Φράουλα, Cardinal, Victoria, Ribier, Italia, Κορινθιακή σταφίδα, Ασπρούδι, Φιλέρι, Grenache, Μαυρούδι, Μοσχάτο).

Το πρώτο γράφημα αφορά τα μέσα υδατικά αποτυπώματα κάθε ποικιλίας για τις περιφέρειες στις οποίες καλλιεργούνται, βάσει των δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ. Η παρουσίαση των μέσων αποτυπώματων γίνεται για λόγους ευκολίας, αφού ένας πίνακας ή γράφημα για κάθε ποικιλία και για τους 1237 αμπελώνες, δεν θα ήταν χρήσιμος ή λειτουργικός. Σε περίπτωση που κάποιος επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το μέσο υδατικό αποτύπωμα, πρέπει να γνωρίζει ότι έτσι, ενοποιεί τους αμπελώνες που παρουσιάζουν μεγάλες ανάγκες άρδευσης με αυτούς που έχουν μηδενικές. Δεν αποτελεί αναγκαστικά λάθος, όμως η χρήση τους σε μικρότερη κλίμακα θα επιφέρει σφάλματα. Τοπικές συνθήκες όπως αυτές του εδάφους του αμπελώνα, προκαλούν αρκετά μεγάλες διαφοροποιήσεις στους εξεταζόμενους παράγοντες που επιδρούν στο υδατικό αποτύπωμα. Για παράδειγμα, στην ίδια περιφέρεια και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, δύο αμπελώνες, με τη χρήση της HYPRES, παρουσιάζουν διαφορά στην μέγιστη εδαφική συγκράτηση υγρασίας, με λόγο 1:2. Κάτω από τις ίδιες κλιματολογικές συνθήκες και θεωρώντας αναγκαία την αποτροπή της υδατικής καταπόνησης, ο αμπελώνας με τη μικρότερη αποθηκευτικότητα έχει και μεγαλύτερες υδατικές ανάγκες που καλύπτονται μέσω άρδευσης. Ο υπολογισμός του μέσου υδατικού αποτυπώματος έχει ως σκοπό να δώσει μια γενική αίσθηση για του όγκους των υδατικών αναγκών των αμπελώνων και πως αυτές καλύπτονται. Επιπλέον, επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών χαρακτήρων των περιφερειών με βάση την καλλιέργεια του αμπελιού. Μπορεί εύκολα κάποιος να παρατηρήσει τις

διαφορές ανάμεσα στις αναγκαίες ποσότητες νερού ανά εκτάριο για κάθε ποικιλία, στις περιοχές που καλλιεργείται.

Σε ένα πιο μακροσκοπικό επίπεδο, μπορεί να γίνει σύγκριση των γραφημάτων των μέσων υδατικών αποτυπωμάτων των διαφόρων ποικιλιών και ιδιαίτερα αυτών που συναντώνται σε περισσότερες από 4 περιφέρειες. Σε αυτά παρατηρείται μια ομοιογένεια ως προς τη μέση τιμή γύρω από την οποία κυμαίνονται σε κάθε περιοχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα πράσινα αποτυπώματα των ποικιλιών Αγιωργήτικο, Ασύρτικο και Αθήρι για τις περιφέρειες Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλίας και Πελοποννήσου. Στα ίδια γραφήματα όμως παρατηρούμε και τις ταυτόχρονες ανομοιογένειες αυτών, ως προς το μπλε υδατικό αποτύπωμα.



Εικόνα 10. Μέσο Υδατικό Αποτύπωμα για την Παραγωγή της Ποικιλίας (α) Ασύρτικο (β) Αγιωργήτικο (γ) Αθήρι

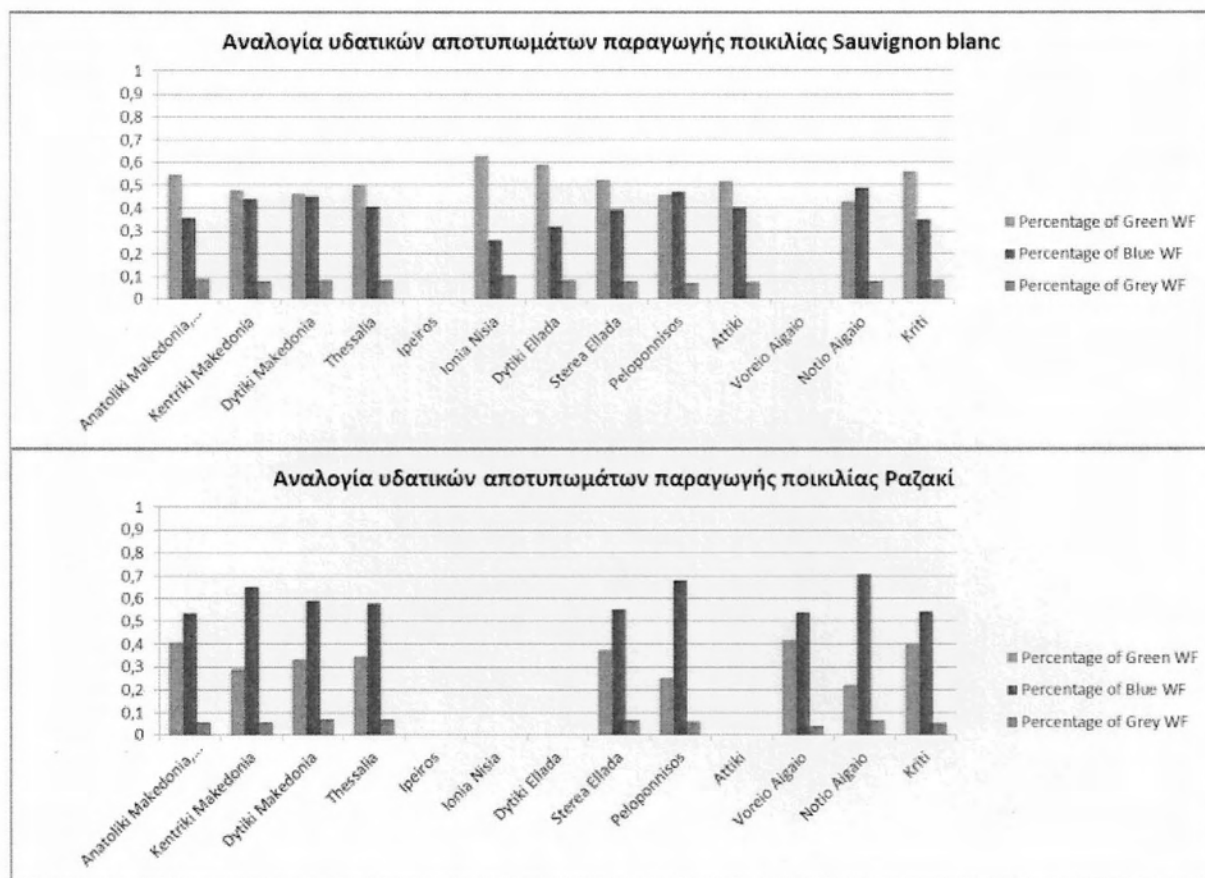
Οι διαφοροποιήσεις αυτές έχουν να κάνουν, κυρίως, με την περίοδο που συμβαίνει κάθε στάδιο ανάπτυξης του αμπελιού, την αύξηση των υδατικών του αναγκών και τις ταυτόχρονα διαθέσιμες βροχές. Αν δηλαδή, ένα υδροβόρο στάδιο του αμπελιού αναπτύσσεται σε μια σχετικά ξηρή περίοδο, αυτόματα δημιουργεί υδατικές ανάγκες που δεν καλύπτονται από τη βροχόπτωση. Για παράδειγμα, για την περιφέρεια Πελοποννήσου στα ίδια διαγράμματα παρατηρείται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στο μέσο μπλε υδατικό αποτύπωμα της ποικιλίας Αγιωργήτικο και των υπόλοιπων δύο.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό και από το κεφάλαιο του γκρι υδατικού αποτυπώματος, σύμφωνα με τις θεωρήσεις που έγιναν, αυτό εξαρτάται κύρια από τα εδαφολογικά και βροχολογικά χαρακτηριστικά ενώ η επίδραση των χαρακτηριστικών της ποικιλίας είναι έμμεση. Η έμμεση επίδραση προέρχεται από τις αρδευτικές ανάγκες που προκύπτουν, εντάσσονται στην εξίσωση της έκπλυσης του αζώτου, και φαίνεται να επιδρούν ελάχιστα στην πλειοψηφία των περιφερειών.

Η μεγαλύτερη ομοιογένεια μεταξύ των αποτυπωμάτων κάθε ποικιλίας φαίνεται να είναι για την περιφέρεια Ιονίων νήσων. Αυτό συμβαίνει κατά πάσα πιθανότητα λόγω της έντονης ομοιογένειας των εδαφολογικών χαρακτηριστικών και των φαινολογικών σταδίων των ποικιλιών που καλλιεργούνται εκεί.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν την επιλογή να μην θεωρηθούν σταθερές ημερομηνίες και διάρκεια σταδίων, αλλά ούτε και των μέσων τιμών των εδαφολογικών χαρακτηριστικών όπως αυτά προτείνονται από τον FAO. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια θεώρηση θα απέδιδε τα υδατικά αποτυπώματα μόνο ως αποτέλεσμα των κλιματολογικών συνθηκών που θα επικρατούσαν στα επιμέρους στάδια ανάπτυξης και δεν θα απέδιδε καθόλου την έντονη ποικιλομορφία του φυτού αλλά ούτε και την επίδραση του εδάφους κάθε αμπελώνα.

Η επόμενη μορφή γραφήματος που παρατίθεται είναι τα ποσοστά των υδατικών αποτυπωμάτων σε ράβδους. Αυτό έγινε ώστε να φανεί πιο καθαρά ο χαρακτήρας της καλλιέργειας σε κάθε περιοχή με τη δεδομένη υπόθεση διαχείρισης. Ο χαρακτήρας αυτός φαίνεται έντονα όταν συγκρίνονται ποικιλίες που προορίζονται για επιτραπέζια χρήση, όπως το Ραζακί, και οινοποιήσιμων καλλιεργειών, για παράδειγμα Sauvignon blanc.

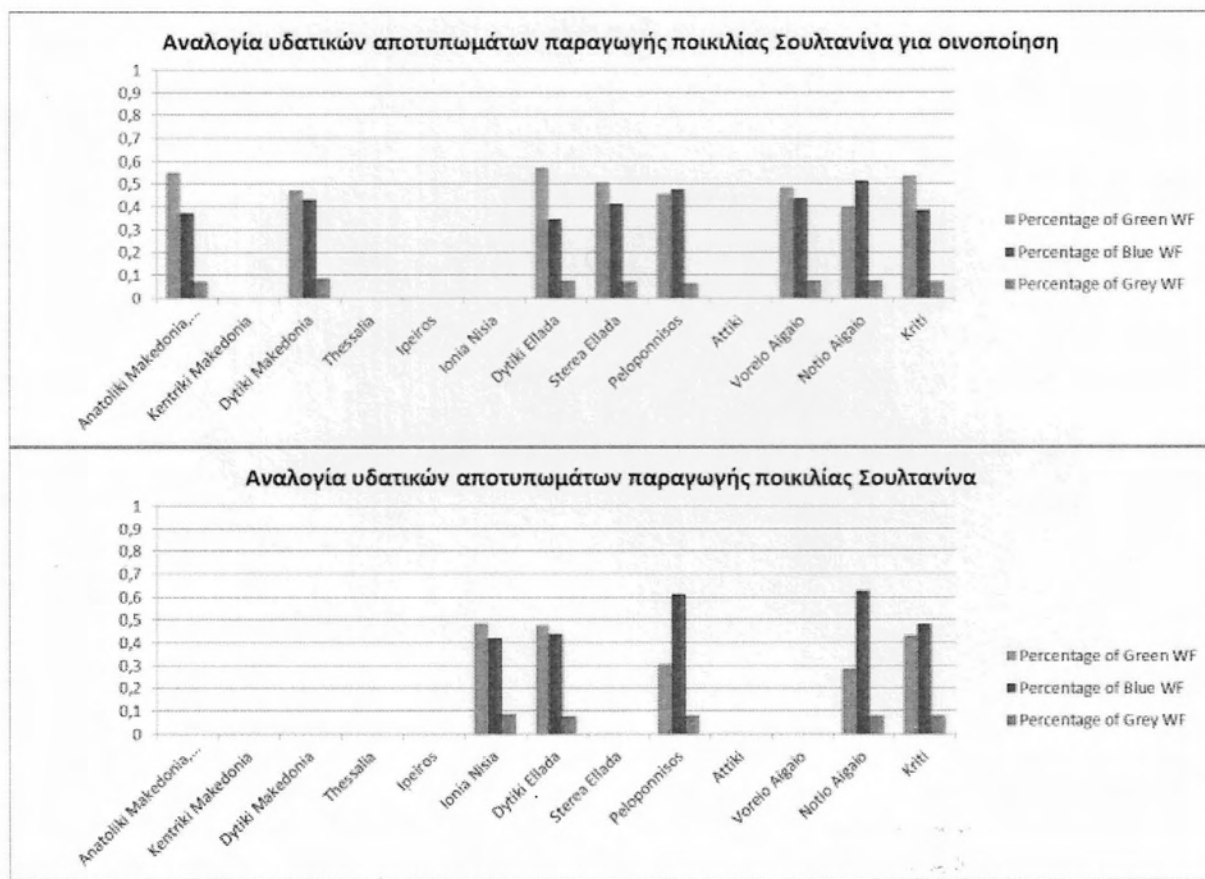


Εικόνα 11. Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας (α) Sauvignon blanc (β) Ραζακί

Από τα γραφήματα αυτά, και αγνοώντας τις πραγματικές τιμές των αποτυπωμάτων, είναι φανερή η έντονη εξάρτηση των επιτραπέζιων ποικιλιών από την άρδευση. Κατά τη διάρκεια των υπολογισμών έγινε η θεώρηση μέσω του μειωμένου συντελεστή p της εξίσωσης 48, που σηματοδοτεί την εμφάνιση της υδατικής καταπόνησης, κάτω από ίδιες εδαφολογικές συνθήκες, νωρίτερα σε σχέση με τις οινοποιήσιμες. Παρατηρείται λοιπόν ότι ο συντελεστής p παίζει μεγάλο ρόλο στον χαρακτηρισμό μιας ποικιλίας ως εξαρτώμενης ή μη από την άρδευση. Αυτό αποτελεί μια σωστή υπόθεση αφού το κέρδος από την πώληση των επιτραπέζιων ποικιλιών εξαρτάται άμεσα από το βάρος. Αντίθετα οι οινοποιήσιμες ποικιλίες εξαρτώνται έντονα από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου σταφυλιού. Συνήθως η υψηλή συγκέντρωση σε νερό επηρεάζει τα χαρακτηριστικά αυτά και οι αμπελοκαλλιεργητές προσπαθούν να την αποφύγουν.

Ένα άλλο παράδειγμα που δείχνει την επίδραση του συντελεστή p , είναι τα υδατικά αποτυπώματα που υπολογίσθηκαν για τη διπλή χρήση της Σουλτανίνας.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, η Σουλτανίνα χρησιμοποιείται εκτός από επιτραπέζια χρήση και για οινοποίηση.



Εικόνα 12. Αναλογία αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Σουλτανίνα για οινοποίηση

Για τις περιφέρειες που καλλιεργείται και για τους δύο σκοπούς, παρατηρείται ότι, ενώ τα φαινολογικά στάδια είναι ίδια και στους δυο υπολογισμούς, ο συντελεστής p δίνει τα λογικά αποτελέσματα της μεγαλύτερης ανάγκης άρδευσης για την επιτραπέζια χρήση της.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, το υδατικό αποτύπωμα της διαδικασίας παραγωγής των αμπελώνων μπορεί να εκφραστεί και σε νερό προς παραγόμενο προϊόν, συνήθως $m^3/tonne$. Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν δίνεται τέτοια έκφραση, καθώς οι διαθέσιμες αποδόσεις της κάθε ποικιλίας έχουν ως έτος αναφοράς το 2009, ενώ η μελέτη το 2011. Το ποσοστό κάλυψης από μία συγκεκριμένη ποικιλία παραμένει πρακτικά αμετάβλητο, καθώς το αμπέλι είναι μια καλλιέργεια που

διατηρείται για πολλά χρόνια. Η απόδοση του όμως εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Μέρος της εξαρτάται από την ίδια την ποικιλία και το επιλεγμένο ριζικό υποκείμενο. Αυτό δίνει μια σταθερότητα στην απόδοση, όμως δεν είναι εγγυημένη. Η απόδοση μεταβάλλεται με την ηλικία του φυτού, τις εδαφολογικές συνθήκες, τα διαθέσιμα θρεπτικά, την εμφάνιση αρρώστιας, τη βροχόπτωση και κυρίως από την καλλιεργητική πρακτική. Ακόμα και αν, αυθαίρετα, θεωρηθεί η ομοιογένεια των δύο διαφορετικών ετών σε κλιματολογικό επίπεδο, η πηγή αυτών των δεδομένων είναι η πραγματική παραγωγή. Μεγάλοι οινοποιητικοί αμπελώνες, εφαρμόζουν αρδευτικές πρακτικές που επιδιώκουν την ελεγχόμενη υδατική καταπόνηση. Κάποιοι άλλοι αμπελώνες, κυρίως στα κυκλαδονήσια, εκμεταλλεύονται πλήρως τις ικανότητες αποθήκευσης του εδάφους και επιδιώκουν μικρά αρδευτικά γεγονότα, κυρίως λόγω του χαμηλού υδατικού δυναμικού των νησιών αυτών. Εκτός της διαχείρισης της άρδευσης, υπάρχει και η διαχείριση της μέγιστης απόδοσης. Συχνά οι καλλιεργητές μειώνουν το καρποφόρο φορτίο για να αυξήσουν την ποιότητα. Αντίστοιχα, υπάρχουν και πρακτικές αύξησης της απόδοσης, με κυριότερες την εντατική άρδευση ακόμα και όταν δεν υπάρχει έντονο πρόβλημα στην καλλιέργεια, αλλά και την εντατική χρήση φυτοφαρμάκων. Η χρήση λιπάσματος αυξάνει τα διαθέσιμα θρεπτικά και συχνά γίνεται κατάχρηση, υπερβαίνοντας κατά πολύ την προτεινόμενη χρήση, με σκοπό την αύξηση της παραγωγής.

Όλα τα παραπάνω, δείχνουν ότι αν υπολογίζονταν τα υδατικά αποτύπωμα ανά τόνο σταφυλιού, τότε δε θα λαμβανόταν υπόψη η διαφορετικότητα που προκάλεσε τις δεδομένες τιμές. Θα είχε θεωρηθεί για παράδειγμα η ίδια, κατά τα πρότυπα, εφαρμογή νιτρικών λιπασμάτων για αποδόσεις που μπορεί να είναι και διπλάσιες ή τριπλάσιες. Με την ίδια χρήση λιπάσματος, άρδευσης και βροχής, το γκρι υδατικό αποτύπωμα θα υποτιμούνταν και οι μικρότερες παραγωγές θα είχαν μεγαλύτερο γκρι αποτύπωμα. Αυτό θα οδηγούσε σε αποτελέσματα, που δεν έχουν κάποια χρησιμότητα πέρα από την αναφορά τους ως τιμές.

Η τελευταία μορφή που δίνεται για τα αποτελέσματα είναι η συνολική δέσμευση νερού σε κάθε περιφέρεια για την παραγωγή κάθε ποικιλίας. Θεωρώντας τη δεδομένη καλλιεργητική πρακτική, υπολογίστηκε το μέσο υδατικό αποτύπωμα ανά περιφέρεια. Αυτός ο δείκτης μπορεί να εξυπηρετήσει ως ένδειξη της

καταναλωτικής χρήσης νερού για την παραγωγή, όμως δεν αποτελεί και την πραγματική. Χρησιμοποιώντας τα ποσοστά χρήσης κάθε ποικιλίας και θεωρώντας ομοιόμορφη κατανομή εντός της περιφέρειας υπολογίσθηκε ο όγκος νερού που δέσμευσε αυτή η διαδικασία εντός κάθε περιφέρειας. Η συνολική δέσμευση νερού αποτελεί το εικονικό νερό που κρύβεται μέσα στο συνολικό προϊόν που παράχθηκε στην κάθε περιφέρεια.

Τα αποτελέσματα από τις μελέτες υδατικών αποτυπωμάτων, έχουν άμεση χρησιμότητα στους υπολογισμούς υδατικών ισοζυγίων και τη διαχείριση υδατικών πόρων αλλά και ισοζυγίων εικονικού νερού. Η συνολική δέσμευση των υδατικών πόρων για την παραγωγή κάθε ποικιλίας δίνεται σε κυβικά μέτρα. Αυτή η τιμή έχει μεγάλη σημασία όταν αντιπαραβληθεί με τα ετήσια διαθέσιμα της περιοχής. Επιλέχθηκε η παρουσίαση τους, σε συνδυασμό με τα μέσα υδατικά αποτυπώματα και την αναλογία τους, για να γίνει πιο ευδιάκριτη η δέσμευση νερού σε κάθε περιοχή. Η δέσμευση αυτή πλέον συσχετίζεται με την πραγματική χρήση των αμπελώνων, μέσω των ποσοστών χρήσης, και αποδίδουν την «μεγάλη εικόνα» για κάθε ποικιλία. Εξετάζοντας τους υδατικούς συντελεστές και τις αναλογίες τους, μπορούν να βρεθούν χρήσιμες πληροφορίες για την πιθανή αλλαγή ποικιλίας, αξιολόγηση της καλλιεργητικής πρακτικής, τη συμπεριφορά της ποικιλίας σε κάθε περιφέρεια και άλλα. Αποκτούμε μια σφαιρική γνώμη για κάθε ποικιλία και τις υδατικές ανάγκες της σε διαφορετικές συνθήκες. Με το γράφημα της συνολικής δέσμευσης νερού για τη διαδικασία παραγωγής παρατηρείται η καλλιεργητική τάση κάθε περιφέρειας για τη δεδομένη ποικιλία και τις συνολικές ανάγκες της.

Επιπλέον, συγκρίνοντας τα τρία γραφήματα, κάποιος μπορεί να δει τη συνολική κατανάλωση που διατίθεται για τη συγκεκριμένη ποικιλία και να αξιολογήσει υδατικά την πιθανή αλλαγή της. Αυτή η σύγκριση έχει μεγαλύτερο νόημα όταν εξετάζεται η αλλαγή καλλιέργειας και όχι αλλαγή ποικιλίας. Για παράδειγμα, σε μια περιοχή με έντονο πρόβλημα αγροτικής μόλυνσης, η συνολική δέσμευση νερού και οι επιμέρους πηγές της θα μπορούσαν να διατεθούν, θεωρητικά, για την παραγωγή μιας τουλάχιστον εξίσου κερδοφόρας καλλιέργειας, με μικρότερη δέσμευση νερού μέσω του γκρι αποτυπώματος. Ασφαλώς μια τέτοια διαχείριση της αγροτικής καλλιέργειας δεν αποτελεί πανάκεια. Πολλοί παράγοντες όμως επιδρούν στην επιλογή μιας καλλιέργειας έναντι μιας άλλης και έχει να κάνει με την προσωπική επιλογή, τη συμπεριφορά της καλλιέργειας σε κάθε περιοχή, την ευκολία

διαχείρισης της, το πιθανό κόστος επιπλέον εγκαταστάσεων και άλλα. Το υδατικό αποτύπωμα με τις τρεις παραπάνω μορφές τους μπορεί να λειτουργήσει σε μια τέτοια περίπτωση ως δείκτης κάποιων παραμέτρων που επηρεάζουν την επιλογή και όχι το απόλυτο νούμερο με βάση το οποίο γίνεται η διαχείριση.

Η τελευταία μορφή των αποτυπωμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της ορθής διαχείρισης των υδατικών πόρων κάθε περιοχής. Με δεδομένη τη χρονική παράμετρο της απόληψης του νερού, για τον καλλιεργητικό κύκλο του αμπελιού, μπορεί να γίνει αντιπαραβολή με τα υδατικά διαθέσιμα, τα ετήσια ανανεώσιμα αλλά και της παρούσας πίεσης από νιτρικά κάθε υδροφορέα.

6. Σχόλια

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής έγινε ο υπολογισμός των υδατικών αποτυπωμάτων της διαδικασίας παραγωγής του σταφυλιού στους αμπελώνες της Ελλάδας. Οι υπολογισμοί βασίστηκαν σε πρακτικές και προτεινόμενες μεθόδους ή υποθέσεις που είναι αποδεκτές διεθνώς. Τα αποτελέσματα, εκτός των περιορισμών που θέτουν οι υποθέσεις ομοιογένειας κάποιων δεδομένων, όπως η καλλιεργητική πρακτική, εξαρτώνται άμεσα και από τα σφάλματα των δεδομένων που λάβαμε υπόψη. Τα προβλήματα που προκύπτουν από τις επιμέρους υποθέσεις ή μεθόδους σχολιάζονται στο αντίστοιχο βήμα υπολογισμού.

Για την καλύτερη ανάλυση του γκρι υδατικού αποτυπώματος, θα ήταν χρήσιμα δεδομένα μεθόδων πρόληψης και αντιμετώπισης αρρώστιας στην καλλιέργεια, εφαρμογής λιπασμάτων και άλλων ανθρωπογενών παρεμβάσεων στο περιβάλλον της καλλιέργειας.

Σε επόμενο στάδιο, θα είχε ενδιαφέρον η αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων αυτής της εργασίας με εργασίες τοπικής κλίμακας. Σε τέτοιο επίπεδο είναι εύκολη η λήψη δεδομένων που αφορούν τις καλλιεργητικές πρακτικές αλλά και τις συνθήκες στις οποίες καλλιεργείται κάθε ποικιλία.

Βιβλιογραφία

- [1] Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998), Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome
- [2] Στουρνάρας Γ (2006), Νερό: Περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
- [3] Παπαμιχαήλ Δ (2004), Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Β έκδοση, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη
- [4] Perlman H, C Makropoulos and D Koutsogiannis (2005), The water cycle, <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>, United States Geological Survey
- [5] Ράπτη Χ, Ευαγγελίδης Χ, Αραμπατζής Γ (2009), Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος «Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών», Θεσσαλονίκη
- [6] MG Mardikis, DP Kalivas and V J Kollias (2005) Comparison of Interpolations Methods for the prediction of Reference Evapotranspiration- An application in Greece, Water Resources Management
- [7] Dalezios NR, Lukas A, Bampzelis D (2002), Spatial variability of reference evapotranspiration in Greece, Physics and Chemistry of the Earth Volume 27, Issue 23-24, 2002, pages 1031-1038
- [8] Γκούβας Μ, Σακελλαρίου Ν, Σχέση του υψομέτρου των μετεωρολογικών σταθμών με το μέσο ετήσιο και μηνιαίο ύψος νετού, 7ο Πανελλήνιο (Διεθνές) Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της ατμόσφαιρας, Αθήνα
- [9] Σταυρακάκης Μ (2010), Αμπελογραφία, Εκδόσεις ΤΡΟΠΗ και ιδίου, Αθήνα
- [10] Μασαούτης Ι (2005), Αμπελογραφική μελέτη και αξιολόγηση μερικών ποικιλιών αμπέλου επιτραπέζιας χρήσης, <http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5655/masaoutis.pdf>, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών- Τμήμα φυτικής παραγωγής- Εργαστήριο Αμπελολογίας, Αθήνα
- [11] Διαμαντόπουλος Η (2006), Αμπελογραφική Περιγραφή 23 Γηγενών και Ξενικής Προέλευσης Ποικιλιών Αμπέλου (*Vitis Vinifera* L.), dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/5641/diamantopoulos_teli_ko.pdf, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- [12] Μουσουλιώτης Α, Γεωργούσης Χ, Μπαμπατζιμόπουλος Χ, Πανώρας Α, Χατζηγιαννάκης Ε, Αραμπατζής Γ, Χρήση Πεδοσυναρτήσεων για την περιγραφή υδραυλικών ιδιοτήτων εδαφών

της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης: Ι. Αξιολόγηση Πεδοσυναρτήσεων της βιβλιογραφίας, Θεσσαλονίκη

- [13] Πάτζαλης Δ (2011), Μαθηματική προσομοίωση της δυναμικής του εδαφικού νερού στην περίπτωση άρδευσης με υπόγειους σταλακτηφόρους σωλήνες σε διαστρωμένα εδάφη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- [14] Μουσουλιώτης Γ (2008), Ανάπτυξη και αξιολόγηση πεδοσυναρτήσεων με λειτουργικά κριτήρια στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Γεωπονική σχολή, Θεσσαλονίκη
- [15] Τσακίρης Γ, Μπαμπατζιμόπουλος Χ (2006), Ακόρεστη ροή-Στοιχεία εδαφοφυσικής
- [16] van Genuchten M TH (1980), A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil
- [17] V Stolbovoy, L Montanarella, P Panagos (2007), Carbon Sink Enhancement in Soils of Europe: Data, Modeling, Verification, JRC Scientific and technical Reports, Italy
- [18] Metadata Hypres Database of Hydraulic Properties of European Soils ver 1.0,
http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/ESDB_Data_Distribution/ESDB_Data_full_distribution/ESDBv2_data/popup/hy_meta.htm
- [19] Wosten J H M, Lilly A, Nemes A, Le Bas C (1999), Development and use of a database of hydraulic properties of European soils, Geoderma 90
- [20] Mohawesh O E (2013), Assesment of Pedotransfer Functions (PTFs) in predicting Soil Hydraulic Properties under Arid and Semi Arid Environments, Jordan Journal of Agricultural Sciences, Volume 9
- [21] The Macaulay land use research Institute,
<http://www.macaulay.ac.uk/hypres/>
- [22] Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A., Montanarella L. European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. (2012) Land Use Policy, 29 (2), pp. 329-338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003

ESDBv2 Raster Library - a set of rasters derived from the European Soil Database distribution v2.0 (published by the European Commission and the European Soil Bureau Network, CD-ROM, EUR 19945 EN); Marc Van Liedekerke, Arwyn Jones, Panos Panagos ; 2006.

Panagos Panos. The European soil database (2006) GEO: connexion, 5 (7), pp. 32-33

- [23] Nelson D W, Sommers L E (1982), Total carbon, organic carbon and organic matter, Methods of Soil analysis, Part 2 Chemical and microbiological properties, Second edition
- [24] Παπαμιχαήλ Δ (2004), Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων, Β έκδοση, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη
- [25] Sobhani G (1976), A review of selected watershed design method for possible adoption to Iranian conditions, Utah State University, Logan
- [26] Ρουσάκης Η (2014), Πλήρης οδηγός εγκατάστασης αμπελώνα, Wine Trails- Άμπελος & οίνος Τεύχος Ν° 4
- [27] USDA Soil Conservation Service (1986), Urban hydrology for small watersheds, Technical Release No 55, Washington
- [28] V O Sadras, H R Schultz, J Cirona, J Marsal, Grapevine, in P Steduto, T C Hsiao, E Fereres, D Raes (2012), Crop yield response to water, FAO Irrigation and Drainage paper N° 66, Rome
- [29] R G Evans, S E Spayd, R L Wample, M W Kroeger, M O Mahan (1993), Water-use of Vitis Vinifera grapes in Washington, Agricultural Water Management 23
- [30] Christoph N, Bauer-Christoph C, Gebner M, Kohler H J, Simat T J, Hoenicke K (1998), Μέσω της βιβλιογραφίας 28
- [31] Peyrot des Gahons C, Van Leeuwen C, Tominaga T, Soyer J P, Gaudillere J P, Dubourdieu D (2005), Μέσω της βιβλιογραφίας 28
- [32] Girona J, Mata M, del Campo J, Arbones A, Bartra E, Marsal J (2006), The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards, Irrigation Science 24
- [33] Greven M, Green S, Neal S, Clothier B, Neal M, Dryden G, Davidson P (2005), Regulated deficit irrigation (RDI) to save water and improve Sauvignon Blanc quality, Water Science and Technology 51
- [34] Prichard T L (2009), Winegrape irrigation scheduling using deficit irrigation techniques
- [35] Κανάκης Ι (2007), Επίδραση των υδατικών σχέσεων στην ποσότητα και ποιότητα των αμπελουργικών προϊόντων της οινοποιήσιμης ποικιλίας Syrah (Vitis Vinifera L.) σε συνθήκες αμπελώνα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- [36] Dastane N G (1978), Effective rainfall in irrigated agriculture, FAO Irrigation and drainage paper N° 25, Italy
- [37] Κ.Υ.Α. Φ 16/6631/89, Προσδιορισμός κατώτατων και ανώτατων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην άρδευση, Αθήνα
- [38] A Y Hoekstra, A K Chapagain, M M Aldaya, M M Mekonnen (2009), Water Footprint Manual- State of the Art 2009, The Netherlands

- [39] Σαμαράς Β, Υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών βαμβακος, καλαμποκιού, βιομηχανικής ντομάτας και τεύλων στο θεσσαλικό χώρο, στα πλαίσια του προγράμματος HYDROSENSE
- [40] Στουρνάρας Γ (2013), Θέματα υδατικής & οικολογικής πολιτικής- Υδρασχιζοφρένεια, υδρογεμονία, υδροδιπλωματία, Εκδόσεις ΔΙΑΥΛΟΣ, Αθήνα
- [41] Ανδριανάκη Μ, Ελεγχόμενη Φυσική Αποκατάσταση Ρύπων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ευρώτα, Πολυτεχνείο Κρήτης- Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
- [42] Gerhson Kohen, The “solution” to pollution is still “dilution”, Earth Island Journal, online edition:
http://www.earthisland.org/journal/index.php/eij/article/the_solution_to_pollution_is_still_dilution/
- [43] Brouwer C, Prins K, Heibloem M, Irrigation water management: Irrigation scheduling, FAO Training Manual N° 4, Rome
- [44] Laspidou CS (2013), Grey water footprint of crops and crop-derived products: Analysis of calculation method, 13th International Conference on Environmental Science and Technology, 5-7 September 2013 Athens, Greece
- [45] Mekonnen M, Hoekstra A Y (2010), The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series N° 47, The Netherlands
- [46] Φ.Ε.Κ. Β 477/6-4-2000, Έγκριση κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής
- [47] Domoto P, Efficient vineyard Fertilization and plant nutrition, <http://viticulture.hort.iastate.edu/info/pdf/domotonutr.pdf>
- [48] Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption
- [49] De Willigen P (2000), An analysis of the calculation of leaching and dinitrification losses as practiced in NUTMON approach, Report 18 Wageningen, Plant Research International
- [50] Roy R N, Misra R V, Lesschen J P, Smalling E M (2003), Assessment of soil nutrient balance, approaches and methodologies, FAO Fertilizer and plant nutrition Bulletin 14, Rome
- [51] Παπαζαφειρίου Ζ, (1999), Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Α. Σύνολο διαθέσιμων σταθμών χωρίς δεδομένα ηλιοφάνειας

No	Stations	Logitude (X)	Latitude (Y)	Elevation (Z)
1	Vartholomio	21.2	37.9	11
2	Avlida	23.6	38.4	16
3	Ancient	21.6	37.6	45
4	Arta	20.9	39.2	50
5	arahova	22.98222222	38.8125	1075
6	anogeia	24.88333333	35.28333333	801
7	antikira	22.6	38.4	336
8	andritsaina	21.905	37.48361111	785
9	alonissos	23.86666667	39.15	50
10	athens984	23.71555556	37.97833333	60
11	pigadia	21.96694444	40.64194444	1438
12	Vasilitsa	21.08305556	40.05833333	1768
13	vatopedi	24.21166667	40.30138889	25
14	Vegoritida	21.745	40.73583333	647
15	veroia	22.4	40.9	30
16	Volos	22.95888889	39.37527778	52
17	vourgareli	21.18444444	39.37138889	760
18	Vryssai	23.88933333	35.49033333	58
19	Vovoussa	21.1	39.9	1024
20	Gardiki	21.3	39.5	1105
21	Giannitsa	22.31666667	40.76666667	35
22	Derviziana	20.79722222	39.39833333	585
23	drama	24.14361111	41.11805556	84
24	elati	22.1	37.6	1207
25	zarakes	24.19305556	38.29777778	163
26	Zitsa	20.65	39.75	740
27	Mavroudi	20.27972222	39.54166667	77
28	coast	25.172	35.3435	10
29	Theodoriana	21.20972222	39.43583333	960
30	ithaki	20.7	38.4	7
31	Maronia	25.36916667	40.95527778	10
32	ios	24.3	36.7	2
33	ioannina	20.85083333	39.61888889	475
34	Katw	21.92611111	38.00972222	773
35	kalymnos	26.98055556	36.95138889	35
36	kantza2	23.86555556	37.97944444	221
37	tzekos	23.2	38.2	345
38	karpenisi	21.8	38.9	700
39	Kastoria	21.31666667	40.5	623
40	katoachaia	21.55222222	38.14583333	36

41	kea	24.3135	37.64616667	192
42	Knossos	25.15611111	35.31222222	115
43	kompoti	21.1	39.1	75
44	koniskos	21.8	39.8	832
45	kranidi	23.3	37.6	110
46	larissa	22.39861111	39.6275	82
47	Lafkos	23.24611111	39.17777778	330
48	lavrio	24.1	37.7	3
49	WEATHER	26.5	39.16666667	5
50	plastira lake	21.70733333	39.30866667	867
51	makrakomi	22.12883333	38.9325	120
52	Maurolithari Fokidas	22.23016667	38.73183333	1220
53	megalopoli	22.14	37.4	0
54	Metaxades	26.22	41.42	162
55	metaxochori	25.14222222	35.13	418
56	molaoi	22.85805556	36.79888889	129
57	Myriki	21.8	38.9	1045
58	Neos Kosmos	23.7	38	80
59	neamakri	23.97694444	38.05888889	90
60	nemea	22.7	37.8	290
61	Nevrokopi	23.9	41.3	509
62	Xanthi	24.9	41.1	40
63	Paleochora	23.66666667	35.21666667	3
64	Gaios	20.17833333	39.20638889	80
65	Papigo	20.71972222	39.9675	920
66	Eleftherohori	20.53611111	39.49666667	650
67	Parga	20.40527778	39.28305556	8
68	fterolaka	22.61416667	38.53433333	2080
69	parnitha	23.71805556	38.16333333	1220
70	Paros	25.1	37.03333333	8
71	Patmos	26.3	37.2	12
72	patra limani	21.72566667	38.245	3
73	pertouli	21.46444444	39.53861111	1170
74	Pesta	20.91833333	39.45805556	720
75	lesvos	26.2	39.3	2
76	polygyros	23.4	40.4	580
77	Ptolemaida	21.67472222	40.49888889	606
78	rio	21.8	38.3	2
79	samaria	23.91666667	35.3	1250
80	samothraki	25.5	40.5	90
81	skopelos	23.72777778	39.12083333	60
82	spata	23.9	38	144

83	Stratoni	23.8	40.5	5
84	Tanagra	23.58388889	38.33222222	140
85	tinos	25.15	37.53333333	20
86	trikala	21.76305556	39.55805556	163
87	Tristeno	21.00027778	39.79361111	940
88	Tyria	20.69111111	39.53111111	340
89	hydra	23.46611111	37.34972222	2
90	imittos	23.8	37.95	1011
91	falasarna	23.6	35.5	10
92	florina	21.42027778	40.78666667	667
93	Foloi	21.7	37.7	600
94	fourfouras	24.69433333	35.21116667	0
95	chalkida	23.65	38.46666667	200
96	Leandros	24.06916667	35.53333333	137
97	chaniacenter	24.00611111	35.50777778	7
98	Oleni	21.53861111	37.72722222	61
99	Amfiklia	22.55	38.71666667	245
100	Dion	22.5	40.2	45
101	lefkada	20.69883333	38.825	12
102	Chalandritsa	21.78416667	38.10883333	350

Πίνακας Β. Διάρκεια σταδίων καλλιεργητικού κύκλου ποικιλιών

Ποικιλία	Stage length in days				
	Initial	Development	Mid	Late	Total
Οινοποιήσιμα					
ΑΓΙΩΡΓΙΤΙΚΟ	20	25	75	55	175
ΞΙΝΟΜΑΥΡΟ	20	30	70	40	160
ΑΣΥΡΤΙΚΟ	25	20	75	30	150
ΜΟΣΧΑΤΟ ΛΕΥΚΟ	30	20	70	30	150
ΡΟΔΙΤΗΣ	20	30	75	40	165
ΣΑΒΒΑΤΙΑΝΟ	20	30	70	65	185
ΜΟΣΧΟΦΙΛΕΡΟ	20	30	80	70	200
ΑΘΗΡΙ	20	25	70	30	145
ΜΑΥΡΟΔΑΦΝΗ	20	30	60	50	160
ΚΟΤΣΙΦΑΛΙ	30	20	70	35	155
ΛΙΑΤΙΚΟ	20	20	60	25	125
ΜΑΝΔΗΛΑΡΙΑ	20	30	70	55	175
ΛΗΜΝΙΟ	20	30	70	30	150
ΛΗΜΝΙΩΝΑ	20	30	70	45	165
ΒΙΛΑΝΑ	25	35	70	45	175
ΜΑΛΑΓΟΥΖΙΑ	30	25	60	35	150
ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑ	20	30	70	30	150
ΠΛΥΤΟ	30	30	60	35	155
ΡΟΜΠΟΛΑ	20	20	70	35	145
ΝΤΕΜΠΙΝΑ	20	40	60	55	175
ΑΥΓΟΥΣΤΙΑΤΗΣ	20	30	70	35	155
ΡΩΜΑΪΙΚΟ	20	35	75	30	160
ΒΙΔΙΑΝΟ	30	30	70	35	165
ΝΕΓΚΟΣΚΑ	20	30	70	55	175
ΛΑΓΟΡΘΙ	20	20	70	40	150
ΓΟΥΣΤΟΛΙΔΙ	20	30	70	50	170
ΑΗΔΑΝΙ ΛΕΥΚΟ	30	25	70	40	165
ΘΡΑΨΑΘΗΡΙ	20	35	65	45	165
ΦΩΚΙΑΝΟ	20	35	50	25	130
ΜΠΑΤΙΚΙ	20	45	65	45	175
ΜΑΥΡΟ ΜΕΣΕΝΙΚΟΛΑ	30	35	65	55	185
ΚΥΔΩΝΙΤΣΑ	20	30	70	45	165
ΜΑΥΡΟΤΡΑΓΑΝΟ	20	30	50	50	150
ΒΕΡΤΖΑΜΙ	20	30	70	70	190
ΖΟΥΜΙΑΤΙΚΟ	20	35	75	55	185
ΣΚΛΑΒΑ	30	30	60	45	165
ΛΑΔΙΚΙΝΟ	10	45	65	40	160
CABERNET SAUVIGNON	25	15	75	40	155

MERLOT	20	30	70	40	160
SYRAH	30	20	60	35	145
CHARDONNAY	25	40	65	35	165
SAUVIGNON BLANC	20	30	60	35	145
ΜΟΣΧΑΤΟ ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ	20	45	65	40	170
REFOSCO	25	35	60	40	160
ΜΟΣΧΑΤΟ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑΣ	30	25	70	35	160
GEWURZTRAMINER	30	20	70	40	160
CABERNET FRANC	20	30	70	35	155
UGNI BLANC	30	20	60	55	165
PINOT NOIR	25	30	70	40	165
CARIGNAN	20	25	75	45	165
GRENACHE	35	25	65	50	175
MOURVEDRE	25	20	75	65	185
SEMILLON	30	15	60	20	125
VIOGNIER	20	35	75	55	185
RIESLING	20	25	75	40	160
SANGIOVESE	25	35	60	75	195
TEBRANILLO DE ROJA	30	15	60	30	135
CINSAUT	25	35	60	35	155
ZINFANDEL	25	30	65	55	175
Επιτραπέζια					
PAZAKI	20	35	70	60	185
ΣΙΔΕΡΙΤΗΣ	30	30	80	55	195
ΦΡΑΟΥΛΑ	25	30	60	60	175
CARDINAL	25	35	45	25	130
VICTORIA	20	45	50	20	135
SUPERIOR SEEDLESS	20	50	30	25	125
RIBIER	20	40	60	40	160
ITALIA	25	45	55	35	160
CRIMSON SEEDLESS	30	40	75	50	195
FLAME SEEDLESS	20	50	30	25	125
ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΗ ΣΤΑΦΙΔΑ	30	35	55	25	145
ΣΟΥΛΤΑΝΙΝΑ	30	40	50	25	145
GOLD	25	30	40	30	125

Πίνακας C. Ποσοστό χρήσης ανά ποικιλία και περιφέρεια της Ελλάδας. Έτος αναφοράς 2009. Πηγή ΕΛΣΤΑΤ.

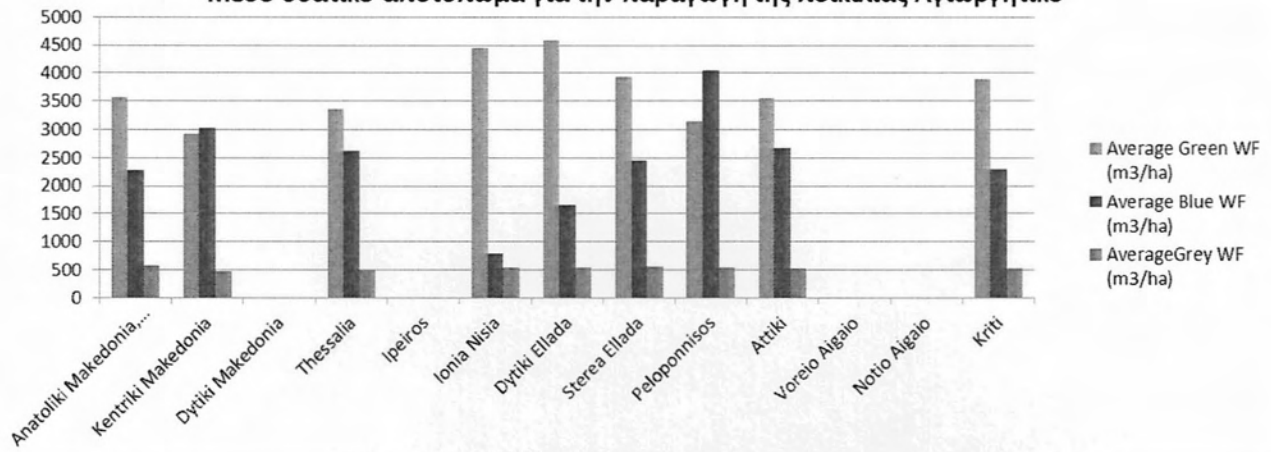
ΠΟΙΚΙΛΙΑ	Ποσοστό χρήσης ανά ποικιλία και περιφέρεια (Πηγή ΕΛΣΤΑΤ)												
	GR11	GR12	GR13	GR14	GR21	GR22	GR23	GR24	GR25	GR30	GR41	GR42	GR43
1 ΣΑΒΒΑΤΙΑΝΟ	0.00123	0.009657	0.001738	0.002729	0.011175	0.010614	0.000771	0.682162	0.014842	0.853957	0.004688	0.008267	0
2 ΒΗΛΑΝΑ	0.000179	0	0	0.000366	0	0.0076	0	0.009613	0	0.009108	0	0	0.020993
3 ΑΓΙΩΡΗΓΗΤΙΚΟ	0.003485	0.030307	0	0.002486	0.000847	0.001529	0.000851	0.002315	0.118654	0.012265	0	0	5.64E-05
4 ΜΟΣΧΟΦΙΛΕΡΟ	0	0	0	0	0	0.002703	0.000642	0.000383	0.02788	0	0	0	0.002034
5 ΜΑΥΡΟΔΑΦΝΗ	0	0	0	0	0	0.013472	0.020472	0	0	0	0	0	0
6 ΜΟΣΧΑΤΟ ΑΣΠΡΟ Η ΜΟΣΧΟΥΔΙ	0.000922	0.008941	0	0.01333	0	0.016175	0.013062	0.003281	0	0	0.49412	0.008738	0.001508
7 ΡΟΔΙΤΗΣ	0.002409	0.101972	0.014678	0.142878	0.016085	0	0.32823	0.142077	0.075269	0.024855	0	0.008267	0
8 ΡΟΜΠΟΛΑ	0.001384	0	0	0	0	0.095455	0	0.004569	0.000249	0	0	0	4.7E-06
9 ΝΤΕΜΠΙΝΑ	0	0	0	0.00502	0.350322	0	0	0	0	0.002264	0	0	0
10 ΚΡΑΣΑΤΟ	0.008012	0	0.002534	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 ΣΤΑΥΡΩΤΟ	0	0	0.002681	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 ΣΥΝΟΜΑΥΡΟ	0	0.137369	0.518451	0.028585	0	0	0	0.000169	0	0	0.001203	0.000127	0
13 ΛΗΜΝΙΟ	0.013863	0.047783	0	0.004703	0	0	0	0	0	0.029632	0	0	0
14 ΜΟΣΧΑΤΟ	0.000282	0.001432	0.118295	0.258243	0	0.000598	0.007988	0.000374	0.00247	0.220902	0.006723	4.7E-06	0
15 ΑΣΥΡΤΙΚΟ	0.01417	0.017998	0	0.003266	0	0.000476	0.00345	0.000361	0.009846	0	0.184508	0.000174	0
16 ΑΘΗΡΙ	0	0.022527	0	0.003582	0	0	0	0.000334	0.001612	0	0.162873	5.17E-05	0
17 ΚΟΤΣΙΦΑΛΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.110031
18 ΜΑΝΔΗΛΑΡΙ	0	0	0	0	0	0	0	0.000258	0.001784	0	0.121148	0.019542	0
19 ΛΙΑΤΙΚΟ	0	9.68E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0.026997	0.052002	0
20 ΦΙΛΕΡΙ	0	0	0	0	0	0	0.013091	0	0.010678	0	0	0	0
21 ΡΩΜΕΙΚΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.074997
22 ΜΑΥΡΟΥΔΙ	0.008533	0.000852	0	0.00039	0.005926	0	0.009191	0.002192	0.014201	0	0	0.004552	0
23 ΚΟΚΟΤΡΥΓΗΣ	0	0	0	0	0.022933	0	0	0	0	0	0	0	0
24 ΒΕΡΤΖΑΜΙ	0	0.000464	0	0.013207	0.050741	0	0	0	0	0	0	0	0
25 ΑΣΠΡΟΥΔΙ	0	0	0.000171	0	0	0.001427	0	0.003651	0	0	0.000288	0	0
26 ΠΑΜΤΙ	0.004202	0.001161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27 ΣΩΒΙΝΙΟΝ ΛΕΥΚΟ	0.032415	0.01167	0.002744	0.003899	0	0.001994	0.001319	0.000813	0.000209	0.001544	0	0.004133	0.000122
28 ΣΑΡΝΤΟΝΝΕ ΛΕΥΚΟ	0.034696	0.024637	0.004527	0.011039	0	0.005486	0.006424	0.006644	0	0.000921	2.62E-05	0.001428	0
29 ΚΑΜΠΕΡΝΕ	0.041281	0.096727	0.006036	0.016644	0.052828	0	0.007929	0.037164	0.008167	0.007427	0.007366	0.033328	0.004467
ΣΩΒΙΝΙΟΝ ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 ΚΑΜΠΕΡΝΕ ΦΡΑΝ	0.001537	0.002303	0.001875	0	0.00508	0	0	0	0	0.000209	0	0	0
ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 ΜΑΛΑΓΟΥΖΙΑ	0.004331	0.015831	0.000549	0	0.000847	0	0	0.001135	0.001416	0.008199	0	0	0.000343
ΛΕΥΚΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32 ΦΟΚΙΑΝΟ	0	0	0	0	0	0	0	0.001349	0	0.055037	0.016533	0.001747	0
33 ΖΟΥΜΙΑΤΙΚΟ	0	0.001742	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34 ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0.00033	0	0	0.12379	0	0
35 ΡΕΦΟΣΚΟ	0.001076	0	0.000414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 ΜΠΑΤΙΛΙ	0	0	0.013184	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37 ΓΟΥΣΤΟΛΙΔΙ	0	0	0	0	0.015112	0	0	0	0	0	0	0	0
ΒΟΣΤΙΛΙΔΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38 ΛΑΓΟΡΦΙ	0	0	0	0	0	0	0	1.34E-05	0	0	0	0	0
39 ΜΕΣΣΕΝΙΚΟΛΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 ΝΕΓΚΟΣΚΑ	0	0.023321	0.008368	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.52E-05
41 ΘΡΑΨΑΘΗΡΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001466
42 ΓΚΡΕΝΑΣ ΡΟΥΖ	0.000641	0.000968	0	0.00095	0	0	0.020774	0.017264	0.009434	0	0.005834	0.001635	0
43 ΡΙΣΛΙΝΓΚ ΡΕΝΑΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.05E-05
44 ΣΥΛΒΑΝΕΡ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.41E-05
45 ΣΕΜΙΓΙΟΝ	0.002229	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000293	0	0	0
46 ΑΛΙΚΑΝΤΕ ΜΟΥΣΣΕ	0	0	9.75E-05	0	0	0	0	0.002498	0	0	0	0	0
47 ΥΝΙ ΜΠΛΑΝ	0.009122	0.002168	0	0.024345	0	0	0.004645	0.00541	0	0	0	0	3.76E-05
48 ΣΥΡΑΧ	0.027956	0.022101	0.028396	0.02337	0.000847	0.002304	0.003208	0.018183	0.000459	0.002316	0	0.003453	0.003053
49 ΣΕΝΩ	0	0.008728	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 ΚΑΡΙΝΙΑΝ	0	0	0	0	0	0	0.002392	0	0	0	0	0	3.29E-05
51 ΜΕΡΑΟ	0.066419	0.131699	0.026979	0.006994	0.001524	0.005717	0.004087	0.0157	0.000352	0.001149	0.000712	0	0.001903
52 ΤΕΜΠΡΑΝΙΛΟ	0.001307	0	0	0	0	0	0	0.000646	0	0	0	0	0
53 ΑΡΙΝΘΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59 ΛΟΠΙΣΣΕ	0.059142	0.12028	0.197997	0.26068	0.491195	0.29082	0.057611	0.023917	0.053578	0.018577	0.165111	0.221812	0.073498
ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60 ΡΟΖΑΚΙ Η ΚΕΡΙΝΟ	0.095426	0.020243	0.025378	0.015596	0	0	0.002852	0.000543	0	0.010714	0.015618	0.004961	0
61 ΜΟΣΧΑΤΟ	0.027444	0.027733	0.01381	0.053978	0	0	0.004369	0.000134	0	0	0.000576	0	0
ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62 ΜΟΣΧΑΤΟ	0.002972	0.00091	0	0.00117	0	0	0	0	0.007736	0	0.002067	0.003166	0
ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΛΕΥΚΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63 ΚΑΡΝΤΙΝΑΛ	0.002767	0.016121	0.003475	0.029341	0	0	0.000383	0.001136	0.005815	0	0.008214	0	0
64 ΦΡΑΟΥΛΑ	0	0.006503	0	0	0	0	0.000184	0.004235	0.00916	0.004981	0	0.000568	0
65 ΣΟΥΛΤΑΝΙΝΑ	0.350288	0	0.002103	0	0	0	0.000267	0.00046	0.297174	0	0.003181	0.007796	0.127436
ΕΠΙΤΡΑΓΕΖΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66 ΣΙΔΕΡΙΤΗΣ	0	0	0	0	0	0.003056	0	0	0	0	0	0	0
67 ΙΤΑΛΙΑ	0.040026	0.002168	0	0	0	0	0.000567	0.000254	0.010481	0	0	0	0
68 ΒΙΚΤΟΡΙΑ	0.119308	0.068375	0	0.045522	0	0	0.000184	0.005847	0	0	0	0	0
69 ΚΑΛΜΕΡΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0.000125	0	0	0	0	0
70 ΡΙΜΠΙΣ (ΑΛΦΟΝΣ)	0.002486	0	0.003475	0.021811	0	0	0.001732	0	0	0	0	0	0
ΛΑΒΑΛΕ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71 ΟΧΑΝΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72 ΓΛΟΑΝΤ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89 ΛΟΠΙΣΣΕ	0.02647	0.007199	0.021126	0	0.050119	0	0.001427	9.2E-05	0.004306	0	0.002135	0.001727	0.0056
ΕΠΙΤΡΑΓΕΖΙΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΠΟΙΚΙΛΙΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90 ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΗ	0	0	0	0	0	0.126986	0.525645	0	0.284024	0	0	0	0
91 ΣΟΥΛΤΑΝΙΝΑ	0	0	0	0	0	0.335845	0.001153	0	0.036969	0	0.02153	0.486852	0
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



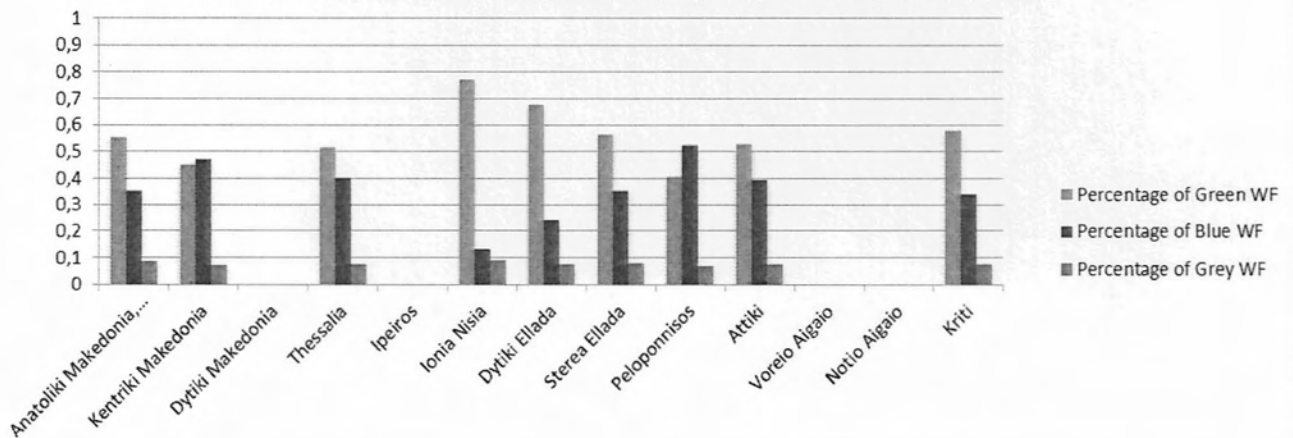
Πίνακας D Απόδοση ανά ποικιλία και περιφέρεια της Ελλάδας, Έτος αναφοράς 2009. Πηγή ΕΛΣΤΑΤ.

Απόδοση ανά ποικιλία και περιφέρεια (τόνοι ανά στρέμμα) (Πηγή ΕΛΣΤΑΤ)													
Ποικιλία	GR11	GR12	GR13	GR14	GR21	GR22	GR23	GR24	GR25	GR30	GR41	GR42	GR43
1 ΣΑΒΒΑΤΙΑΝΟ	0.395833	0.645291	0.605263	0.767857	0.5	0.463466	0.915888	0.988493	1.026403	0.53937	0.723214	0.300633	0
2 ΒΗΛΑΝΑ	0.714286	0	0	2.066667	0	0.650146	0	0.703349	0	0.664783	0	0	1.184829
3 ΑΠΟΡΡΗΤΙΚΟ	0.551471	0.627714	0	1.196078	0.6	1	0.59322	0.701987	0.895481	1.033566	0	0	0.833333
4 ΜΟΣΧΟΦΙΛΕΡΟ	0	0	0	0	0	0.368852	1.202247	0.6	0.696215	0	0	0	0.642032
5 ΜΑΥΡΟΔΑΦΝΗ	0	0	0	0	0	0.539474	1.123944	0	0	0	0	0	0
6 ΜΟΣΧΑΤΟ ΑΣΠΡΟ Η	0.777778	0.71645	0	1.447898	0	0.569863	1.075607	0.294393	0	0	0.507539	0.592814	1.975078
ΜΟΣΧΟΥΔΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 ΡΩΔΙΤΗΣ	0.5	0.888783	0.834891	1.493945	0.894737	0	1.350427	0.907953	1.232621	1.175293	0	0.5	0
8 ΡΟΜΠΟΛΑ	0.277778	0	0	0	0	0.626277	0	0.583893	0.75	0	0	0	1
9 ΝΤΕΜΠΙΝΑ	0	0	0	1.815534	0.58579	0	0	0	0	0.583333	0	0	0
10 ΚΡΑΣΑΤΟ	0	0.299517	0	1.076923	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 ΣΤΑΥΡΩΤΟ	0	0	0	1.072727	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12 ΞΥΝΟΜΑΥΡΟ	0	0.563398	0.495414	0.942029	0	0	0	0	0.605263	0	1.152174	0.851852	0
13 ΛΗΜΝΙΟ	0.473198	0.624544	0	1.196891	0	0	0	0	0	0	0.536723	0	0
14 ΜΟΣΧΑΤΟ	1	0.364865	0.486278	1.44824	0	0	0.60241	1.245681	0.75	1	0.752747	0.319066	0
15 ΑΣΥΡΤΙΚΟ	0.661844	0.883871	0	1.08209	0	0.651515	1.786667	0.851852	0.916376	0	0.203601	0.675676	0
16 ΑΘΗΡΙ	0	1	0	1.265306	0	0	0	0.8	0.37234	0	0.608898	0.636364	0
17 ΚΟΤΣΙΦΑΛΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.721513
18 ΜΑΝΔΗΛΑΡΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	1.465517	0.413462	0	0.558411	0.789904
19 ΛΙΑΤΙΚΟ	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17345	0.797471	0
20 ΦΙΛΕΡΙ	0	0	0	0	0	0	0.896476	0	0.93995	0	0	0	0
21 ΡΩΜΕΙΚΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.961353
22 ΜΑΥΡΟΥΔΙ	1.177177	0.340909	0	0.375	0.142857	0	0.665882	0.636364	0.657573	0	0	0.597701	0
23 ΚΟΚΟΤΡΥΓΗΣ	0	0	0	0	0	0.323671	0	0	0	0	0	0	0
24 ΒΕΡΤΖΑΜΙ	0	0.416667	0	0	0.294872	0.473362	0	0	0	0	0	0	0
25 ΑΣΠΡΟΥΔΙ	0	0	0	2	0	0	0.60101	0	0.97561	0	0	0.090909	0
26 ΠΑΜΙΤΙ	0.579268	0.583333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27 ΣΩΒΙΝΙΟΝ ΛΕΥΚΟ	0.827668	0.495854	0.5	0.35	0	0.2	0.480874	1.132075	1	0.788889	0	0.297468	0.346154
28 ΣΑΡΝΤΟΝΝΕ ΛΕΥΚΟ	0.906942	0.883739	0.616162	0.99117	0	0	0.687254	0.904535	0.892091	0	0.545455	0	1.644737
29 ΚΑΜΠΕΡΝΕ	0.775295	0.709484	0.431818	1.279649	0.413462	0	0.910909	0.841172	0.971647	0.699769	0.590909	0.256672	1.055731
ΣΩΒΙΝΙΟΝ ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30 ΚΑΜΠΕΡΝΕ ΦΡΑΝ	0.533333	0.89916	0.390244	0	0.366667	0	0	0	0	0	0.6	0	0
ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31 ΜΑΛΑΓΟΥΖΙΑ	0.633136	0.668704	0.583333	0	0.6	0	0	0.986486	0.100629	0.811715	0	0	0.780822
ΛΕΥΚΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32 ΦΩΚΙΑΝΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	1.075908	0	0.58403	0.775316	0.349462
33 ΖΟΥΜΙΑΤΙΚΟ	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34 ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0.810811	0	0	0.391801	0
35 ΡΕΦΟΣΚΟ	0.52381	0	0	2.294118	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 ΜΠΑΤΙΛΙ	0	0	0	1.534196	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37 ΓΟΥΤΟΛΙΔΙ	0	0	0	0	0	0.725806	0	0	0	0	0	0	0
ΒΟΤΣΙΛΙΔΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38 ΛΑΓΟΡΘΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0.666667	0	0	0	0
39 ΜΕΣΣΕΝΙΚΟΛΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40 ΝΕΓΚΟΣΚΑ	0	0.672199	0.398907	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.875
41 ΘΡΑΨΑΘΗΡΙ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.567308
42 ΓΚΡΕΝΑΣ ΡΟΥΖ	1	0.46	0	1.153846	0	0	0	1.949077	1.229043	1.503636	0	0.394619	0.764368
43 ΡΙΣΛΙΝΓΚ ΡΕΝΑΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.666667
44 ΣΥΒΑΝΕΡ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.666667
45 ΣΕΜΠΙΟΝ	0.597701	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.428571	0	0
46 ΑΛΙΚΑΝΤΕ ΜΟΥΣΣΕ-grenache	0	0	0	1	0	0	0	0	0.919786	0	0	0	0
47 ΥΝΙ ΜΠΛΑΝ	2.997191	0.741071	0	1.593594	0	0	0	1.976898	1.329218	0	0	0	0.625
48 ΣΥΡΑΧ	0.911091	0.739054	0.483092	1.181439	0.2	0.298077	0.883146	1.097808	0.980583	0.881481	0	0.19697	1.32
49 ΣΕΝΣΩ	0	0.620843	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50 ΚΑΡΙΝΙΑΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	1.294872	0	0	0	0.571428
51 ΜΕΡΛΟ	0.916667	0.688758	0.508475	0.972125	0.222222	0.647287	0.839506	0.93457	0.746835	0.447761	0.411765	0	1.106173
52 ΤΕΜΠΡΑΝΙΛΟ	0.607843	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
53 ΑΡΙΝΘΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59 ΛΟΙΠΕΣ	0.356586	0.844891	0.490069	0.988875	0.793864	1.229867	0.761637	0.729487	0.995678	0.452447	0.575412	0.330228	0.771954
ΟΙΝΟΠΟΙΗΣΙΜΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60 ΡΟΖΑΚΙ Η ΚΕΡΙΝΟ	2.681257	2.113767	0.52973	0.565625	0	0	0	1.096774	1.090164	0	3.488281	0.567839	2.446023
61 ΜΟΣΧΑΤΟ	2.879552	1.536636	0.562914	1.481264	0	0	0	1.224561	1.833333	0	0	0.818182	0
ΑΜΒΟΥΡΓΟΥ ΜΑΥΡΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62 ΜΟΣΧΑΤΟ	1.008621	2.829787	0	1.75	0	0	0	0	0	0.509978	0	0.506329	2.163205
ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΛΕΥΚΟ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63 ΚΑΡΝΤΙΝΑΛ	1.203704	1.218487	0.394737	2.196013	0	0	0	1.6	1.996078	0.849558	0	1.579618	0
64 ΦΡΑΟΥΛΑ	0	1.199405	0	0	0	0	0	1.416667	2.206099	0.539326	0.537815	0	2.801653
65 ΣΟΥΛΤΑΝΙΝΑ	2.892026	0	0.195652	0	0	0	1	1.666667	2.119875	0	1.013158	0.899329	1.985919
ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
66 ΣΙΔΕΡΙΤΗΣ	0	0	0	0	0	0	1.511792	0	0	0	0	0	0
67 ΙΤΑΛΙΑ	3.081306	1.196429	0	0	0	0	0	2.162162	2.105263	0.639935	0	0	0
68 ΒΙΚΤΟΡΙΑ	3.077749	2.171243	0	2.064775	0	0	0	1.916667	1.934501	0	0	0	0
69 ΚΑΛΜΕΡΙΑ	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
70 ΡΙΝΤΠΙΕ (ΑΛΦΟΝΣ	2.989691	0	0.394737	2.675978	0	0	0	1.504425	0	0	0	0	0
ΛΑΒΑΛΕ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71 ΟΧΑΝΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72 ΓΛΟΑΝΤ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89 ΛΟΙΠΕΣ	1.17909	2.502688	0.320346	0	2.560811	0	1.494949	1.666667	1.748707	0	0.705882	1.5	1.33557
ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΠΟΙΚΙΛΙΕΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90 ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΗ	0	0	0	0	0	0.4617	0.337827	0	0.297493	0	0	0	0
91 ΣΟΥΛΤΑΝΙΝΑ	0	0	0	0	0	0.455169	0.3375	0	0.325343	0	0	0.586877	0.489681

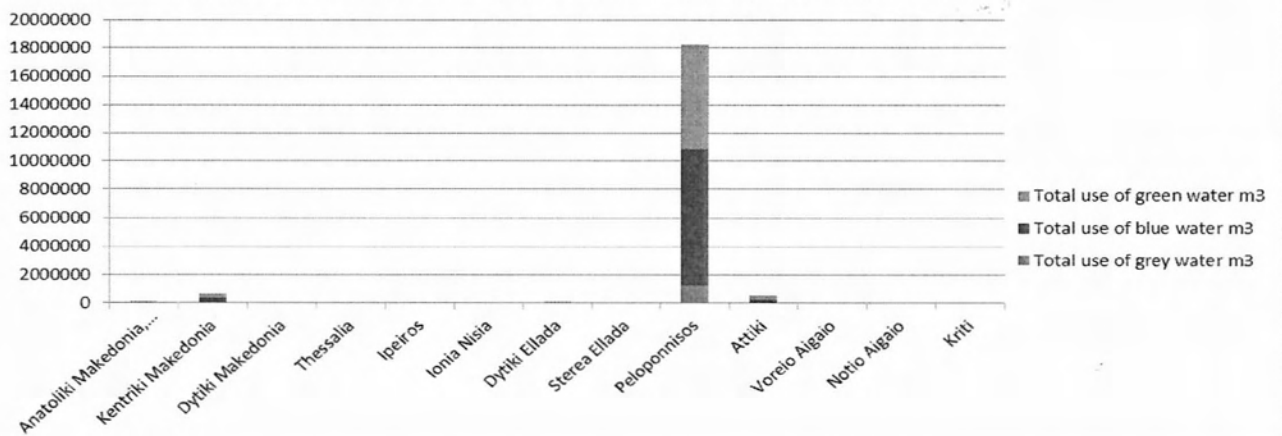
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Αγιωργήτικο



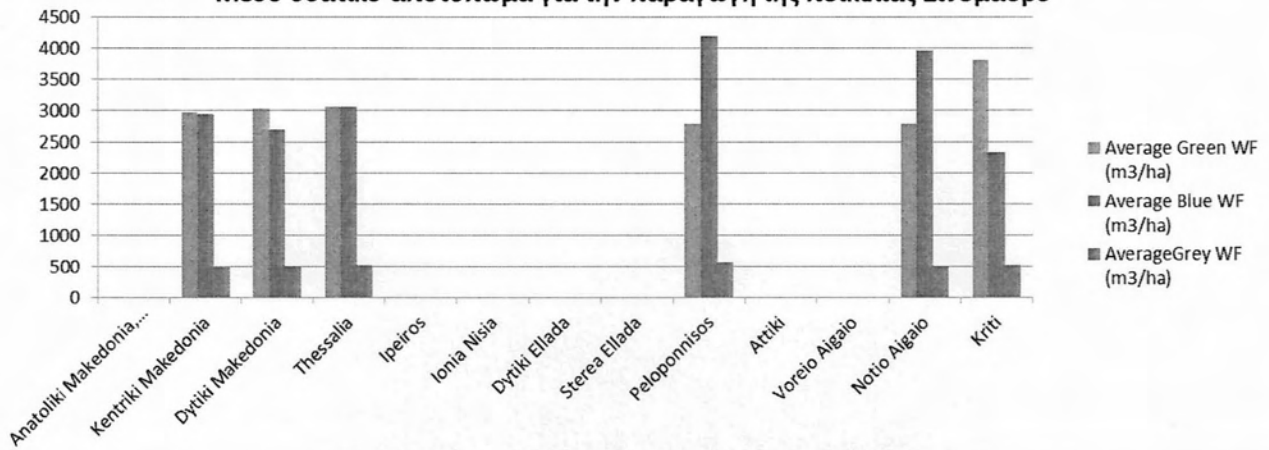
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Αγιωργήτικο



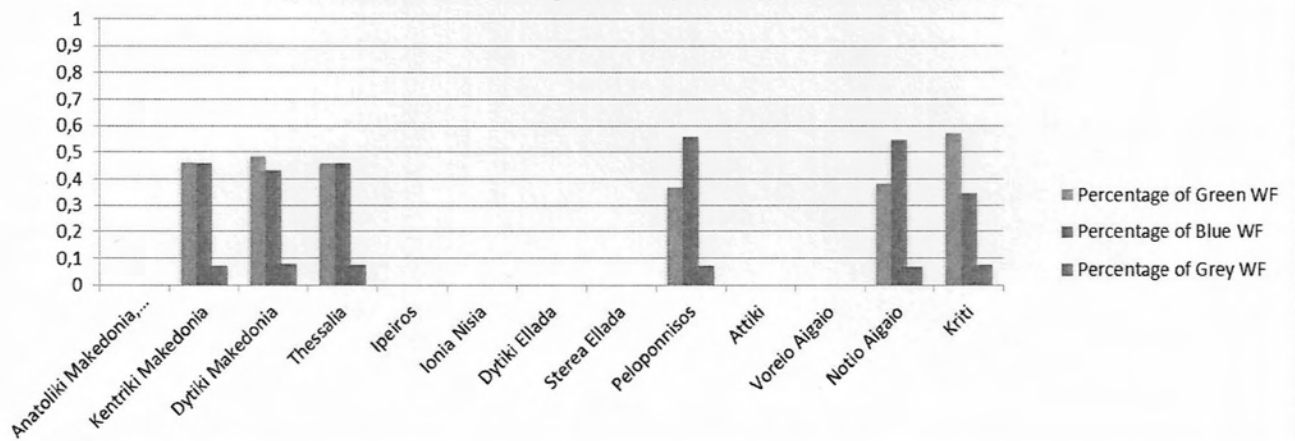
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Αγιωργήτικο



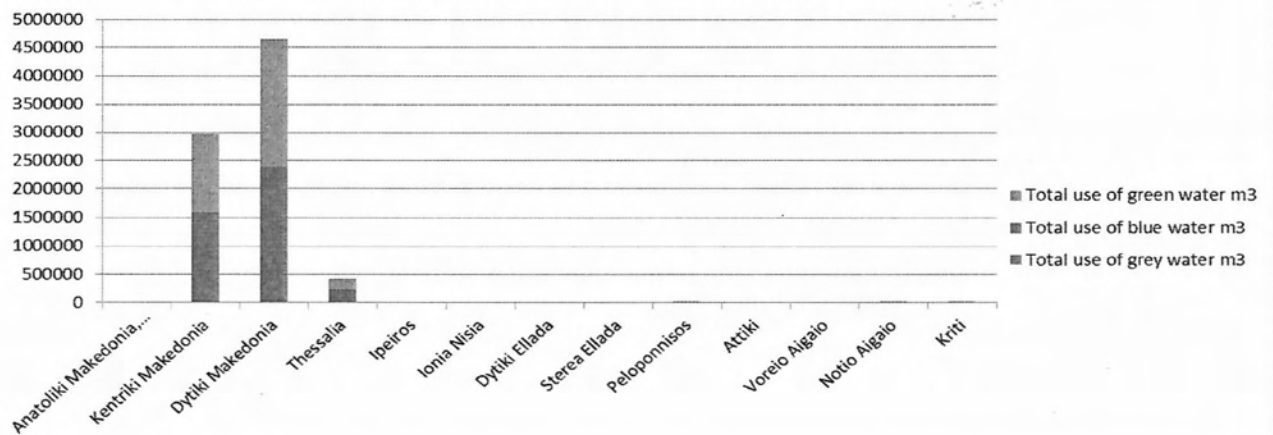
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ξινόμαυρο



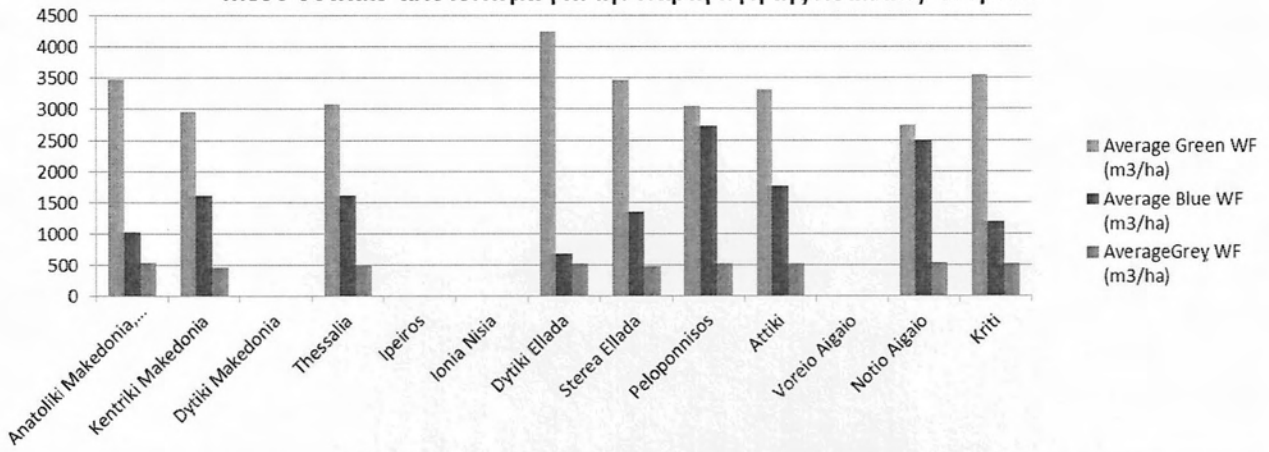
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ξινόμαυρο



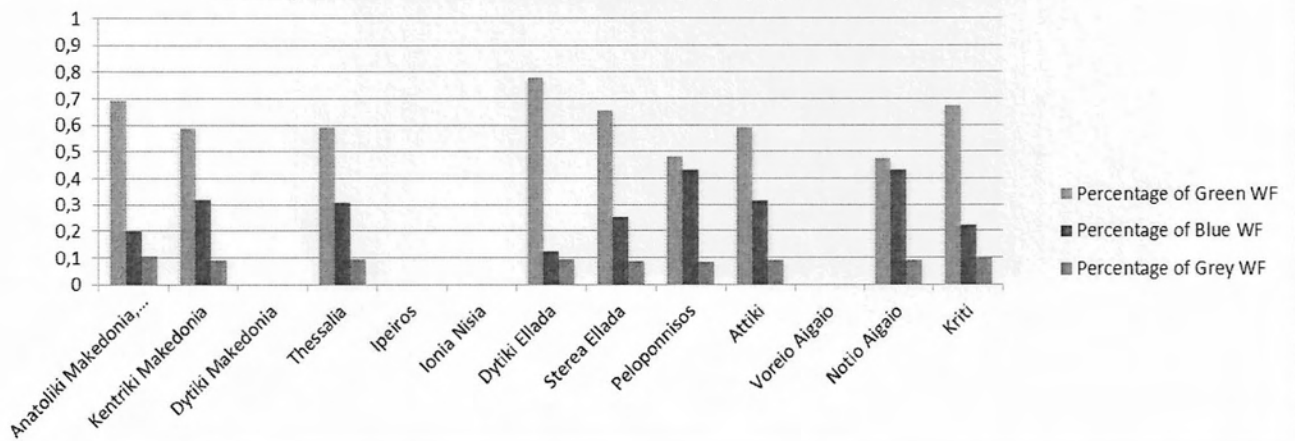
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ξινόμαυρο



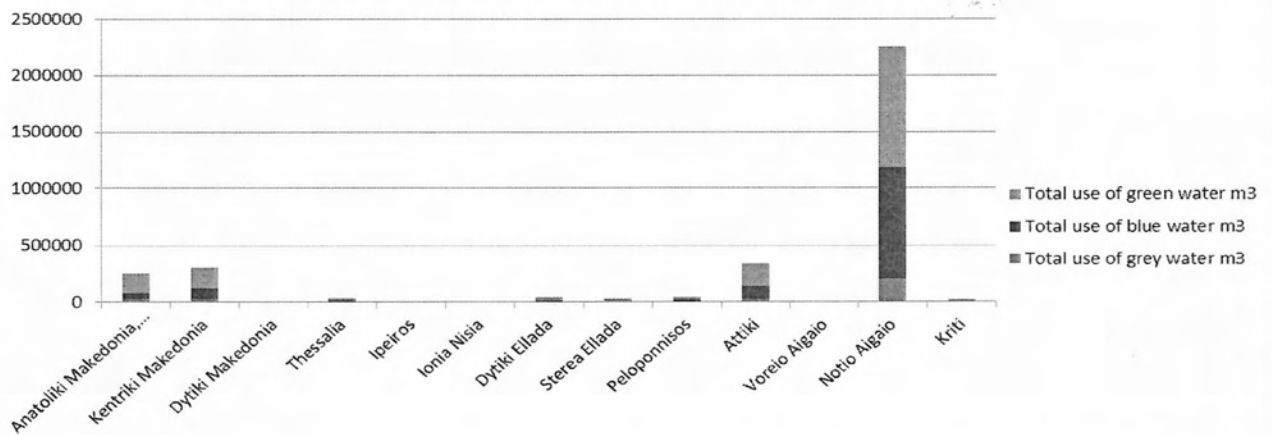
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ασύρτικο



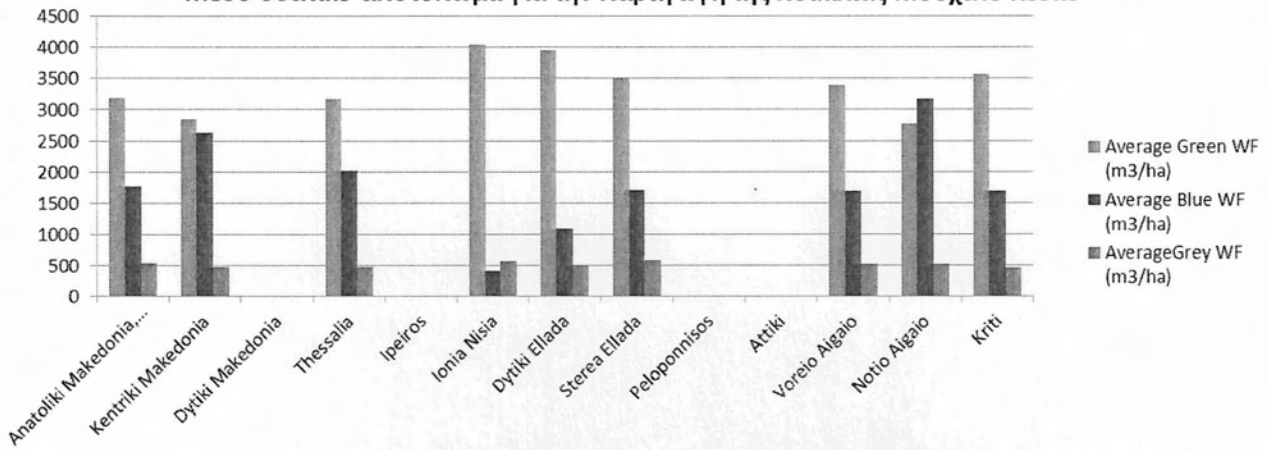
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ασύρτικο



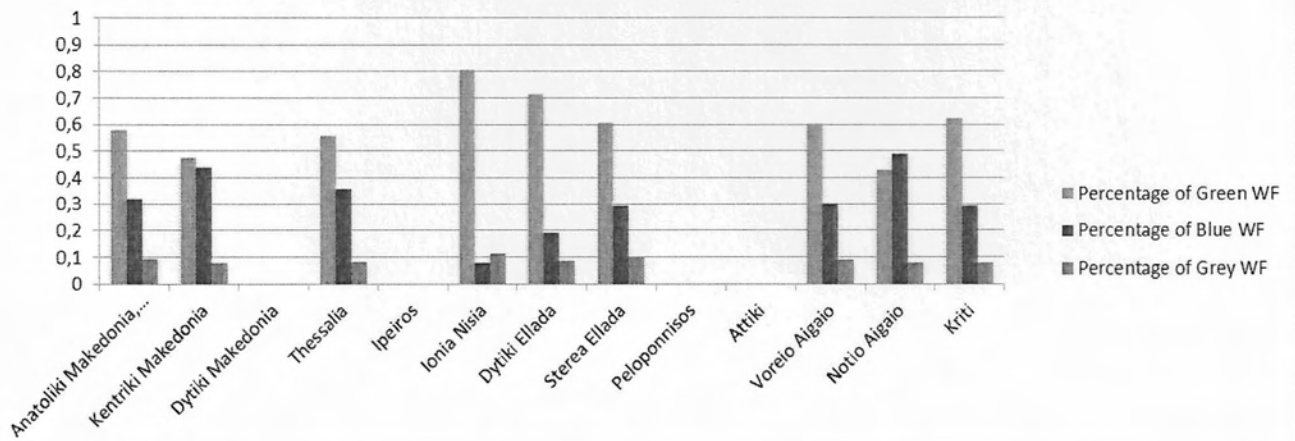
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ασύρτικο



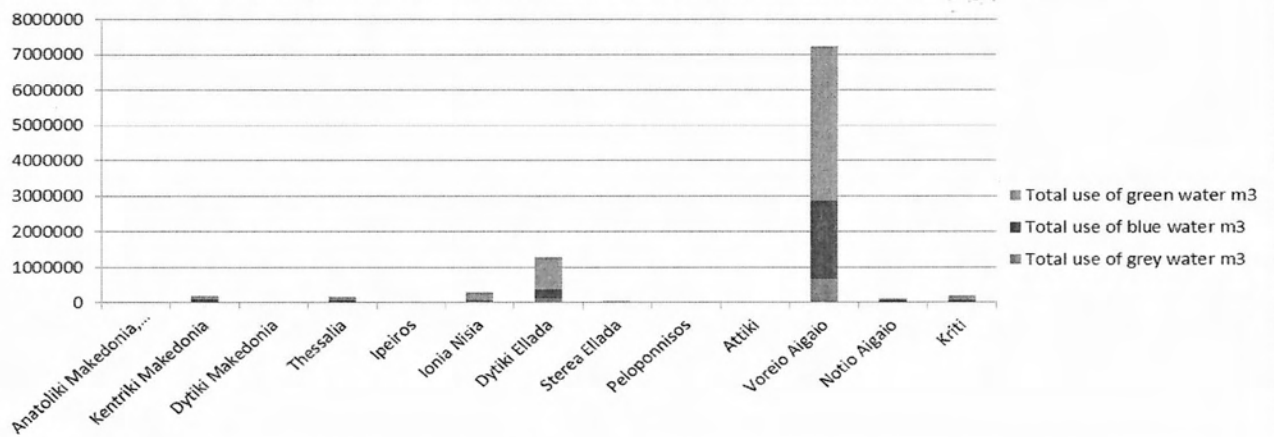
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο λευκό



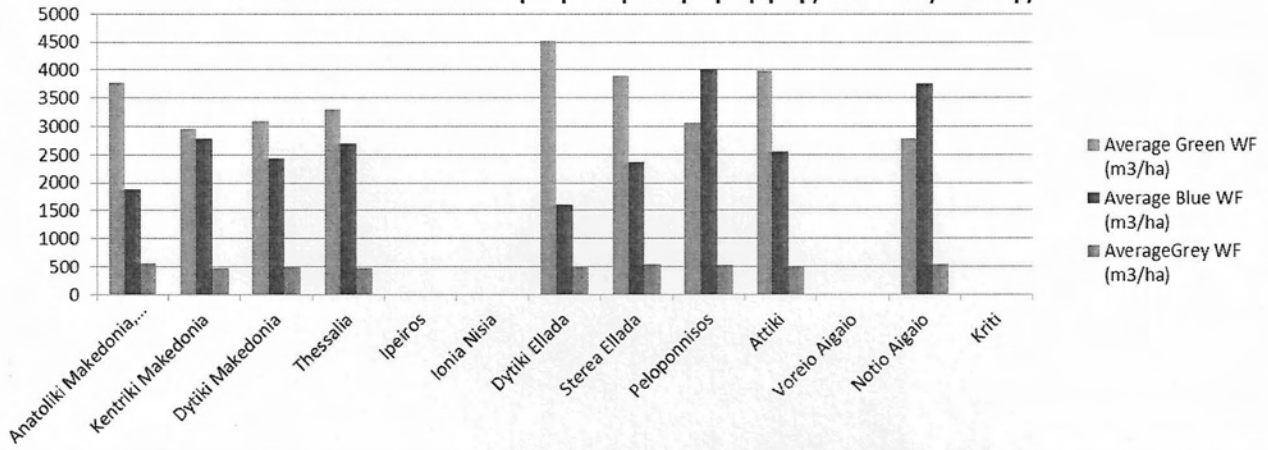
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μοσχάτο λευκό



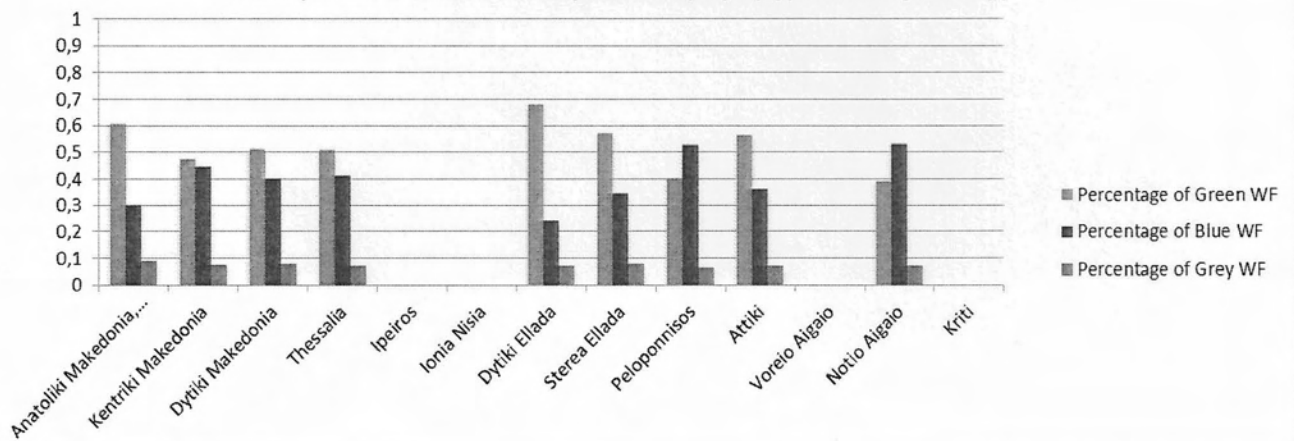
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο λευκό



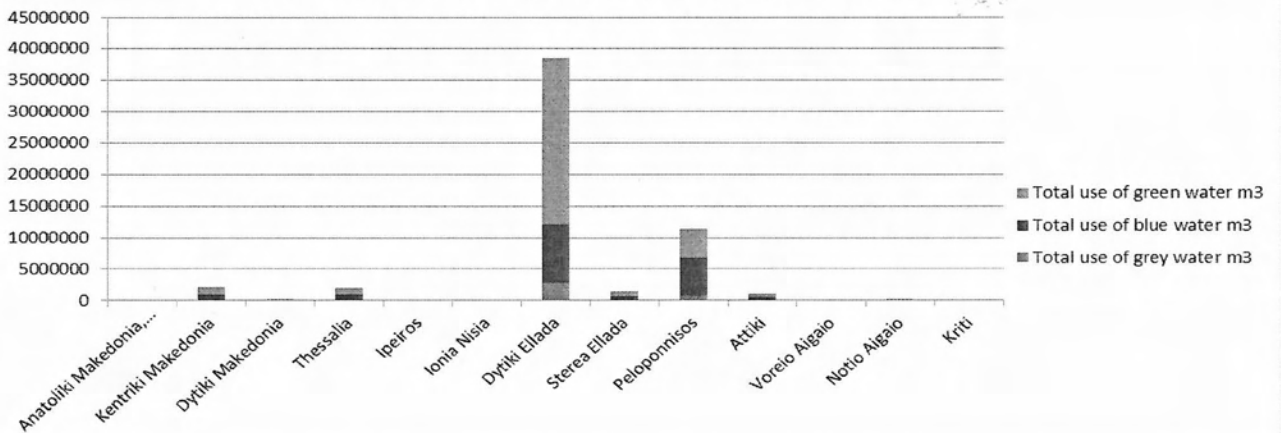
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ροδίτης



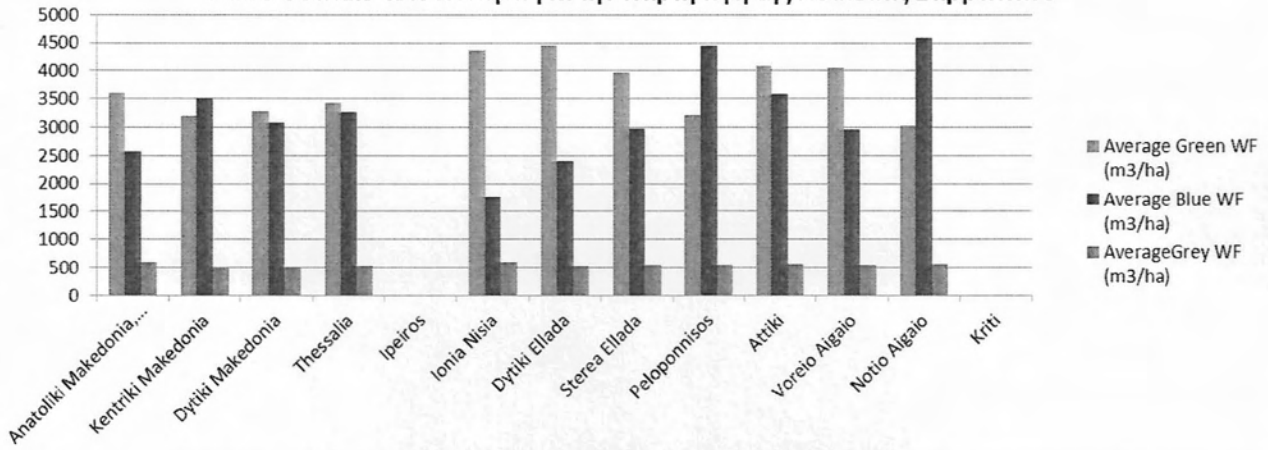
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ροδίτης



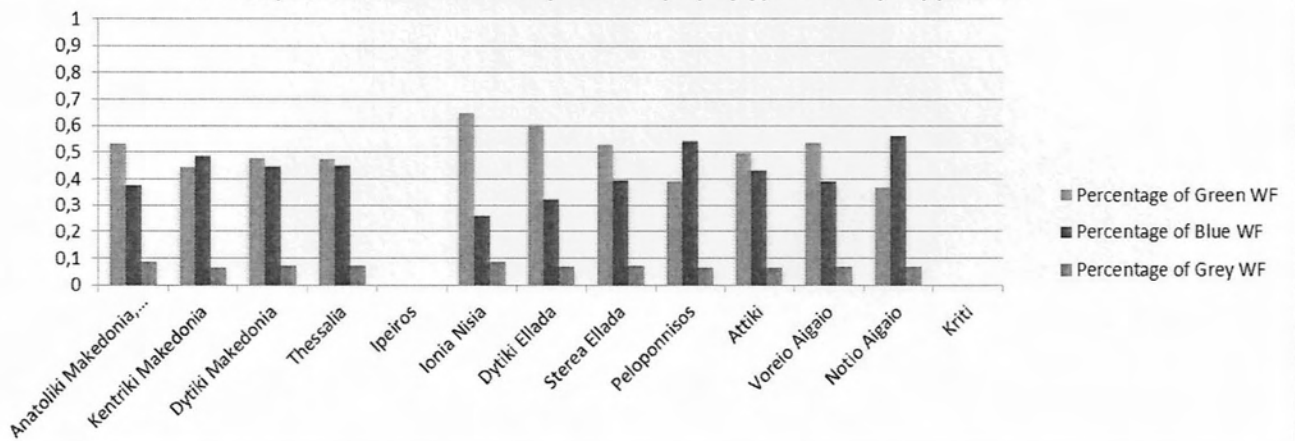
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ροδίτης



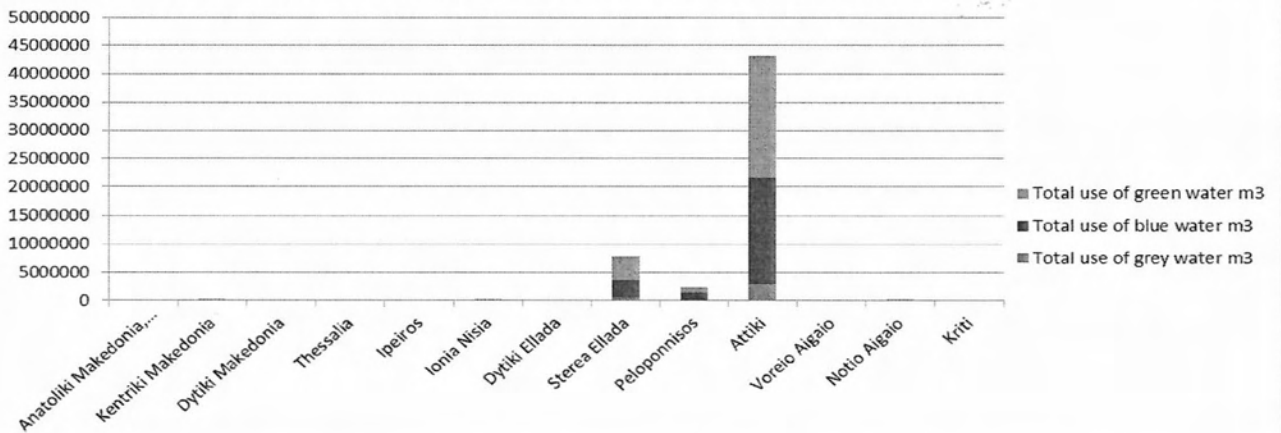
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Σαββατιανό



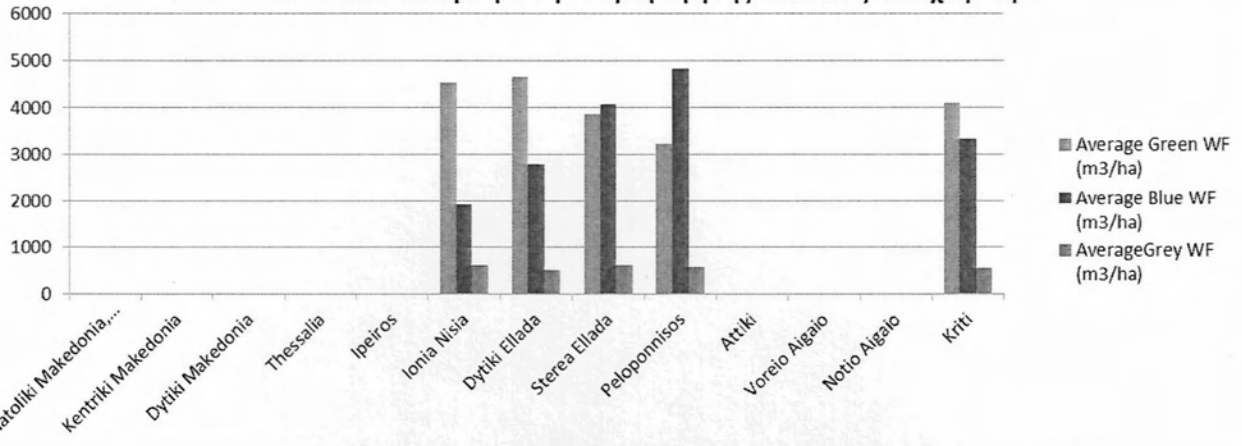
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Σαββατιανό



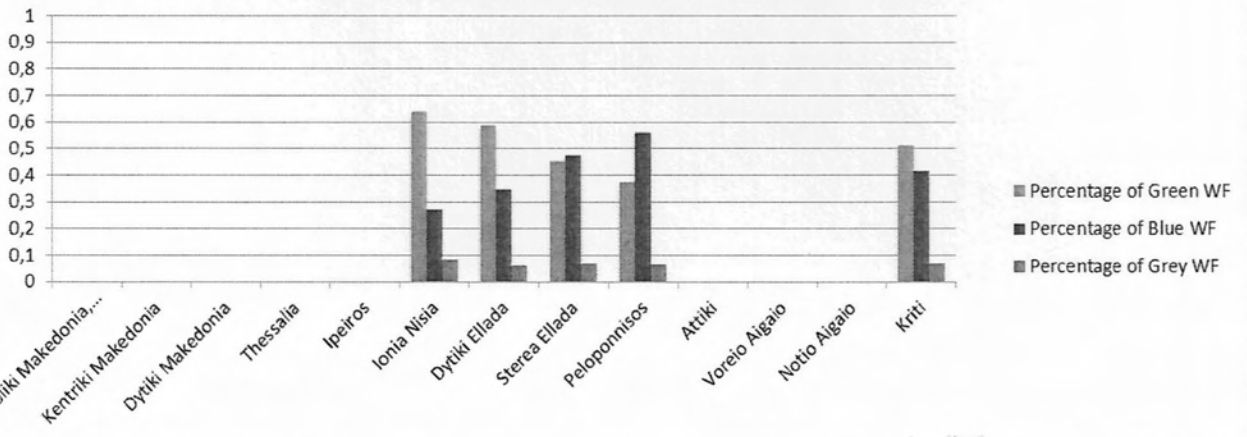
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Σαββατιανό



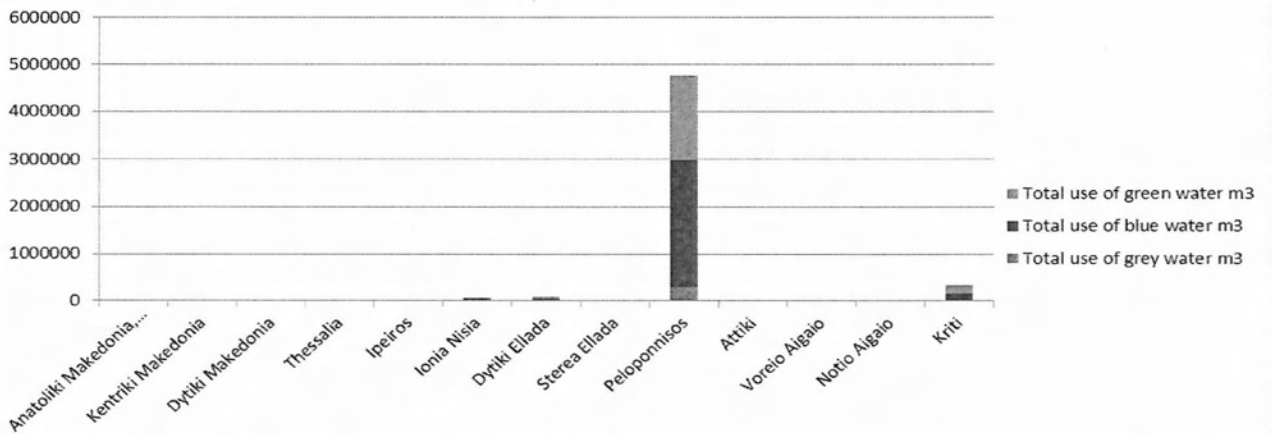
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχοφίλερο



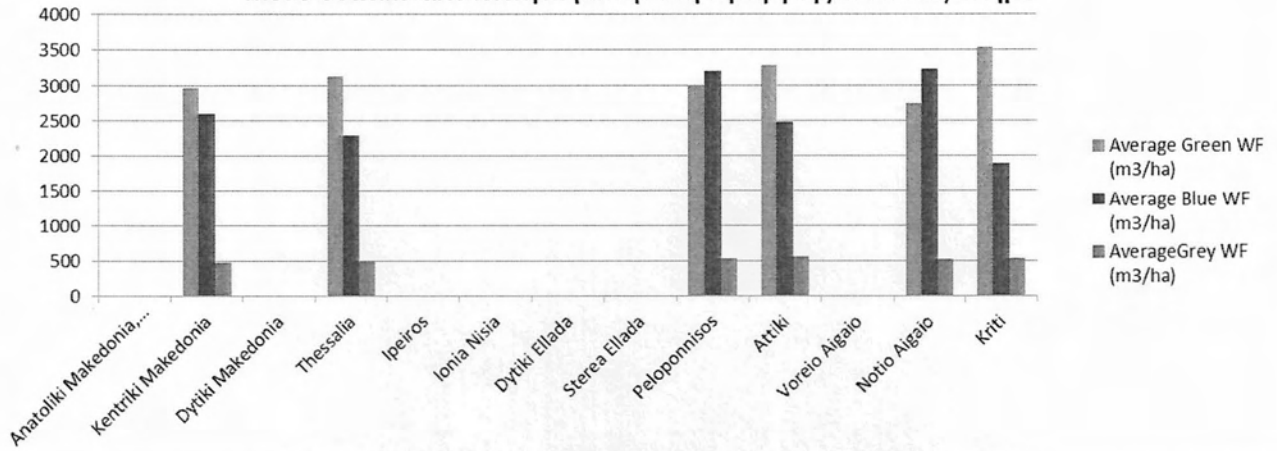
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μοσχοφίλερο



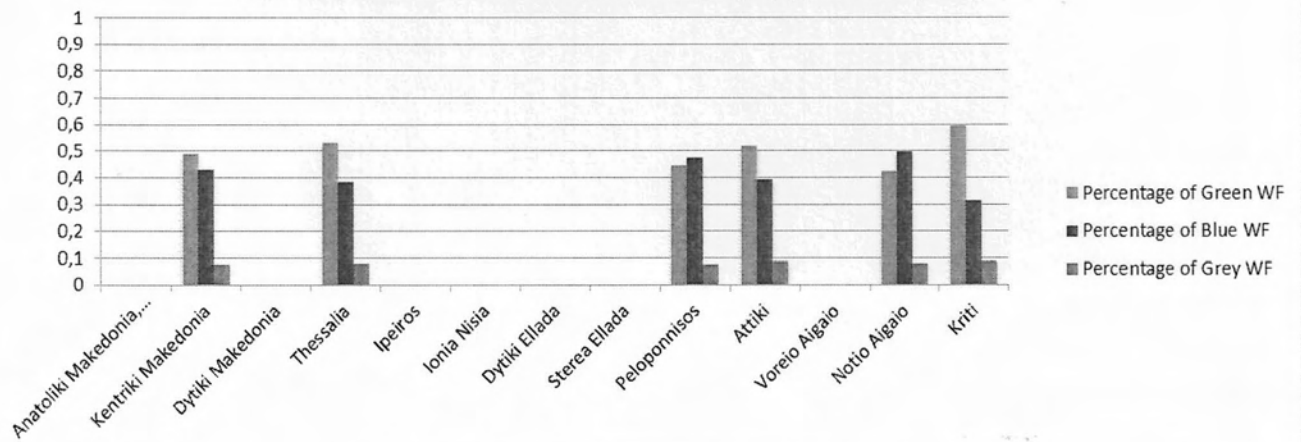
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχοφίλερο



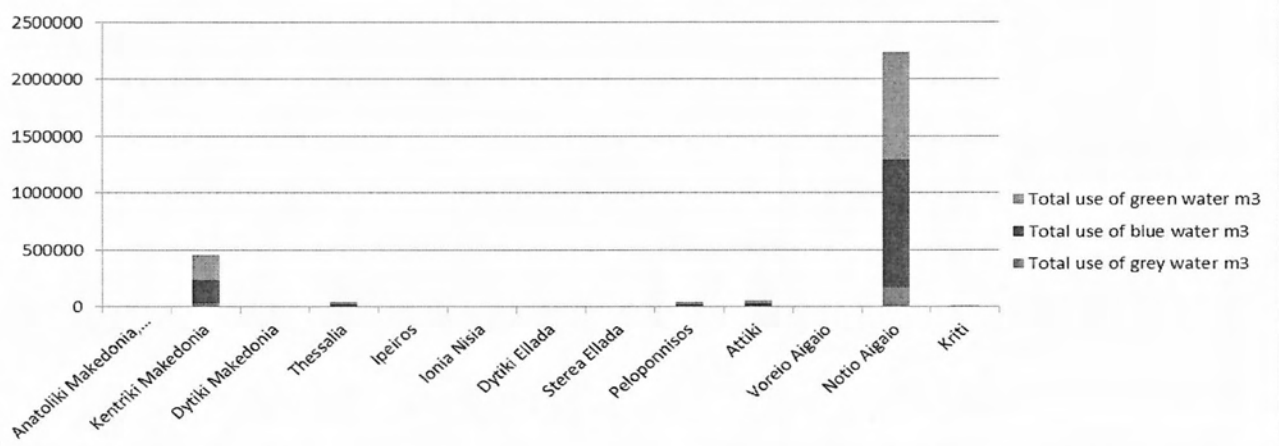
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Αθήρι



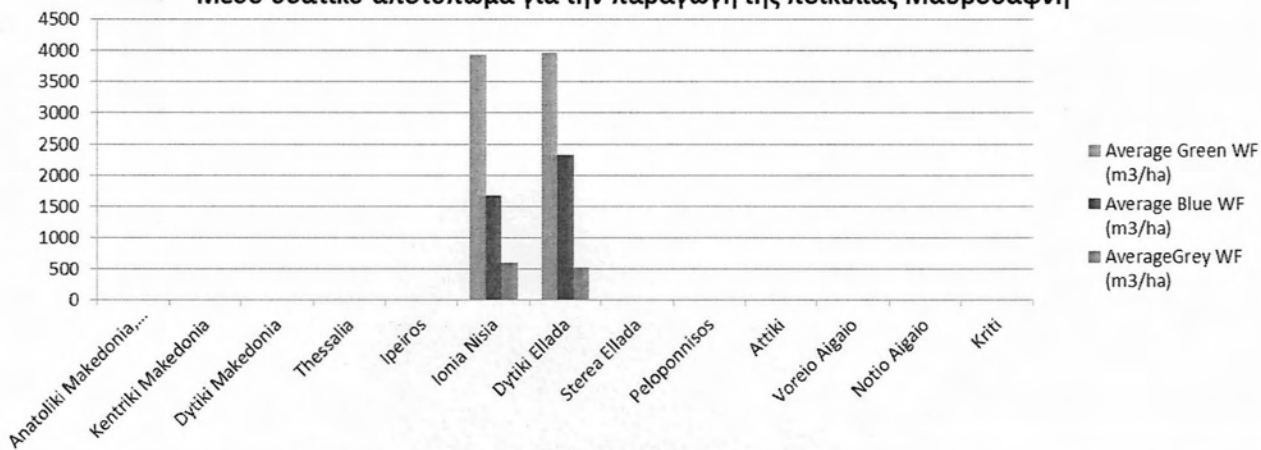
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Αθήρι



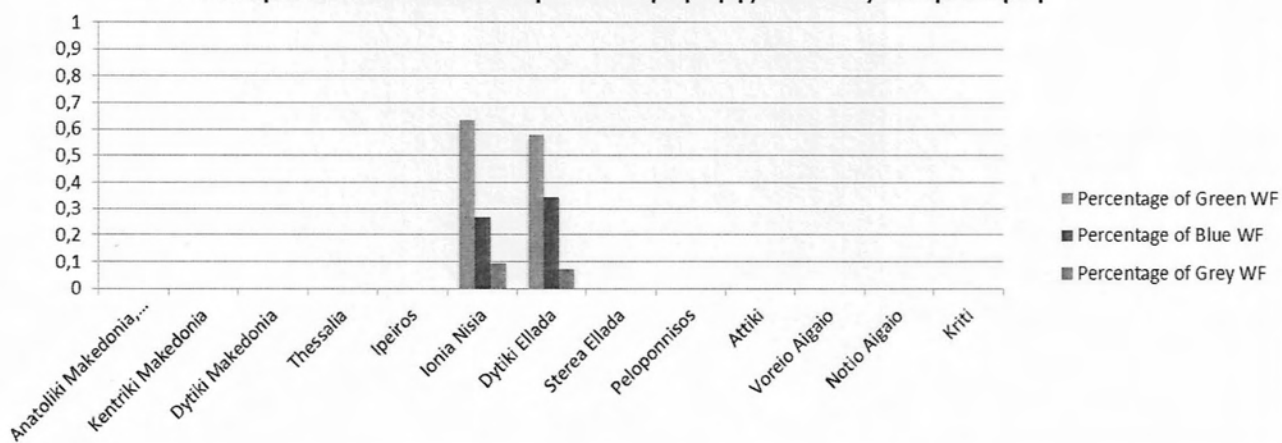
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Αθήρι



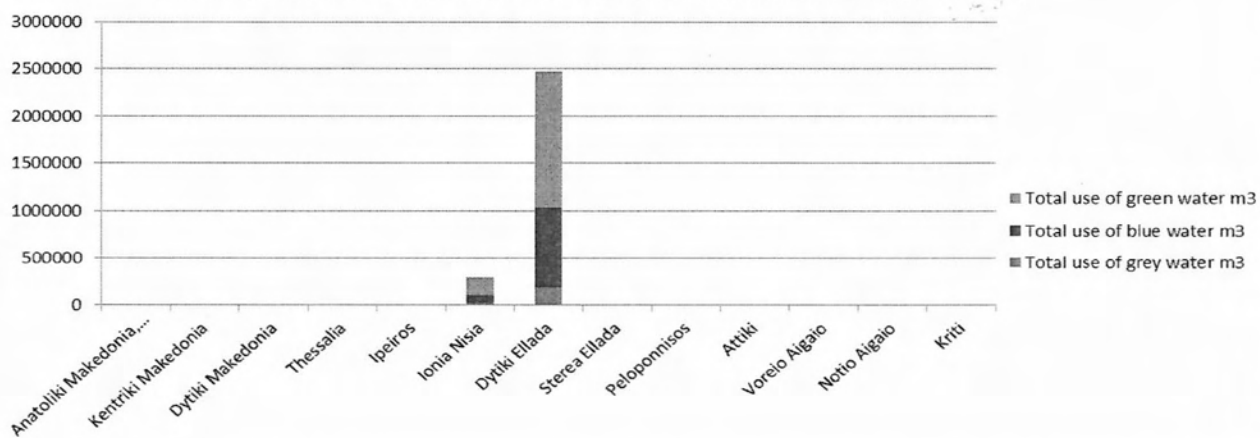
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μαυροδάφνη



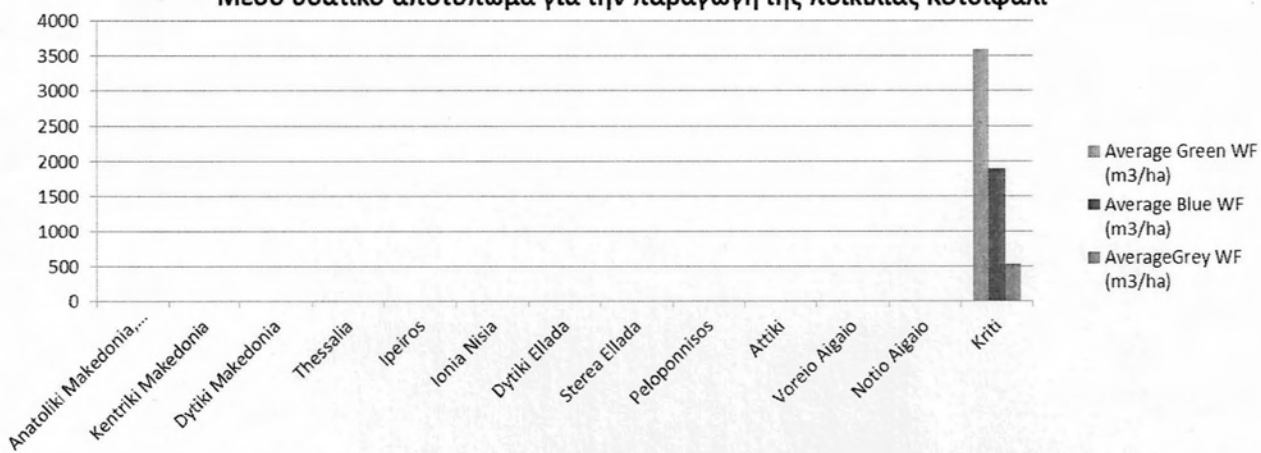
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μαυροδάφνη



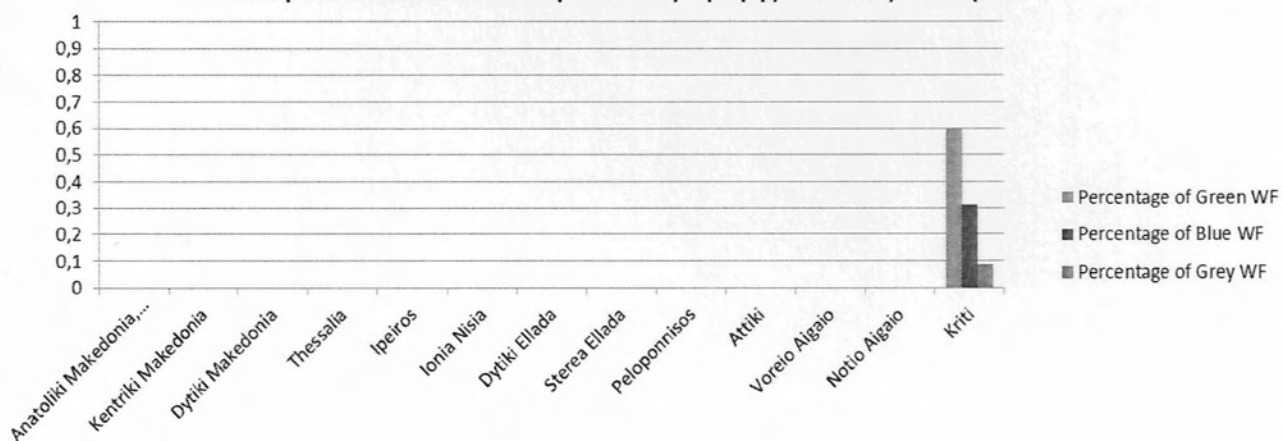
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μαυροδάφνη



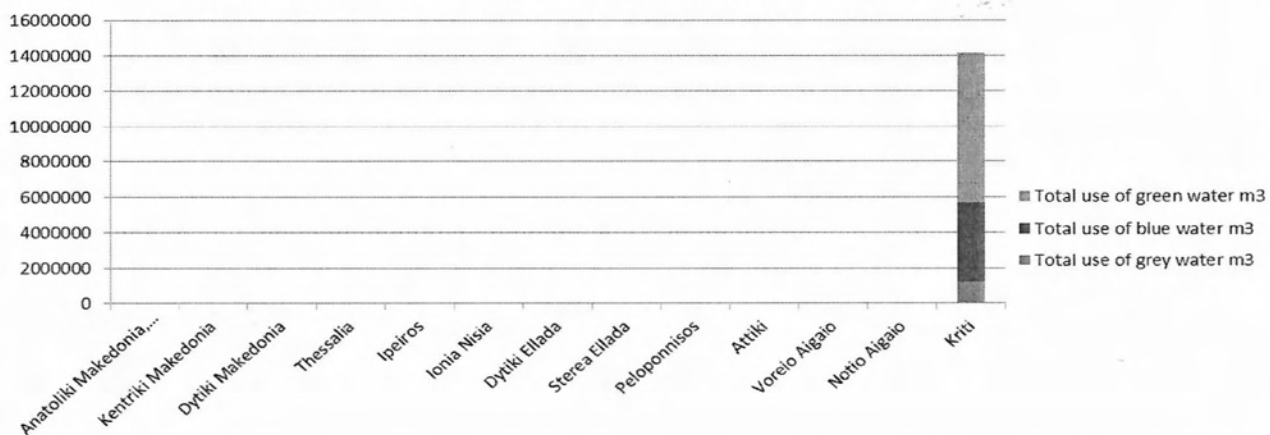
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Κοτσιφάλι



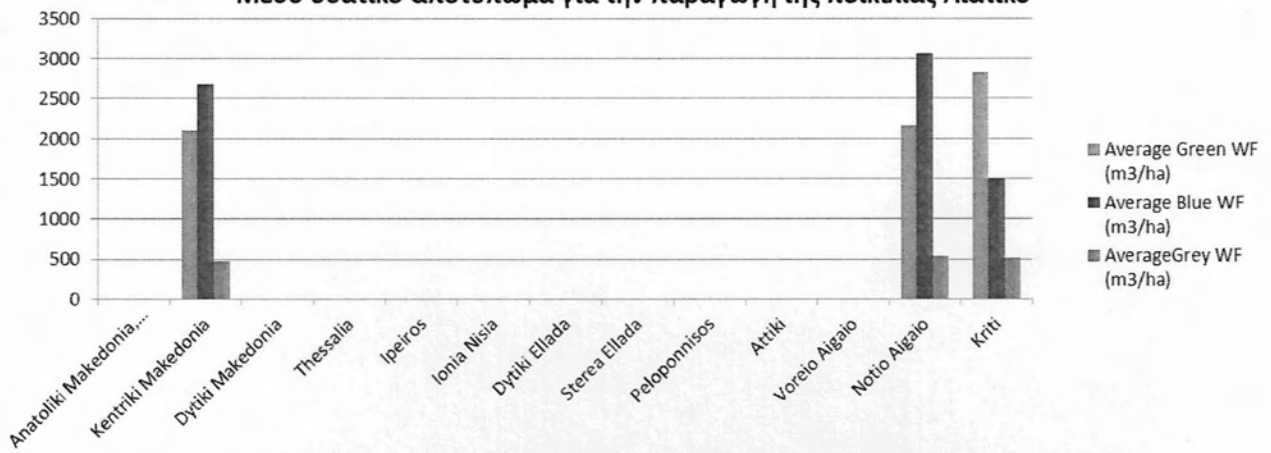
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Κοτσιφάλι



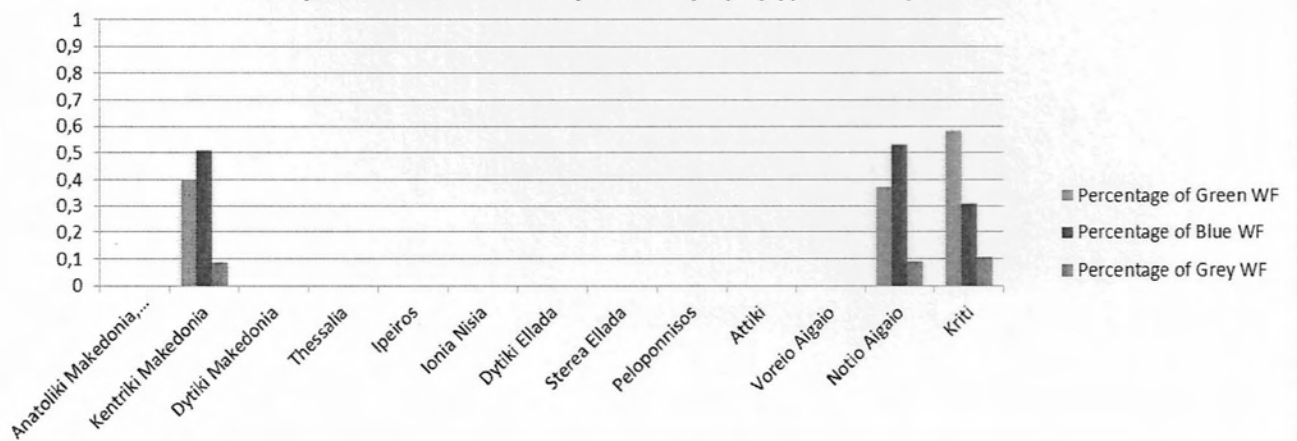
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Κοτσιφάλι



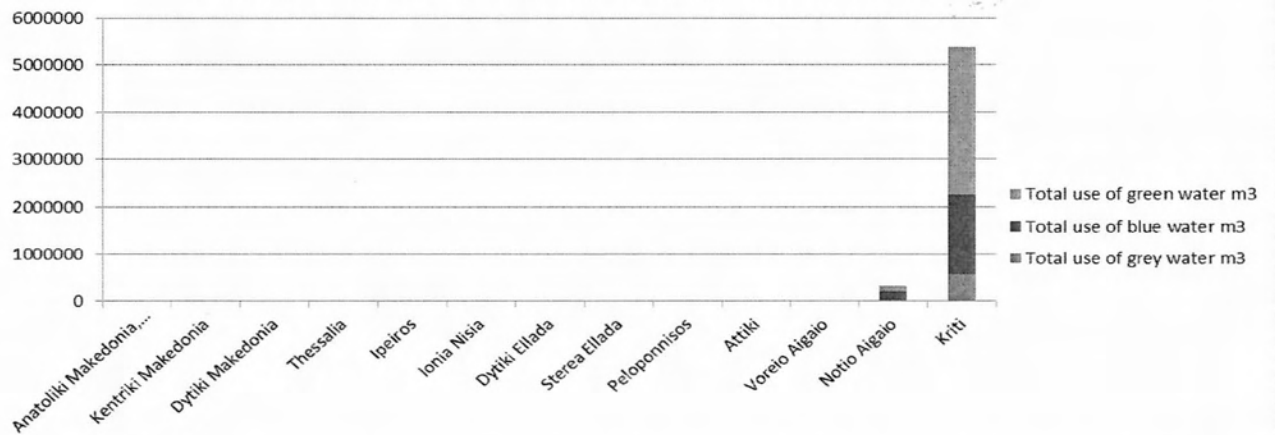
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Λιάτικο



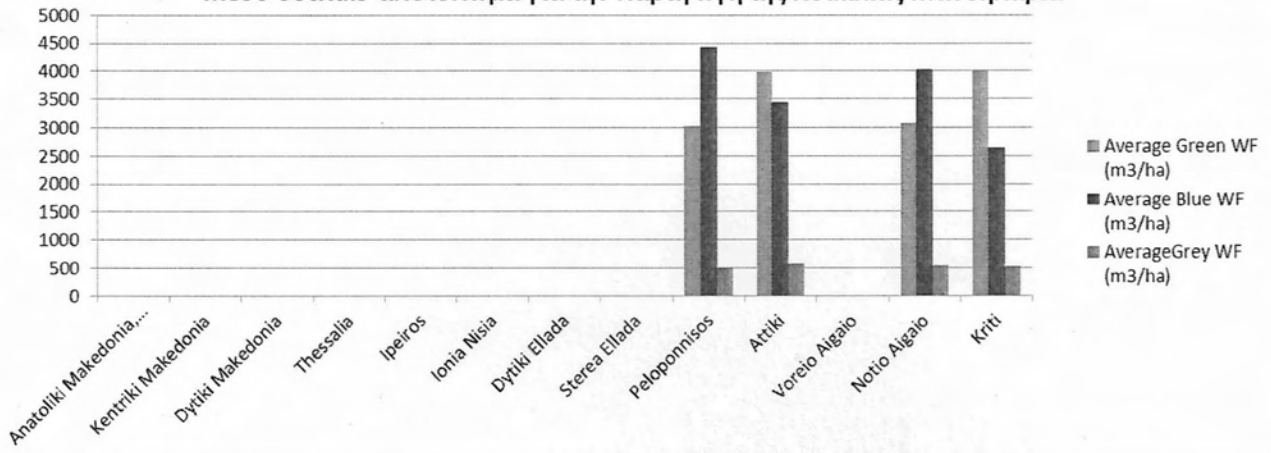
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Λιάτικο



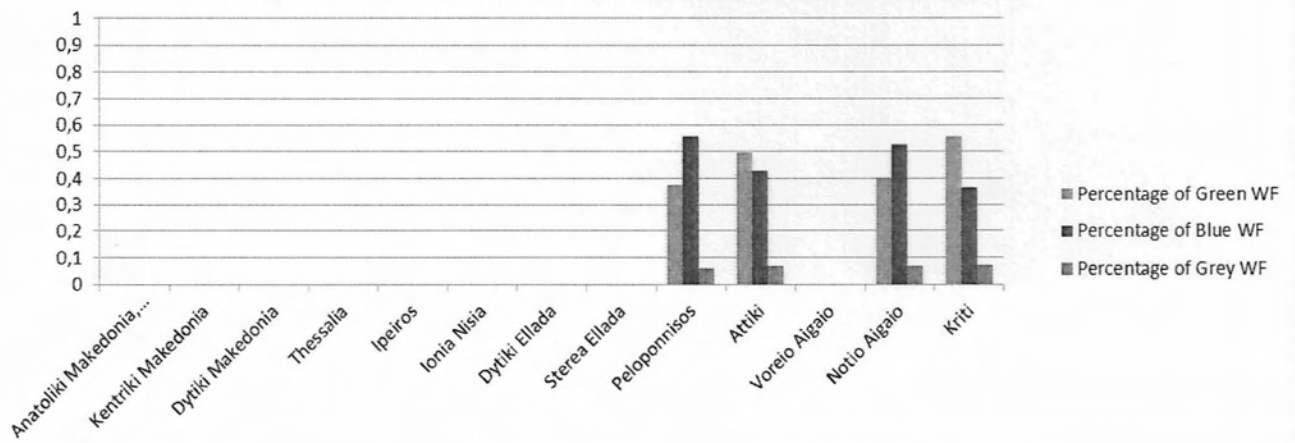
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Λιάτικο



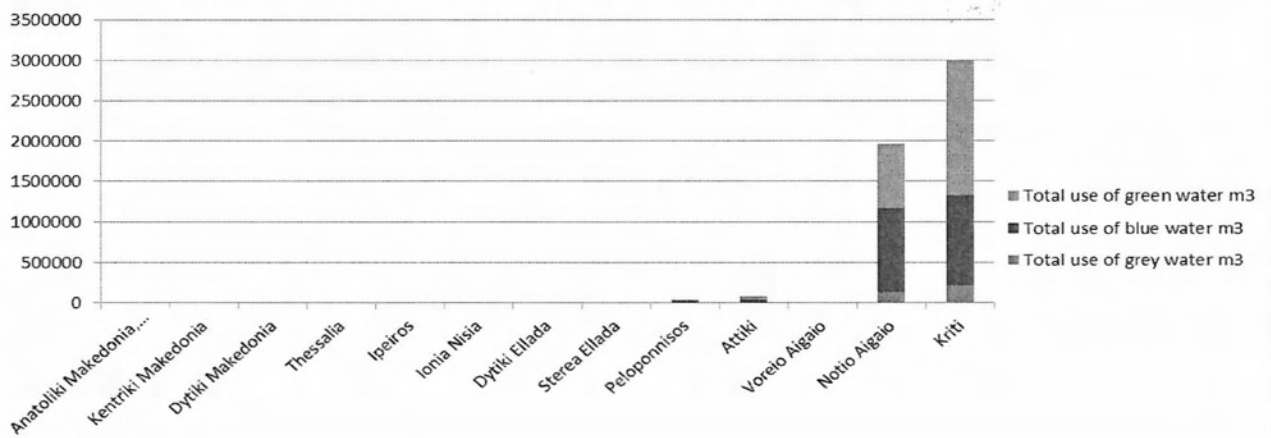
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μανδηλαριά



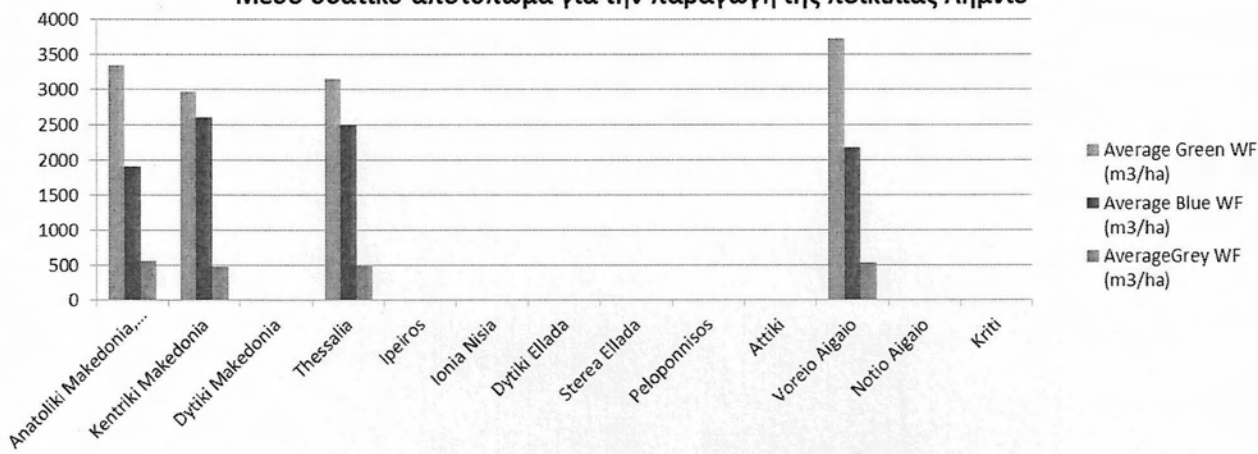
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μανδηλαριά



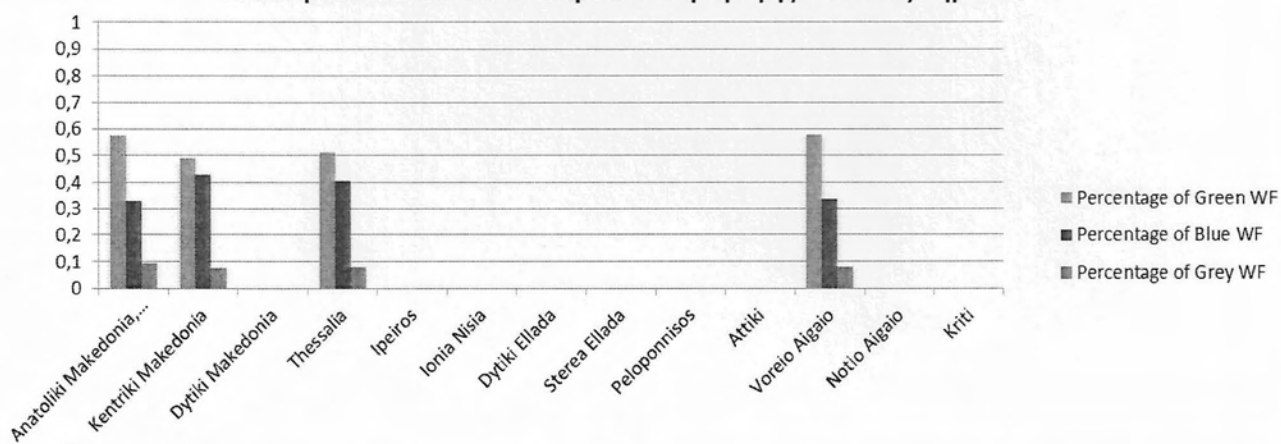
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μανδηλαριά



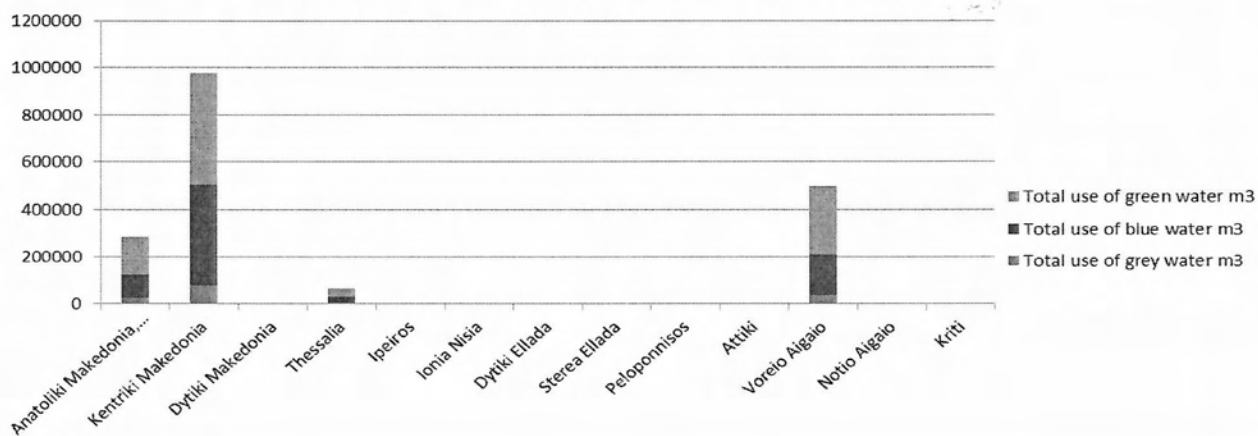
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Λημνιό



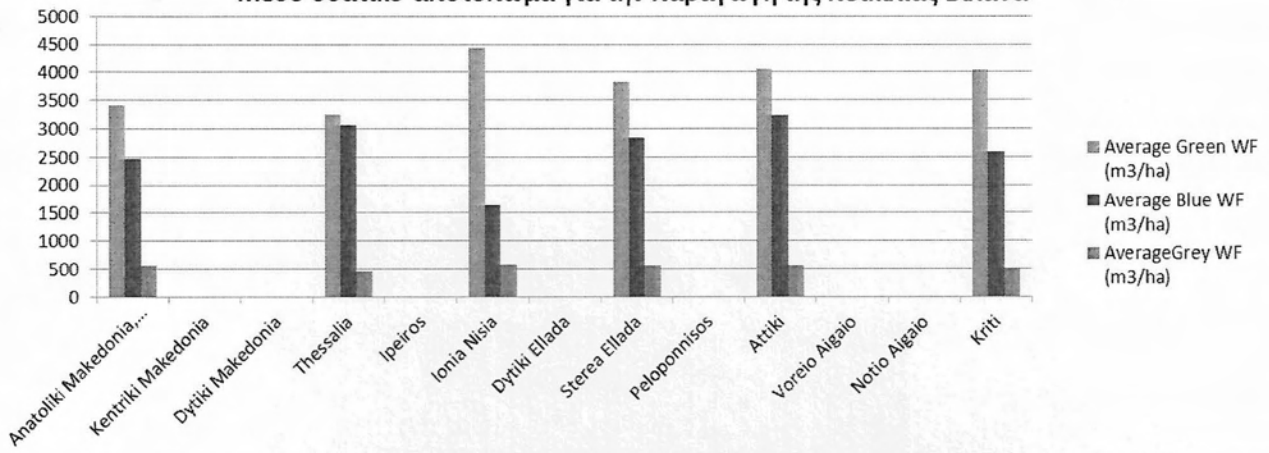
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Λημνιό



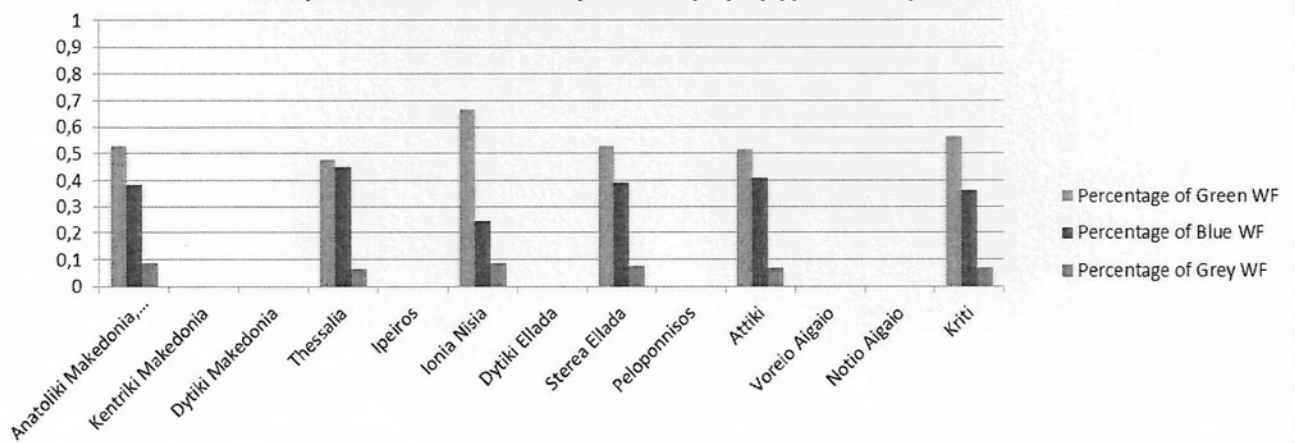
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Λημνιό



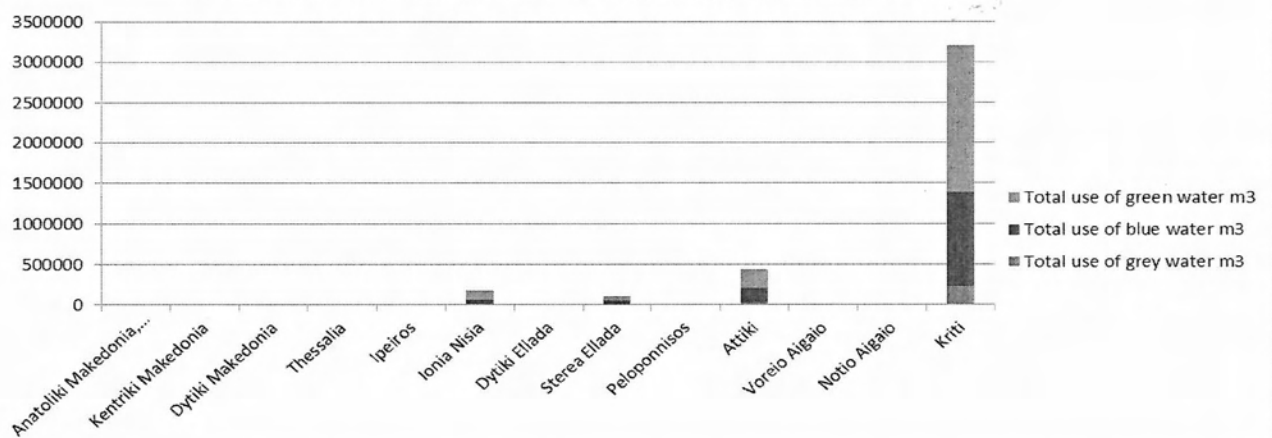
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Βιλάνα



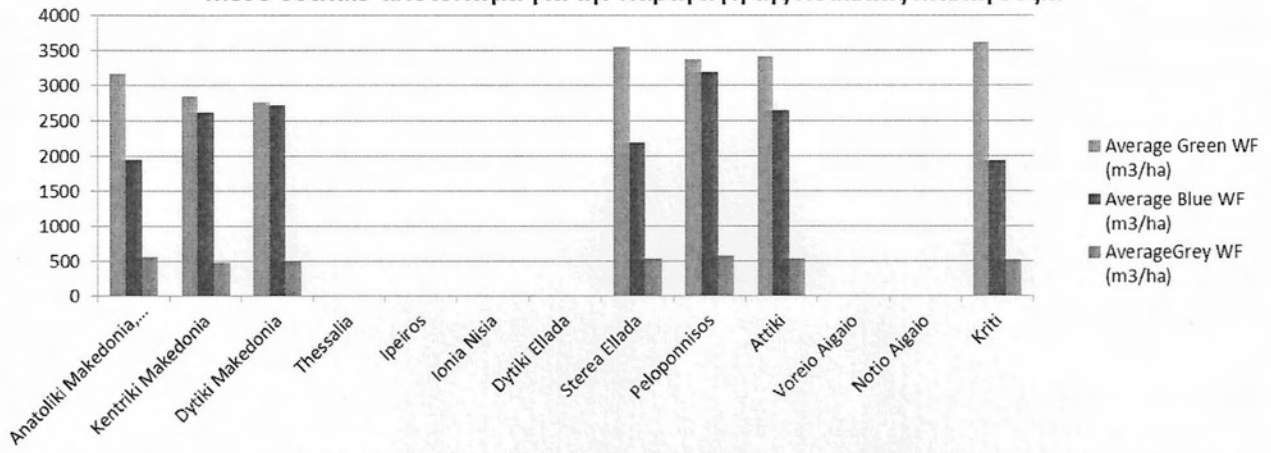
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Βιλάνα



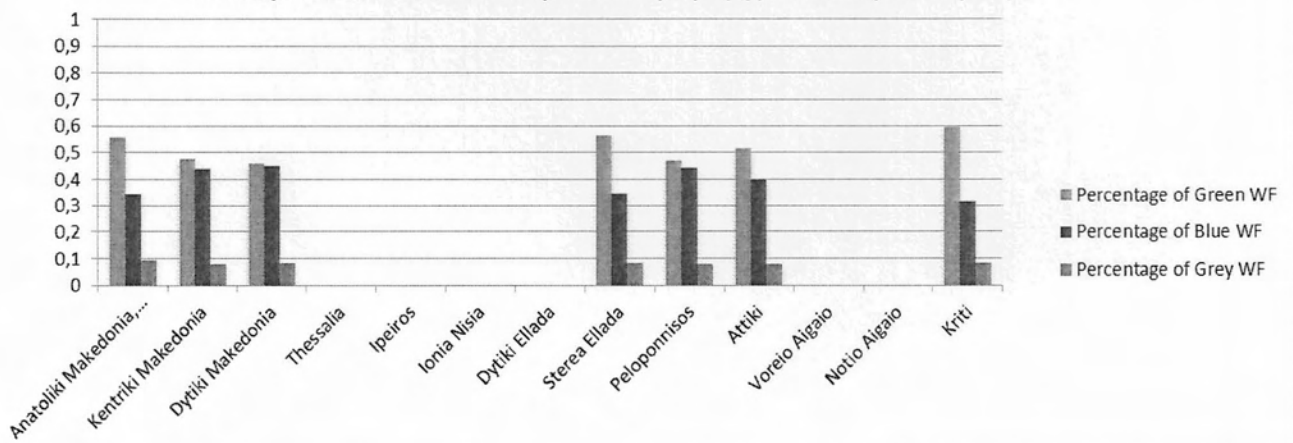
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Βιλάνα



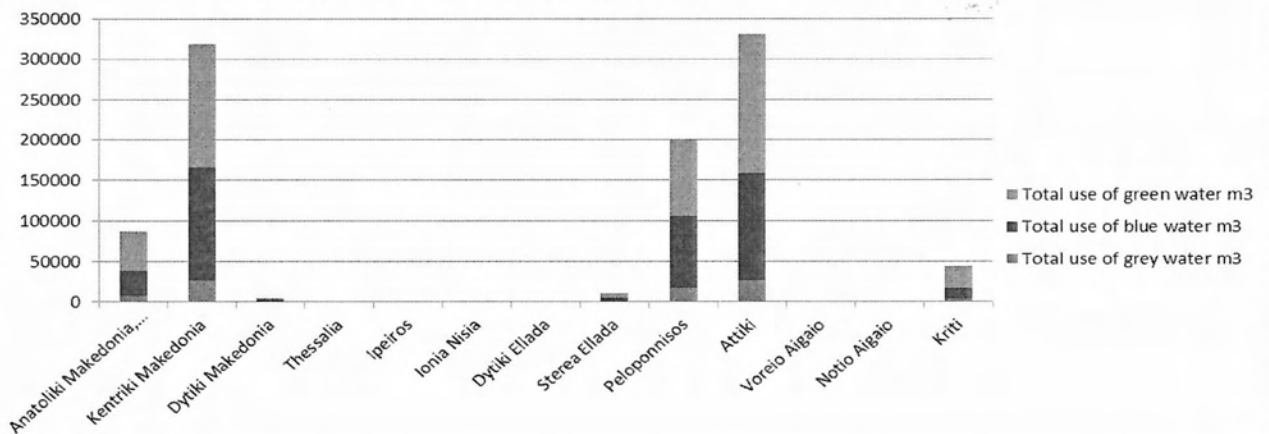
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μαλαγουζιά



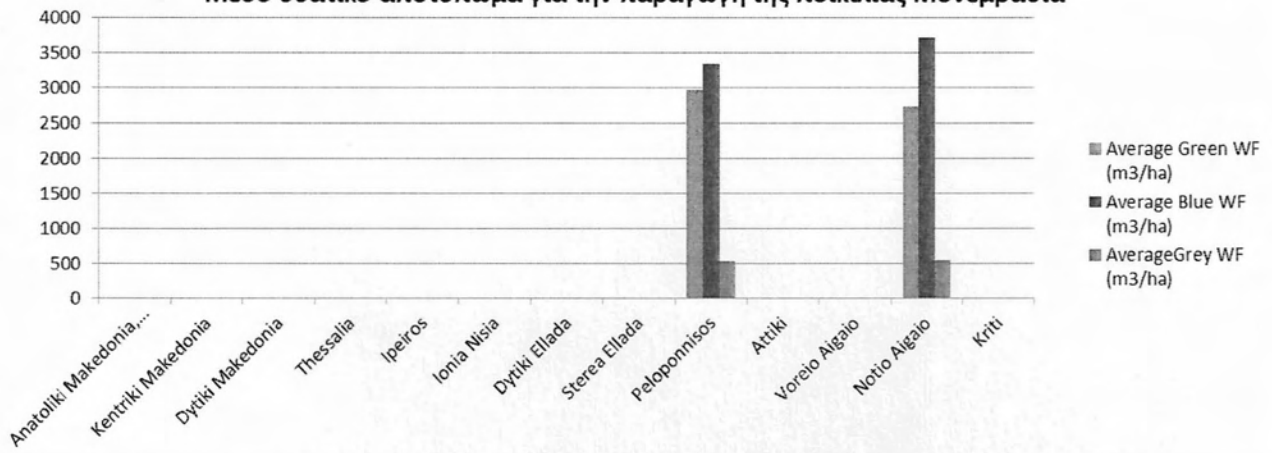
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μαλαγουζιά



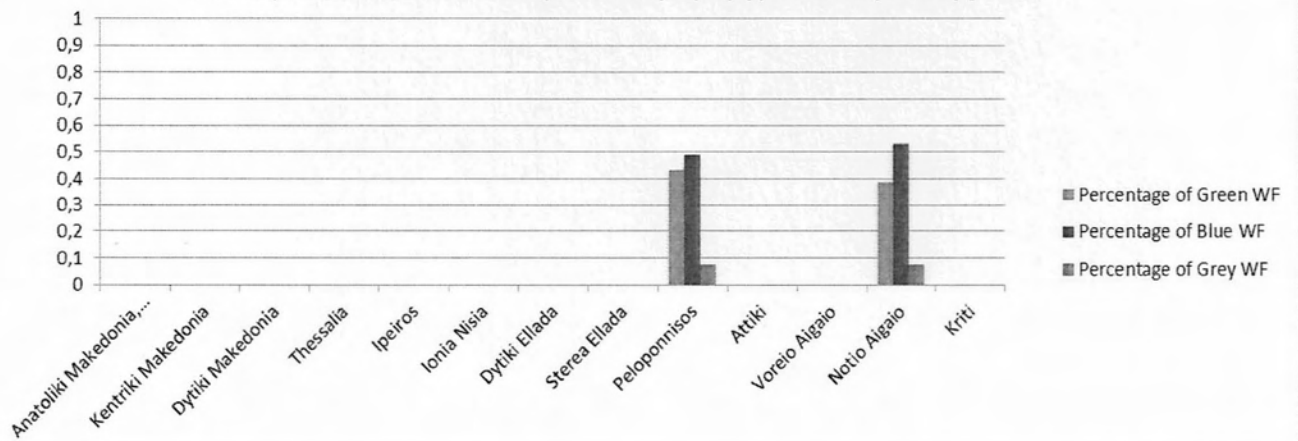
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μαλαγουζιά



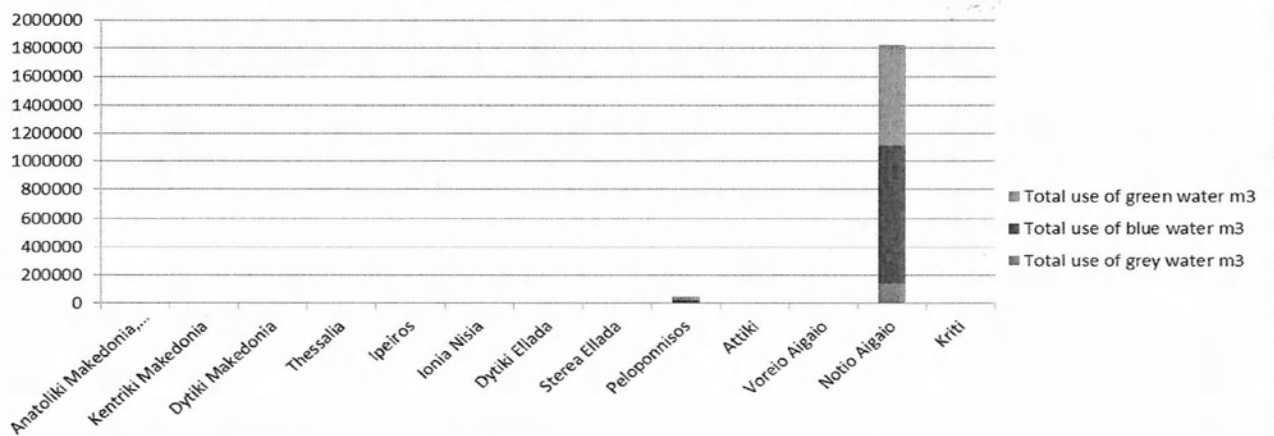
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μονεμβασιά



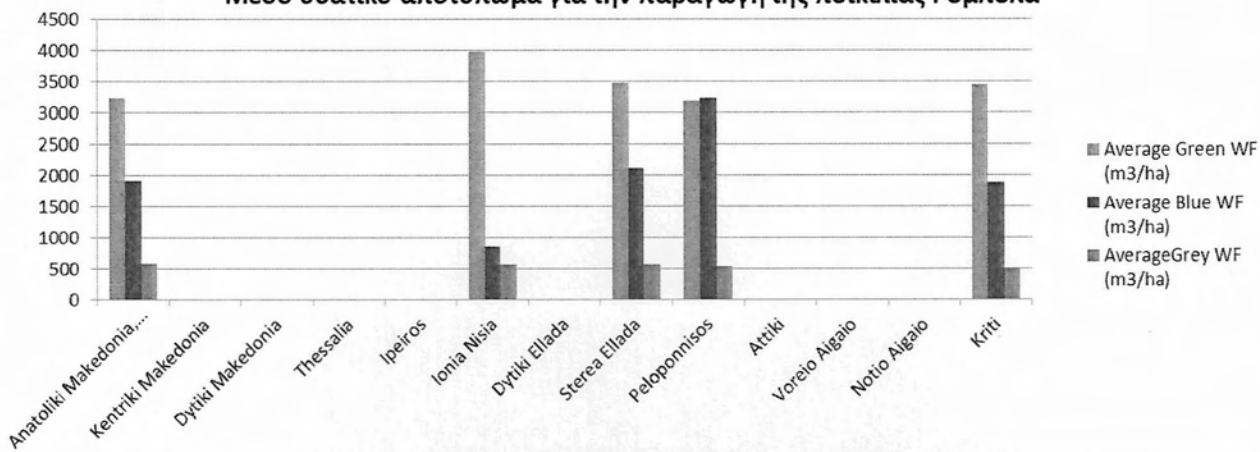
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μονεμβασιά



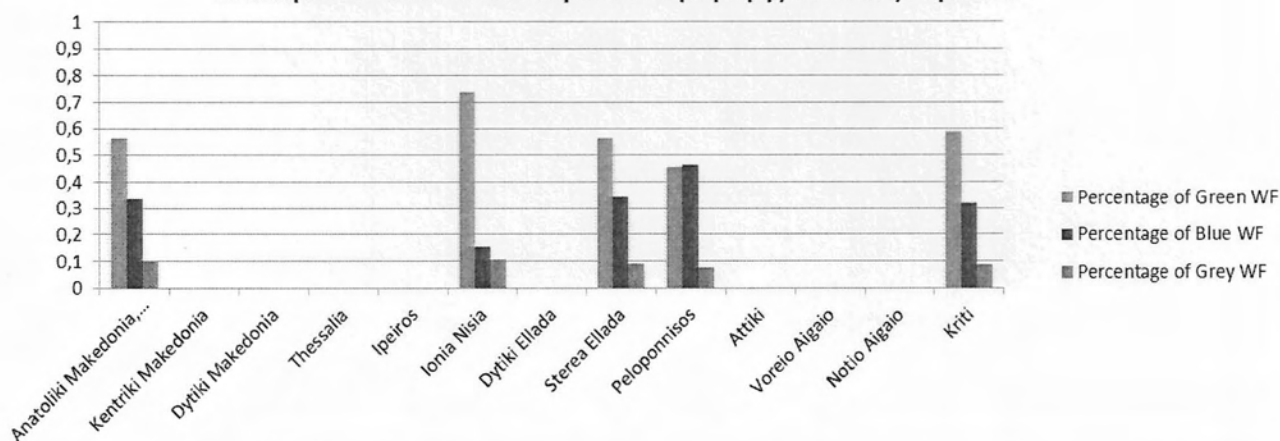
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μονεμβασιά



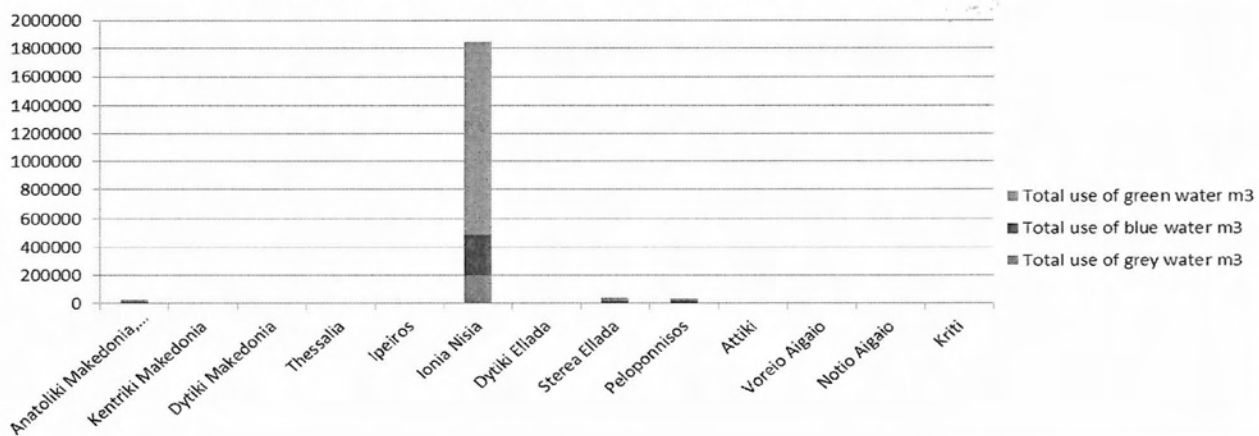
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ρομπόλα



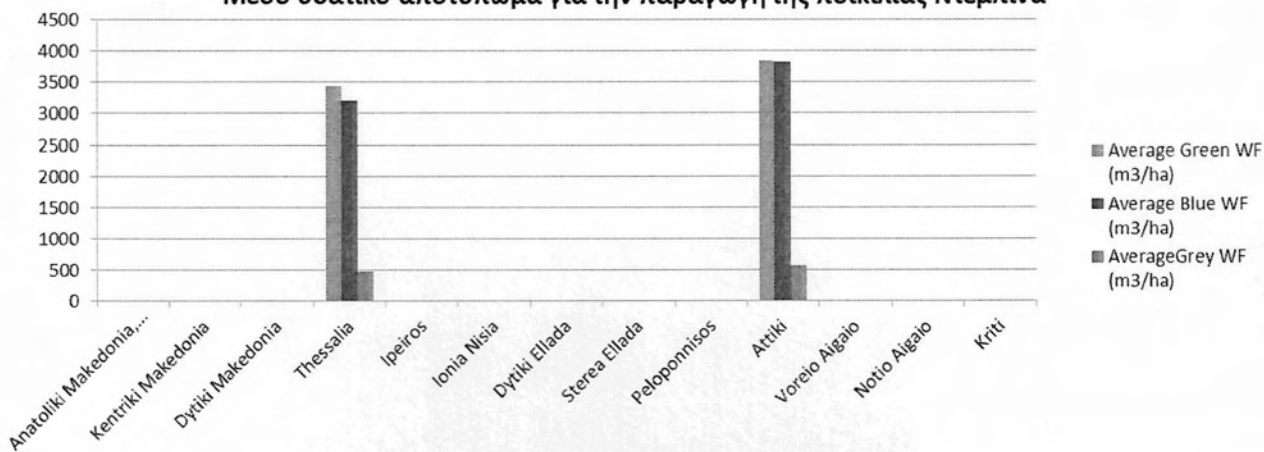
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ρομπόλα



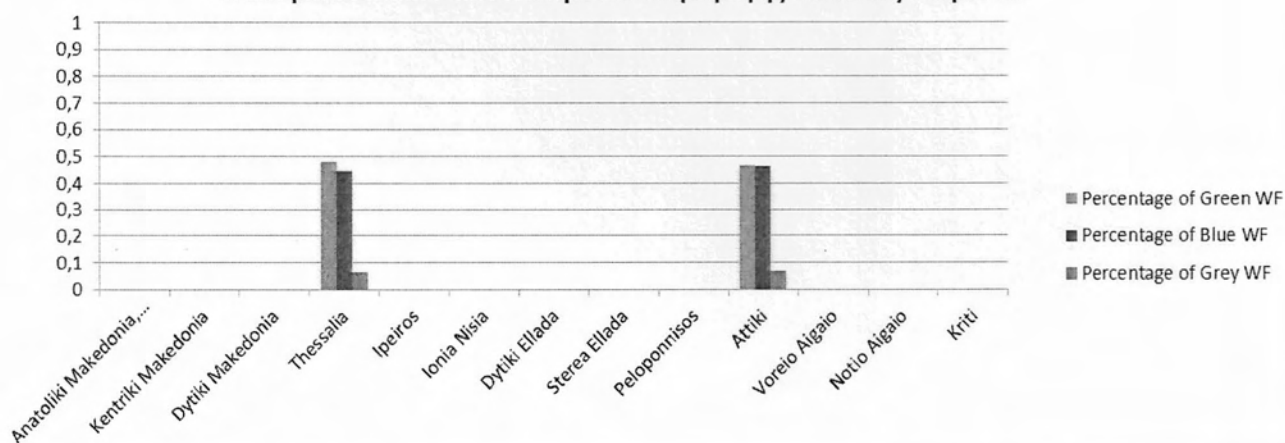
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ρομπόλα



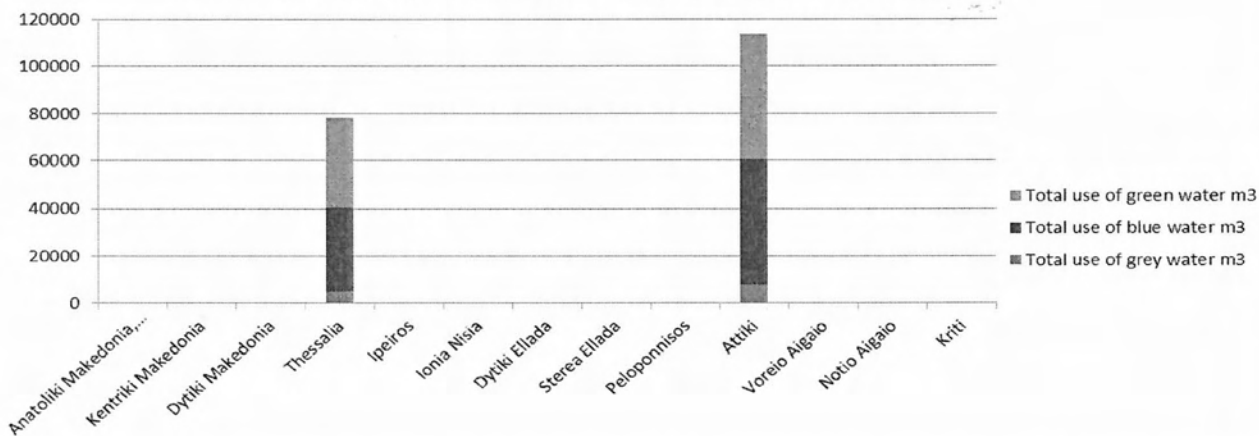
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ντεμπίνα



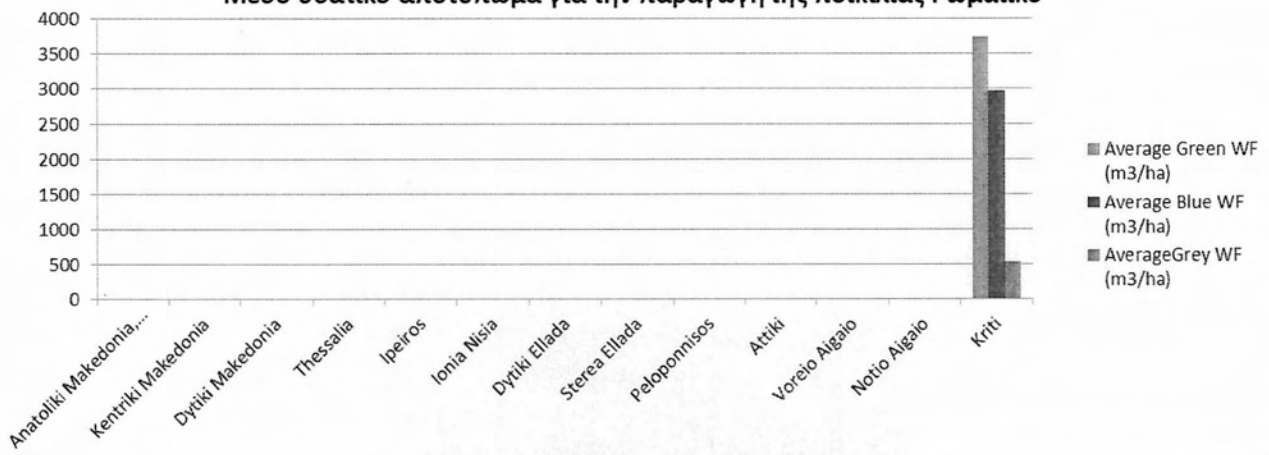
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ντεμπίνα



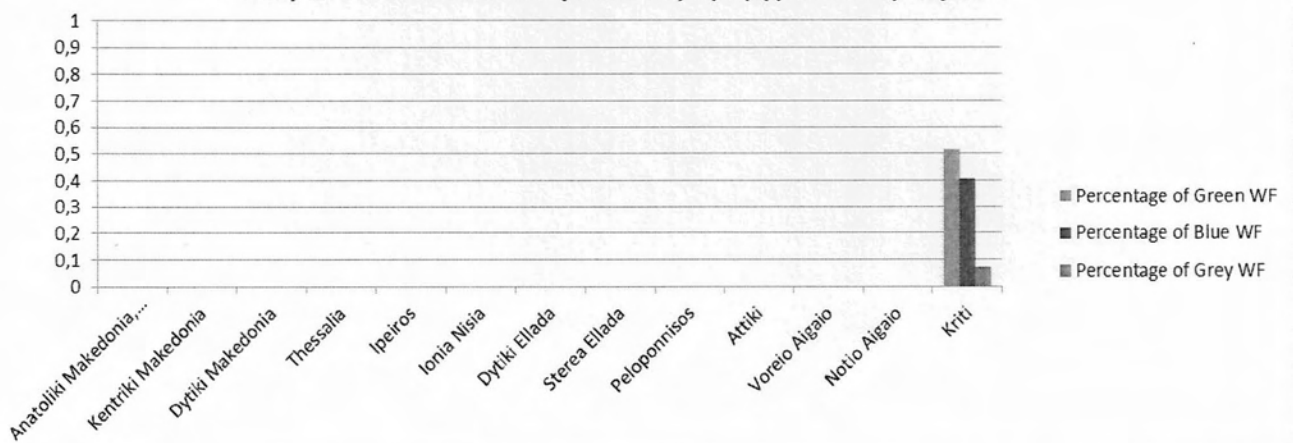
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ντεμπίνα



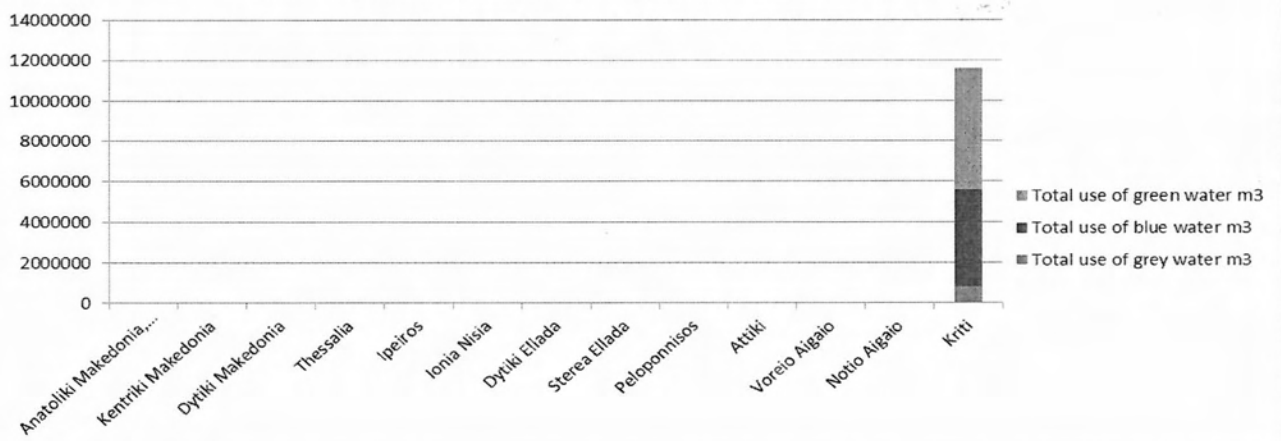
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ρωμαίικο



Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ρωμαίικο



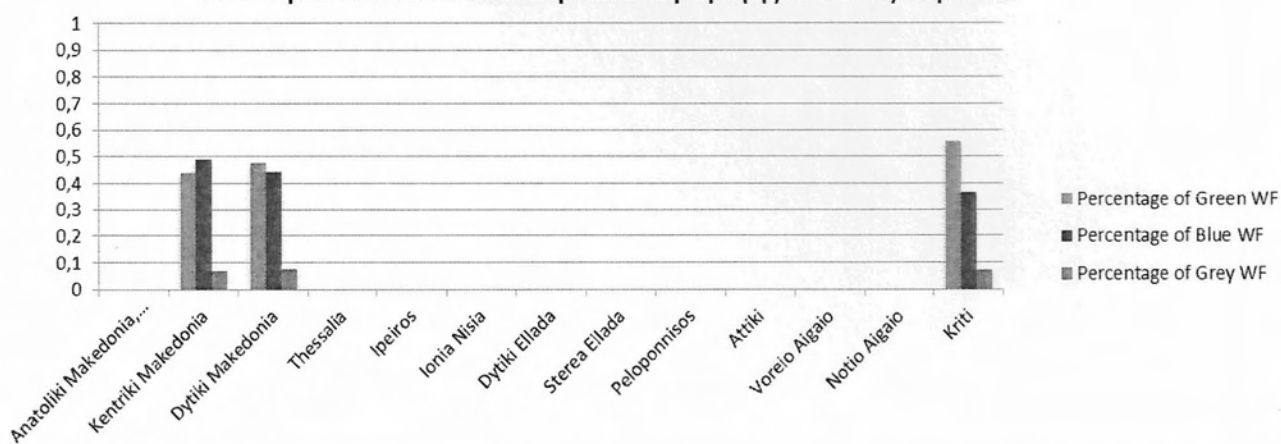
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ρωμαίικο



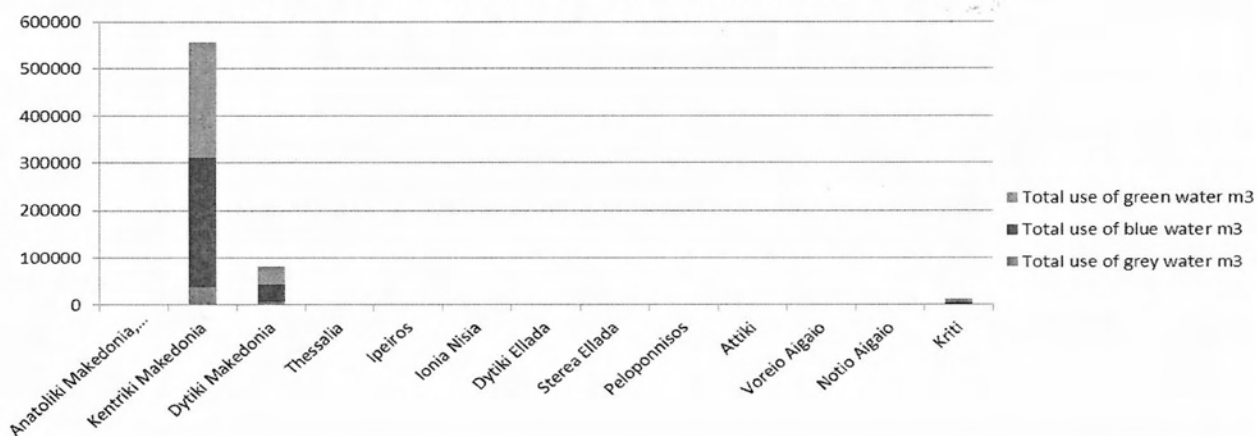
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Νεγκόσκα



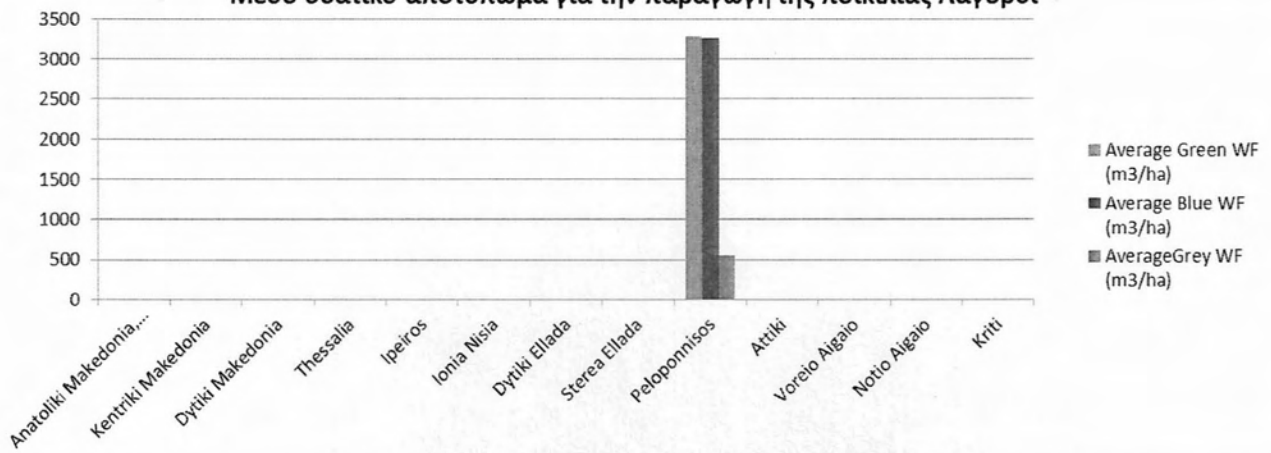
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Νεγκόσκα



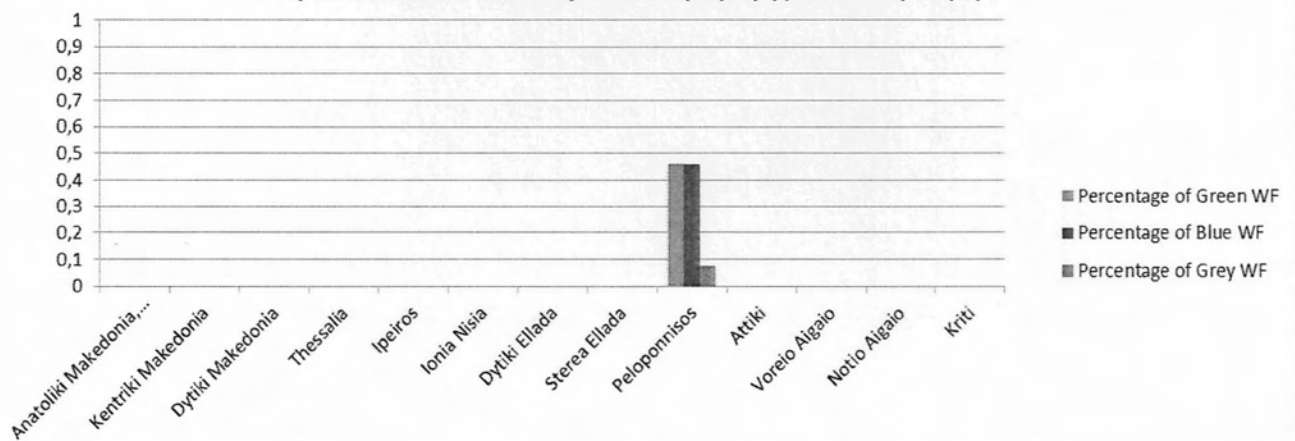
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Νεγκόσκα



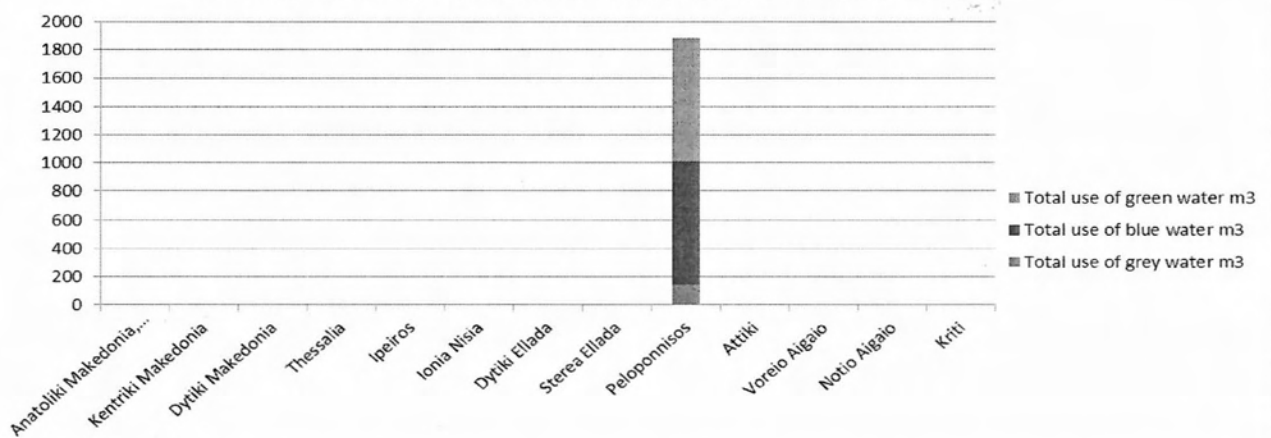
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Λαγόρθη



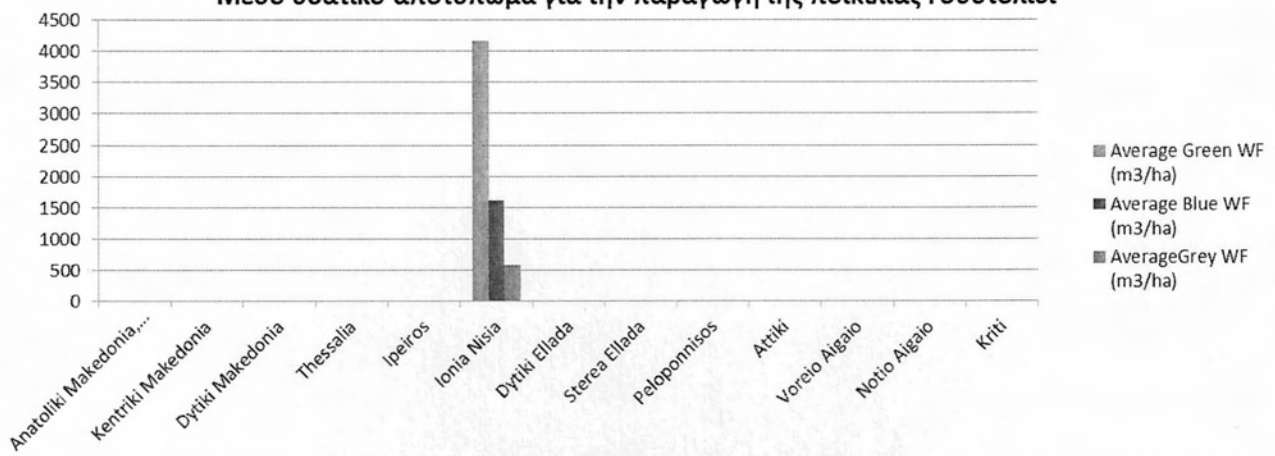
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Λαγόρθη



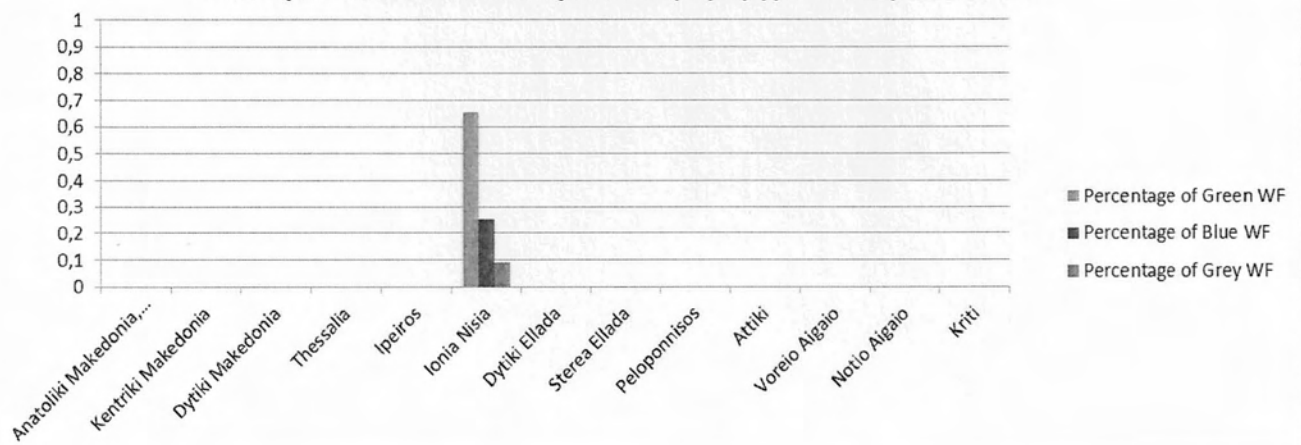
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Λαγόρθη



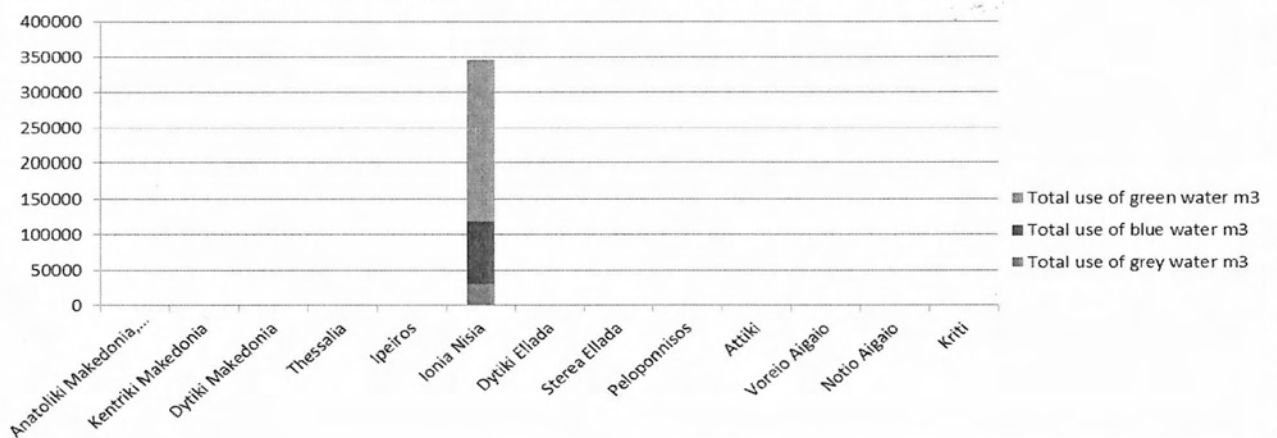
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Γουστολίδι



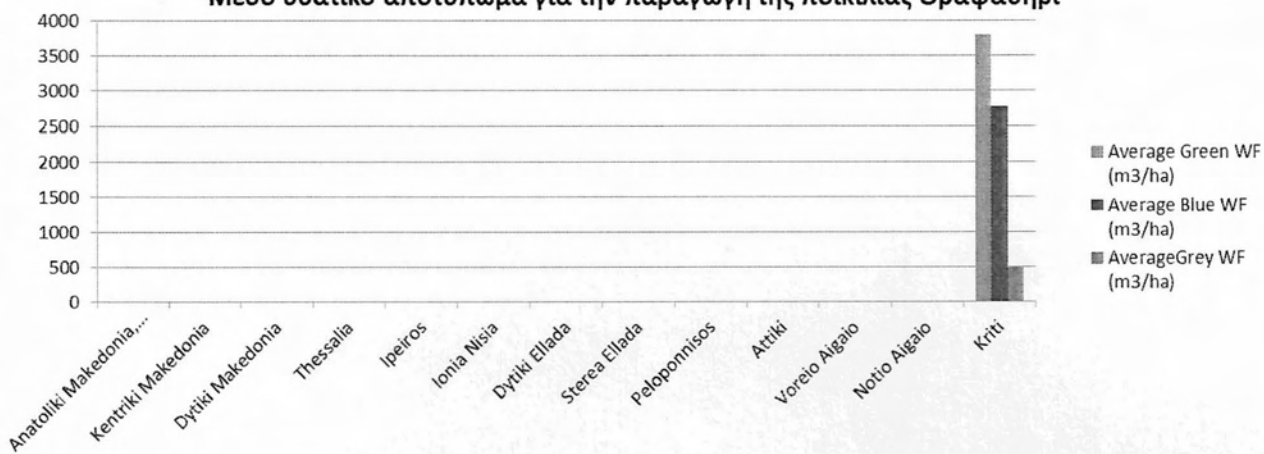
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Γουστολίδι



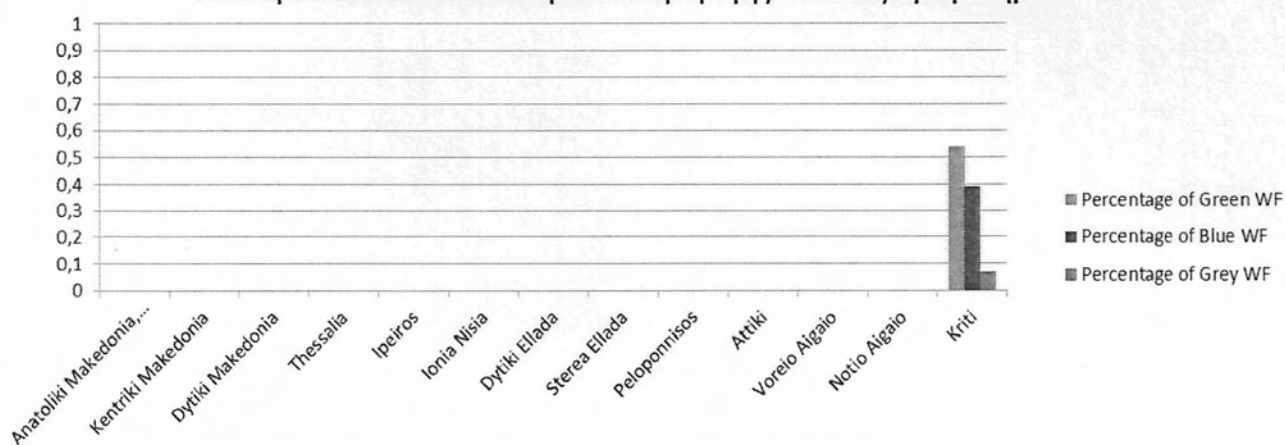
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Γουστολίδι



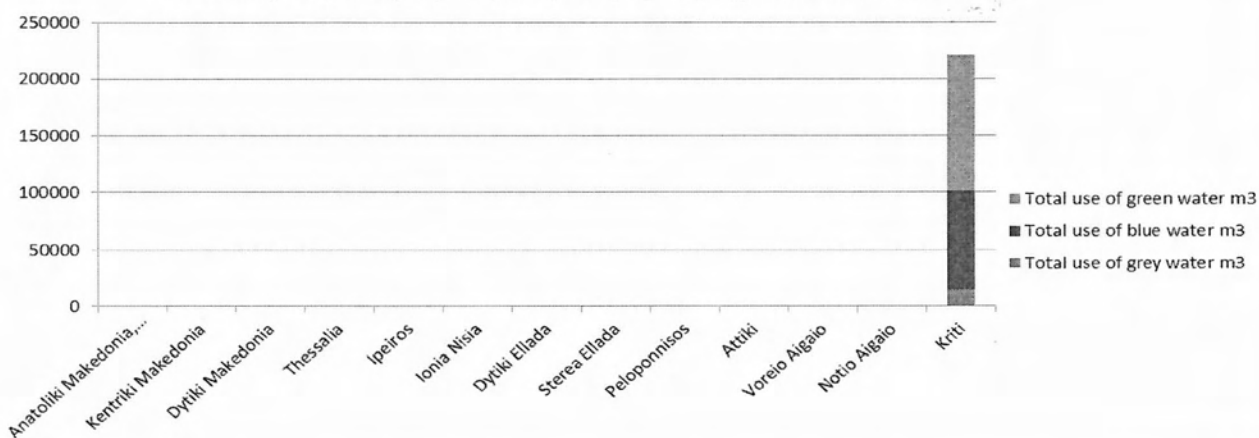
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Θραψαθήρι



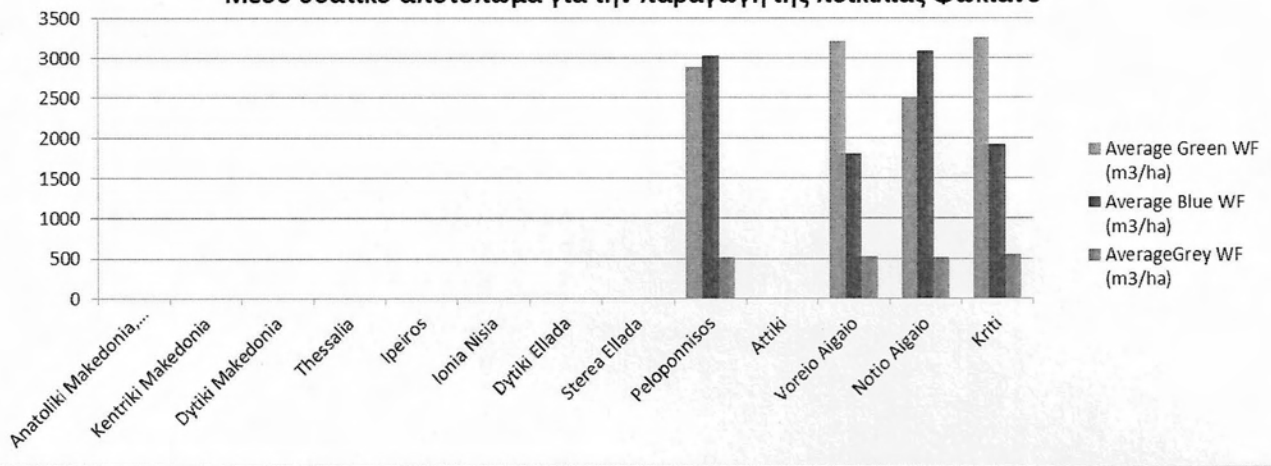
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Θραψαθήρι



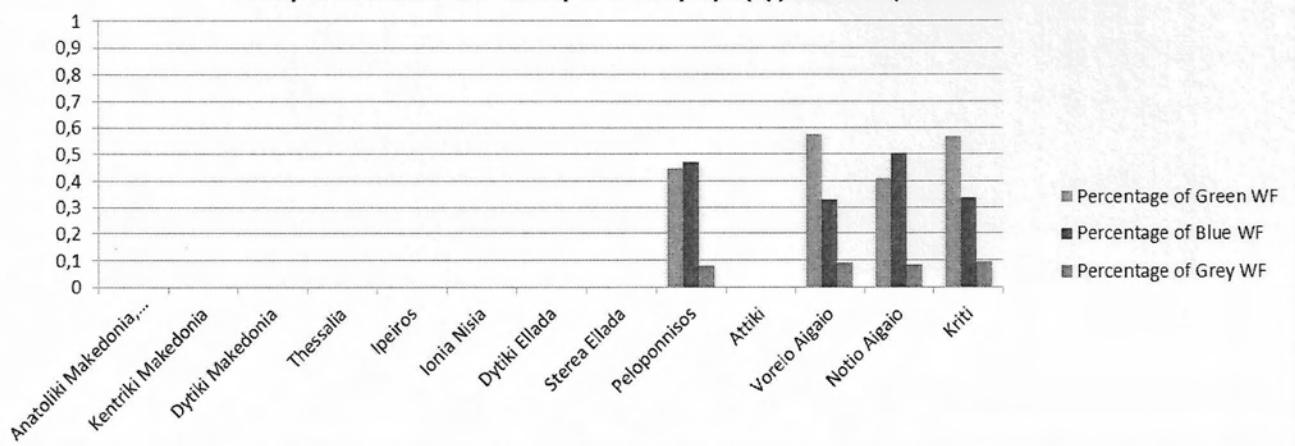
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Θραψαθήρι



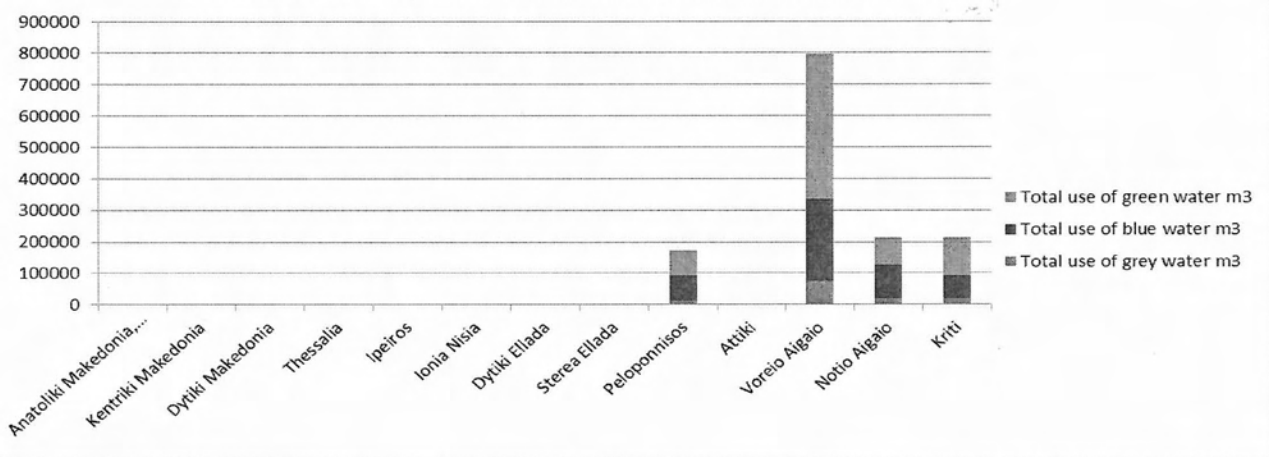
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Φωκιανό



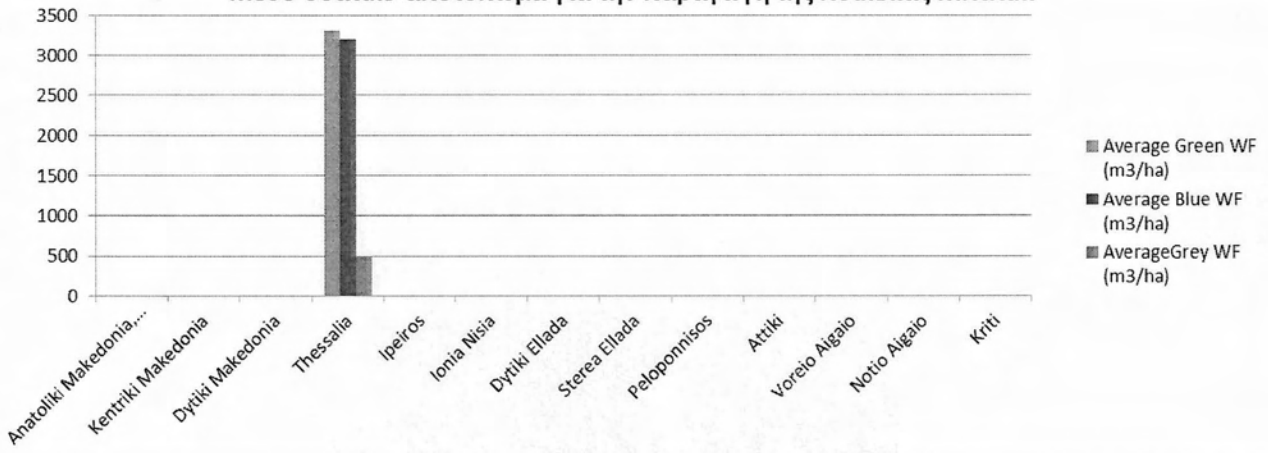
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Φωκιανό



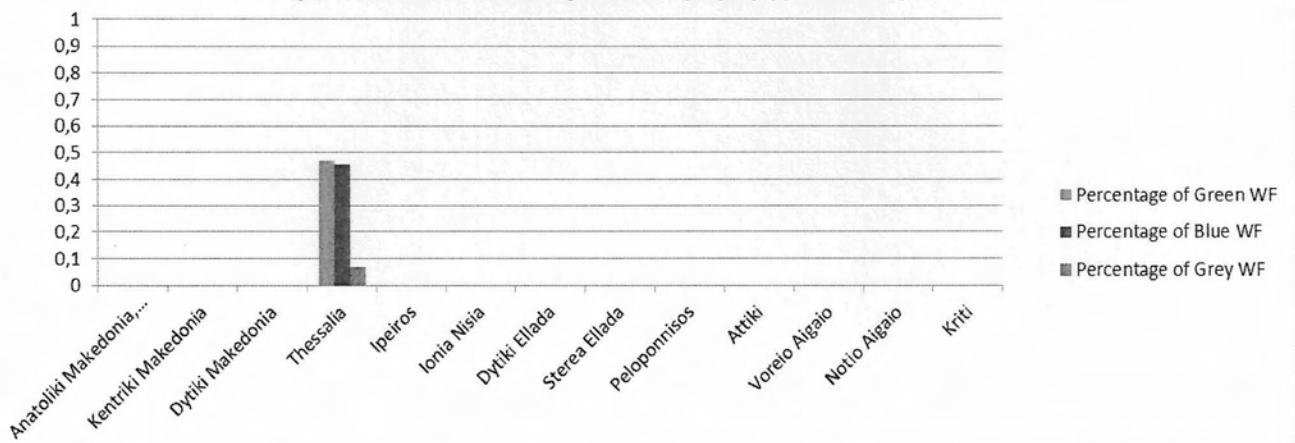
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Φωκιανό



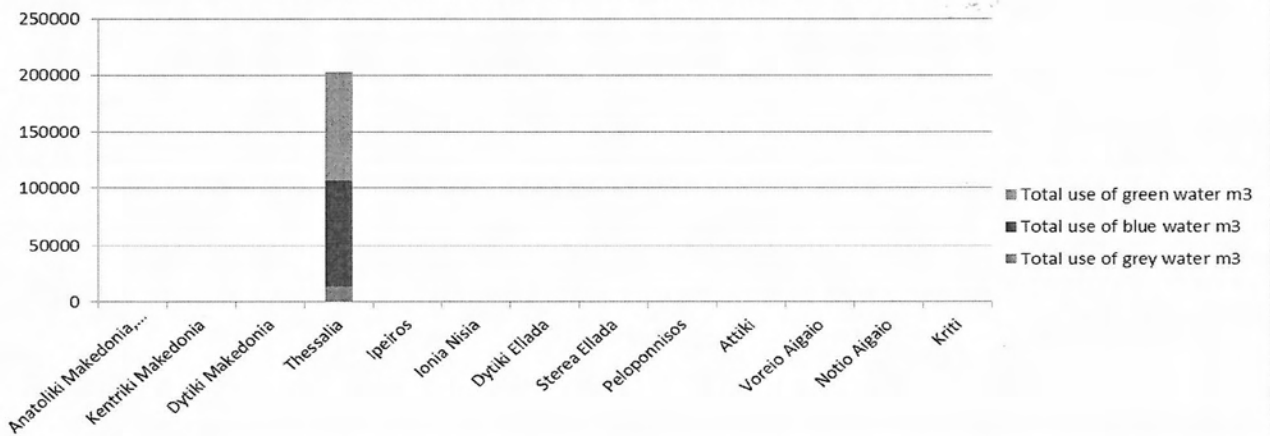
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μπατίκι



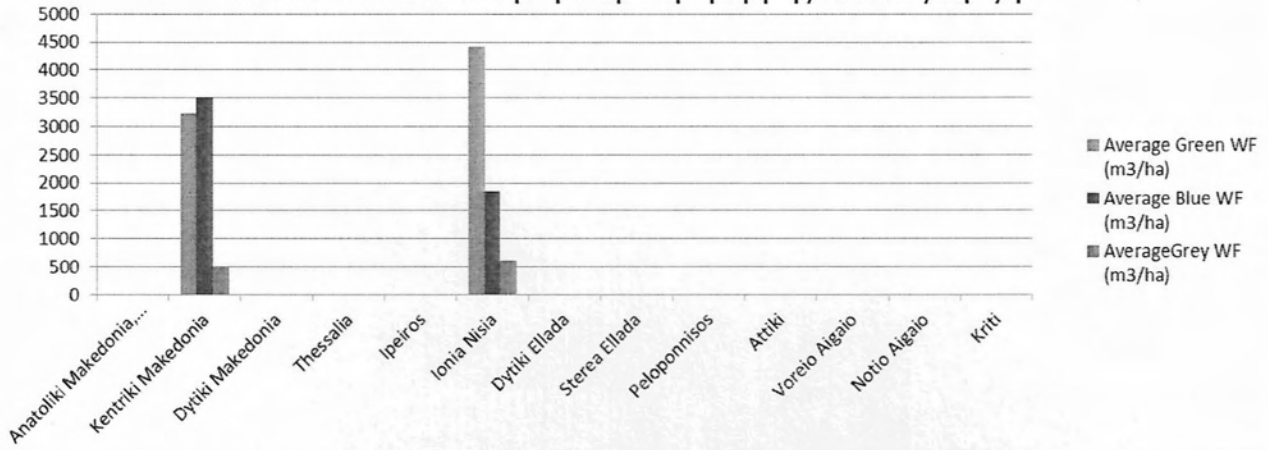
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μπατίκι



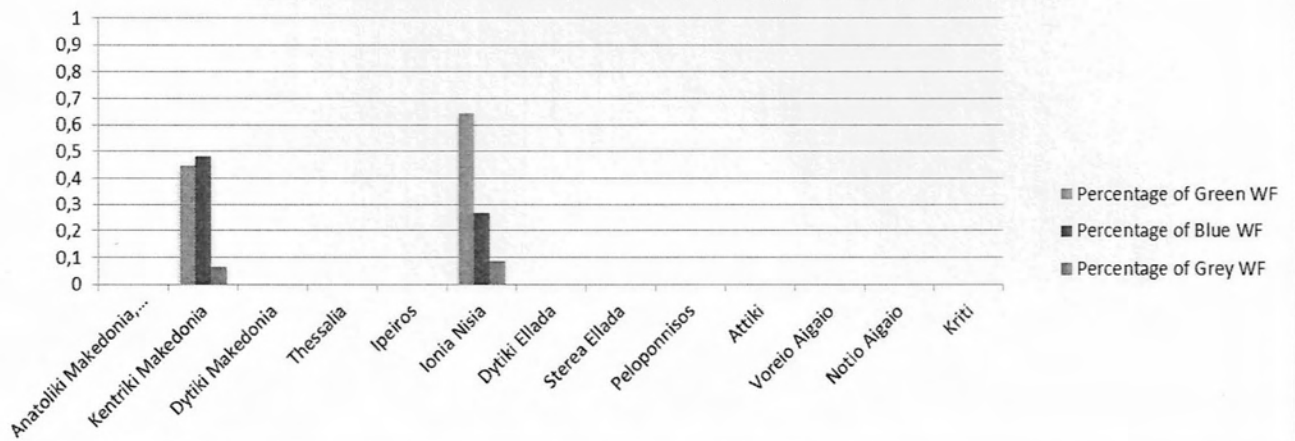
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μπατίκι



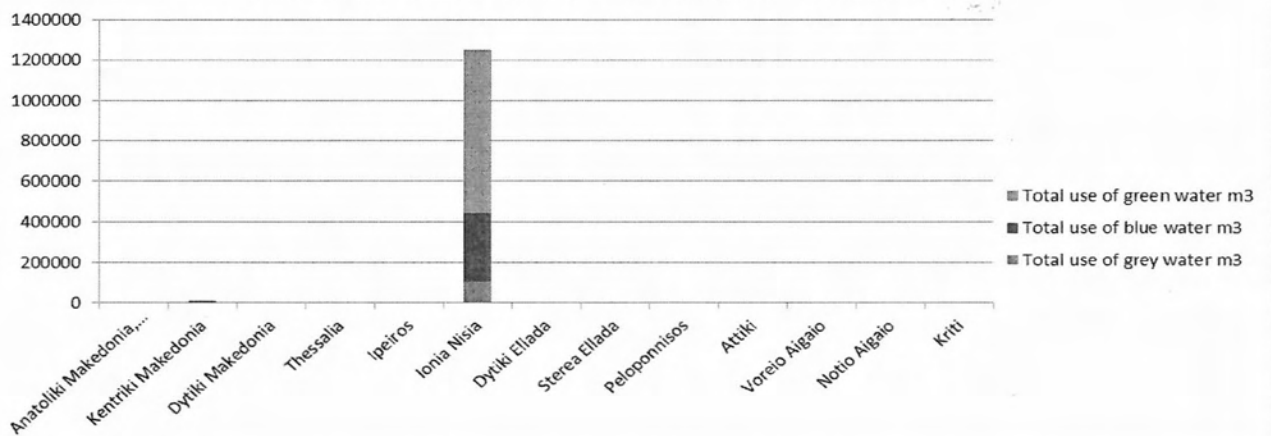
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Βερτζάμι



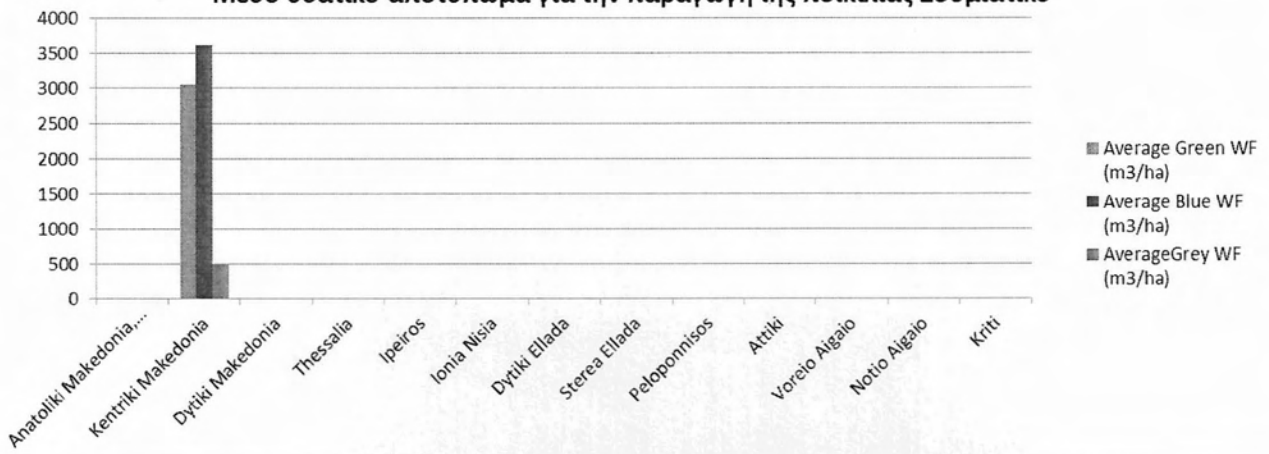
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Βερτζάμι



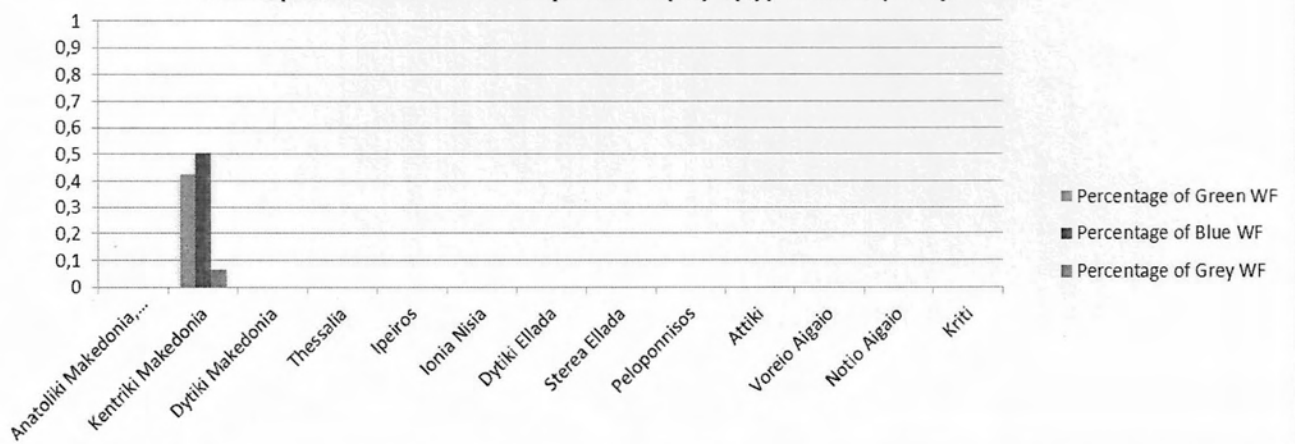
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Βερτζάμι



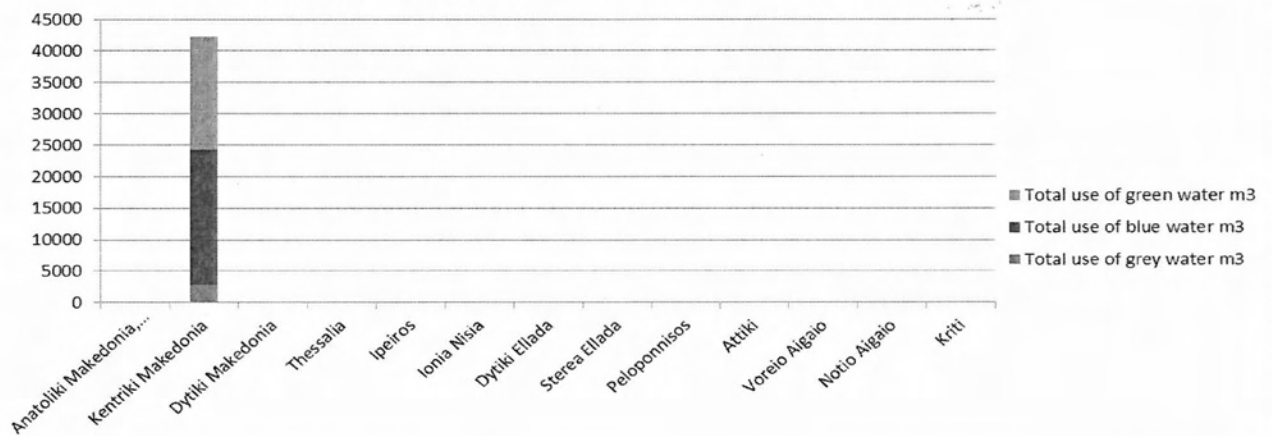
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ζουμιάτικο



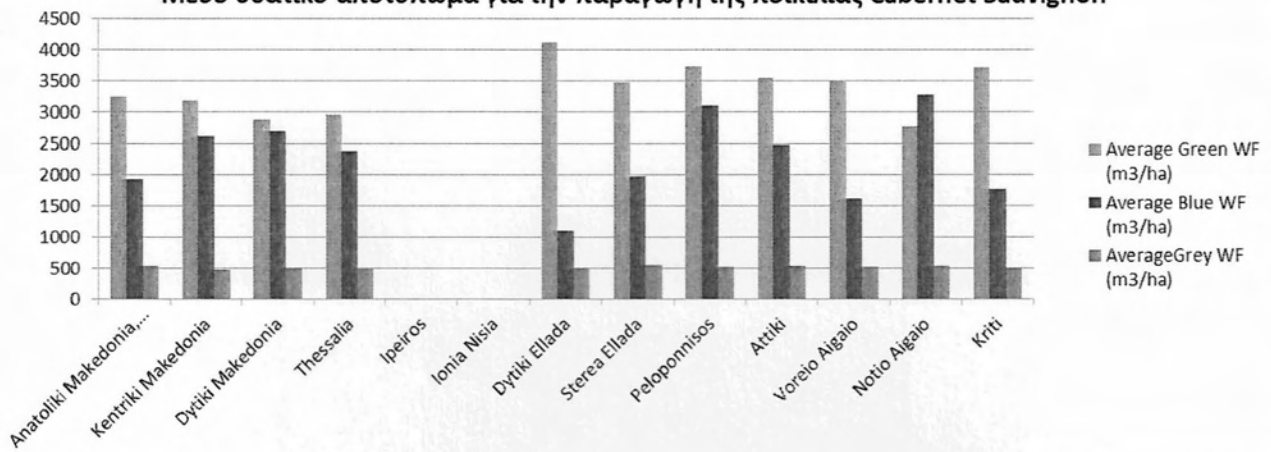
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ζουμιάτικο



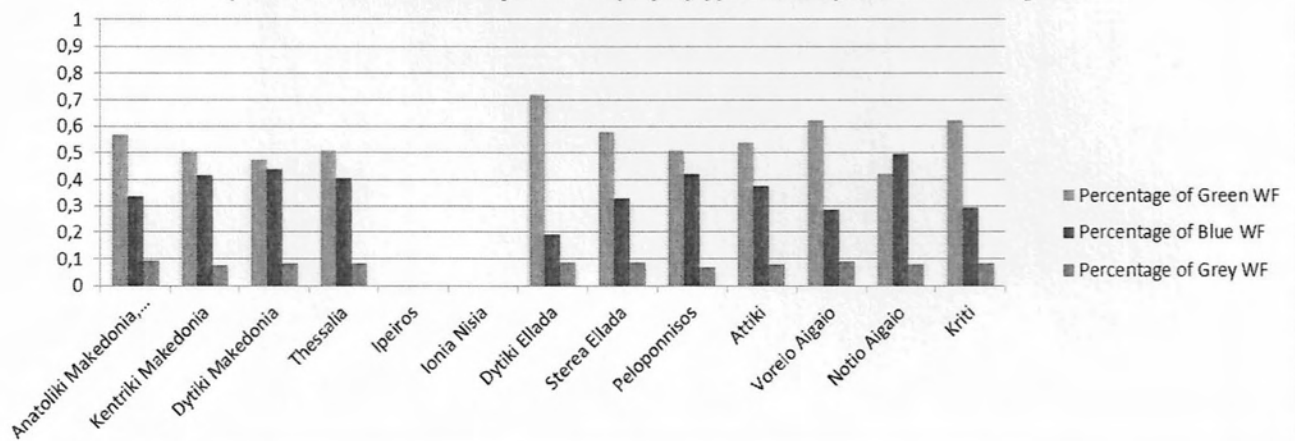
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ζουμιάτικο



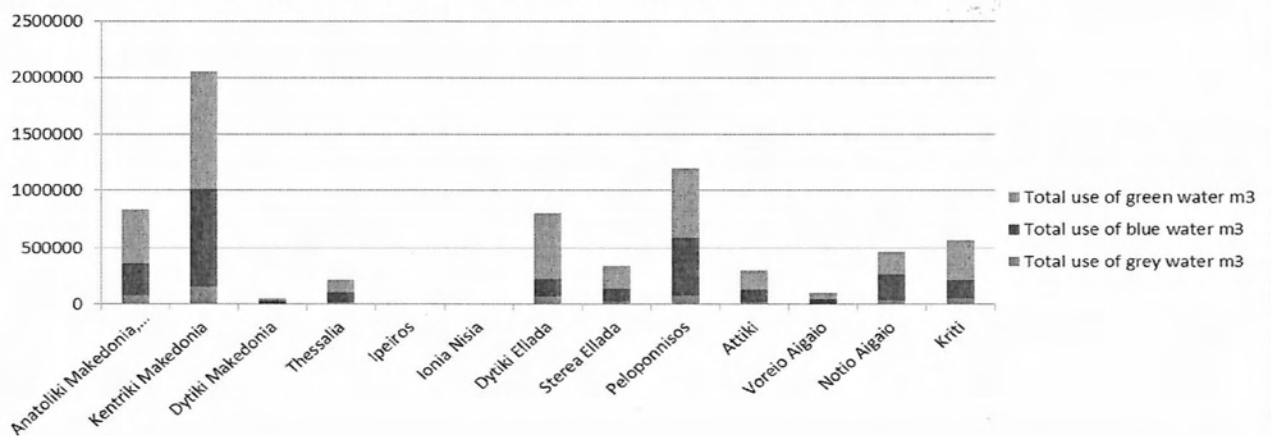
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Cabernet Sauvignon



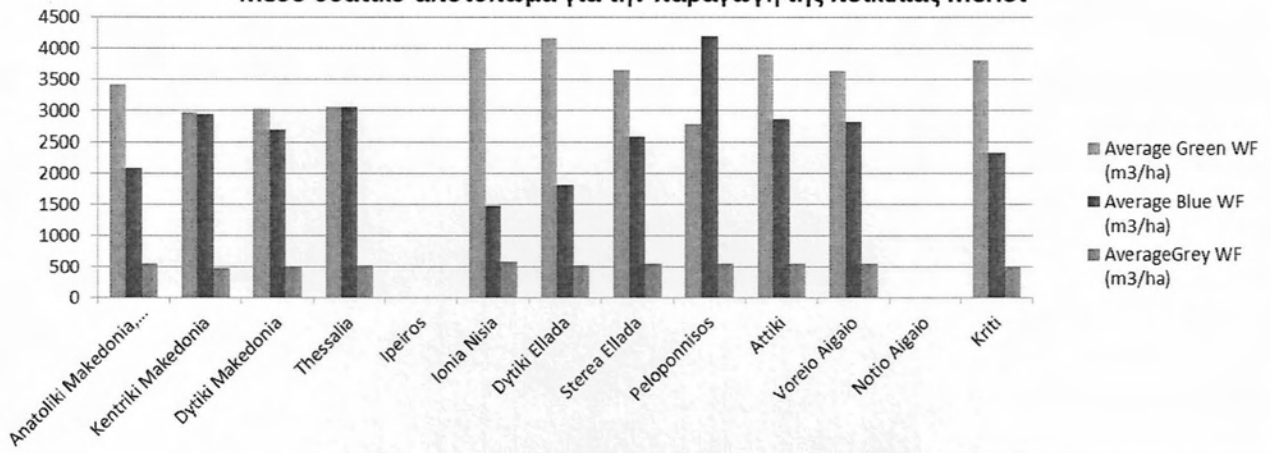
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Cabernet Sauvignon



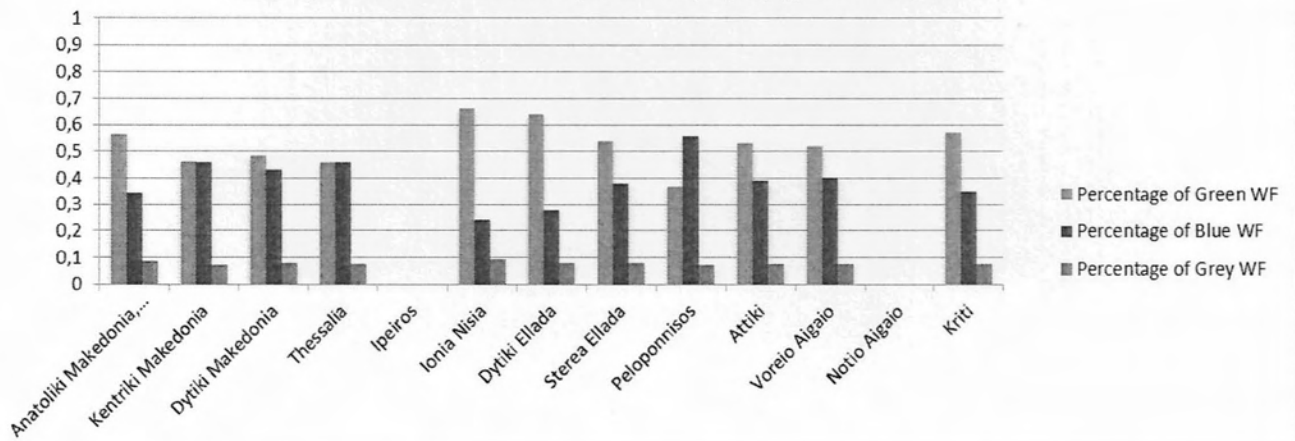
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Cabernet Sauvignon



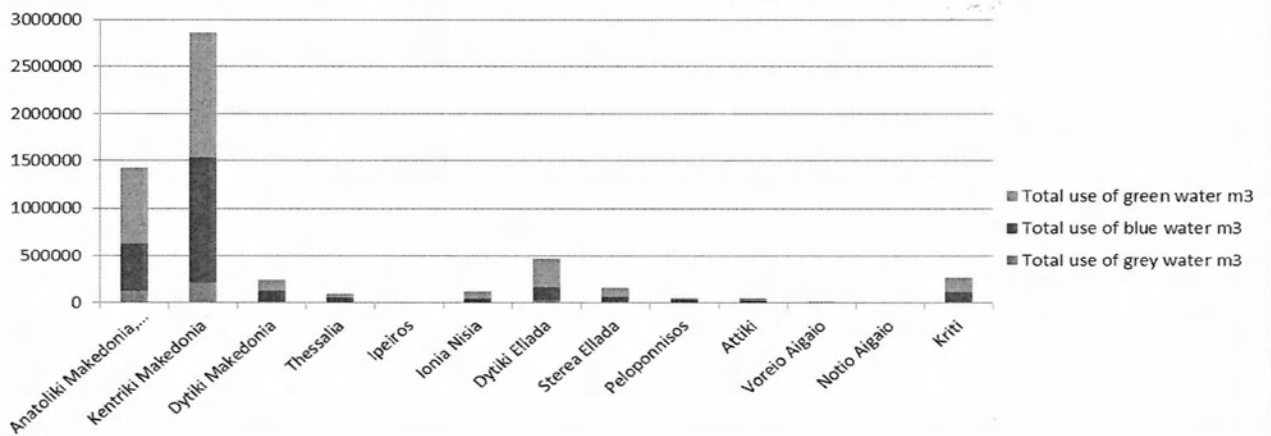
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Merlot



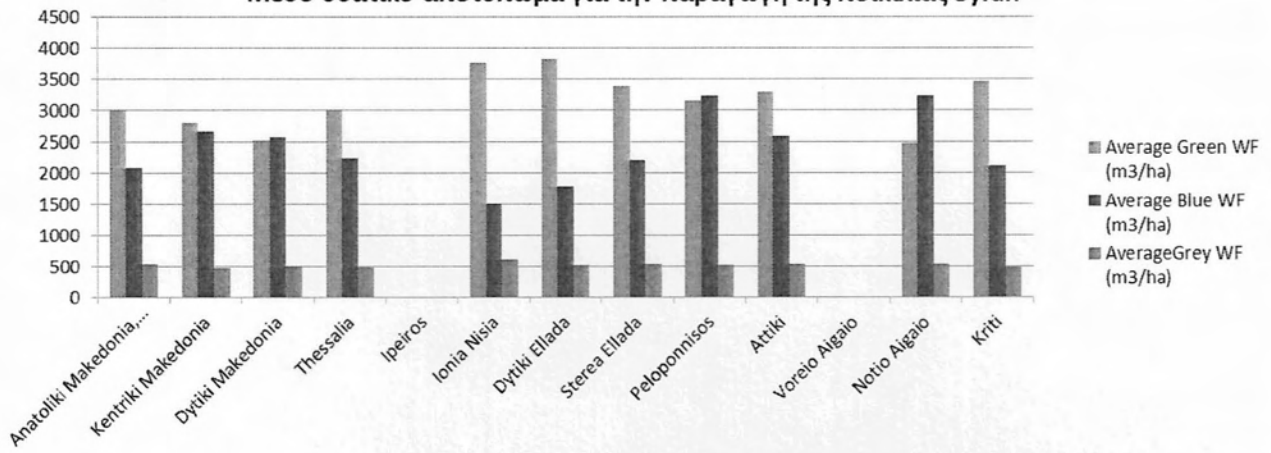
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Merlot



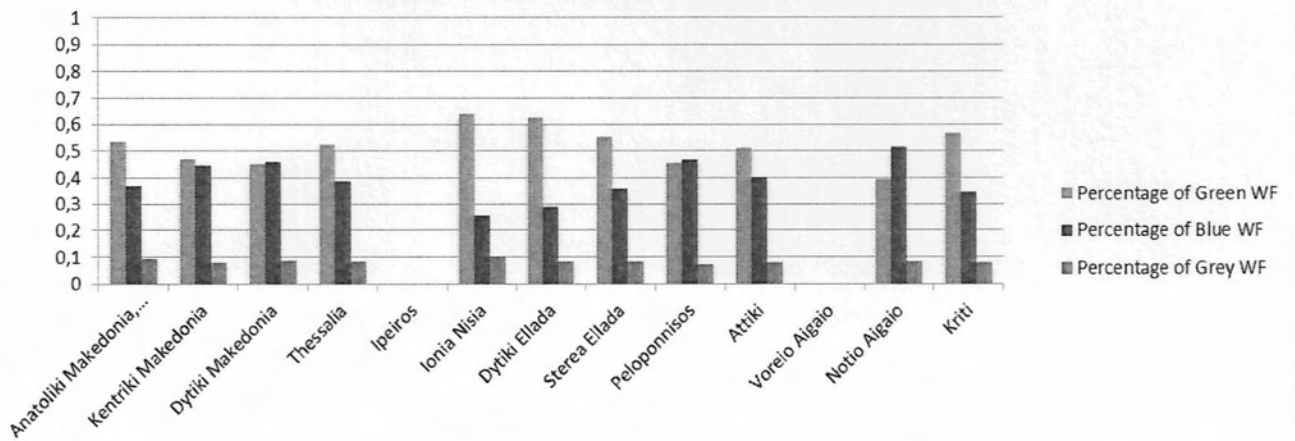
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Merlot



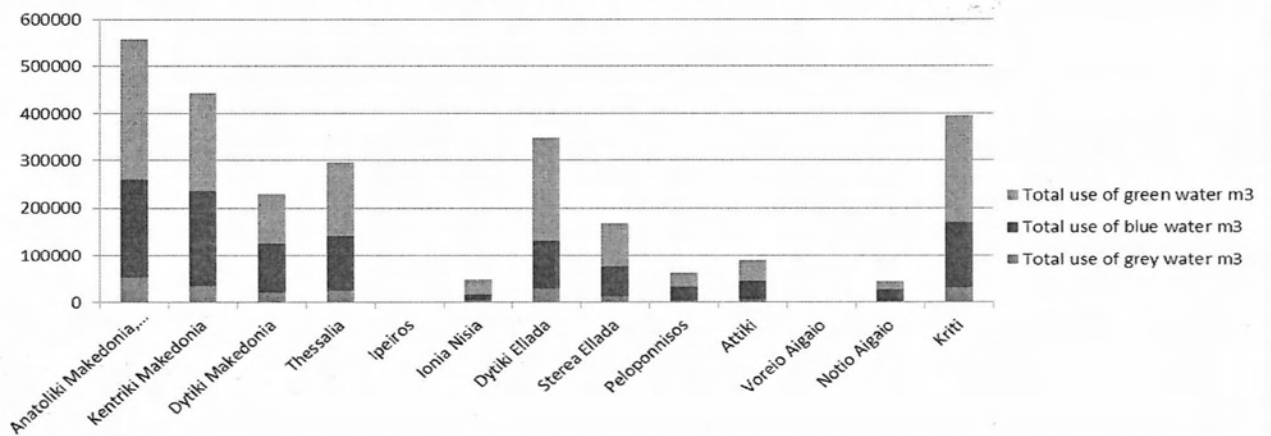
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Syrah



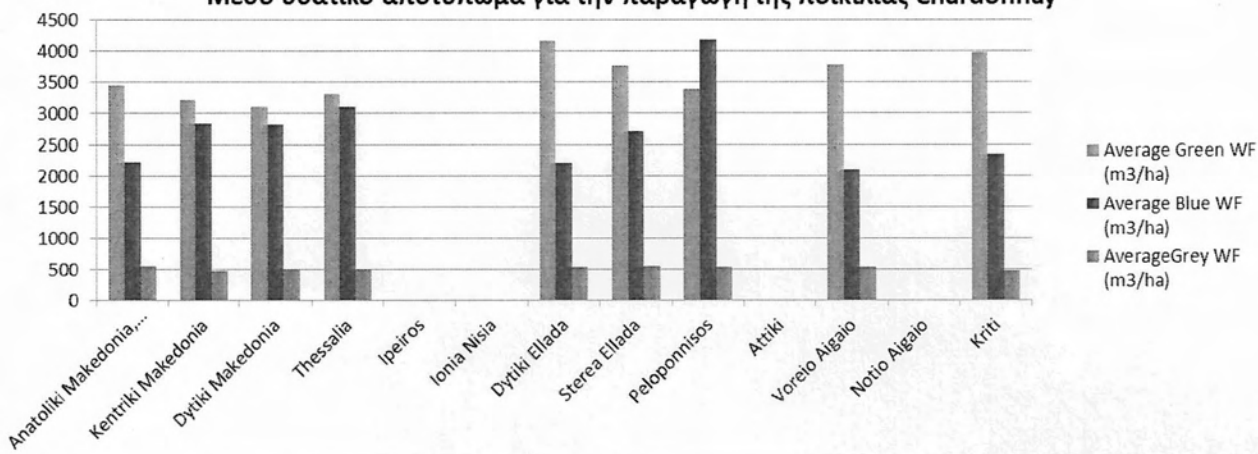
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Syrah



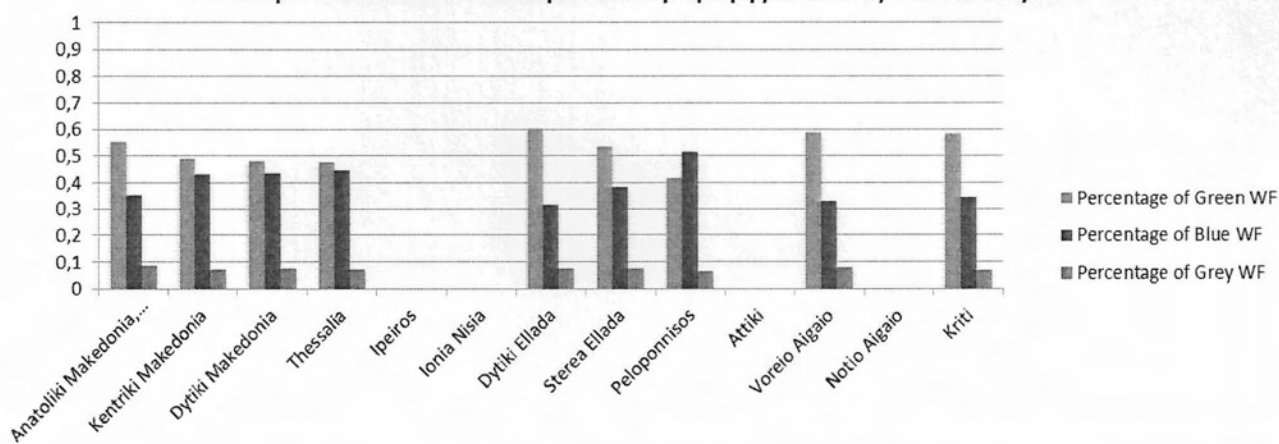
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Syrah



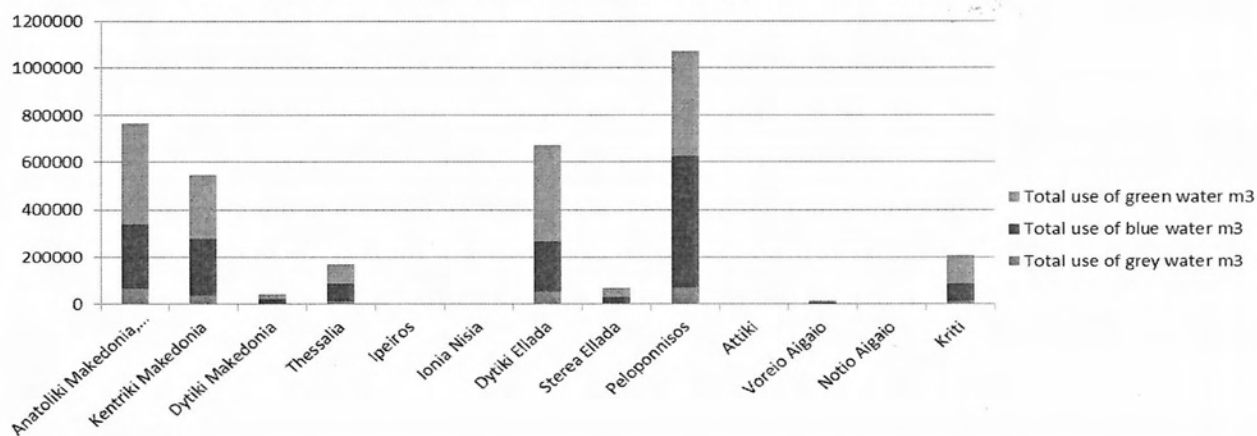
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Chardonnay



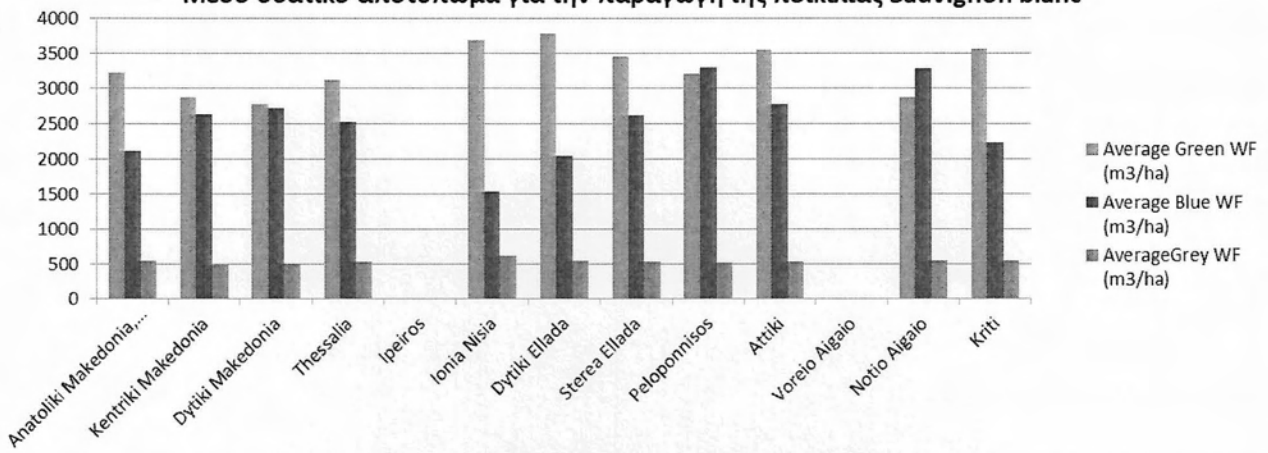
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Chardonnay



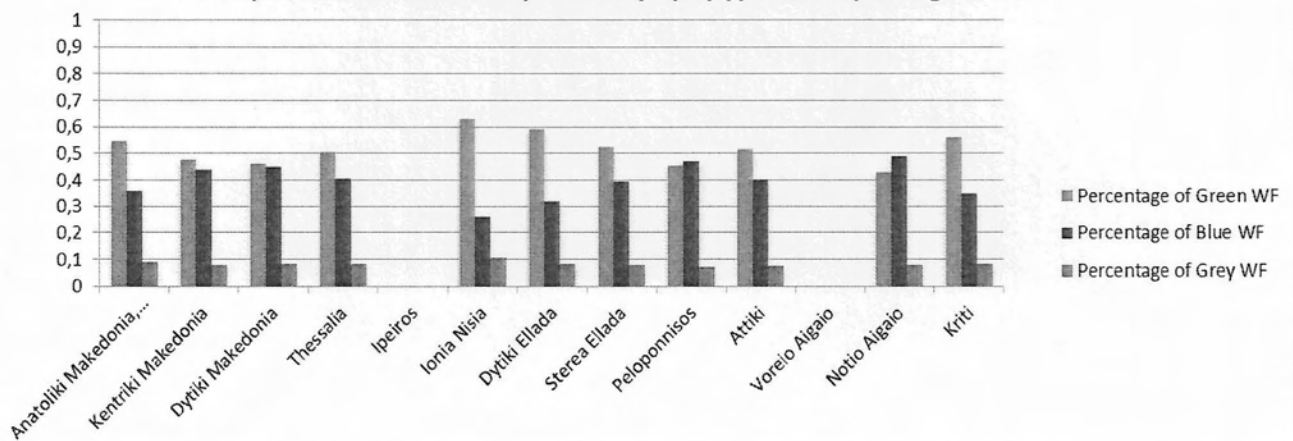
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Chardonnay



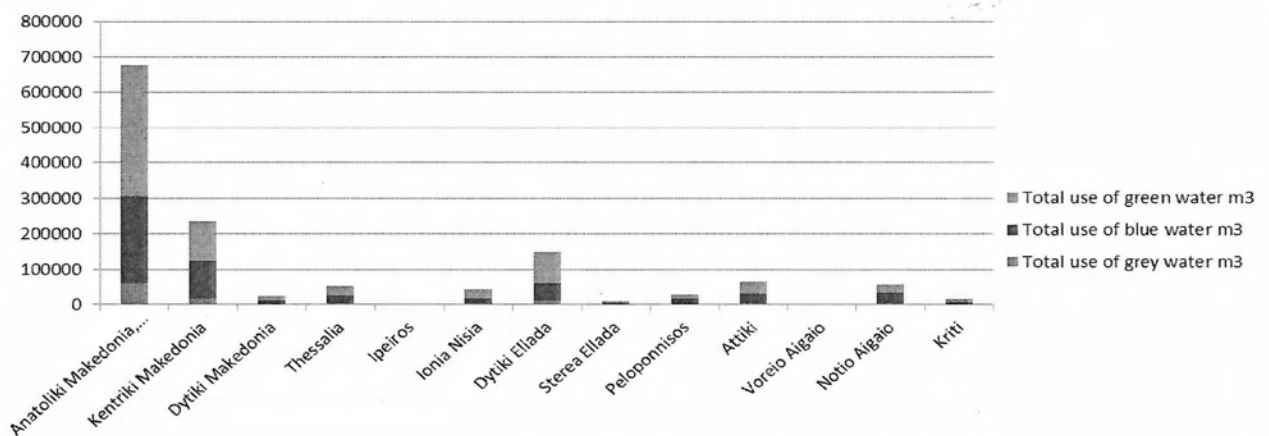
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Sauvignon blanc



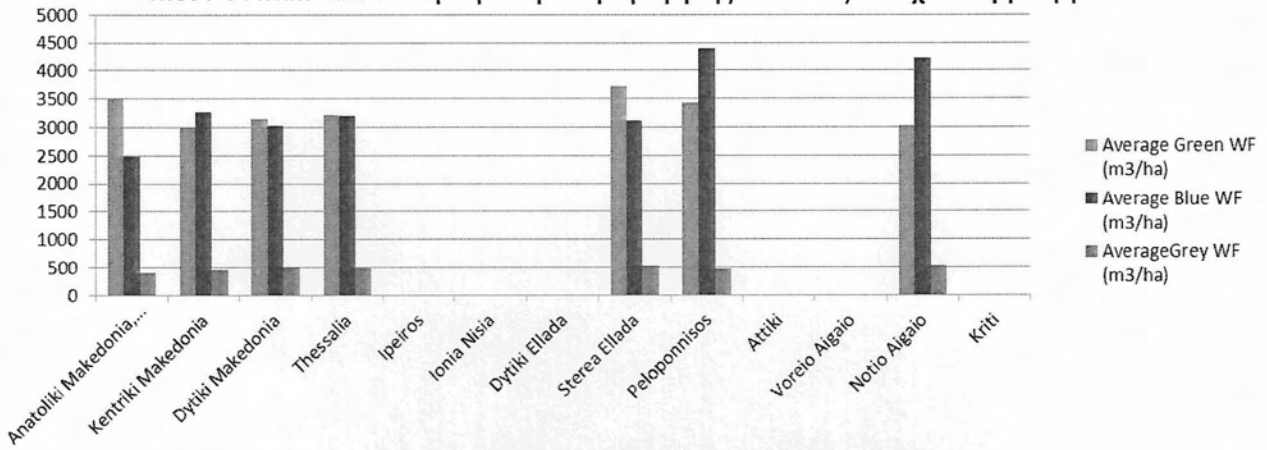
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Sauvignon blanc



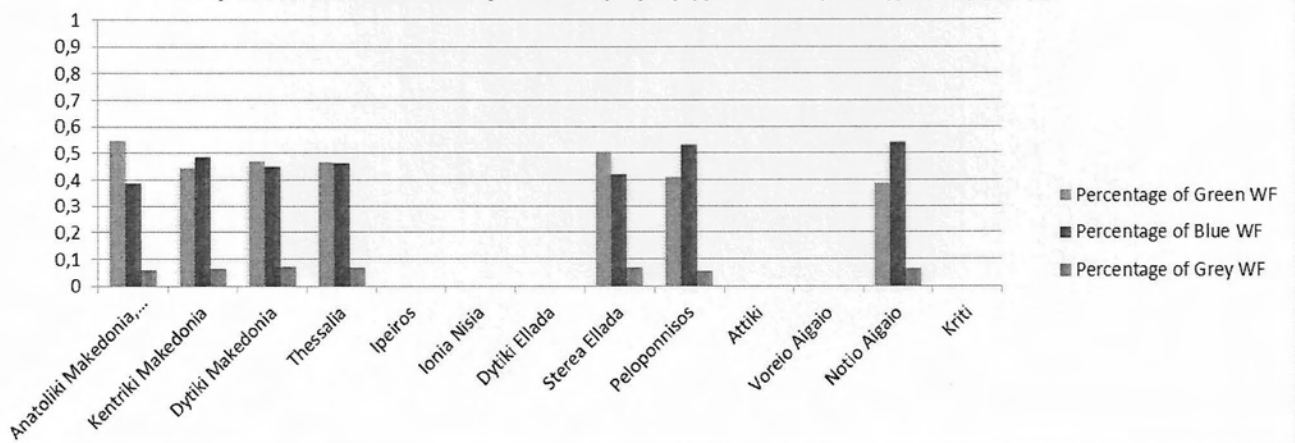
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Sauvignon blanc



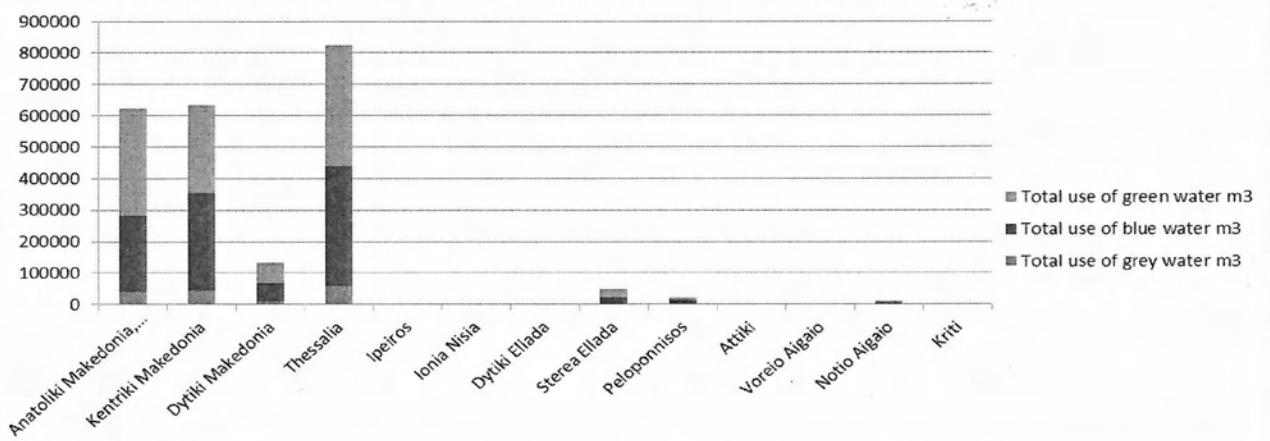
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο Αμβούργου



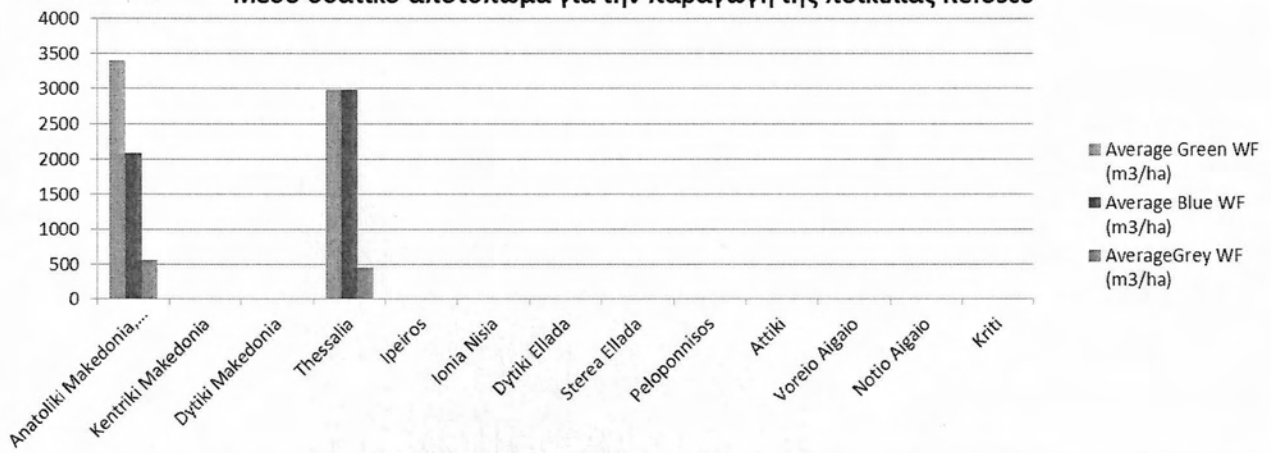
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μοσχάτο Αμβούργου



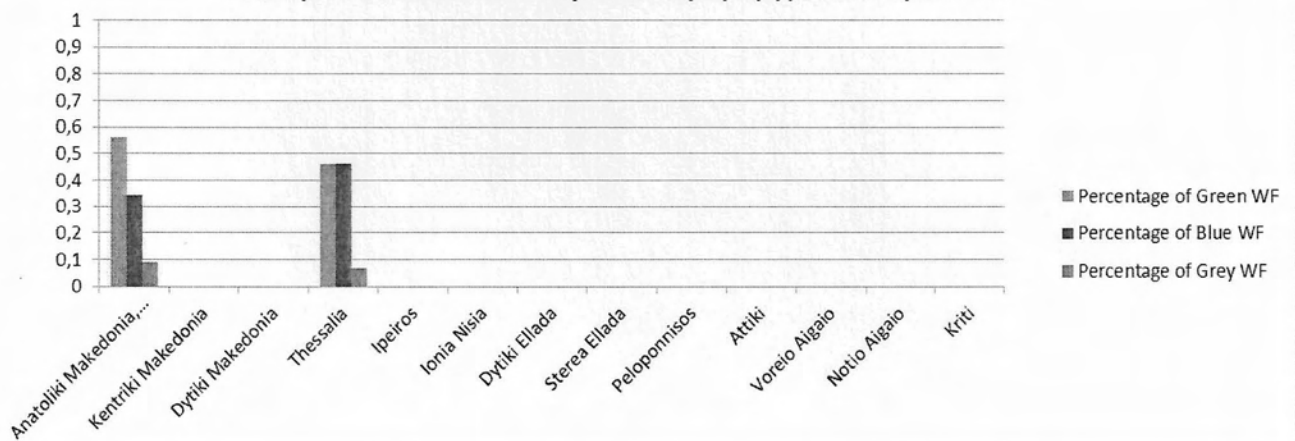
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο Αμβούργου



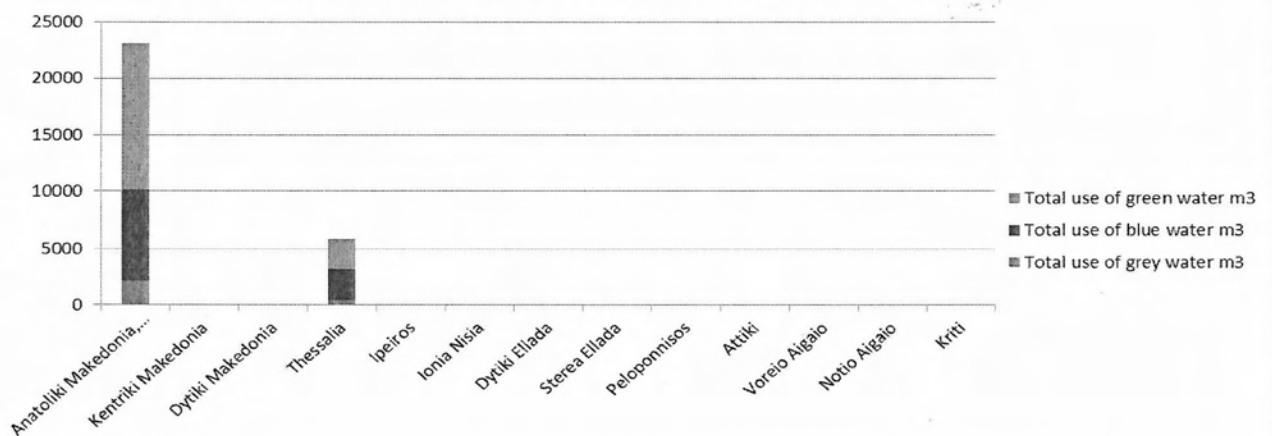
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Refosco



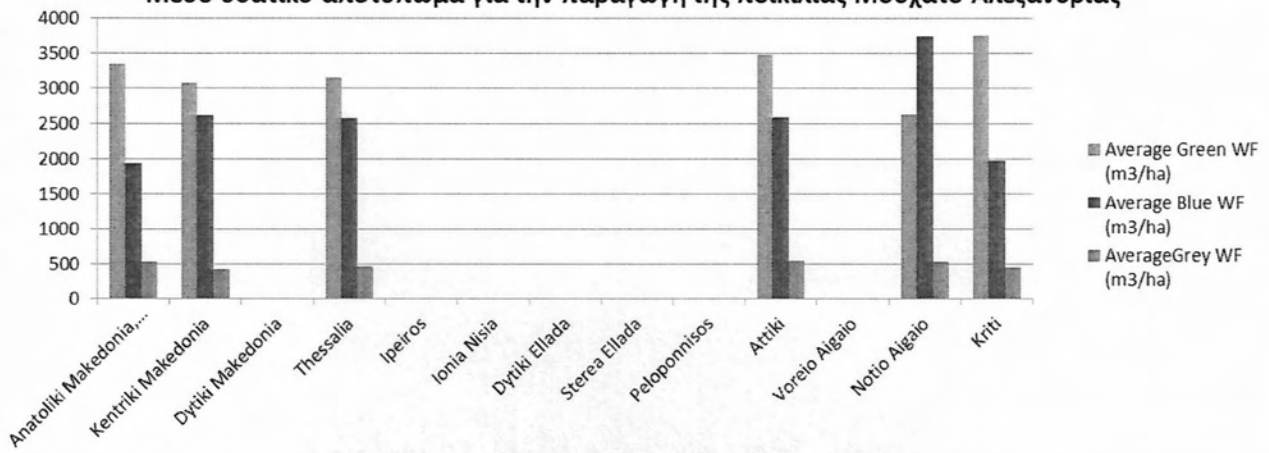
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Refosco



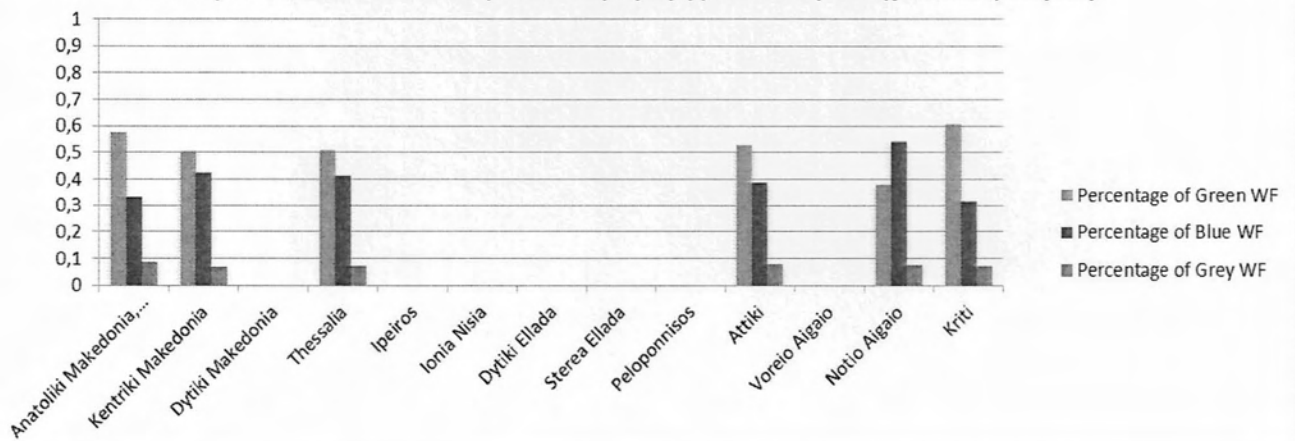
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Refosco



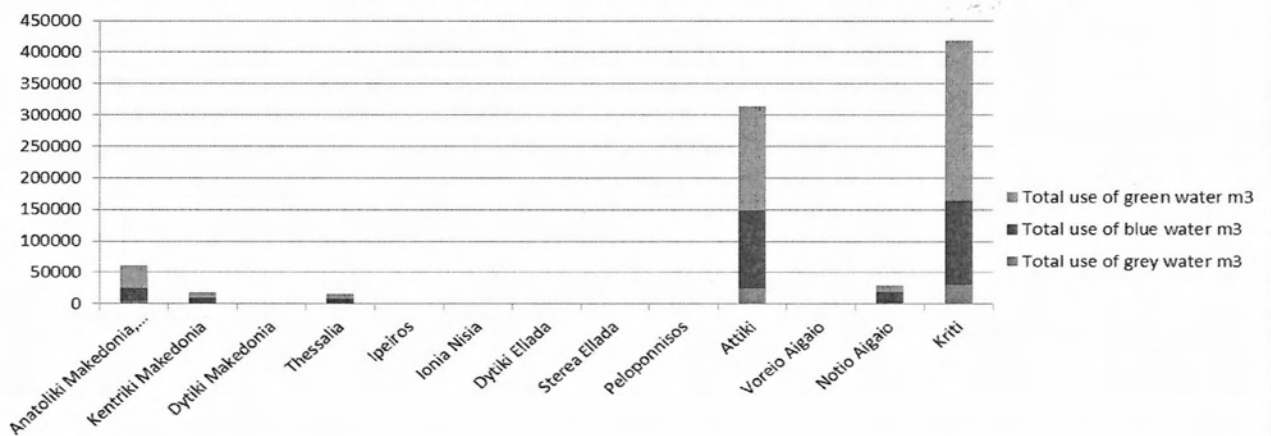
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο Αλεξανδρίας



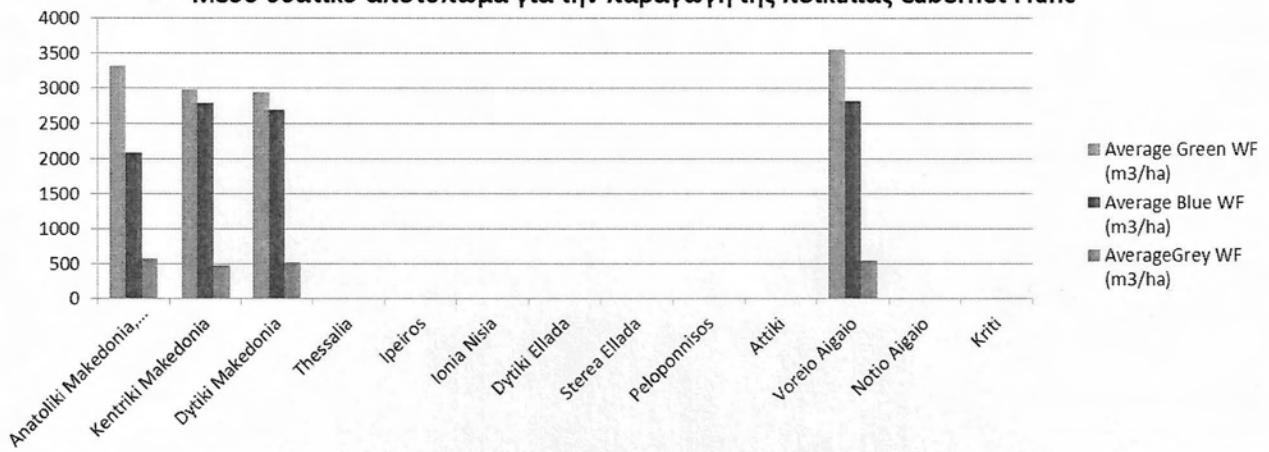
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μοσχάτο Αλεξανδρίας



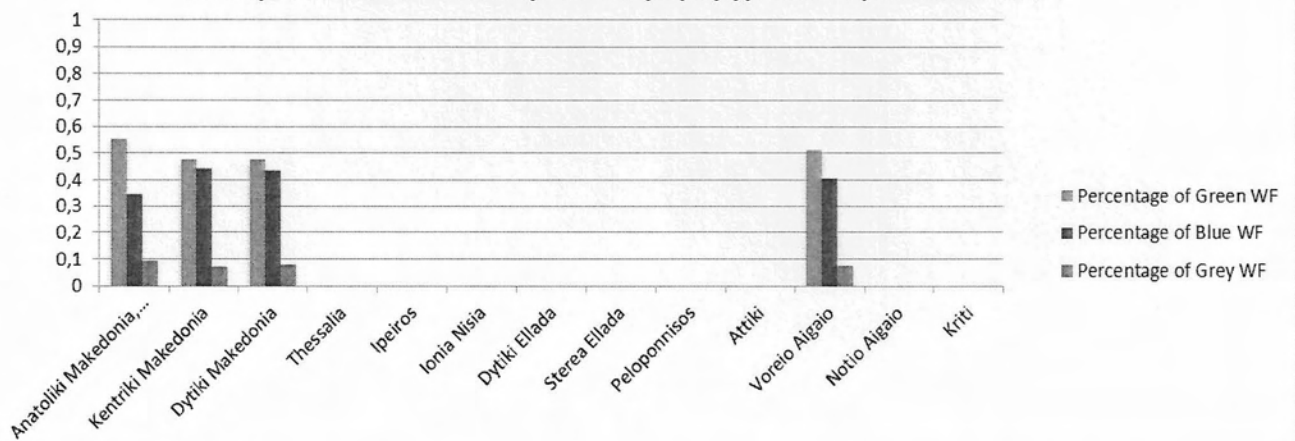
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο Αλεξανδρίας



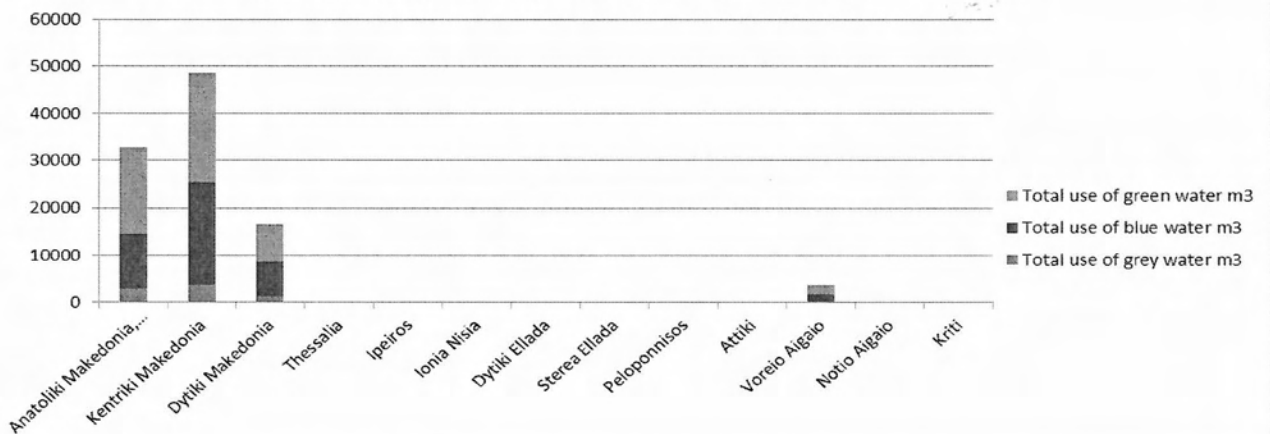
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Cabernet Franc



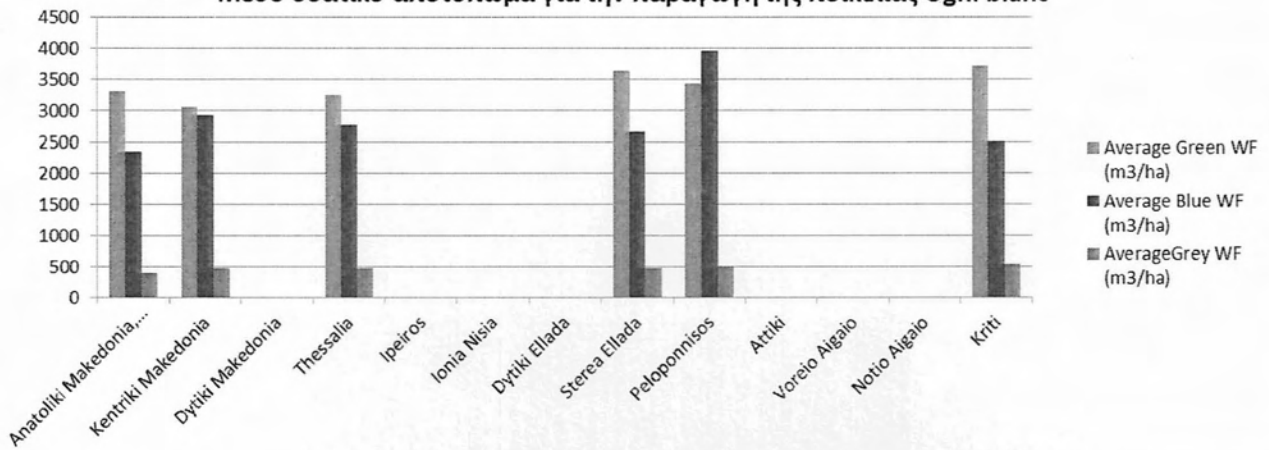
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Cabernet Franc



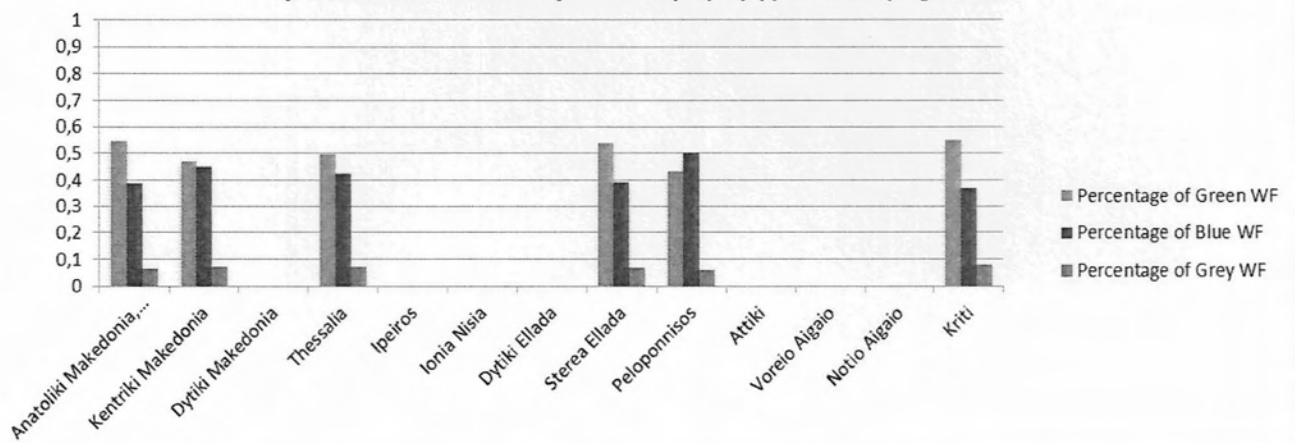
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Cabernet Franc



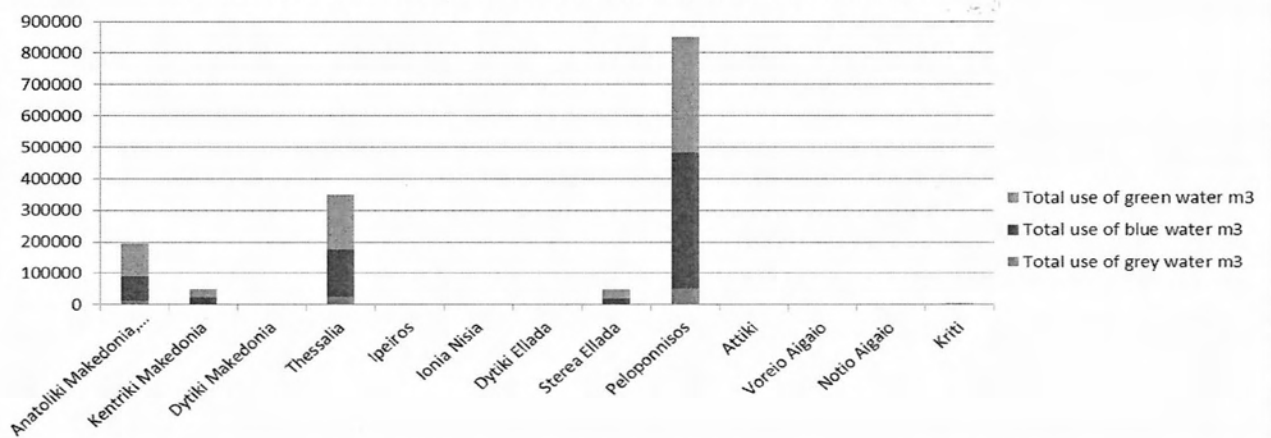
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ugni blanc



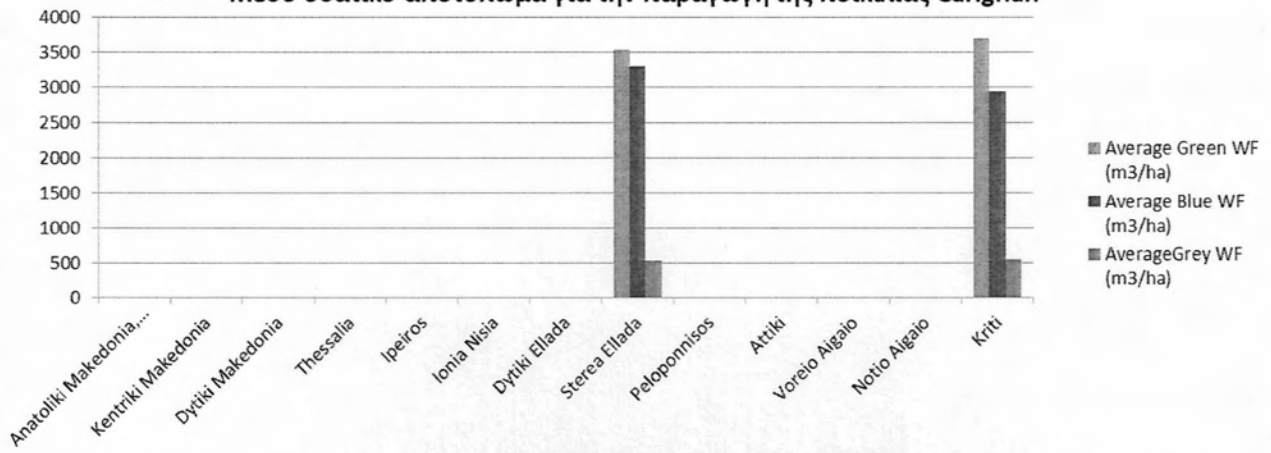
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ugni blanc



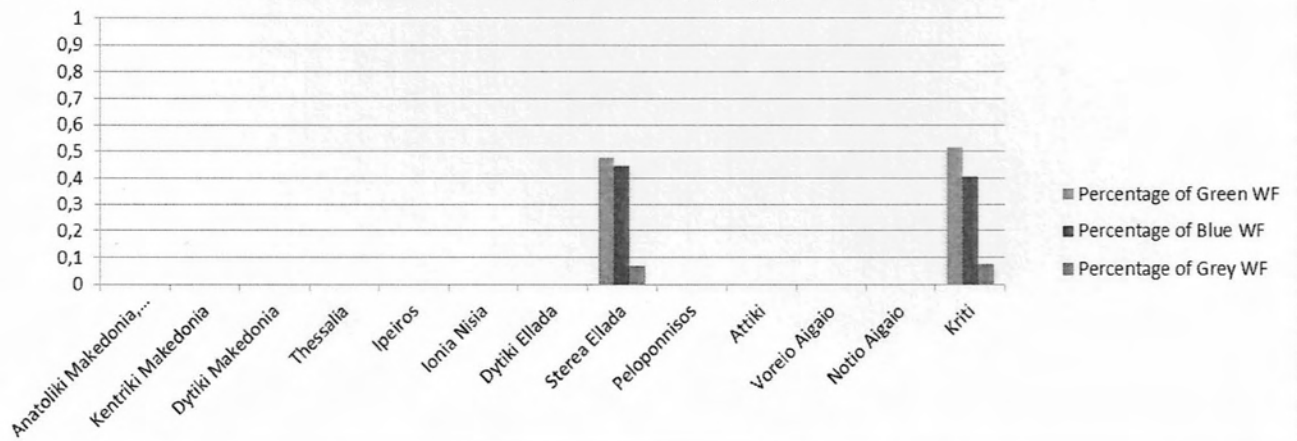
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ugni blanc



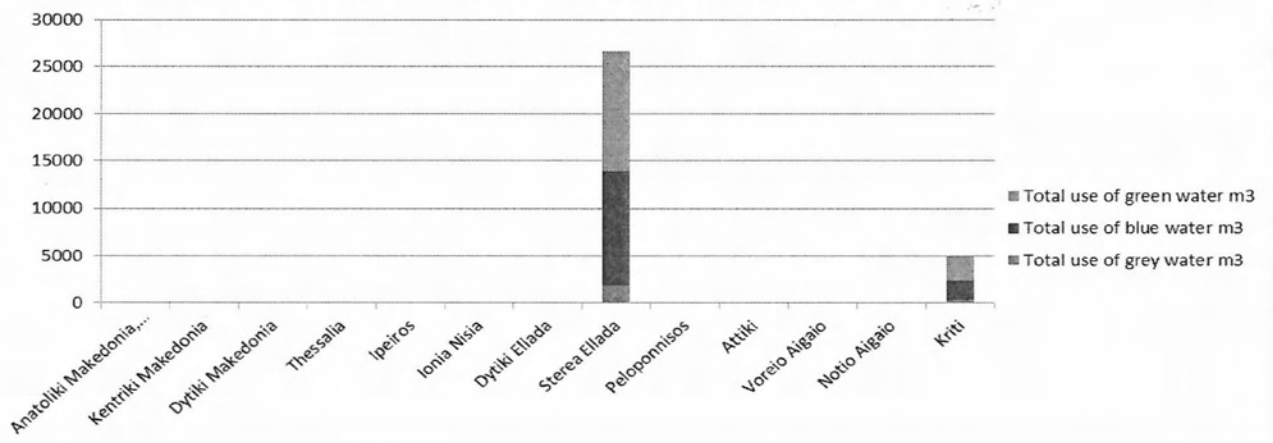
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Carignan



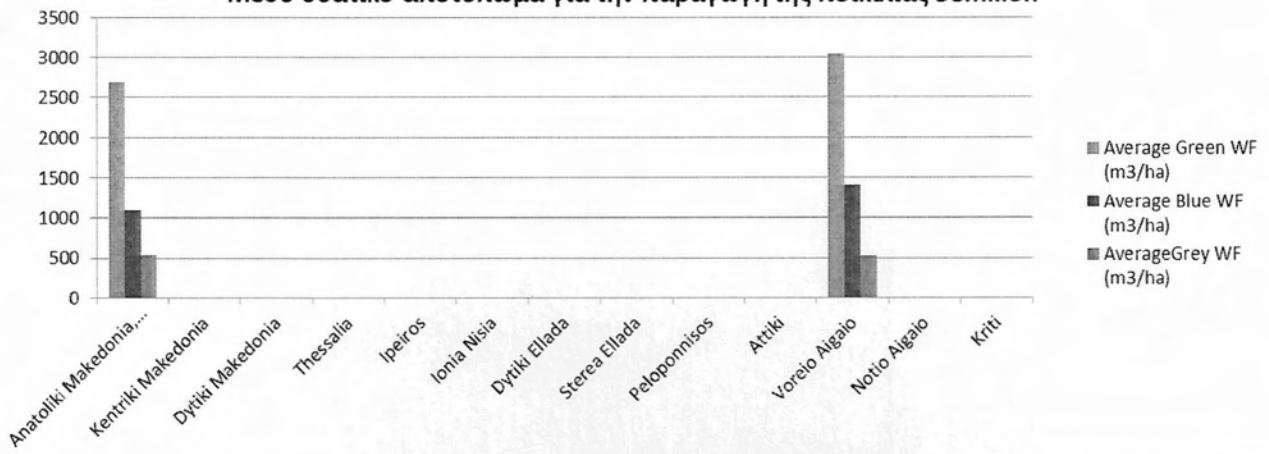
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Carignan



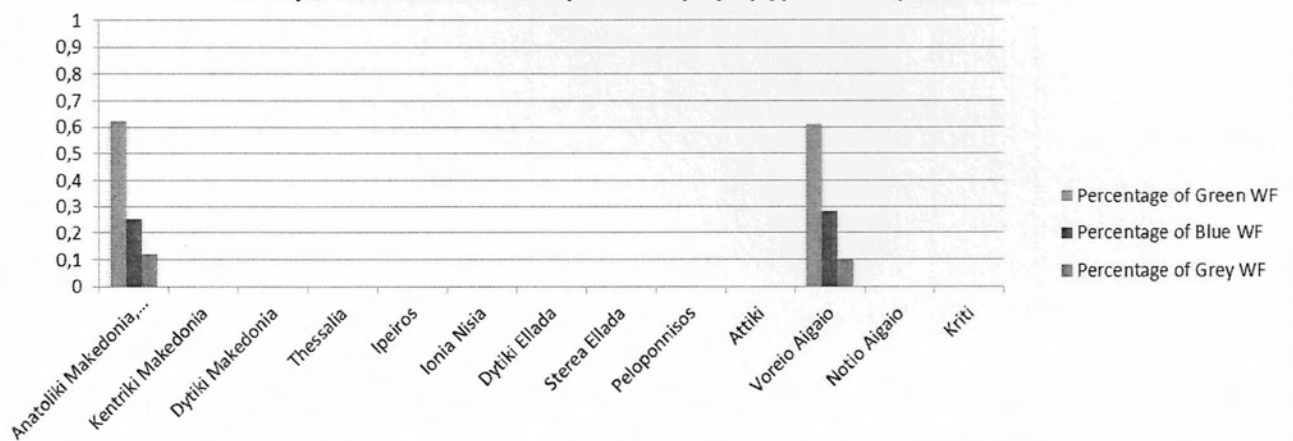
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Carignan



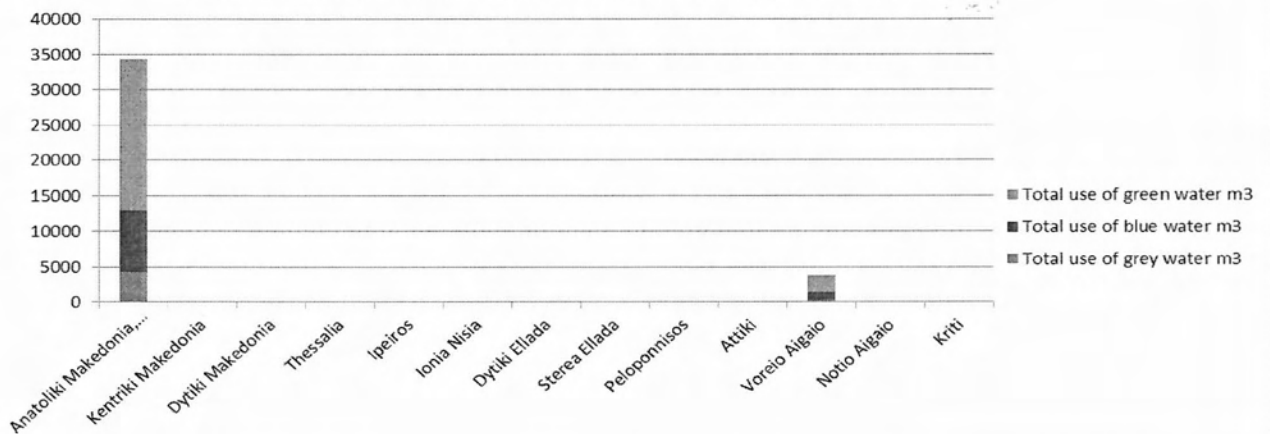
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Semillon

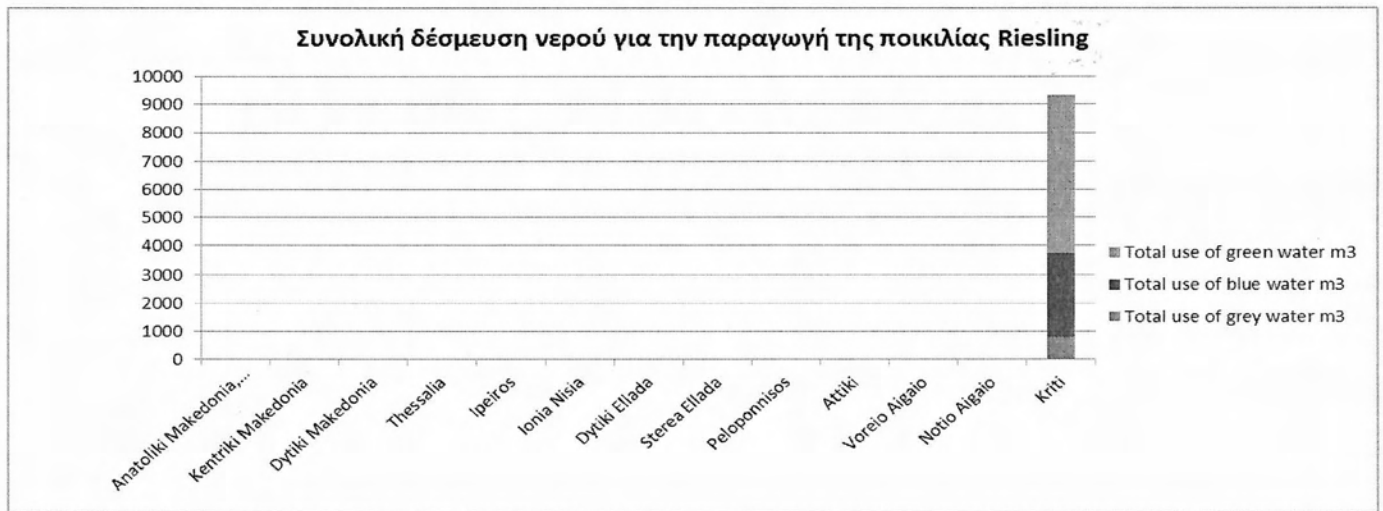
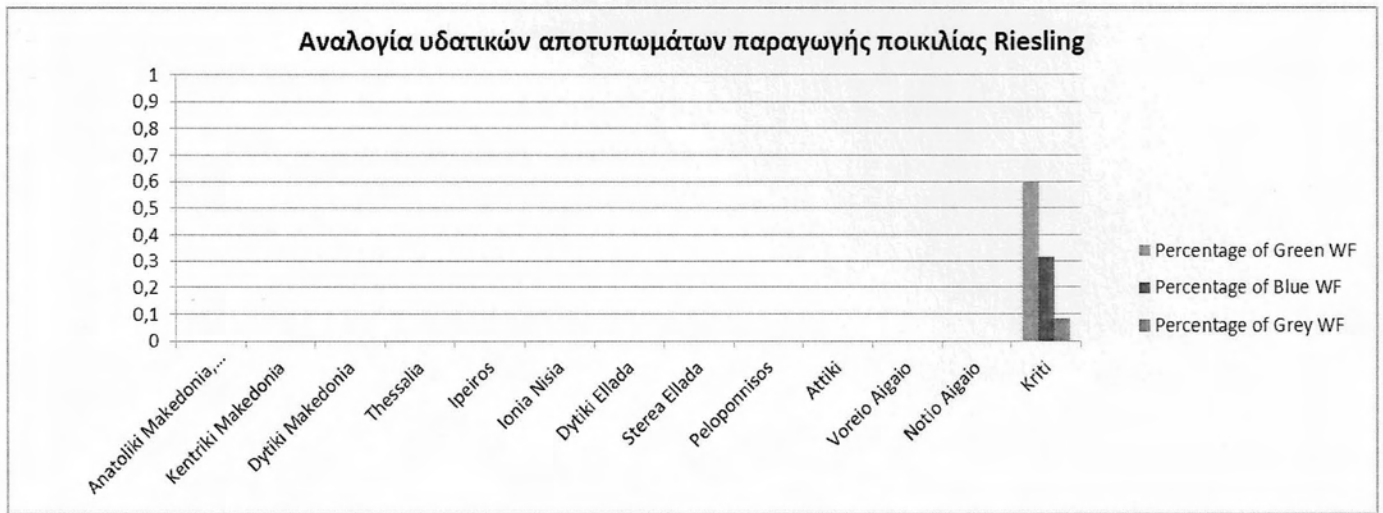
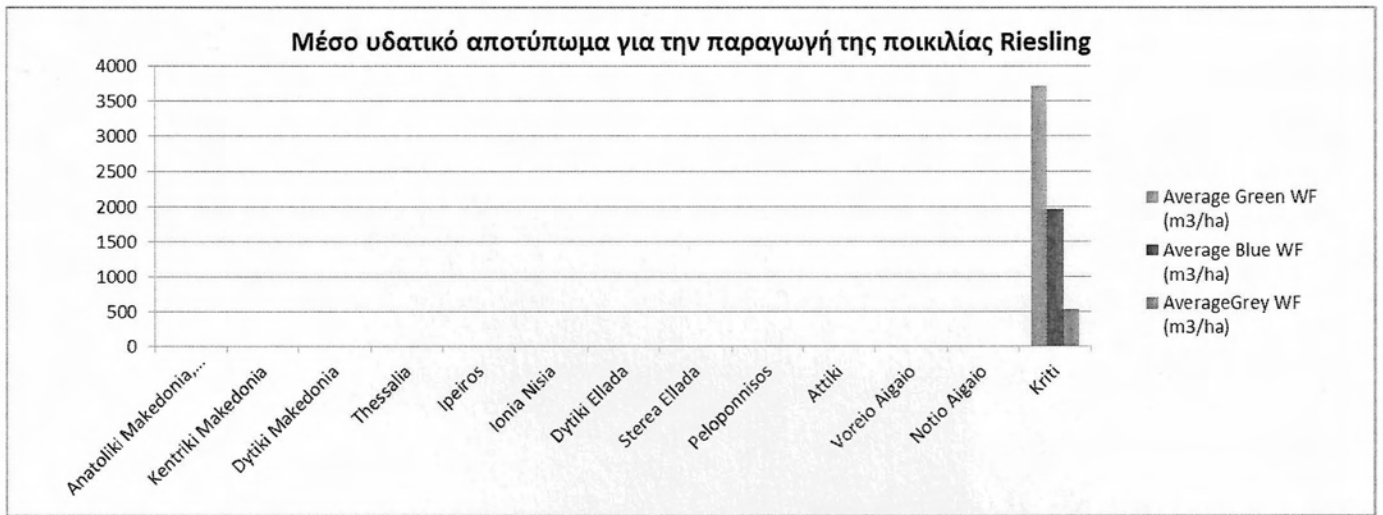


Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Semillon

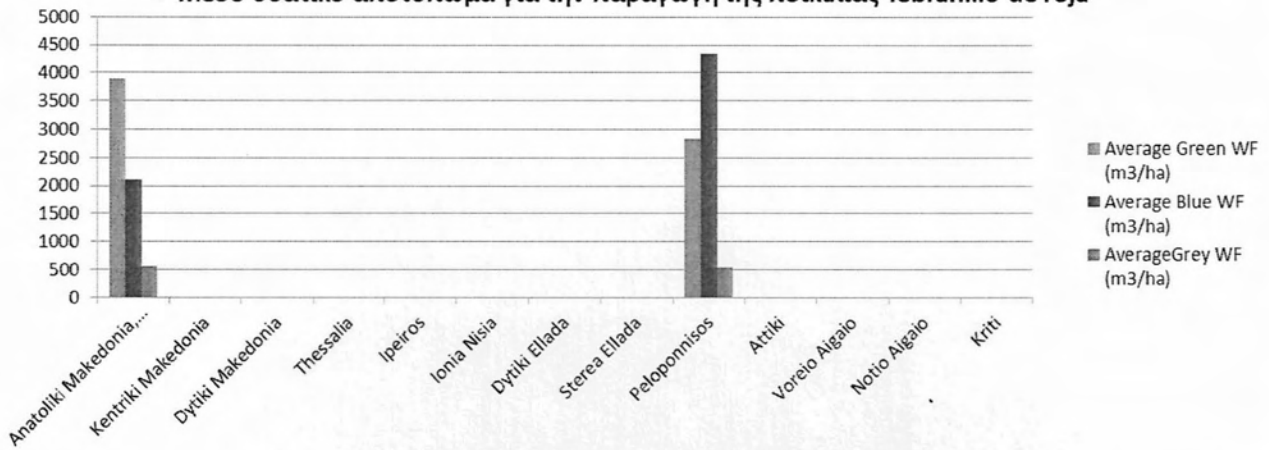


Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Semillon

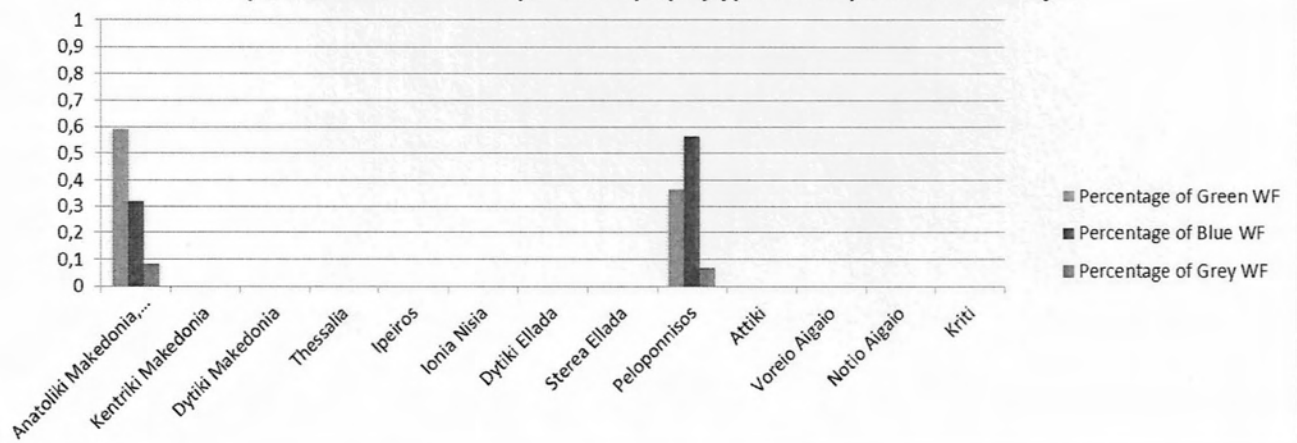




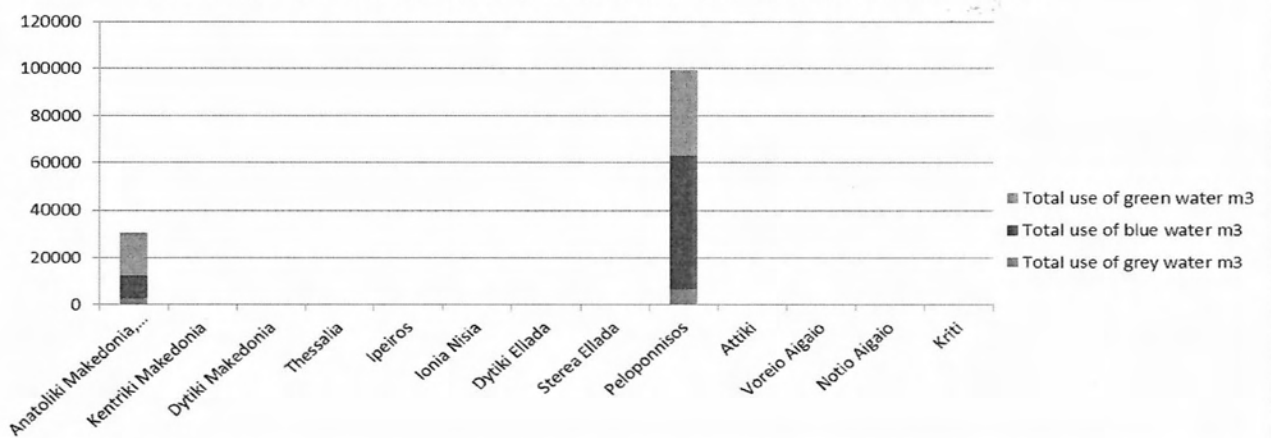
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Tebranillo de roja



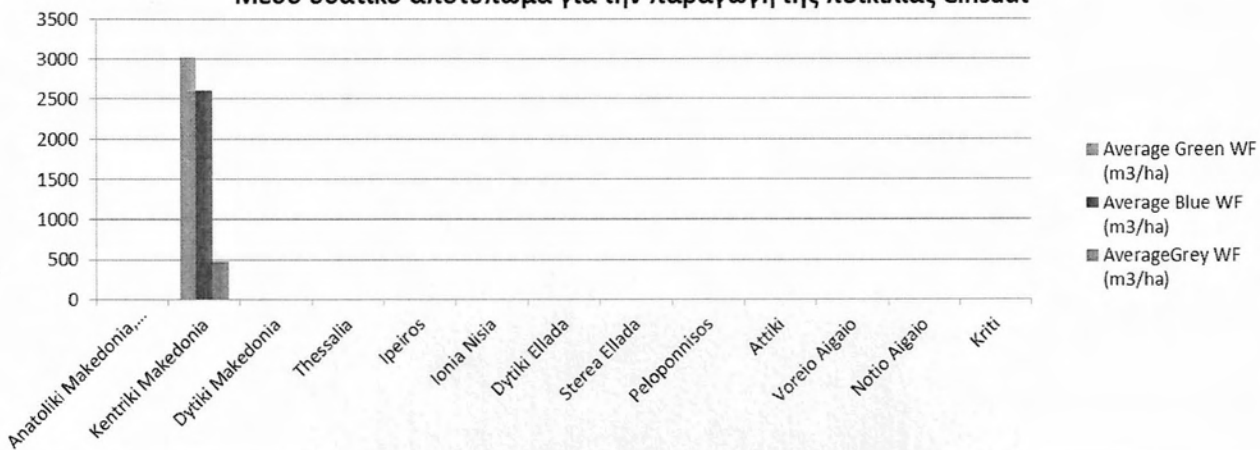
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Tebranillo de roja



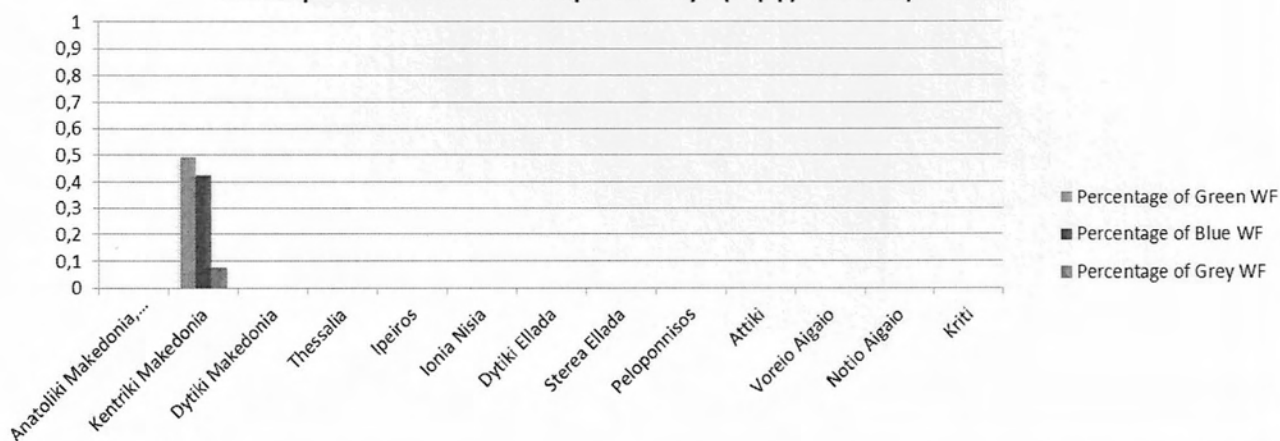
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Tebranillo de roja



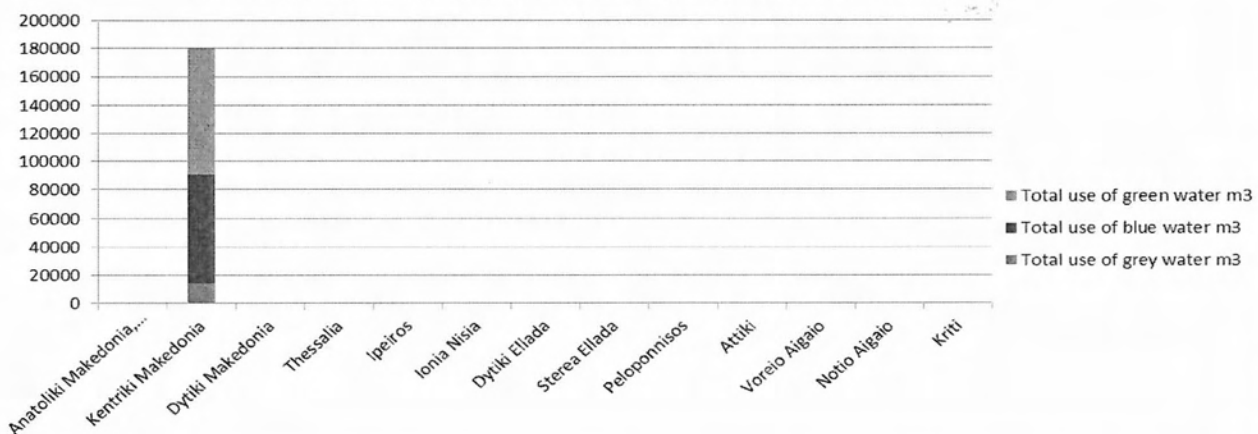
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Cinsaut



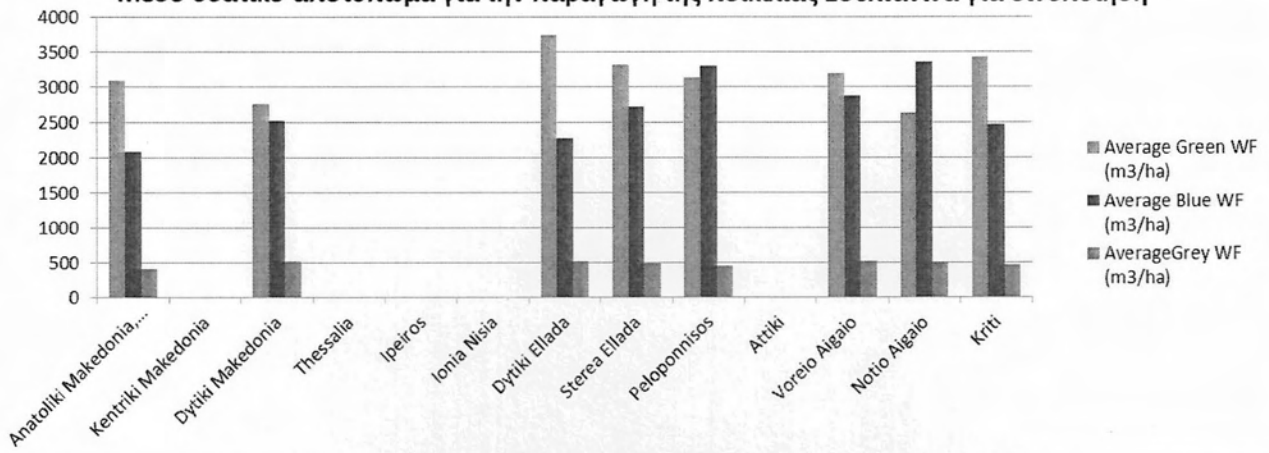
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Cinsaut



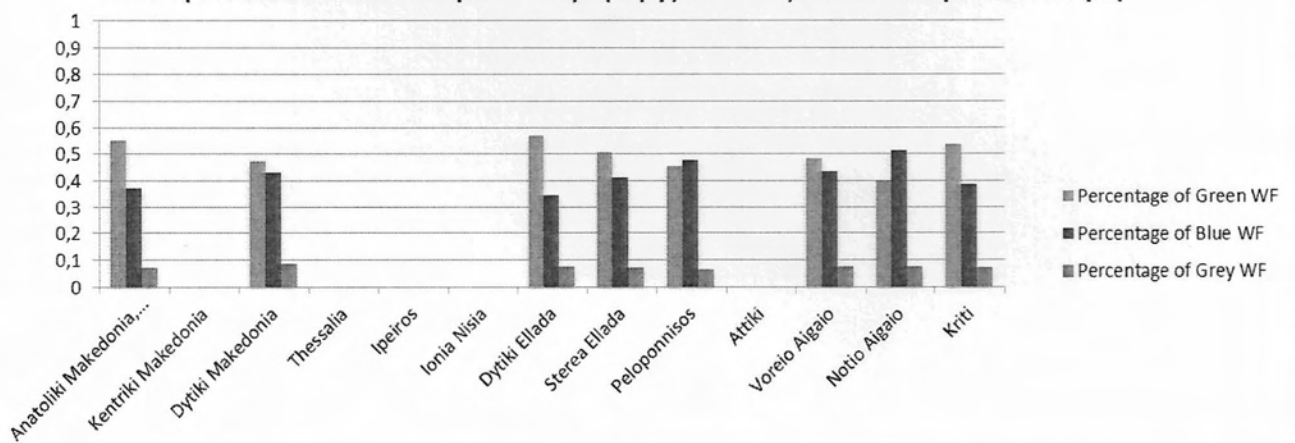
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Cinsaut



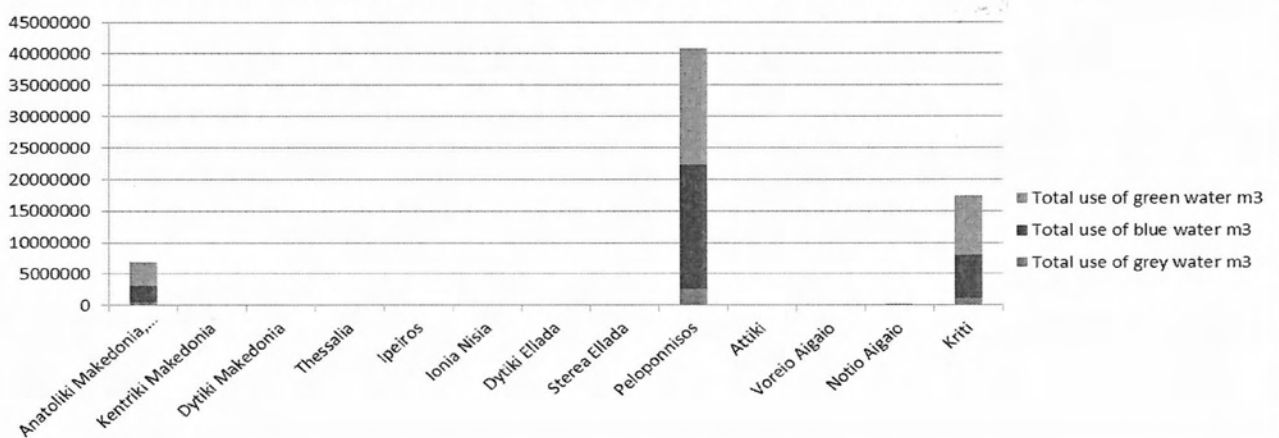
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Σουλτανίνα για οινοποίηση

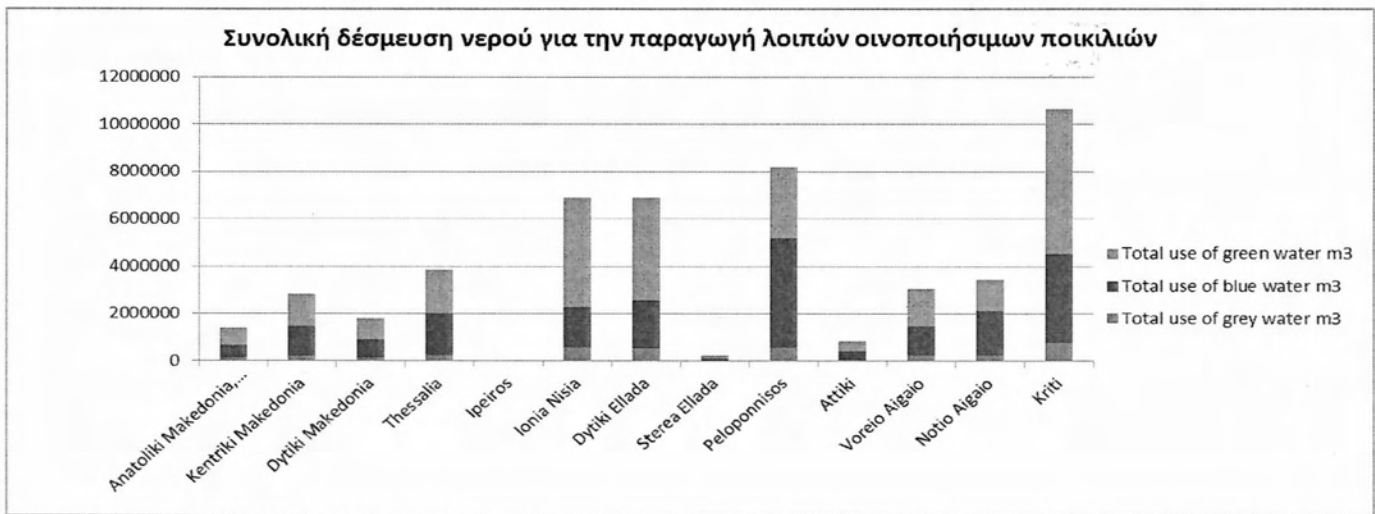
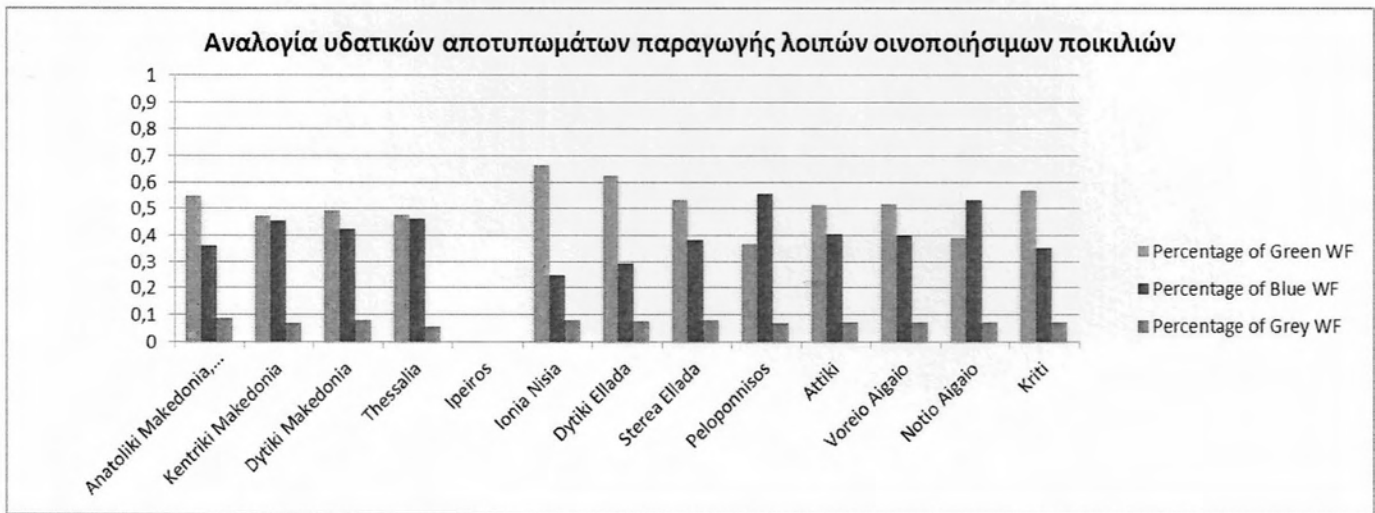
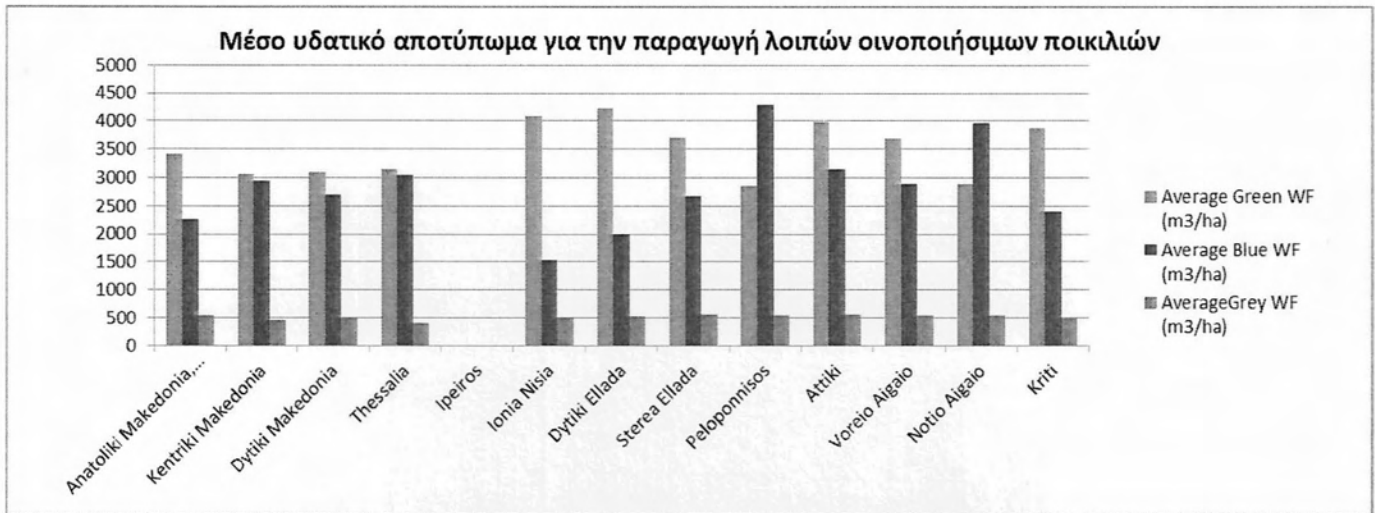


Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Σουλτανίνα για οινοποίηση

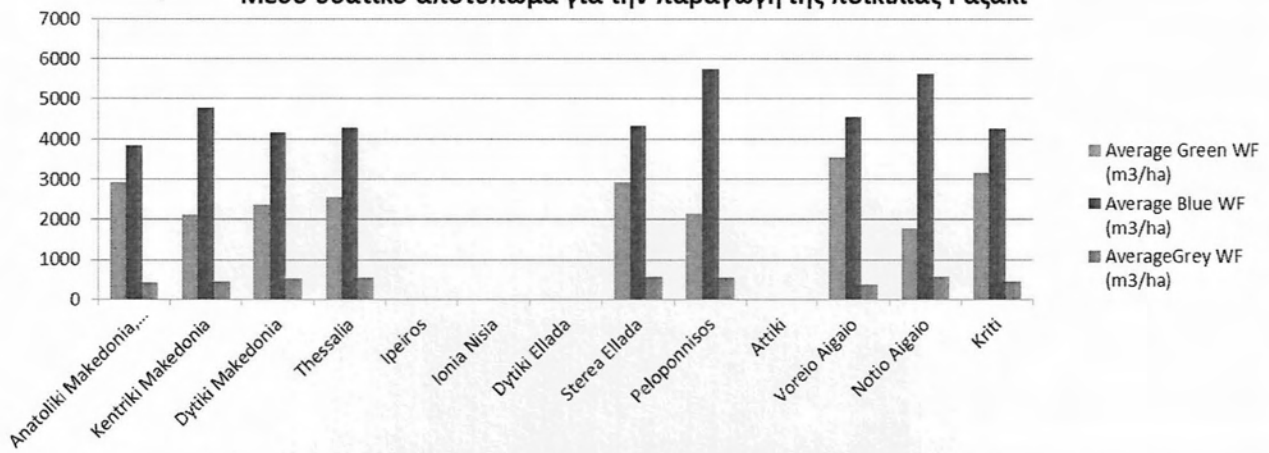


Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Σουλτανίνα για οινοποίηση

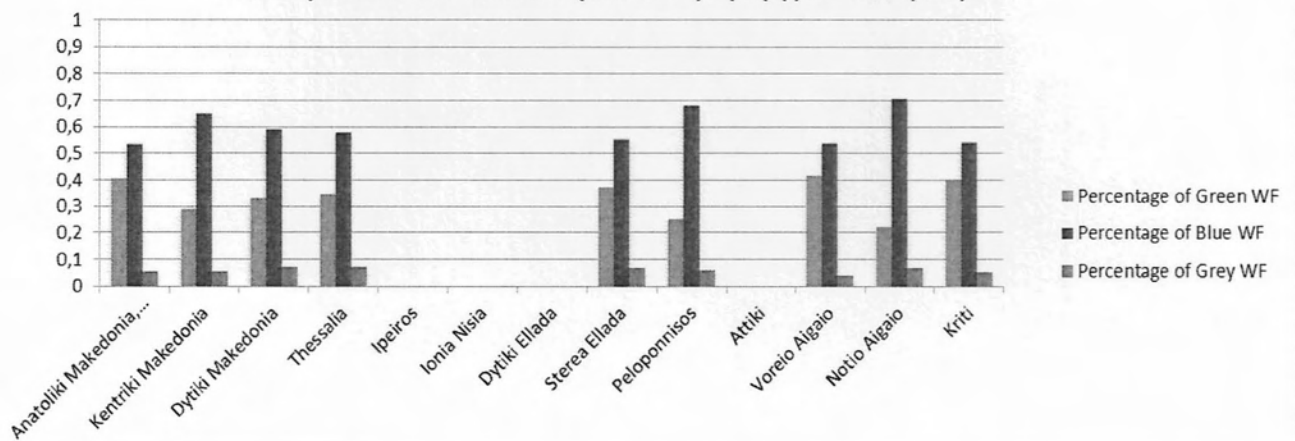




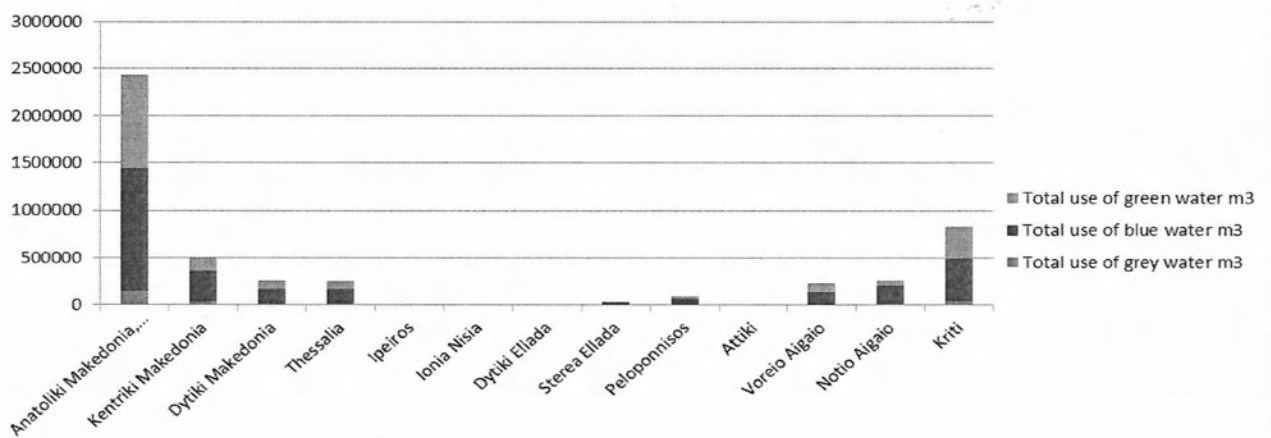
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ραζακί



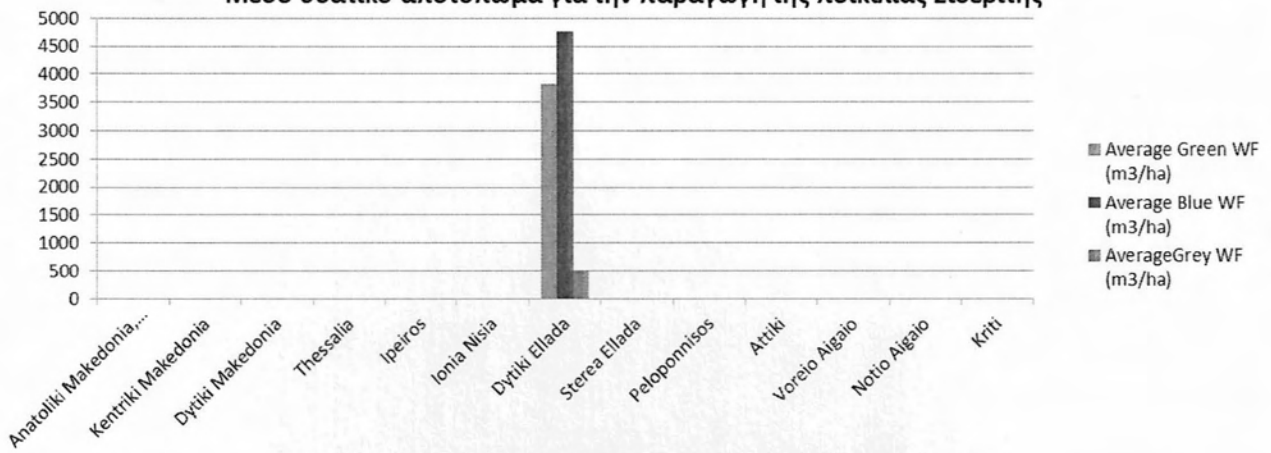
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ραζακί



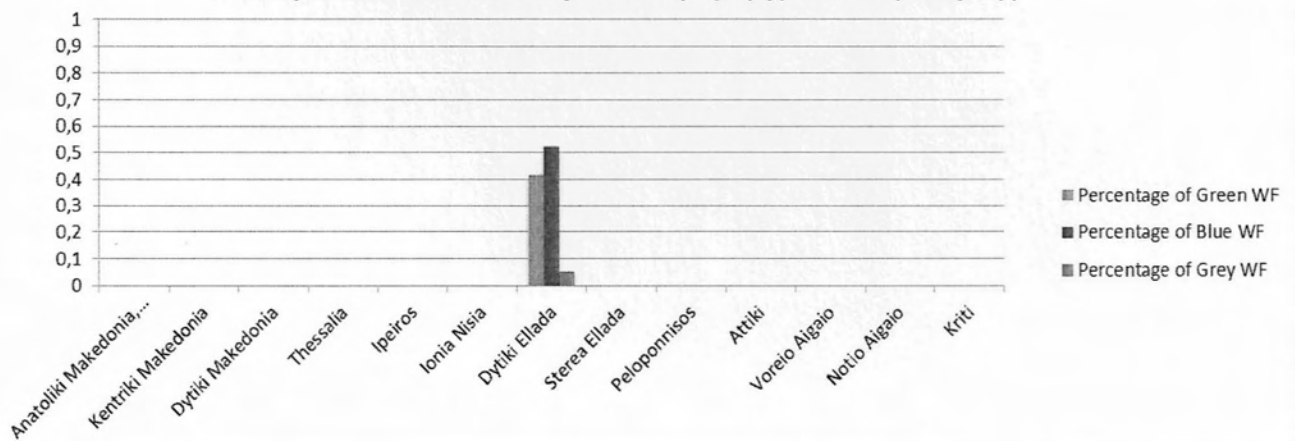
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ραζακί



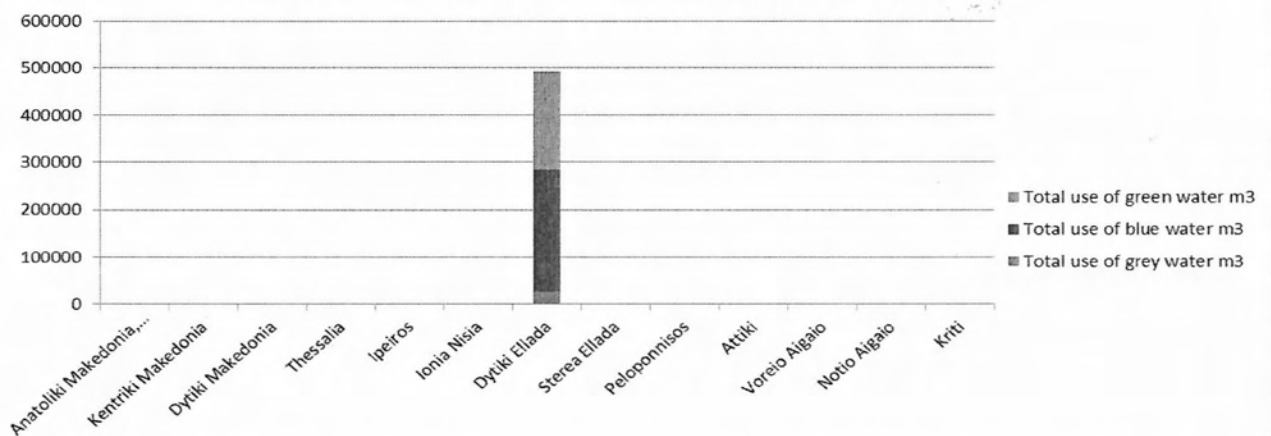
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Σιδερίτης



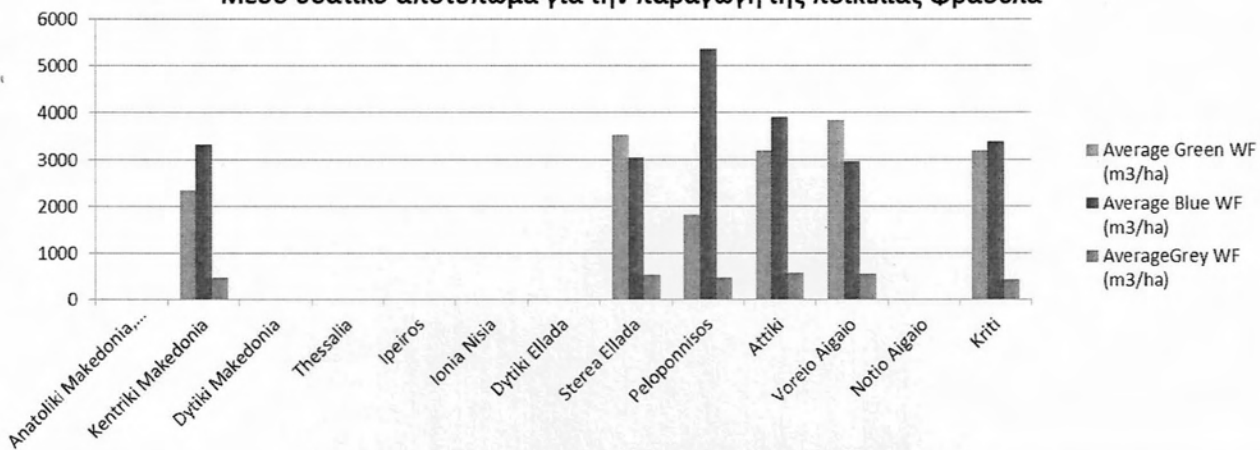
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Σιδερίτης



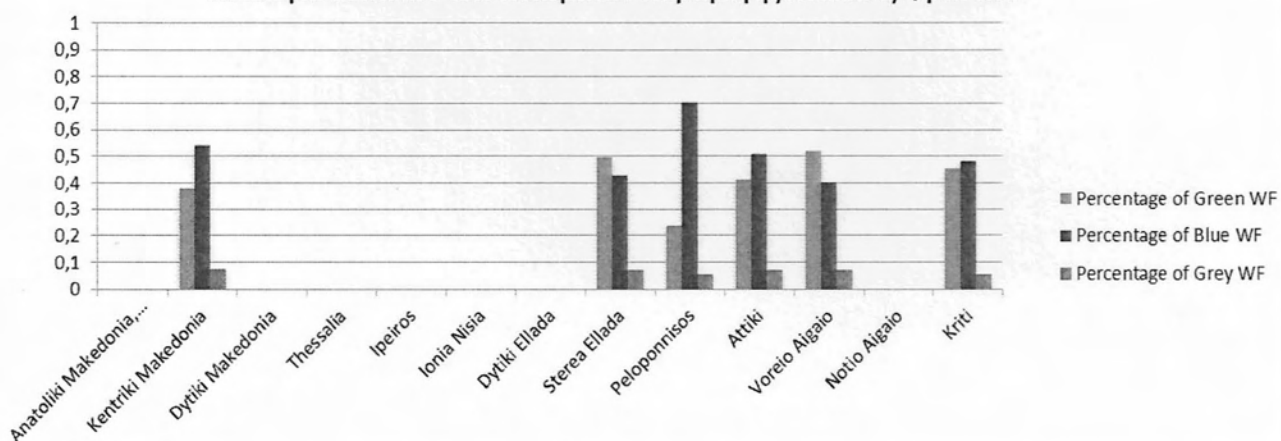
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Σιδερίτης



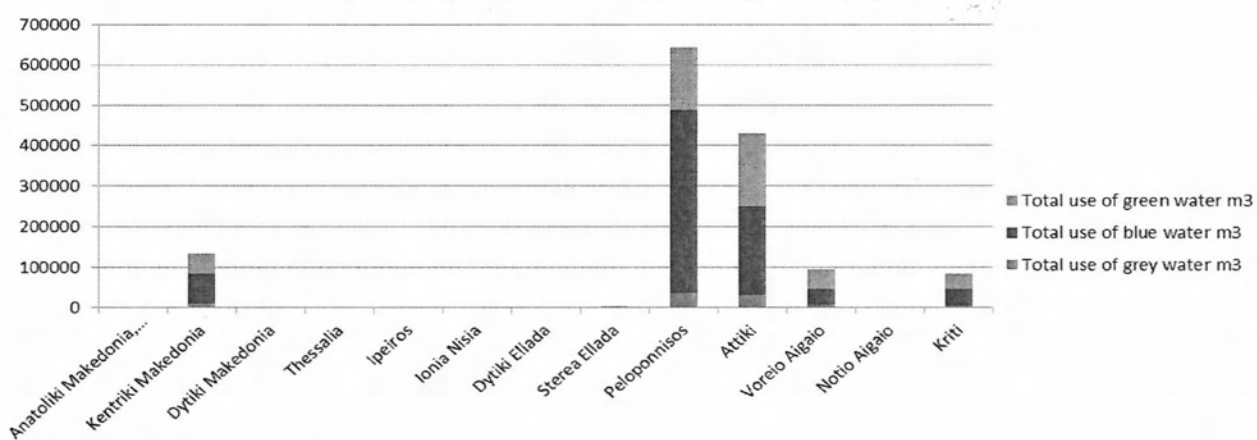
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Φράουλα



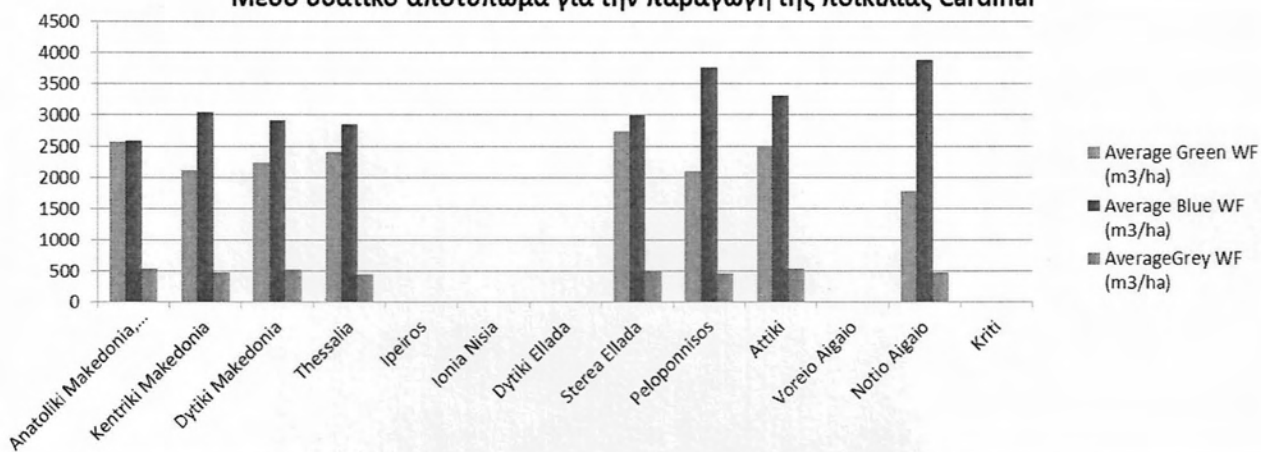
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Φράουλα



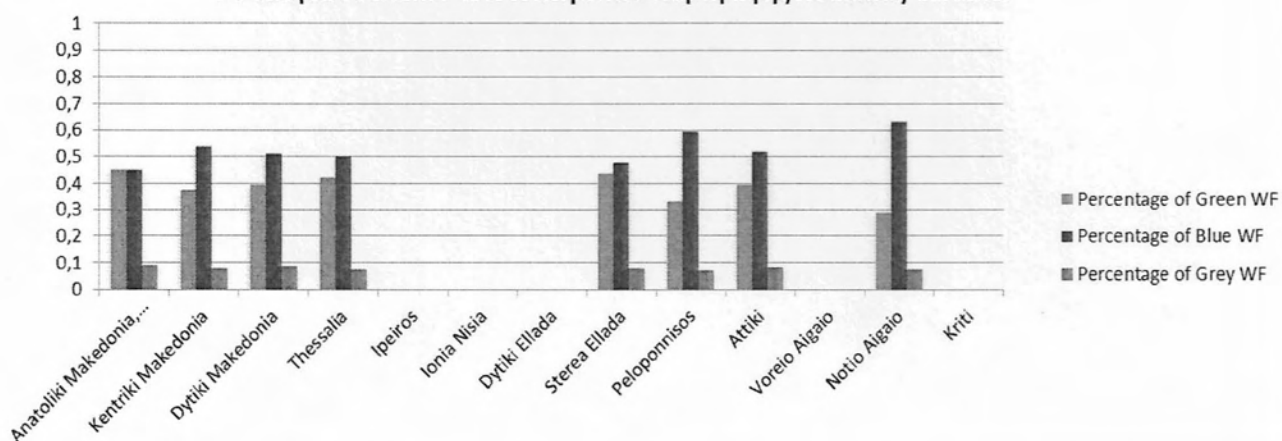
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Φράουλα



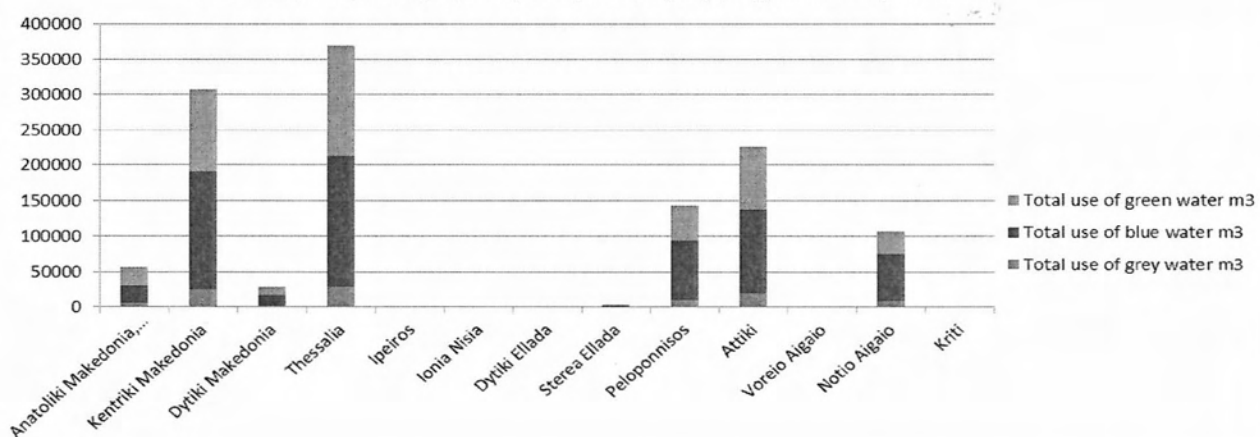
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Cardinal



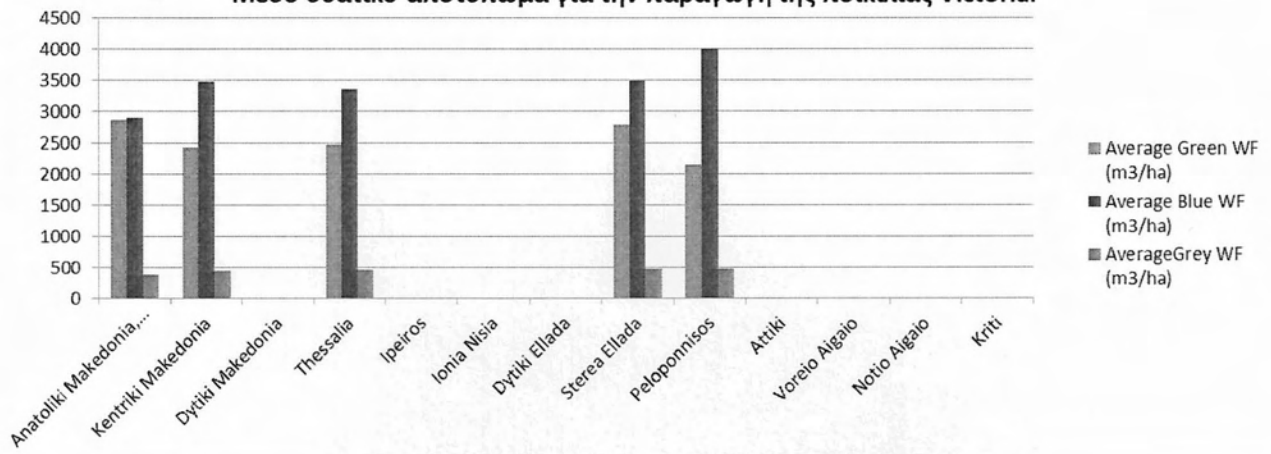
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Cardinal



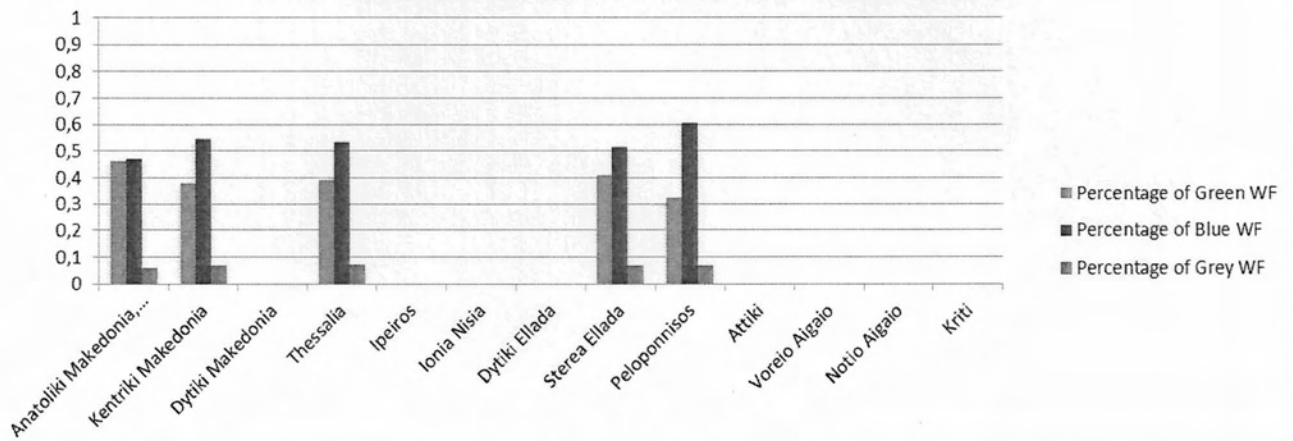
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Cardinal



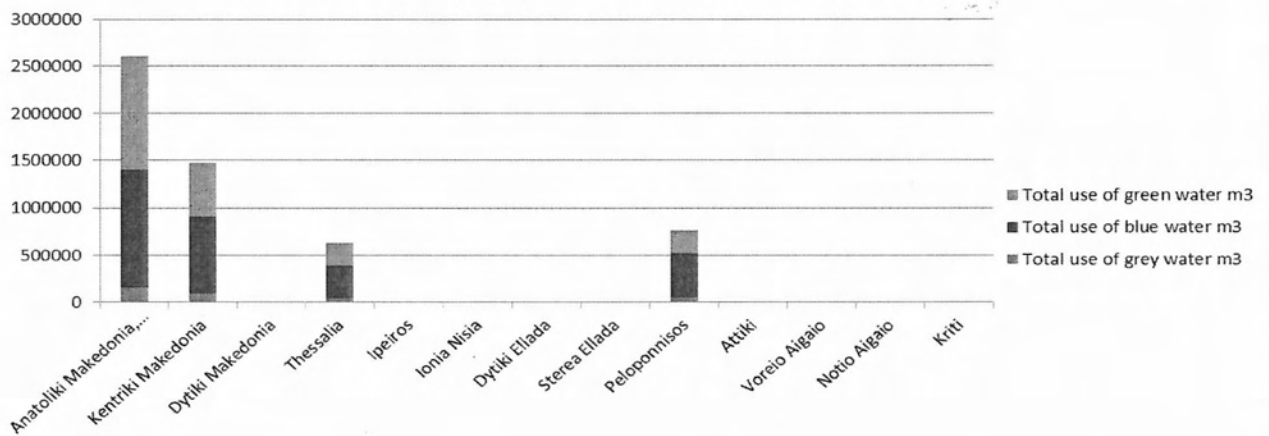
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Victoria!



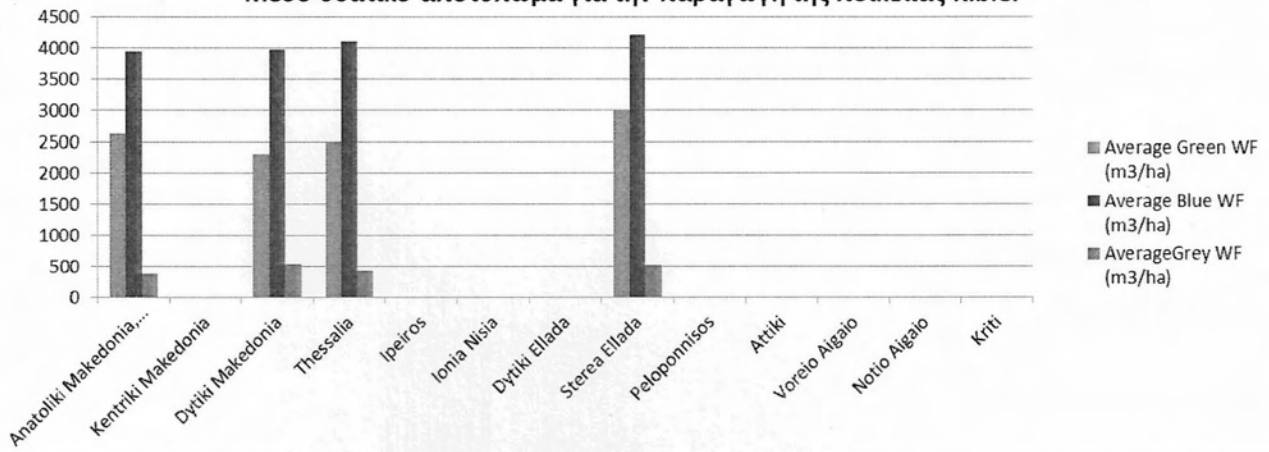
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Victoria



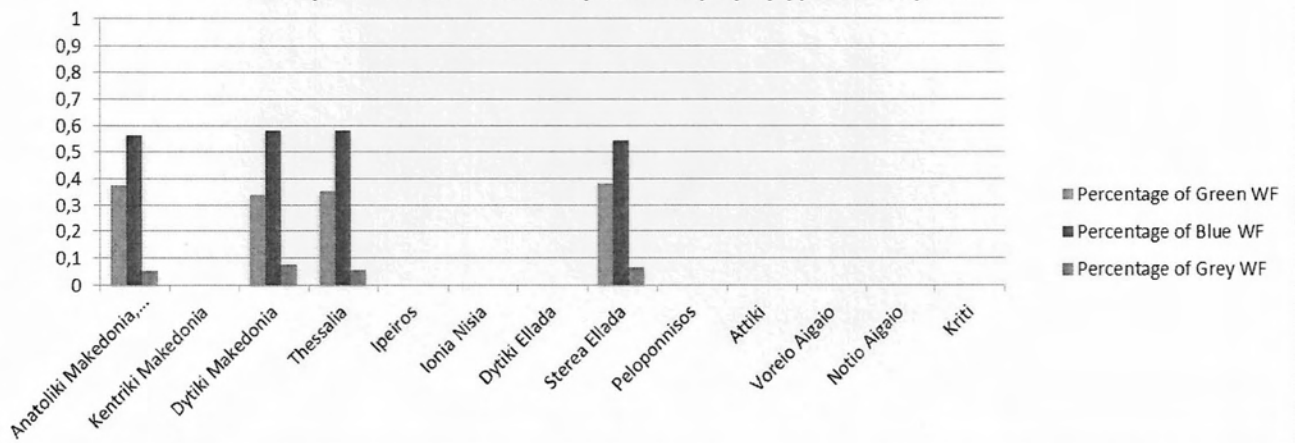
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Victoria



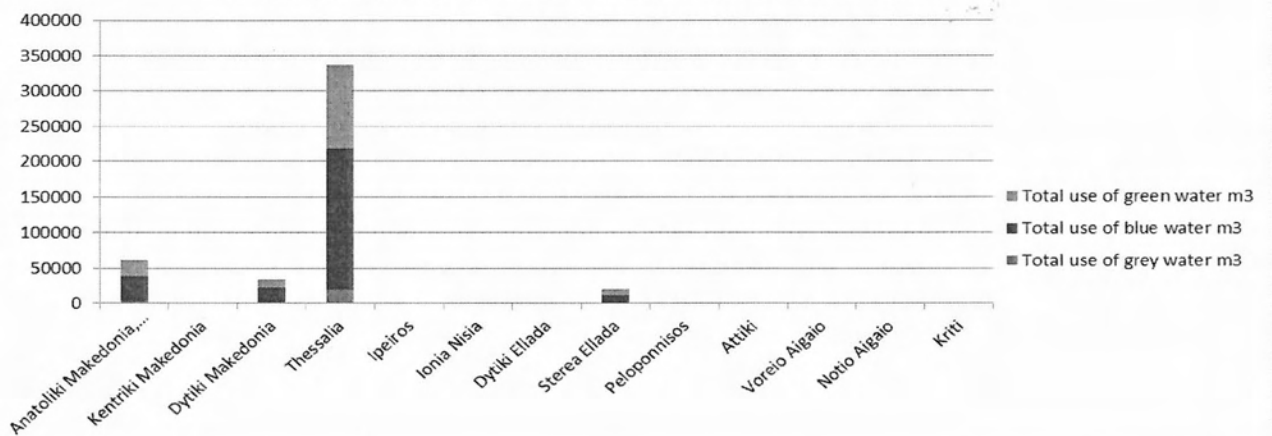
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ribier



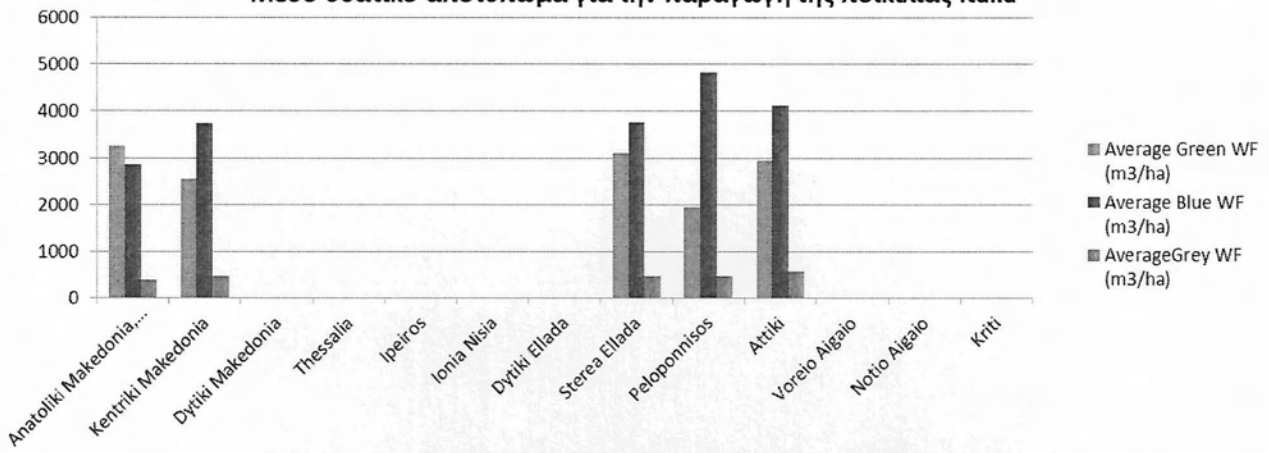
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ribier



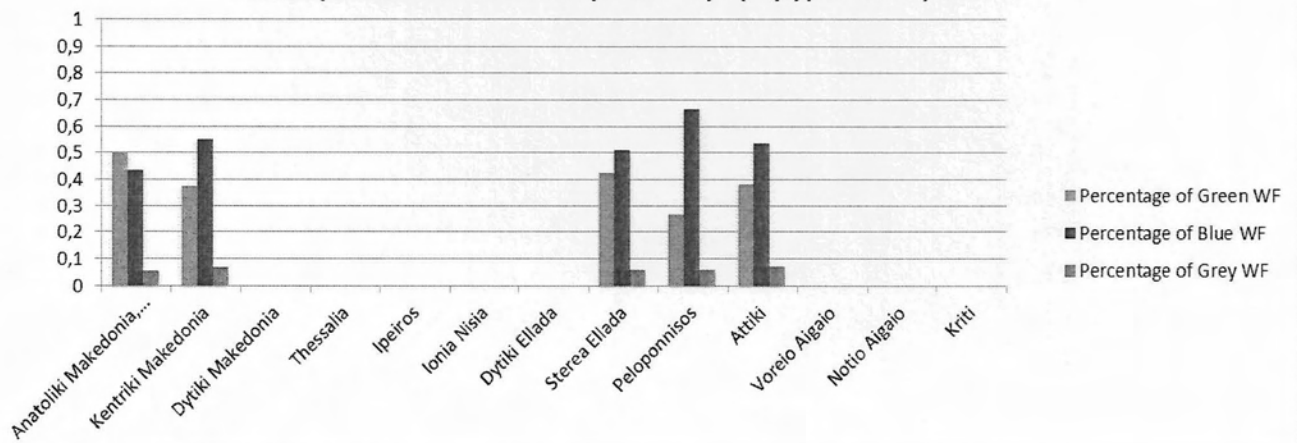
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ribier



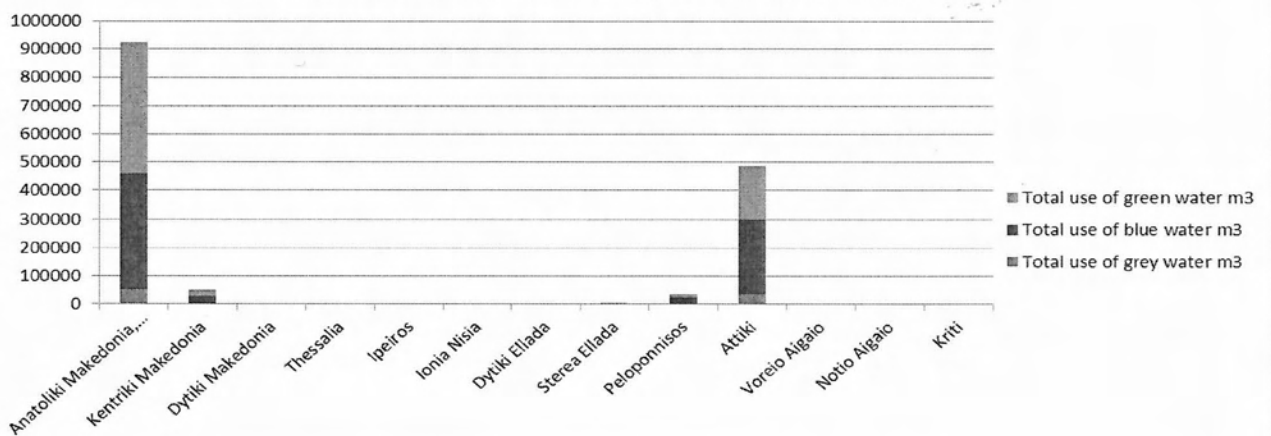
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Italia



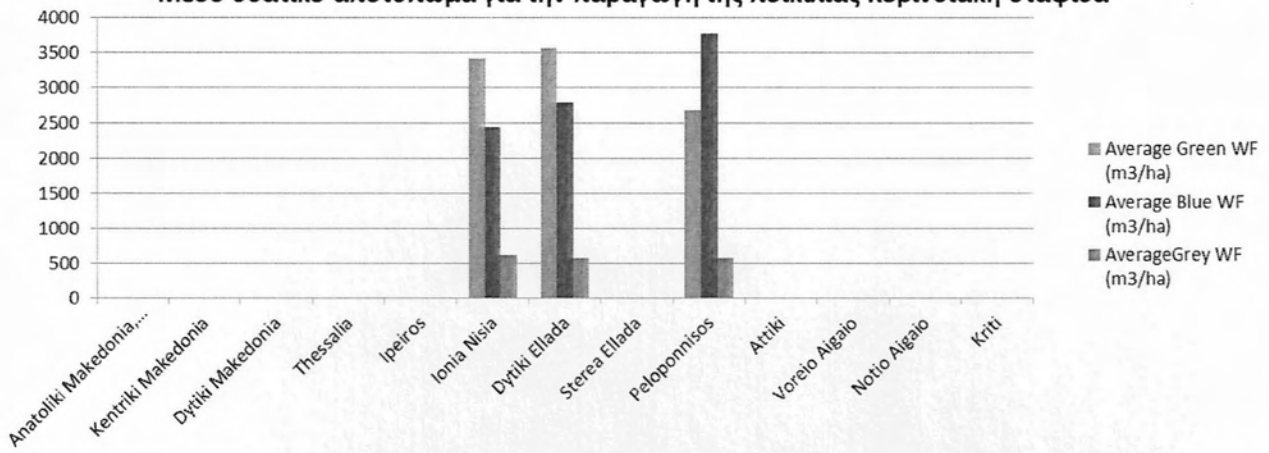
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Italia



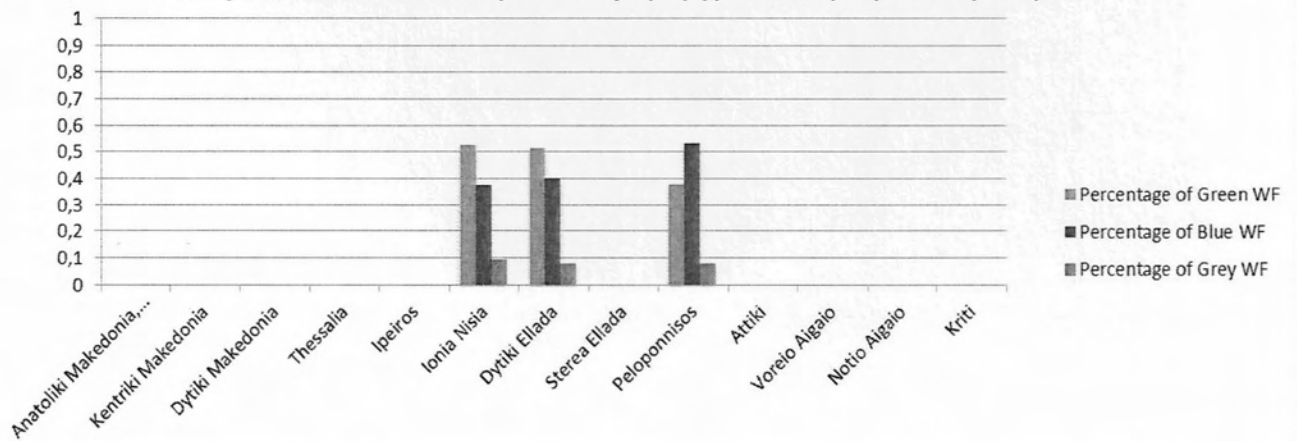
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Italia



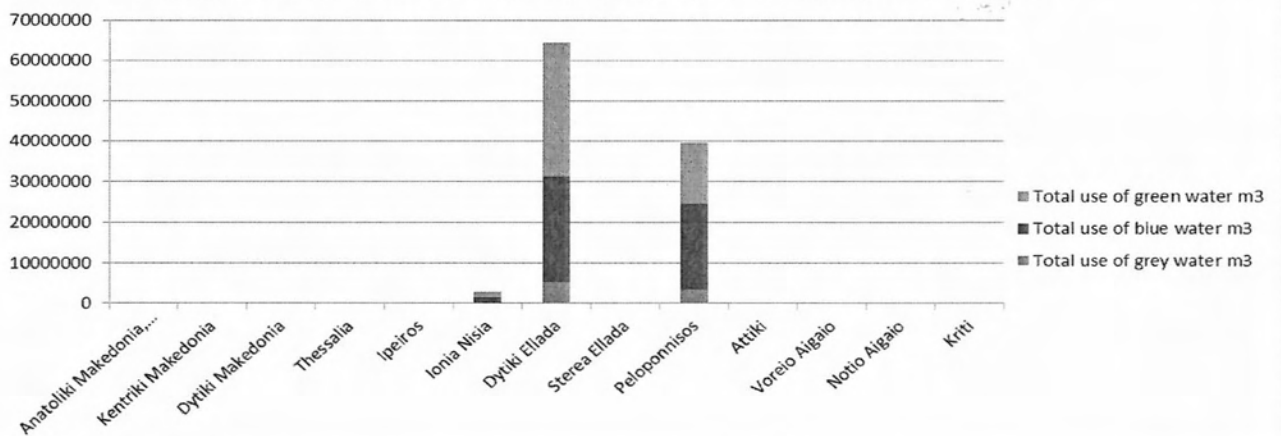
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Κορινθιακή σταφίδα



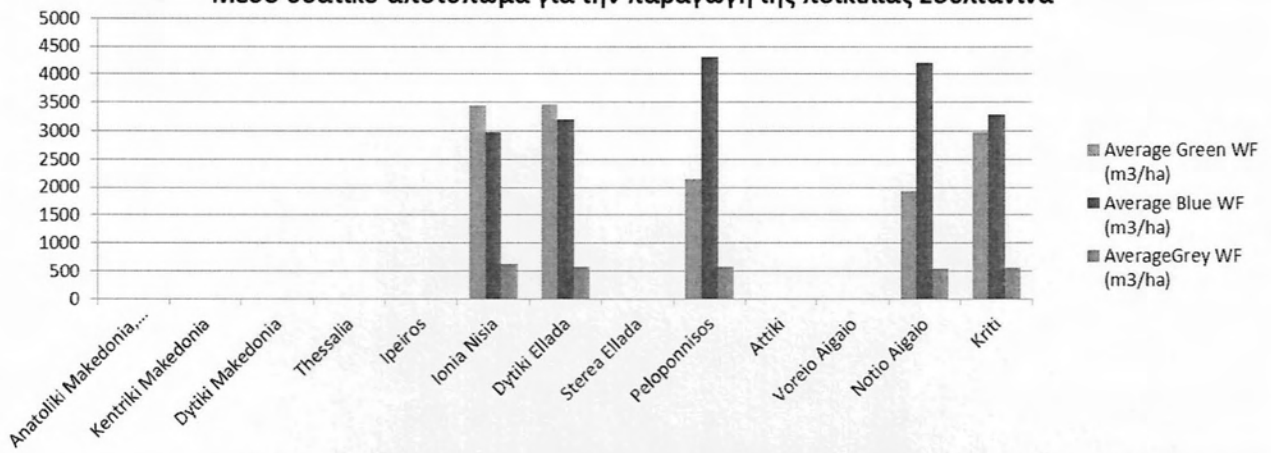
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Κορινθιακή σταφίδα



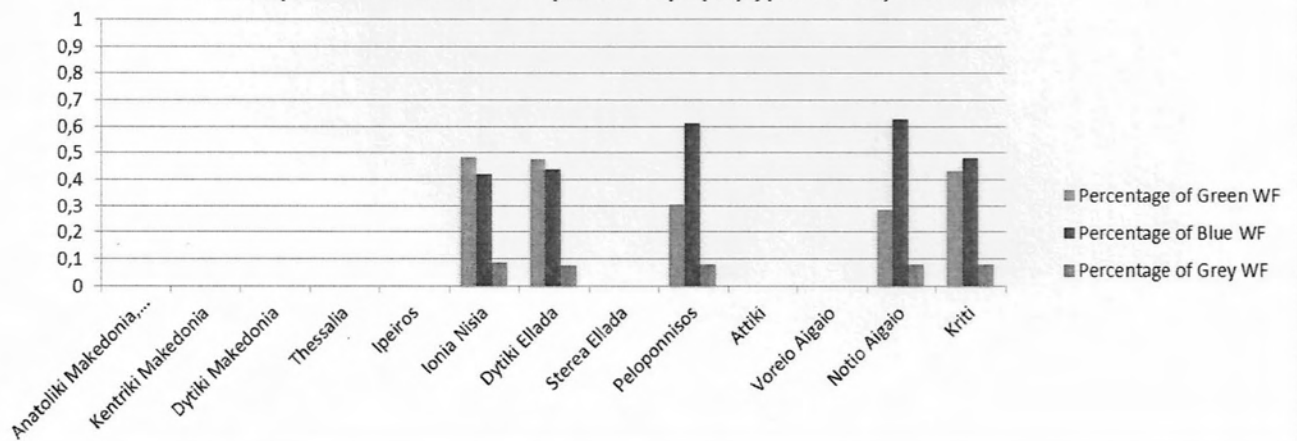
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Κορινθιακή σταφίδα



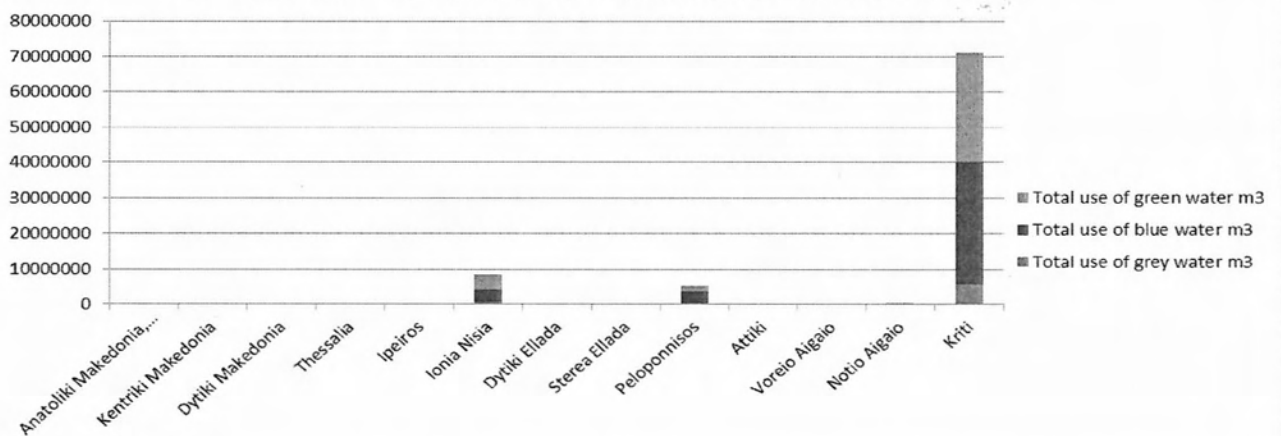
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Σουλτανίνα



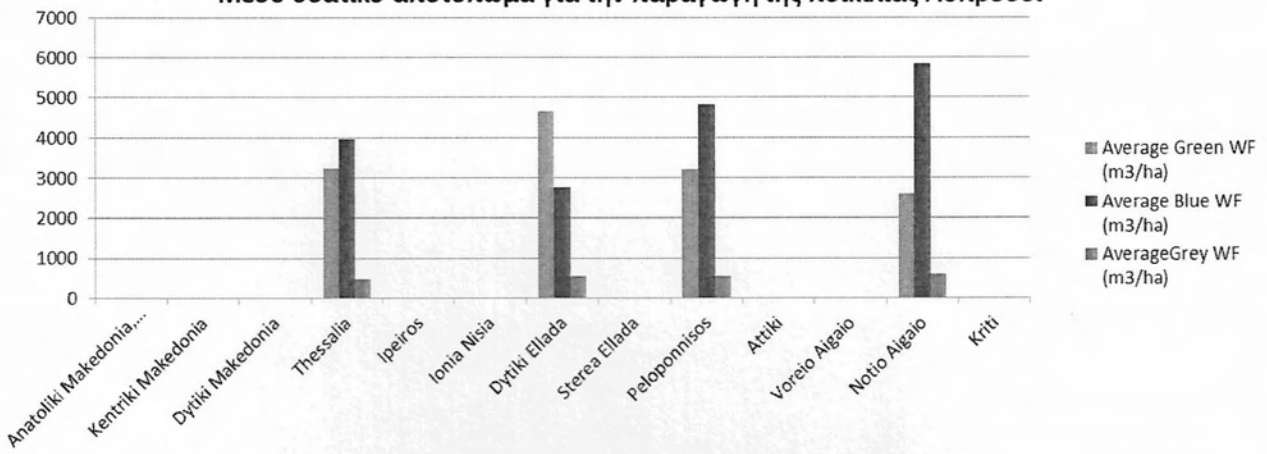
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Σουλτανίνα



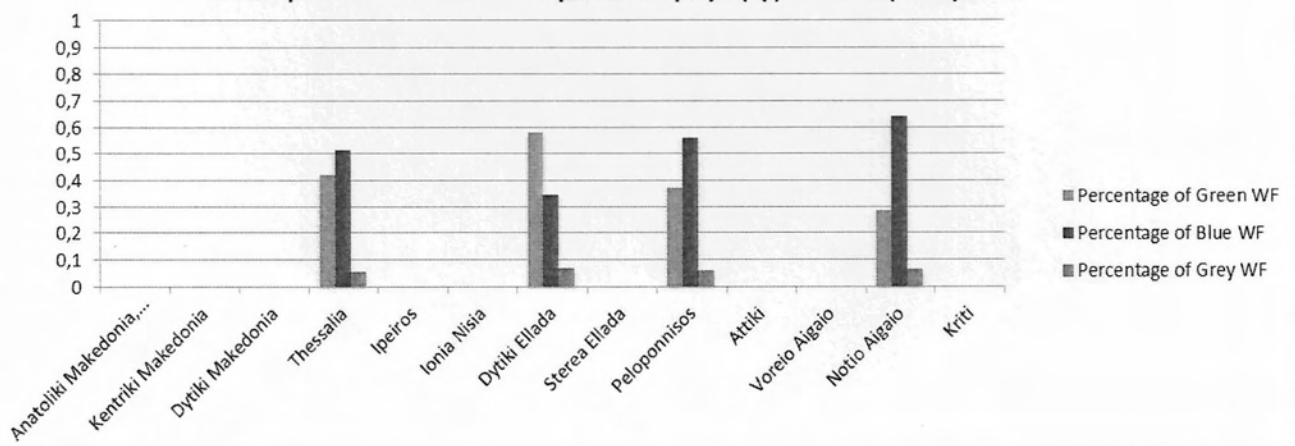
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Σουλτανίνα



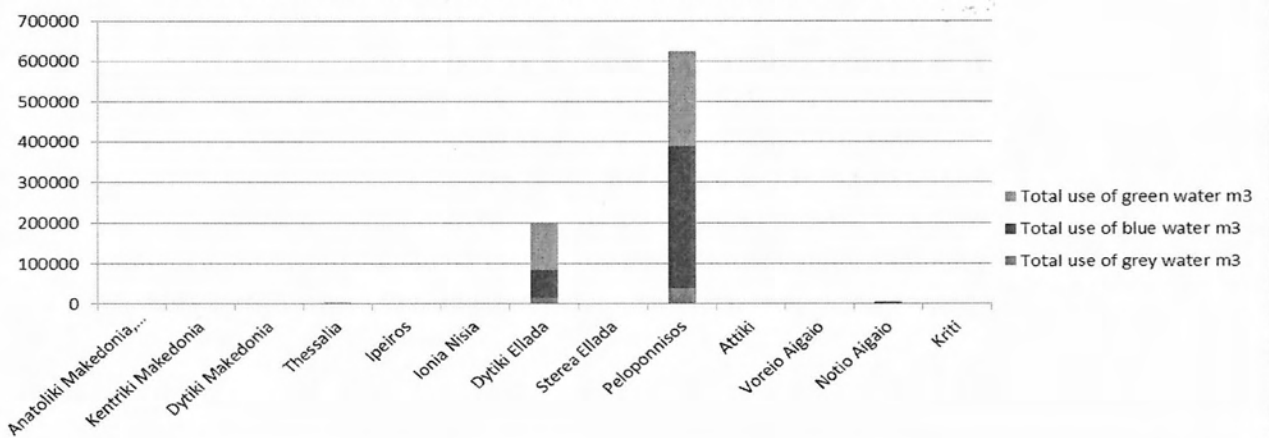
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Ασπρούδι



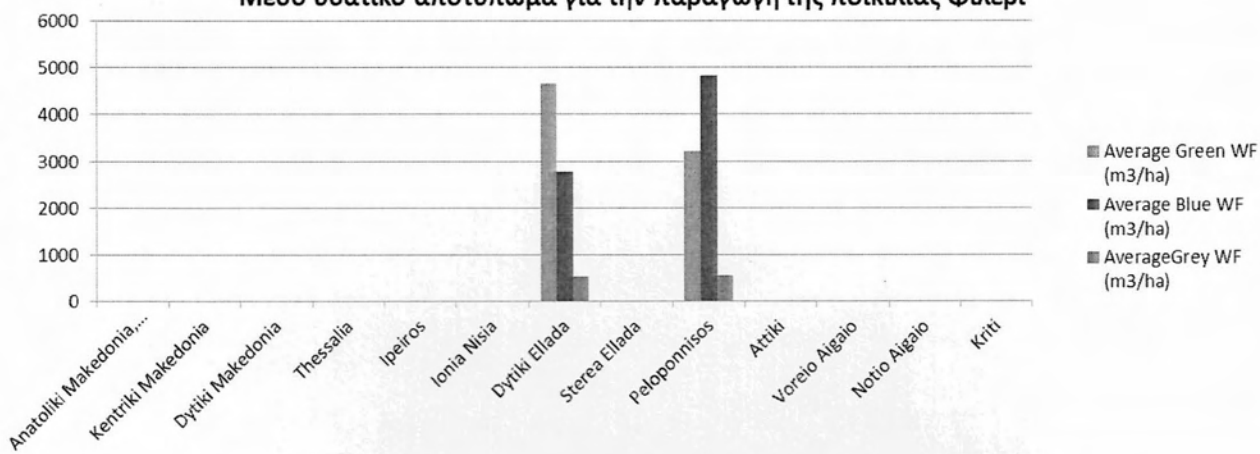
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Ασπρούδι



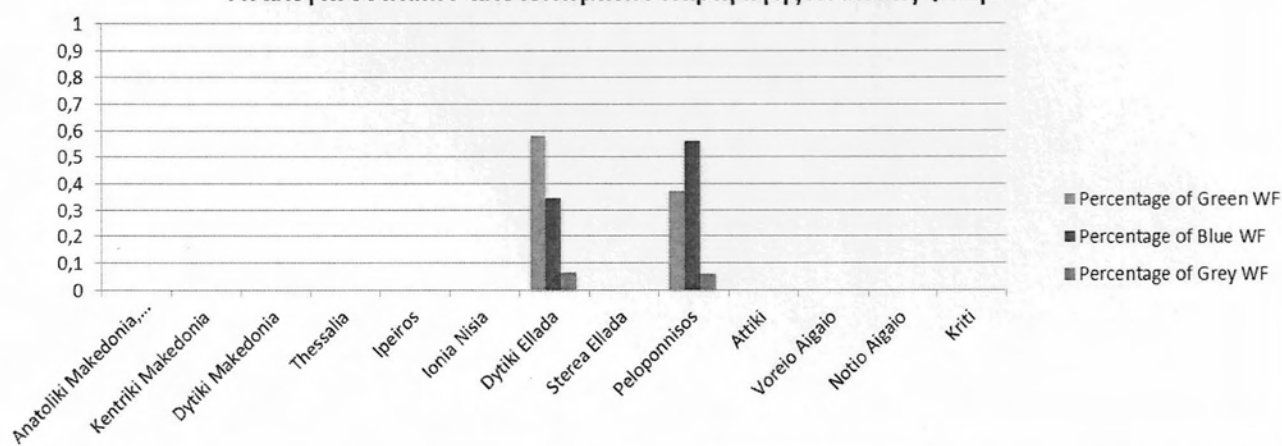
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Ασπρούδι



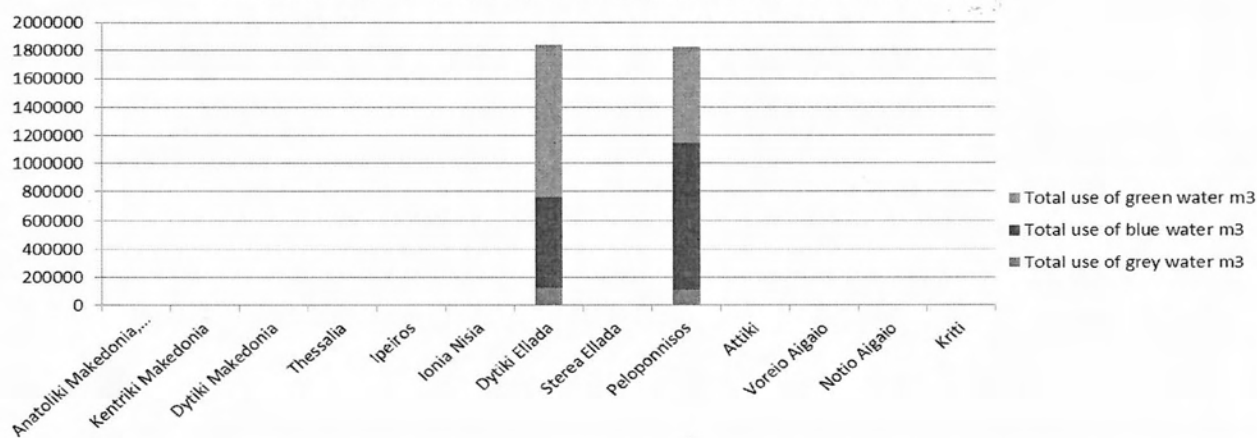
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Φιλέρι



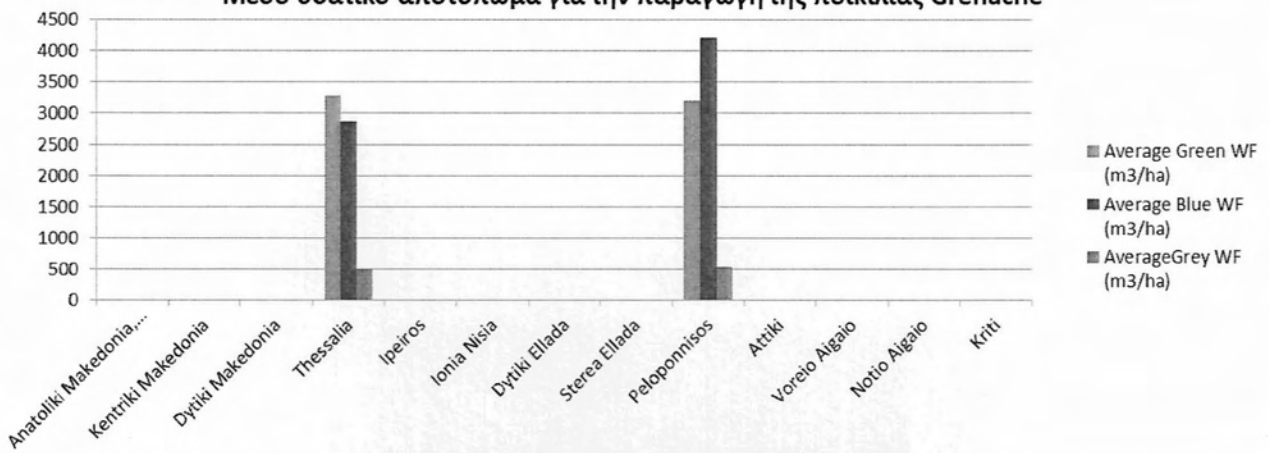
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Φιλέρι



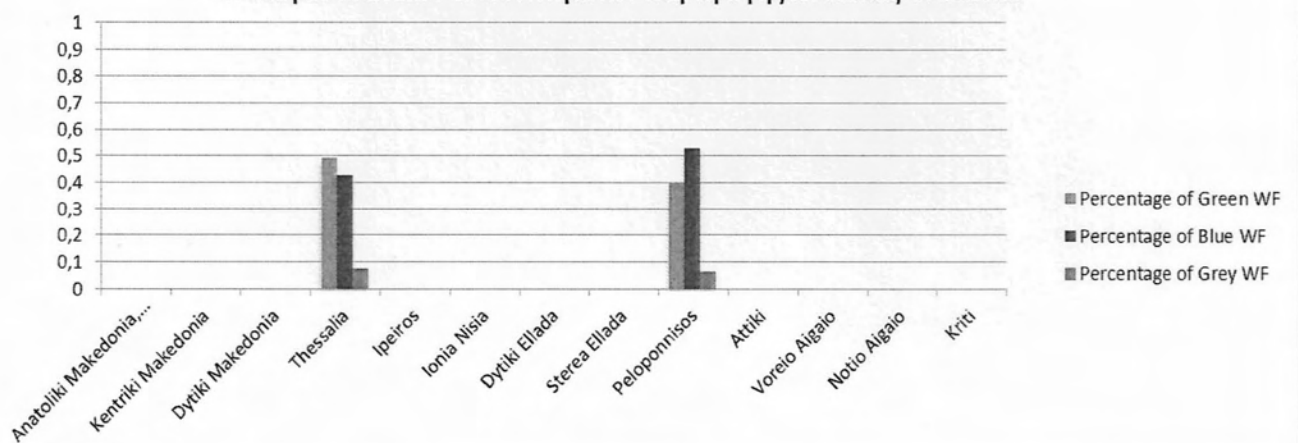
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Φιλέρι



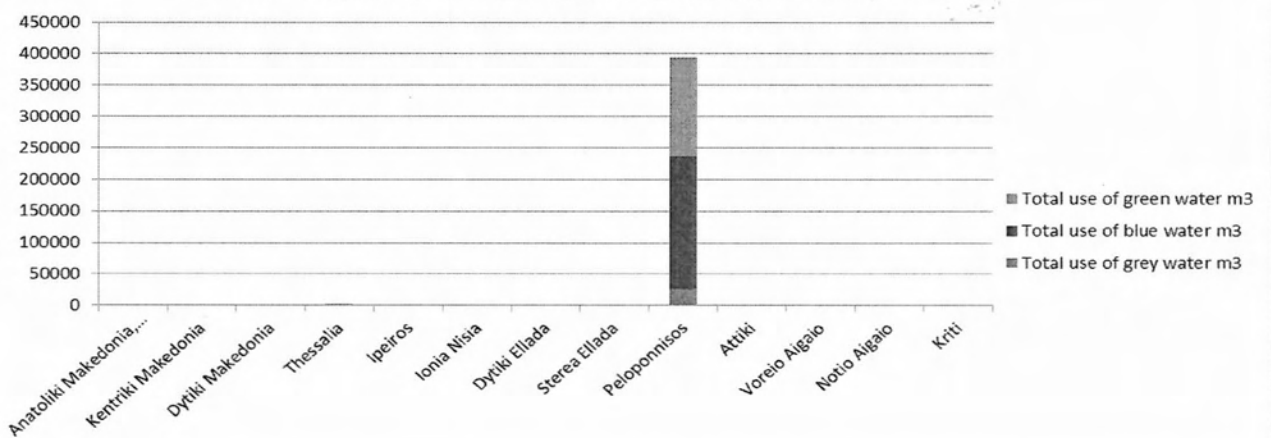
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Grenache



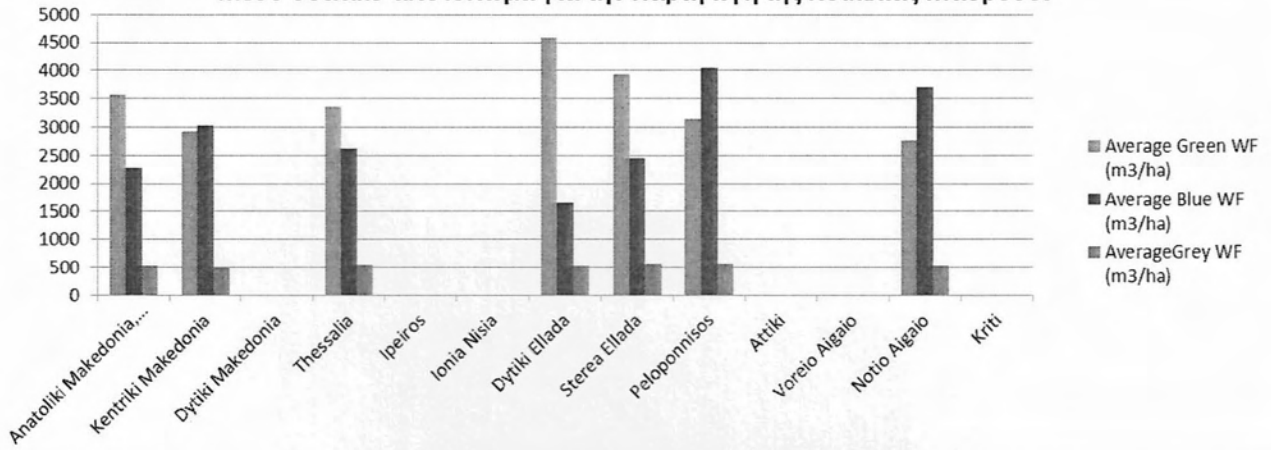
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Grenache



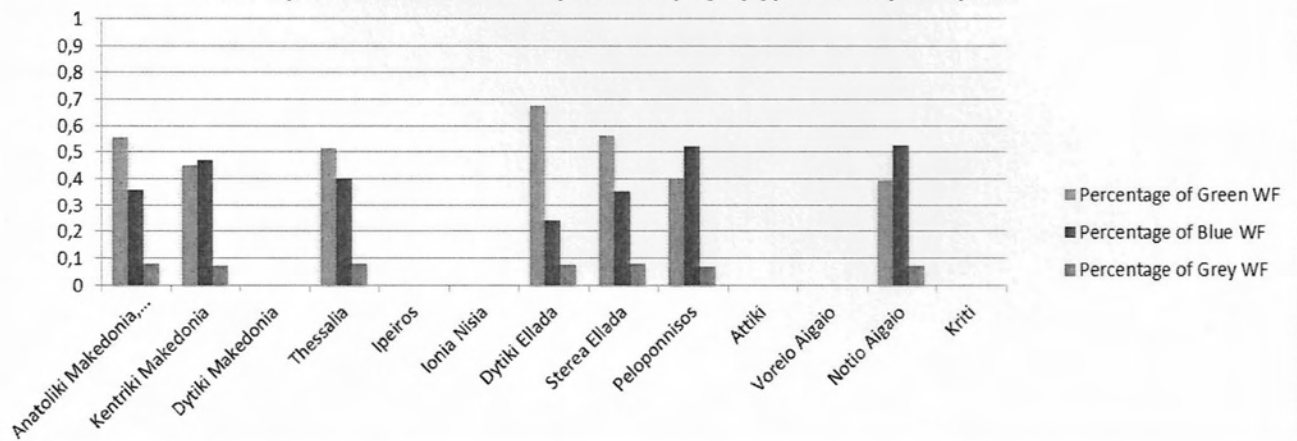
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Grenache



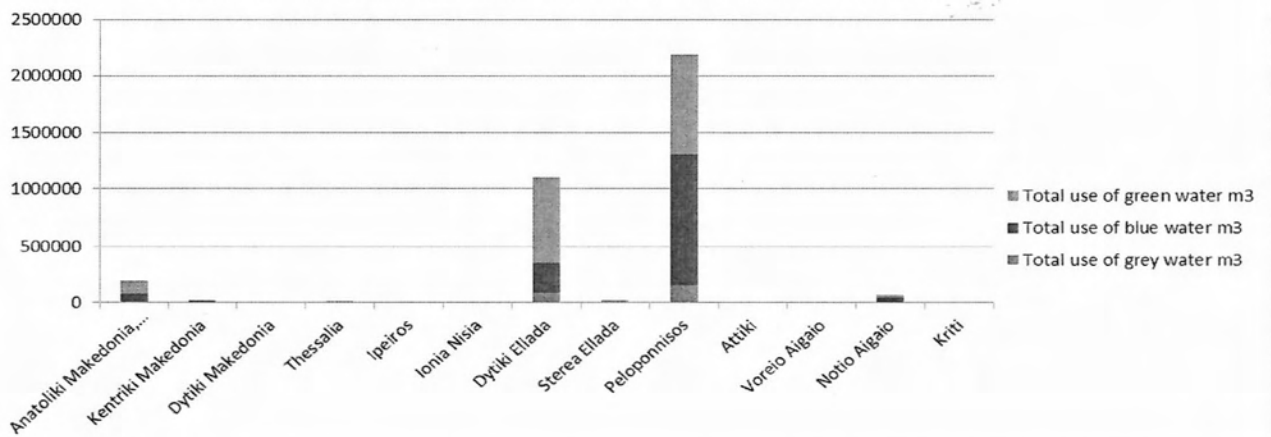
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μαυρούδι



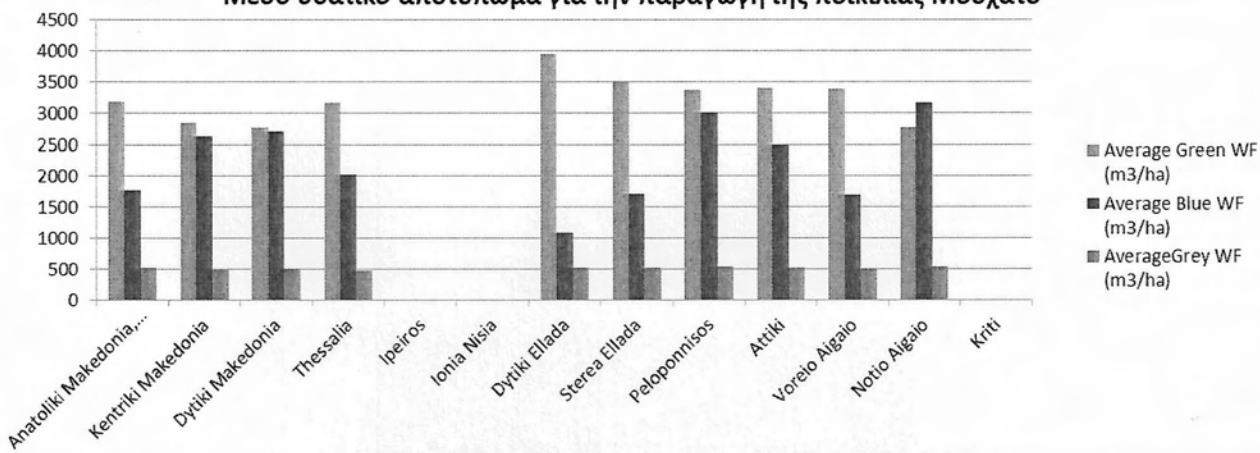
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μαυρούδι



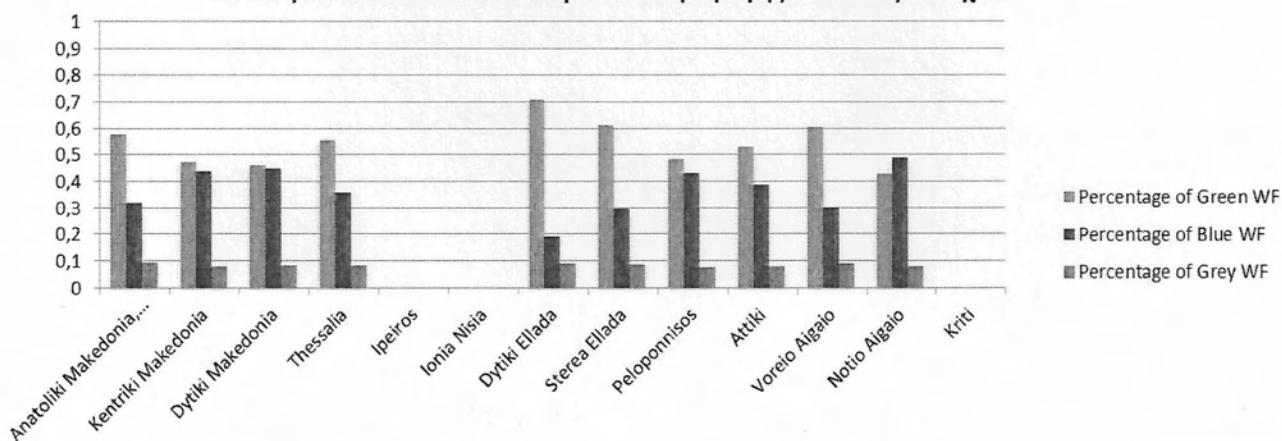
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μαυρούδι



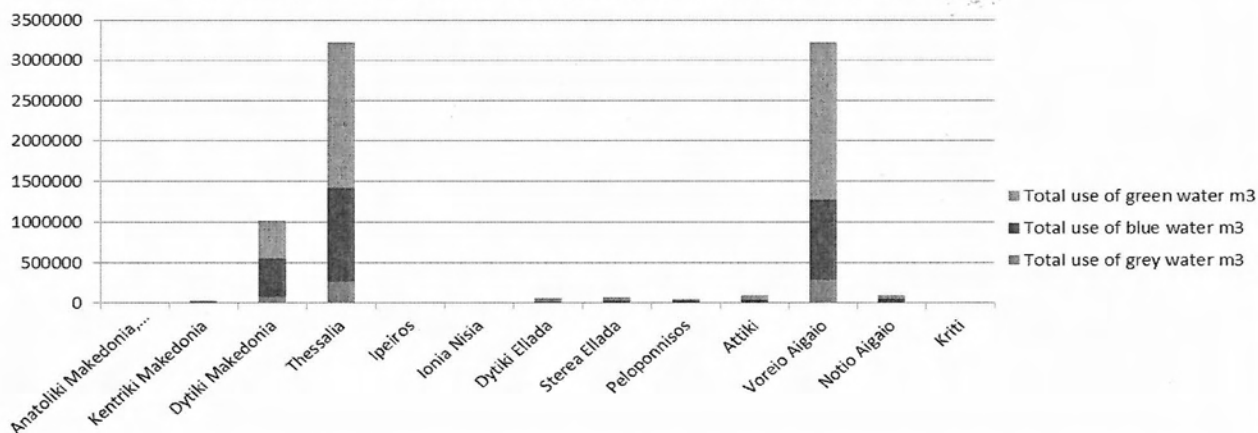
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο



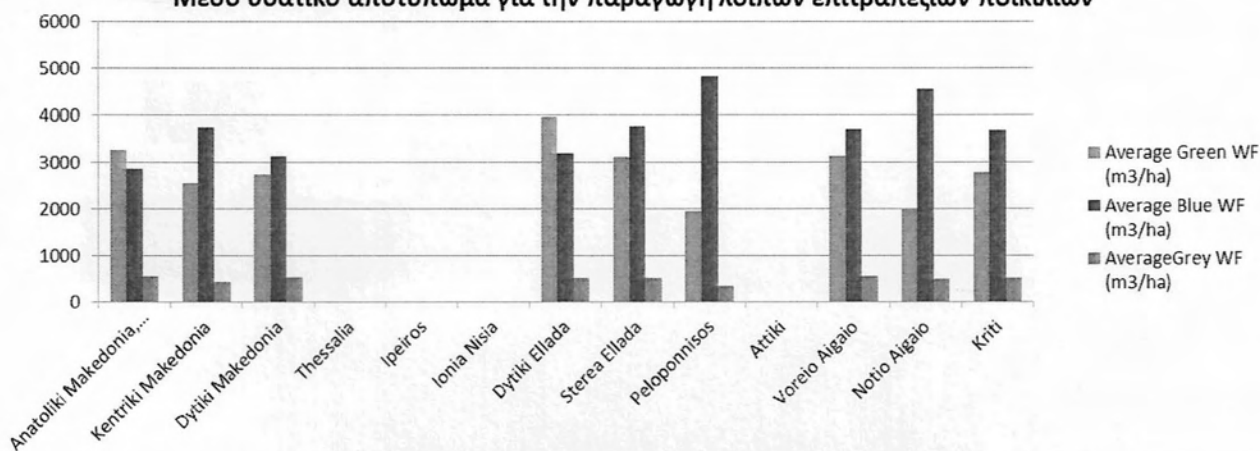
Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής ποικιλίας Μοσχάτο



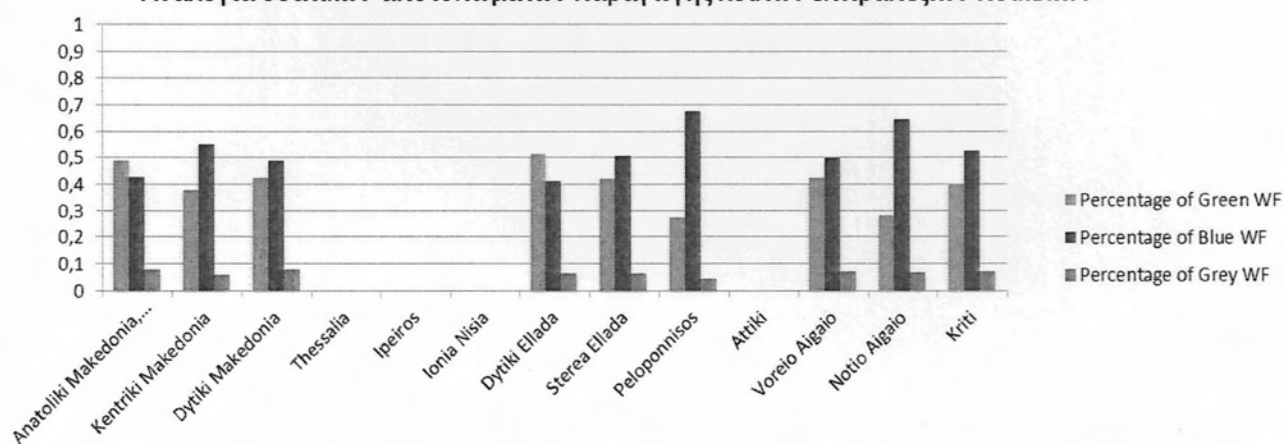
Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή της ποικιλίας Μοσχάτο



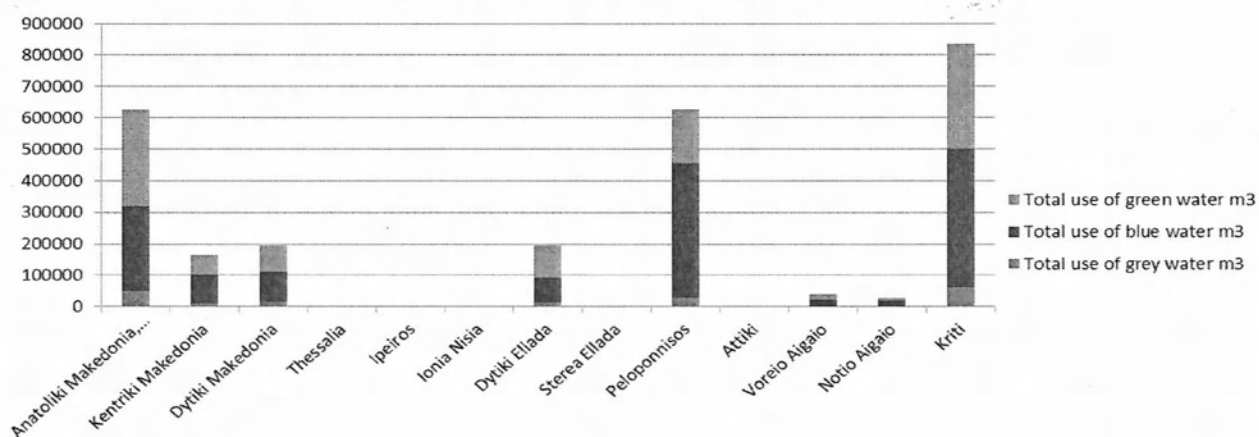
Μέσο υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή λοιπών επιτραπέζιων ποικιλιών



Αναλογία υδατικών αποτυπωμάτων παραγωγής λοιπών επιτραπέζιων ποικιλιών



Συνολική δέσμευση νερού για την παραγωγή λοιπών επιτραπέζιων ποικιλιών



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000125574

