



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΗΣ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Επιβλέπουσα: Παπαδοπούλου Μαρία

Επίκουρη καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το θέμα της παρούσας εργασίας μου ανατέθηκε από την Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. κ. Παπαδοπούλου Μαρία στα πλαίσια της εκπόνησης διπλωματικής εργασίας της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Χωρίς την βοήθεια και την υπομονή της η ολοκλήρωση της εργασίας δεν θα ήταν δυνατή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωσηφίδη Χρήστο (Ε.Δι.Π., Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σ.Α.Τ.Μ.) για την πολύτιμη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας καθώς και τον σενσέι και φίλο Μάρκο Γεωργιάδη.

Ολοκληρώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου για την υποστήριξη τους μέχρι σήμερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	13
ABSTRACT.....	15
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Γενικά.....	16
1.2 Η σημασία του νερού ως φυσικός πόρος	16
1.2.1 Οι υδατικοί πόροι στην Ελλάδα.....	17
1.2.2 Αειφορία και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων	19
1.3 Το Υδατικό Αποτύπωμα.....	20
1.3.1 Η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος.....	21
1.3.2 Οι συνιστώσες του Υδατικού Αποτυπώματος	21
1.4 Μεθοδολογίες υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος	24
1.4.1 Υπολογισμός του ΥΑ κατά Hoekstra και Charagain.....	24
1.4.2 Υπολογισμός του ΥΑ κατά Ridoutt και Pfister.....	25
1.4.3 Εμπειρική μεθοδολογία υπολογισμού του ΥΑ καλλιεργειών	26
1.5 Σκοπός διπλωματικής εργασίας.....	31
1.6 Διάρθρωση εργασίας	32
2. ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ.....	33
2.1 Η έννοια της τηλεπισκόπησης.....	33
2.2 Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση.....	33
2.2.1 Ψηφιακοί σαρωτές.....	33
2.2.2 Χαρακτηριστικά δεδομένων.....	34
2.2.3 Επεξεργασία δεδομένων.....	36
2.3 Η αναγκαιότητα της ψηφιακής τηλεπισκόπησης στις γεωεπιστήμες και στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος	38
2.4 Ψηφιακή τηλεπισκόπηση και Υδατικό Αποτύπωμα	39
2.4.1 Αρχική προσέγγιση	39
2.5 Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής	43

2.5.1 MOD 16.....	43
2.5.2 Επεξεργασία δεδομένων MOD16 σε περιβάλλον G.I.S.....	44
2.5.3 Παράδειγμα υπολογισμού πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και Υδατικού Αποτυπώματος καλλιεργειών στον Κάμπο Χανίων.....	45
2.6 Συμπεράσματα	50
3. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ – ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	51
3.1 Εισαγωγή	51
3.2 Κάμπος Χανίων	51
3.2.1. Περιγραφή περιοχής	51
3.2.2. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με τη μέθοδο Blaney - Criddle	52
3.2.3. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης	54
3.3 Δήμος Θεσσαλιώτιδας.....	56
3.3.1. Περιγραφή περιοχής	56
3.3.2. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με τη μέθοδο Blaney - Criddle	57
3.3.3. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης	59
3.4 Πεδιάδα Μεσσαράς	62
3.4.1. Περιγραφή περιοχής	62
3.4.2. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με τη μέθοδο Blaney - Criddle	65
3.4.3. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης	66
3.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	69
4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	71
4.1 Εισαγωγή	71
4.2 Περιγραφή της περιοχής	71
4.2.1 Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου.....	72
4.2.2 Υδατικό διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου	76
4.2.3 Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου.....	80
4.3 Γεωργική παραγωγή.....	86
4.4 Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών	91
4.4.1 Οριοθέτηση καλλιεργήσιμων εκτάσεων	92
4.4.2 Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής.....	93

4.4.3 Συνολικός όγκος νερού.....	96
4.5 Υδατικό Αποτύπωμα καλλιεργειών.....	97
4.6 Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	97
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
5.1 Γενικά συμπεράσματα.....	98
5.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης στον υπολογισμό του Υδατικού Αποτυπώματος.....	98
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1.1 Παγκόσμιος χάρτης εθνικών ΥΑ (m ³ /κατ/έτος). (Πηγή: Hoekstra & Charagai, 2007).....	23
Χάρτης 3.1. Κάμπος Χανίων. Η μπλε γραμμή οριοθετεί την άμεση περιοχή μελέτης ενώ με πράσινο χρώμα οριοθετείται η ευρύτερη περιοχή (Πηγή: Μανούσος κ.α., 2007).....	52
Χάρτης 3.2. Διαφορετικά όρια της υπο μελέτη περιοχής (με κόκκινο χρώμα ορίζεται η έκταση Α, με πορτοκαλί η έκταση Β και με κίτρινο η έκταση Γ).....	54
Χάρτης 3.3 Δήμος Θεσσαλιώτιδος. Βόρεια όρια Νομού Φθιώτιδας (Πηγή: Σχέδιο Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π., 2008).....	56
Χάρτης 3.4 Η περιοχή μελέτης όπως οριοθετήθηκε στο λογισμικό.....	60
Χάρτης 3.5 Πεδιάδα Μεσσαράς, Νότιο άκρο Νομού Ηρακλείου (Πηγή: Χάρτες Google)..	63
Χάρτης 3.6 Διαφορετικά όρια της υπο μελέτη περιοχής (με κόκκινο χρώμα ορίζεται η έκταση Α, με πορτοκαλί η έκταση Β).....	67
Χάρτης 4.1 Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας)	72
Χάρτης 4.2 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Αλφειού (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	74
Χάρτης 4.3 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	75
Χάρτης 4.4 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	78
Χάρτης 4.5 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ποταμών Πείρου – Βέργα – Πηνειού (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	79
Χάρτης 4.6 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ρεμάτων Κεφαλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	80
Χάρτης 4.7 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ οροπεδίου Τρίπολης (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	83
Χάρτης 4.8 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	84
Χάρτης 4.9 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ευρώτα (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Ετήσια ζήτηση νερού στην Ελλάδα ανά τομέα χρήσης και υδατικό διαμέρισμα (Πηγή: Σταθάτου, 2011).....	19
Πίνακας 1.2 Κατανάλωση νερού για τις κύριες γεωργικές χρήσεις στην Ελλάδα (Πηγή: Στάμου, 2010).....	23
Πίνακας 2.1. Δεδομένα ψηφιακής τηλεπισκόπησης που συμμετέχουν στην εξίσωση (2.1) Πηγή: Romaguera M., Hoekstra A.Y. κ.α. 2010.....	42
Πίνακας 2.2 Μέσες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής Κάμπου Χανίων για το έτος 2007.....	48
Πίνακας 2.3 Κατηγορίες καλλιεργειών, εκτάσεις και αποδόσεις στον κάμπο Χανίων (πηγή: Χαρχούση Δ., 2012).....	49
Πίνακας 3.1 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στον Κάμπο Χανίων για το έτος 2007.....	52
Πίνακας 3.2 Το Συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Κάμπο Χανίων...53	
Πίνακας 3.3 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή του 2007 για τις τρεις διαφορετικές εκτάσεις.....	55
Πίνακας 3.4 Συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής το 2007 (περιοχές Α,Β και Γ).....	55
Πίνακας 3.5 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Κάμπο Χανίων το 2007 υπολογισμένο με χρήση ψηφιακής τηλεπισκόπησης και οι αποκλίσεις από τη μέθοδο Blaney – Criddle.....	56
Πίνακας 3.6 Είδη καλλιεργειών, εκτάσεις και αποδόσεις στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος (Πηγή: Αλεξίου, 2012).....	57
Πίνακας 3.7 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για το έτος 2007.....	58
Πίνακας 3.8 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για το έτος 2008.....	58
Πίνακας 3.9 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για τα έτη 2007, 2008.....	59
Πίνακας 3.10 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή του Δήμου Θεσσαλιώτιδας για τα έτη 2007 και 2008.....	61

Πίνακας 3.11 Συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής στο Δήμο Θεσσαλιώτιδας το 2007 και 2008.....	62
Πίνακας 3.12 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για το 2007 και 2008 υπολογισμένο με χρήση ψηφιακής τηλεπισκόπησης και οι αποκλίσεις από τη μέθοδο Blaney – Criddle.....	62
Πίνακας 3.13 Υπαίθριες καλλιέργειες στην πεδιάδα Μεσσαράς. Έκταση, μέση απόδοση, συνολική παραγωγή και βλαστική περίοδος ανά καλλιέργεια (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.).....	64
Πίνακας 3.15 Υπό κάλυψη καλλιέργειες στην πεδιάδα Μεσσαράς. Έκταση, μέση απόδοση, συνολική παραγωγή και βλαστική περίοδος ανά καλλιέργεια (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.).....	64
Πίνακας 3.15 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στην πεδιάδα Μεσσαράς, Ηρακλείου για το έτος 2006.....	65
Πίνακας 3.16 Το συνολικό Υ.Α. των καλλιεργειών στην πεδιάδα της Μεσσαράς (Υπαίθριες και υπό κάλυψη καλλιέργειες) για το 2006.....	66
Πίνακας 3.17 Το συνολικό Υ.Α. των καλλιεργειών στην πεδιάδα της Μεσσαράς για το 2006.....	66
Πίνακας 3.18 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή του 2006 για τις δυο διαφορετικές εκτάσεις.....	68
Πίνακας 3.19 Συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής το 2006 (εκτάσεις Α και Β)	69
Πίνακας 3.20 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στη πεδιάδα Μεσσαράς το 2006 υπολογισμένο με χρήση ψηφιακής τηλεπισκόπησης και οι αποκλίσεις από τη μέθοδο Blaney – Criddle.....	69
Πίνακας 4.1 Παραγωγή σιτηρών για καρπό της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	86
Πίνακας 4.2 Παραγωγή βρώσιμων οσπρίων της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	87
Πίνακας 4.3 Παραγωγή κτηνοτροφικών οσπρίων της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	87
Πίνακας 4.4 Παραγωγή βιομηχανικών φυτών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	88
Πίνακας 4.5 Παραγωγή κτηνοτροφικών φυτών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	88
Πίνακας 4.6 Παραγωγή πεπονοειδών και πατάτας της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	89

Πίνακας 4.7 Παραγωγή λαχανικών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	89
Πίνακας 4.8 Παραγωγή αμπελιού και σταφίδας της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	90
Πίνακας 4.9 Παραγωγή δενδρώδους καλλιέργειας της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	90
Πίνακας 4.10 Συνολική παραγωγή καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006).....	91
Πίνακας 4.11 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006.....	95
Πίνακας 4.12 Καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανά Υδατικό Διαμέρισμα Πελοποννήσου (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).....	96
Πίνακας 4.13 Συνολικός όγκος νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής το 2004 και 2006.....	96
Πίνακας 4.14 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για το 2004 και 2006.....	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανάλωσης νερού ανά τομέα απασχόλησης (Πηγή: WWF Hellas, 2007).....	18
Εικόνα 1.2 Ποσοστιαία σύνθεση του ΥΑ της Ελλάδας (Πηγή: Στάμου, 2010).....	24
Εικόνα 2.1 Αρχή λειτουργίας δορυφορικού σαρωτή.....	34
Εικόνα 2.2 Εικόνα υψηλής ανάλυσης του δέκτη MODIS.....	35
Εικόνα 2.3 Εικόνα LANDSAT πριν και μετά την γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση..	37
Εικόνα 2.4 Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Sea Surface Temperature SST).....	37
Εικόνα 2.5 Ψηφιακές απεικονίσεις της συγκέντρωσης Νικελίου (Ni) σε δασική περιοχή της Βορειοδυτικής Φινλανδίας.....	38
Εικόνα 2.6 Διάγραμμα υπολογισμού του Υ. Α. καλλιέργειας.....	41
Εικόνα 2.7 Διάγραμμα δεδομένων του αλγόριθμου MOD 16 για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής καλλιιεργειών.....	43
Εικόνα 2.8 Παγκόσμιος χάρτης μέσης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής περιόδου 2000-2006.....	44
Εικόνα 2.9 Χάρτης του Νομού Χανίων στο ArcMap (σύστημα αναφοράς WGS 84).....	45
Εικόνα 2.10 Εισαγωγή εικόνας του MODIS στο ArcMap.....	46
Εικόνα 2.11 Χάρτης συνολικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής Νομού Χανίων τον Ιανουάριο του 2007.....	46
Εικόνα 2.12 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Κάμπου Χανίων τον Ιανουάριο του 2007.....	47
Εικόνα 2.13 Στατιστικά στοιχεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Κάμπου Χανίων για τον Ιανουάριο του 2007.....	48
Εικόνα 3.1 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Δήμου Θεσσαλιώτιδας για τον Αύγουστο του 2007.....	60
Εικόνα 3.2 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Δήμου Θεσσαλιώτιδας για τον Αύγουστο του 2008.....	61
Εικόνα 3.3 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της πεδιάδας της Μεσσαράς για τον Δεκέμβρη του 2006 (έκταση Α).....	67

Εικόνα 3.4 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της πεδιάδας της Μεσσαράς για τον Δεκέμβρη του 2006 (έκταση Β).....	68
Εικόνα 4.1 Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου. Λεκάνες απορροής GR29 και GR32 (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	73
Εικόνα 4.2 Υδατικό διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου. Λεκάνες απορροής GR28, GR27 και GR45 (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	76
Εικόνα 4.3 Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου. Λεκάνες απορροής GR30 GR31 και GR33 (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων).....	81
Εικόνα 4.4 Ψηφιοποίηση ορίων καλλιεργησίμων εκτάσεων στο ArcMap.....	92
Εικόνα 4.5 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2004.....	93
Εικόνα 4.6 Στατιστικά στοιχεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2004.....	94
Εικόνα 4.7 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2006.....	94
Εικόνα 4.8 Στατιστικά στοιχεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2006.....	95

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ραγδαία ανάπτυξη του παγκόσμιου πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τις έντονες κλιματικές αλλαγές εντείνουν την ανησυχία για αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και την εξάντληση των διαθέσιμων φυσικών πόρων. Το γλυκό νερό είναι ένας από τους φυσικούς πόρους που αντιμετωπίζουν το σοβαρότερο πρόβλημα αφού η λειψυδρία απειλεί όλο και περισσότερες περιοχές του πλανήτη. Η επιτακτική ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των αποθεμάτων γλυκού νερού οδήγησε στην έμπνευση της έννοιας του Υδατικού Αποτυπώματος.

Το Υδατικό Αποτύπωμα (Water Footprint) είναι ένας δείκτης κατανάλωσης γλυκού νερού που εισήχθη το 2002 από τον Α.Υ. Hoekstra και ορίζεται ως ο όγκος του νερού που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός αγαθού ή υπηρεσίας. Στην περίπτωση των καλλιεργειών ισούται με τον όγκο του γλυκού νερού που καταναλώνεται για την παραγωγή ενός τόνου γεωργικού προϊόντος από τη στιγμή της σποράς έως τη συγκομιδή. Το ΥΑ μιας καλλιέργειας αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

- α. Τη μπλε συνιστώσα, η οποία εκφράζει την κατανάλωση αρδευτικού νερού.
- β. Την πράσινη η οποία ισούται με την κατανάλωση πράσινων υδατικών πόρων, δηλαδή της βροχόπτωσης και των κατακρημνισμάτων.
- γ. Τη γκρι συνιστώσα που εκφράζει τον όγκο του νερού που απαιτείται για τη διάλυση του ρυπαντικού φορτίου ώστε οι συγκεντρώσεις των ρύπων που καταλήγουν στον υδάτινο αποδέκτη να μην υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια.

Ο υπολογισμός του συνολικού ΥΑ μιας καλλιέργειας, κατά Hoekstra & Charagain, βασίζεται κυρίως σε στατιστικά στοιχεία αλλά και «*in situ*» μετρήσεις ενώ η διάκριση των υδατικών χρήσεων (μπλε και πράσινης συνιστώσας) είναι ιδιαίτερα δύσκολη με αποτέλεσμα να εισάγει μεγάλη αβεβαιότητα στο τελικό αποτέλεσμα.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας επιχειρήθηκε η εκτίμηση του ΥΑ καλλιεργειών με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης. Οι βασικές παράμετροι που εμπλέκονται στον υπολογισμό είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, οι επιφανειακές απορροές, η βροχόπτωση, ο όγκος του αρδευτικού νερού και η αποθηκευτικότητα του εδάφους. Ωστόσο η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στα επόμενα κεφάλαια βασίζεται στην παραδοχή ότι η συνολική ποσότητα του νερού που καταναλώνεται κατά τη διαδικασία ανάπτυξης μιας καλλιέργειας (μπλε και πράσινη συνιστώσα) απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω της διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής, θεωρώντας την αποθηκευτικότητα του εδάφους και τις επιφανειακές απορροές αμελητέες. Οι τιμές της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών αντλούνται μέσω του δορυφορικού δέκτη MODIS (προϊόν MOD16) και σε συνδυασμό με στατιστικά στοιχεία της γεωργικής παραγωγής υπολογίζεται συνολικό ΥΑ της καλλιέργειας.

Η μέθοδος εφαρμόστηκε για τρεις περιοχές του Ελλαδικού χώρου των οποίων το ΥΑ έχει υπολογισθεί σε προηγούμενες μελέτες με τη μέθοδο των Hoekstra και Charagain. Τα

αποτελέσματα συγκρίνονται και η μέθοδος αξιολογείται. Στη συνέχεια η μέθοδος εφαρμόζεται για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου.

Η χρήση της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης στην εκτίμηση του ΥΑ μπορεί να προσφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα με μεγάλη ταχύτητα χωρίς τους περιορισμούς των υπαρχόντων μεθόδων. Ωστόσο βασικότερο μειονέκτημα είναι η αδυναμία διάκρισης μπλε και πράσινης συνιστώσας αφού το ΥΑ υπολογίζεται συνολικά. Ακόμα το μοντέλο υπολογισμού προσαρμόζεται με επιτυχία στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας αλλά δεν μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα για περιοχές με έντονες επιφανειακές απορροές και εδάφη με υψηλή αποθηκευτικότητα.

ABSTRACT

The rapid growth of global population combined with severe climate change of the last decades intensifies concern about preservation of natural resources. Freshwater is among the resources facing serious problem of over-exploitation. The imperative need for rational management of water resources inspired the concept of Water Footprint (WF).

The concept of Water Footprint was launched by A. U. Hoekstra in 2002 and is defined as the volume of water consumed to produce goods or services consumed by each individual or community. In case of crops, WF is defined as the volume of water consumed for their production. The WF of a crop consists of three components:

- a. Blue WF which stands for irrigation water
- b. Green WF which stands for rain
- c. Grey WF which is defined as the volume of water that is required to dilute pollutants to such an extent that the quality of the water remains at or above agreed water quality standards

The calculation of WF by Hoekstra and Chapagain is primarily based on statistics and 'in situ' measurements as well. However, the difficulty of distinction between green and blue components imports significant uncertainty to the method.

In this study, estimating WF of crops is attempted using Remote Sensing data. Evapotranspiration, irrigation, precipitation, water storage and run off are identified as key variables to potentially be estimated by Remote Sensing and used for WF assessment. However, the proposed method is based on the acceptance that the total volume of freshwater consumed for the crop production released into the atmosphere through evapotranspiration process, assuming water storage and run off are negligible. The total amount of crop evapotranspiration is obtained from MODIS (MOD16 product) and combined with statistics about yield crop the total WF is estimated.

This method has been applied in three different areas of Greece, in which the WF of crops was estimated in previous studies with the method of Hoekstra and Chapagain. The results have been compared and the method was evaluated. In the end of the study, the method was applied for the estimation of the WF of crops in the entire prefecture of Peloponnese.

Remote Sensing has been proved an important tool in the estimation of the WF, which can provide with quick and reliable results without the limitations of the traditional methods. However, the main disadvantage is the inability of estimating the green and blue component separately. In addition, this particular method adjusts successfully to the climatic characteristics of Greece but fails in regions with high levels of water storage and run off.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το νερό είναι η περισσότερο διαδεδομένη χημική ένωση (H_2O) που απαντάται στη Γη. Βρίσκεται τόσο στο έδαφος, στο υπέδαφος αλλά και στην επιφάνεια της Γης, καλύπτοντας το 70,9% του πλανήτη (Comins, 2001). Πιο συγκεκριμένα, το 96,5% του νερού της Γης βρίσκεται στους ωκεανούς (και τις θάλασσες), το 1,7% στα υπόλοιπα επιφανειακά νερά (λίμνες, ποτάμια, έλη, κ.τ.λ.), το 1,7% στα παγοκαλύμματα της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας και το 0,001% ως υγρασία στην ατμόσφαιρα και στα σύννεφα.

Ακόμα είναι απαραίτητο σε όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη. Οι άνθρωποι και τα ζώα έχουν στο σώμα τους 55-78% νερό (κατά βάρος), ενώ φθάνει μέχρι και το 90% εκείνου των κυττάρων.

Το νερό στη Γη κινείται συνεχόμενα μέσω του «κύκλου του νερού» (μια φυσική ανακύκλωση) που περιλαμβάνει την εξάτμιση (κυρίως των θαλασσών), τη μεταφορά της υγρασίας, τη συμπύκνωση, την κατακρήμνιση (με τη μορφή βροχής, χιονιού, χαλαζιού) και την αποστράγγιση ή απορροή με την οποία το μεγαλύτερο ποσοστό επιστρέφει στις θάλασσες. Η εξάτμιση και η μεταφορά υγρασίας συνεισφέρουν στις κατακρημνίσεις πάνω από την ξηρά.

1.2 Η σημασία του νερού ως φυσικός πόρος

Η αναγκαιότητα του νερού στην επιβίωση και την εξέλιξη του ανθρώπου το καθιστά ίσως τον σημαντικότερο από τους *φυσικούς πόρους* (κάθε υλικό, αντικείμενο καθώς και οποιαδήποτε μορφή ενέργεια που βρίσκεται στη φύση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για την εκτέλεση κάθε λειτουργίας. Κασσιός, 2007). Ωστόσο παρά τη φαινομενική αφθονία του στην πραγματικότητα είναι πολύ περιορισμένο.

Μόνο το 2,5% του νερού της Γης είναι «γλυκό» και το 98,8% του πόσιμου νερού βρίσκεται στα παγοκαλύμματα και στα υπόγεια ύδατα. Λιγότερο από 0,3% του γλυκού νερού της Γης βρίσκεται σε ποτάμια, λίμνες και στην ατμόσφαιρα και ακόμη μικρότερο ποσοστό (0,003%) περιέχεται στα σώματα των βιολογικών όντων και σε ανθρώπινης παραγωγής προϊόντα. Τελικά, το νερό που είναι πραγματικά διαθέσιμο στον άνθρωπο είναι ελάχιστο (μόλις 1%). Ως φυσικό επακόλουθο, η λειψυδρία αποτελεί σημαντικό κοινωνικό και οικονομικό πρόβλημα για πολλές χώρες.

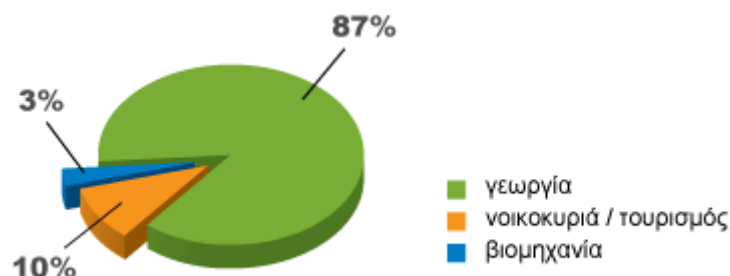
Στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου η έλλειψη νερού οδηγεί ήδη σε κλιμακούμενες συγκρούσεις ανάμεσα στις διάφορες χρήσεις του, ενώ το 35% των κατοίκων της Μεσογείου αντιμετωπίζουν ήδη πρόβλημα έλλειψης ή ανεπάρκειας νερού. Τα φαινόμενα ξηρασίας, όσο και αν είναι αναμενόμενα στη λεκάνη της Μεσογείου, εντείνονται σε διάρκεια και συχνότητα και είναι χαρακτηριστικό ότι σε ευρωπαϊκό επίπεδο οι ετήσιες οικονομικές απώλειες λόγω ξηρασίας φτάνουν τα 5,3 δις €. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, το 2003 με μεγάλη ξηρασία στη δυτική Ευρώπη οι οικονομικές απώλειες έφτασαν τα 7,5 δις € (Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή, 2007). Σε διεθνές επίπεδο η κατάσταση είναι περισσότερο ανησυχητική. Σύμφωνα με την έρευνα της UNESCO που πραγματοποιήθηκε το 2003 για τα παγκόσμια αποθέματα νερού, ο ένας στους έξι ανθρώπους (1,1 δις) δεν έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό ενώ υπολογίζεται ότι στα επόμενα 20 χρόνια η ποσότητα του νερού που αναλογεί στον καθένα προβλέπεται να μειωθεί κατά 30%.

1.2.1 Οι υδατικοί πόροι στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει έκταση 131.957 km² με έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Το πολυσχιδές ανάγλυφο της δημιουργεί το πλαίσιο για την εμφάνιση πυκνού δικτύου επιφανειακής απορροής, με υδρογραφικά δίκτυα μεγάλης πυκνότητας (γενικά) και τελικό αποδέκτη μια σειρά από μεγάλα (για τα δεδομένα της Ελλάδος) ποτάμια, που αποστραγγίζουν τα επιφανειακά και, εν μέρει, τα υπόγεια νερά, στο βαθμό στον οποίο νερά πηγαιών εκφορτίσεων προστίθενται στην επιφανειακή απορροή. Αλλά και η υπόγεια υδροφορία στον ελλαδικό χώρο παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, δεδομένου ότι μεγάλο μέρος της χώρας καλύπτεται από πετρώματα υδροπερατά, που δέχονται το νερό της πρωτογενούς ή δευτερογενούς κατείσδυσης και διαμορφώνουν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011). Η μέση ετήσια βροχόπτωση φτάνει τα 700mm/χρόνο, μεγαλύτερη από ότι στην Ισπανία (636 mm/έτος) ή την Κύπρο (498mm/έτος) (WWF Ελλάς, 2007). Το νούμερο αυτό κρύβει, ωστόσο, τις μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται τοπικά, καθώς το κύριο χαρακτηριστικό των υδάτινων πόρων στην Ελλάδα είναι η άνιση κατανομή τους στο χώρο και το χρόνο. Το έντονο ανάγλυφο, οι πολλές και σχετικά μικρές λεκάνες απορροής, η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση του πληθυσμού και των κυριότερων δραστηριοτήτων (μεγάλες πόλεις, γεωργία, τουρισμός) στα ξηρότερα μέρη της χώρας, προκαλούν τελικά προβλήματα διαθεσιμότητας και κάνουν δύσκολη τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι το 20% των επιφανειακών νερών της χώρας είναι εισαγόμενο, αφού τα μεγαλύτερα ποτάμια φτάνουν στην Ελλάδα από γειτονικές χώρες.

Όσον αφορά τις χρήσεις του νερού στη χώρα μας, η γεωργία καταναλώνει το 87%, τα νοικοκυριά (αστική χρήση) και ο τουρισμός το 10% και η βιομηχανία το 3%. Οι υψηλές αρδευτικές ανάγκες, ο τουρισμός που αυξάνεται την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο, και οι οικιακές ανάγκες ασκούν σημαντική πίεση στα αποθέματα γλυκού νερού.

Στην εικόνα 1.1 είναι ξεκάθαρο ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού στην Ελλάδα καταναλώνεται από τη γεωργία και η χώρα κατατάσσεται στην πρώτη θέση μεταξύ των χωρών της Ευρώπης στην κατανάλωση νερού για τη συγκεκριμένη δραστηριότητα (Κουτσογιάννης, 2007). Ωστόσο αυτό οφείλεται κυρίως στα ιδιαίτερα κλιματολογικά χαρακτηριστικά του Ελλαδικού χώρου και αποτελεί μόνιμη και αναπόφευκτη διάσταση της διαχείρισης των εγχώριων υδατικών πόρων. Σήμερα, η Ελλάδα διαθέτει εκτεταμένα αρδευτικά δίκτυα σε μεγάλες και μικρές πεδιάδες με συνολική έκταση αναλογικά μεγαλύτερη από κάθε άλλη ευρωπαϊκή χώρα. Ωστόσο, παραμένουν ακόμη πολλές εκτάσεις χωρίς αρδευτική υποδομή, για τις οποίες έχουν γίνει μελέτες ή προχωρεί η κατασκευή έργων, αλλά με σχετικά αργούς ρυθμούς.



Εικόνα 1.1 Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανάλωσης νερού ανά τομέα απασχόλησης (Πηγή: WWF Hellas, 2007)

Στενή σχέση με τη διαθέσιμη ποσότητα νερού έχει και η ποιότητα, η οποία είναι το αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης φυσικών συνθηκών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Αν και η Ελλάδα είχε γενικά νερά καλής ποιότητας, οι μακροχρόνιες - χωρίς προγραμματισμό και έλεγχο - ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως των τελευταίων χρόνων, έχουν αρχίσει να κάνουν εμφανή την υποβάθμιση, τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδατικών πόρων.

Για τους υδατικούς πόρους της χώρας επισημαίνεται ότι η διαθέσιμη ποσότητα νερού συνεχώς ελαττώνεται, έτσι σημαντικές περιοχές είναι ή τείνουν να γίνουν ελλειμματικές σε νερό, ενώ οι σοβαρότερες συλλογικές ανάγκες καλύπτονται πια από έργα μεταφοράς, με σημαντικά αυξημένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας. Η ποιοτική τους κατάσταση δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα οξυμένα προβλήματα, εκτός από μεμονωμένες περιοχές και παράκτιες ζώνες. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί ότι, η απαίτηση για αναβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων που διαμορφώνεται σε ευρωπαϊκό επίπεδο, δεν επιτρέπει εφησυχασμό και επιτάσσει την αναθεώρηση των μέχρι τώρα αξιολογήσεων. Σημαντική αιτία ρύπανσης αποτελούν οι γεωργικές δραστηριότητες, πηγές μη σημειακές και γι' αυτό με δύσκολη αντιμετώπιση (ΥΠΑΝ, 2003). Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η ζήτηση νερού ανά τομέα χρήσης για κάθε υδατικό διαμέρισμα της Ελλάδας σε ετήσια βάση.

Κ.Α.	Υδατικά διαμερίσματα	Άρδευση	Κτηνοτροφία	Ύδρευση	Βιομηχανία	Λοιπές*	Σύνολο
01	Δυτικής Πελοποννήσου	201,0	5,0	23,0	3,0	20,0	252,0
02	Βόρειας Πελοποννήσου	401,5	6,6	41,7	3,0		452,8
03	Ανατολικής Πελοποννήσου	324,9	4,7	22,1			351,7
04	Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	366,5	9,0	22,4			397,9
05	Ηπείρου	153,5	10,3	33,9	4,3		202,0
06	Αττικής	99,0	2,5	420,0	17,5		539,0
07	Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	773,7	9,9	41,6	12,6		837,8
08	Θεσσαλίας	1 550,0	13,0	69,0			1 632,0
09	Δυτικής Μακεδονίας	609,4	7,9	43,7	30,0	80,0	771,0
10	Κεντρικής Μακεδονίας	527,6	8,0	99,8	80,0		715,4
11	Ανατολικής Μακεδονίας	627,0	5,8	32,0			664,8
12	Θράκης	825,2	7,1	27,9	11,0		871,2
13	Κρήτης	320,0	10,2	42,3			372,5
14	Νήσων Αιγαίου	80,2	6,8	37,2			124,2
	Σύνολο χώρας	6 859,5	106,8	956,6	161,4	100,0	8 184,3

Μεγέθη σε hm³

* Νερό ψύξης από ΑΗΣ.

Πίνακας 1.1 Ετήσια ζήτηση νερού στην Ελλάδα ανά τομέα χρήσης και υδατικό διαμέρισμα (Πηγή: Σταθάτου, 2011)

1.2.2 Αειφορία και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων

Αειφόρος ανάπτυξη ή βιώσιμη ανάπτυξη (και σπανιότερα πράσινη ανάπτυξη) αποτελούν έννοιες χωρίς κοινά αποδεκτό ορισμό παρά το γεγονός ότι απαντώνται σε κάθε πρόγραμμα στρατηγικού σχεδιασμού και γενικότερα σε οτιδήποτε αφορά το περιβάλλον και τη διατήρησή του. Ενδεικτικοί ορισμοί των εννοιών αυτών είναι οι παρακάτω:

Βιώσιμη ανάπτυξη είναι η βελτίωση της ποιότητας της ζωής μέσα στα πλαίσια της φέρουσας ικανότητας των υποστηρικτικών οικοσυστημάτων (IUCN, UNEP και WWF, 1991).

Βιώσιμη ανάπτυξη σημαίνει να βασίζονται οι αναπτυξιακές και περιβαλλοντικές πολιτικές σε μία ανάλυση κόστους-οφέλους και σε μία προσεκτική οικονομική ανάλυση που θα ενδυναμώνει την περιβαλλοντική προστασία και θα οδηγεί σε αυξανόμενα και διατηρήσιμα επίπεδα ευημερίας (World Bank, 1992).

Αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που έχει στόχο την ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, με τρόπο ώστε να καλύπτονται οι ανθρώπινες ανάγκες του παρόντος χωρίς να υπονομεύεται η κάλυψη των αναγκών του μέλλοντος (Ανδρεαδάκης κ.ά., 2003).

Επομένως η έννοια της αειφόρου ανάπτυξης εκφράζεται μέσα από τρεις συνιστώσες. Την οικονομική, την κοινωνική και την περιβαλλοντική οι οποίες απαιτούν ισόρροπη πολιτική και επιστημονική εκτίμηση.

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης και η σημασία που της αποδίδεται σήμερα διαμορφώθηκε μόλις τις τελευταίες δεκαετίες του 20ου αιώνα. Προέκυψε από μία στροφή στην αντίληψη των πραγμάτων, η οποία αρχικά εκφράστηκε ως ανησυχία για τα περιβαλλοντικά προβλήματα (και τις επιπτώσεις που έχει η υποβάθμιση του περιβάλλοντος στην υγεία και στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων, αλλά και στην οικονομική ανάπτυξη) και ως συνειδητοποίηση ότι οι φυσικοί πόροι έπρεπε να διατηρηθούν και για τις επόμενες γενεές. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 και η οικονομική ύφεση της δεκαετίας του '70 δημιούργησαν στην ουσία τις πρώτες σοβαρές αμφιβολίες για δυνατότητα των οικονομιών να μεγεθύνονται απεριόριστα και ανέδειξαν το πρόβλημα της υπερεκμετάλλευσης των φυσικών πόρων. Το νερό είναι ένας από τους φυσικούς πόρους που αντιμετωπίζουν σοβαρό πρόβλημα αφού η λειψυδρία απειλεί όλο και περισσότερες περιοχές του πλανήτη.

Σύμφωνα με τον Τσακίρη (1995) ως **Διαχείριση Υδατικών Πόρων** νοείται μια δυναμική διαδικασία που αποβλέπει στη πληρέστερη δυνατή κάλυψη των σημερινών και μελλοντικών αναγκών σε νερό για κάθε χρήση, με βάση έναν συνετό προγραμματισμό που στηρίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια και διαδικασίες. Επιγραμματικά οι βασικοί κανόνες διαχείρισης είναι οι εξής:

- η ισομερής κατανομή μεταξύ χρηστών με βάση αντικειμενικά κριτήρια
- η οικονομική βελτιστοποίηση της χρήσης του νερού τώρα και στο μέλλον
- η αποφυγή βλαβών και άλλων καταστροφικών συνεπειών
- η βιωσιμότητα της ανάπτυξης

Η αειφόρος διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί πλέον προτεραιότητα στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Η επιστημονική κοινότητα που ασχολείται με τους υδατικούς πόρους στηρίζεται σε μια διεπιστημονική βάση προκειμένου να εντοπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση και ανανεωσιμότητα του νερού. Η προσπάθεια για κατανόηση του κύκλου του νερού οδήγησε στον δείκτη του **υδατικού αποτυπώματος**.

1.3 Το Υδατικό Αποτύπωμα

Η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος (Water Footprint) εισήχθη στην επιστημονική κοινότητα το 2002 από τον Α.Υ. Hoekstra, στο Διεθνές Συνέδριο Επιστημόνων σχετικά με το Εμπόριο Εικονικού Νερού, που έλαβε χώρα στο πανεπιστήμιο του Ντελφ, στην Ολλανδία. Ουσιαστικά αποτελεί την πρώτη προσπάθεια για την δημιουργία ενός δείκτη συνολικής

κατανάλωσης γλυκού νερού από έναν οργανισμό ή μια διεργασία σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του καθώς και την πηγή από την οποία αυτό προέρχεται.

1.3.1 Η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος

Το **Υδατικό Αποτύπωμα** (ΥΑ) ενός προϊόντος ισούται με τον όγκο (σε m^3) του γλυκού νερού που χρησιμοποιήθηκε για να παραχθεί ένα προϊόν, συμπεριλαμβάνοντας και την πλήρη διαδικασία διάθεσης και εφοδιασμού του προϊόντος στην αγορά. Κατ' επέκταση το ΥΑ ενός ιδιώτη ή μίας κοινωνίας ορίζεται ως ο συνολικός όγκος γλυκού νερού που χρησιμοποιήθηκε για να παραχθούν τα αγαθά και οι υπηρεσίες που καταναλώνονται από τον ιδιώτη ή την κοινωνία (Hoekstra & Charagain, 2008).

Ένα ΥΑ μπορεί να υπολογιστεί για μία ορθώς ορισμένη ομάδα καταναλωτών, δηλαδή για μία οικογένεια, ένα χωριό, μία πόλη, μία επαρχία, μία πολιτεία ή μία χώρα. Μπορεί επίσης να υπολογιστεί για μία συγκεκριμένη δραστηριότητα, αγαθό ή υπηρεσία π.χ. για το βαμβάκι, για τον καφέ κ.λπ. Το ΥΑ μπορεί ακόμα να εφαρμοστεί και σε μία επιχείρηση η σε έναν οργανισμό (Gerbens-Leenes & Hoekstra, 2008). Γενικότερα το ΥΑ εκφράζεται σε όρους όγκου γλυκού νερού που χρησιμοποιήθηκαν ανά χρόνο (Hoekstra, 2009). Δεν μετριέται νερό γενικώς αλλά γλυκό νερό συγκεκριμένα, διότι το γλυκό νερό αποτελεί έναν σπάνιο φυσικό πόρο. Το Υδατικό Αποτύπωμα (ΥΑ) είναι ένας εμπειρικός δείκτης, ο οποίος εκφράζει τον όγκο νερού που καταναλώνεται και ρυπαίνεται στο σύνολο της διαδικασίας παραγωγής ενός προϊόντος.

Το ΥΑ βασίζεται στην έννοια του «εικονικού νερού». Ο όρος χρησιμοποιείται για να αποδώσει στα ελληνικά τον όρο “virtual water” (Allan, 1998). Το εικονικό ή αόρατο ή κρυμμένο νερό αναφέρεται στην ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Η ποσότητα αυτή του νερού αποκαλείται εικονική ή αόρατη γιατί μετά την παραγωγή ενός προϊόντος, η πραγματική ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του δεν εμπεριέχεται πια στο προϊόν αυτό. Η έννοια του εικονικού νερού βοηθά στην ορθότερη καταγραφή του όγκου του νερού που απαιτείται πραγματικά για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων δίνοντας τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης των υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές με ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο. Η διαφορά του ΥΑ σε σχέση με το «εικονικό νερό» είναι ότι το ΥΑ δεν παραπέμπει απλώς στην συνολική ποσότητα του νερού που καταναλώθηκε, αλλά προσδιορίζει με ακρίβεια την πηγή προέλευσης του νερού και το χρονικό διάστημα που αυτό καταναλώθηκε. Οι επιπρόσθετες αυτές πληροφορίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στον καθορισμό κάθε προβλήματος που σχετίζεται με την διαχείριση των υδατικών πόρων.

1.3.2 Οι συνιστώσες του Υδατικού Αποτυπώματος

Σύμφωνα με τον Hoekstra (2009) το Υδατικό Αποτύπωμα (ΥΑ) διαχωρίζεται σε τρεις συνιστώσες.

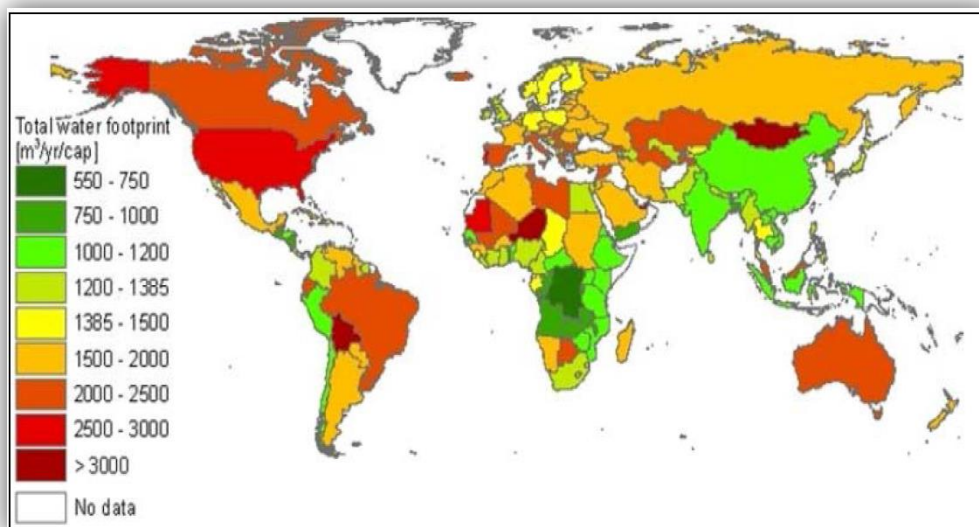
- **Μπλε συνιστώσα:** αναφέρεται στην κατανάλωση του γλυκού νερού που δεσμεύεται από τα αποθέματα υδατικών πόρων (επιφανειακοί και υπόγειοι) μιας λεκάνης απορροής. Θεωρείται ότι ο όγκος του νερού αυτού δεν επιστρέφει στην ίδια λεκάνη απορροής.
- **Πράσινη συνιστώσα:** αναφέρεται στον όγκο του γλυκού νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (κυρίως της βροχόπτωσης) που καταναλώθηκε κατά τη διαδικασία παραγωγής
- **Γκρι συνιστώσα:** είναι ο όγκος του νερού που απαιτείται για να διαλυθεί το ρυπαντικό φορτίο με βάση τα ισχύοντα επίπεδα ποιότητας νερού στον υδάτινο αποδέκτη. Η έννοια εισήχθη για πρώτη φορά από τους Charagain et. Al. (2006) με την ονομασία «νερό διάλυσης» και αποτελεί ένα δείκτη βαθμού ρύπανσης του νερού.

Οι συνιστώσες του ΥΑ έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η βασικότερη διαφορά εντοπίζεται μεταξύ του πράσινου και του μπλε νερού. Ενώ το πράσινο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν αποκλειστικά στη γεωργία, το μπλε νερό χρησιμοποιείται τόσο για άρδευση όσο και για κάθε είδους οικιακή και βιομηχανική χρήση. Αυτός είναι ο λόγος που το μπλε νερό έχει μεγαλύτερο κόστος ευκαιρίας από ότι το πράσινο (Charagain et al., 2006).

Όπως αναφέρει η Σταθάτου (2011), το ΥΑ διαφοροποιείται σε σχέση με τους παραδοσιακούς δείκτες κατανάλωσης νερού (κατά Hoekstra, 2006) στα εξής:

- Υπολογίζει την εκμετάλλευση του νερού από τα διάφορα αγαθά και υπηρεσίες θεωρώντας την υδατική χρήση και τη ρύπανση σε κάθε στάδιο της αλυσίδας παραγωγής.
- Καθιστά ορατή τη σύνδεση μεταξύ κατανάλωσης (τοπικό) και εκμετάλλευσης υδατικών αποθεμάτων (παγκόσμιο).
- Λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την μπλε υδατική χρήση αλλά και την πράσινη και τη γκρι.

Οι Hoekstra και Charagain (2007) υπολόγισαν τα ΥΑ των κρατών του κόσμου βασιζόμενοι σε στατιστικά στοιχεία της περιόδου 1997-2001. Για τον υπολογισμό του ΥΑ κάθε χώρας έλαβαν υπόψη τους εξής βασικούς παράγοντες: α) τον όγκο κατανάλωσης που εκφράζεται από το ΑΕΠ, β) τις καταναλωτικές συνήθειες των κατοίκων, γ) τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και δ) τις κατά τόπους αποδοτικότητες της άρδευσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον χάρτη 1.1.

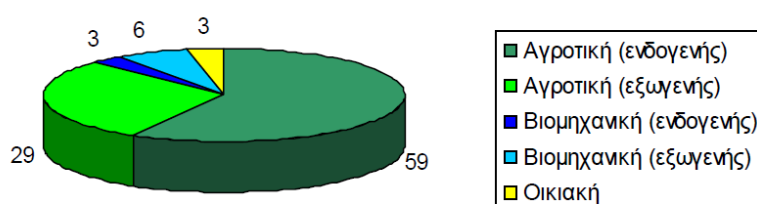


Χάρτης 1.1 Παγκόσμιος χάρτης εθνικών ΥΑ (m³/κατ/έτος). (Hoekstra & Charagain, 2007)

Όπως φαίνεται στον χάρτη 1.1, η Ελλάδα βρίσκεται ανάμεσα στις χώρες με το μεγαλύτερο ΥΑ ανά κάτοικο. Αυτό οφείλεται στην γεωργία αλλά και στον ελλειπή σχεδιασμό στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ο Στάμου (2010) ανέλυσε την ποσοστιαία σύνθεση του ελληνικού ΥΑ και συγκέντρωσε τα στοιχεία που αφορούν την κατανάλωση νερού ανά χρήση. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον πίνακα 1.2 και σχήμα 1.2.

Είδος κατανάλωσης νερού	Όγκος νερού (δισ. m ³ /yr)	Όγκος νερού (m ³ /στ. yr)	Ποσοστό (%)
Νερό για την παραγωγή αγροτικών προϊόντων	14,80	1403	59
Νερό για την παραγωγή εισαγόμενων αγροτικών προϊόντων	7,18	680	29
Νερό για την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων	0,78	73	3
Νερό για την παραγωγή εισαγόμενων βιομηχανικών προϊόντων	1,62	154	6
Οικιακή κατανάλωση νερού	0,83	79	3
Υδατικό αποτύπωμα (ολική κατανάλωση)	25,21	2389	100
Νερό για την παραγωγή εξαγόμενων αγροτικών προϊόντων	3,35	-	-
Νερό για την παραγωγή εξαγόμενων βιομηχανικών προϊόντων	1,87	-	-

Πίνακας 1.2 Κατανάλωση νερού για τις κύριες γεωργικές χρήσεις στην Ελλάδα (Στάμου, 2010)



Εικόνα 1.2 Ποσοστιαία σύνθεση του ΥΑ της Ελλάδας (Στάμου, 2010)

1.4 Μεθοδολογίες υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δυο διαφορετικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό του Υδατικού Αποτυπώματος. Η πρώτη προτείνεται από τους Hoekstra και Charagain (2008), ενώ η δεύτερη από τους Ridoutt και Pfister (2010). Η Σταθάτου (2011) παρουσίασε συνοπτικά τις δυο προσεγγίσεις. Στη συνέχεια της ενότητας αναλύεται η μεθοδολογία υπολογισμού του ΥΑ καλλιεργειών, η οποία βασίζεται στην «ανοδική» προσέγγιση των Hoekstra και Charagain, χρησιμοποιώντας την εμπειρική μέθοδο Blaney – Criddle για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών.

1.4.1 Υπολογισμός του ΥΑ κατά Hoekstra και Charagain

Σε αυτή τη μέθοδο ο υπολογισμός του ΥΑ μπορεί να γίνει με δυο προσεγγίσεις, την **ανοδική (bottom-up)** και την **καθοδική (top-down)**, (Σταθάτου, 2011).

Η πρώτη προσέγγιση αποτελεί μια μέθοδο σημείο προς σημείο (item-by-item approach), κατά την οποία αθροίζονται όλα τα επιμέρους αγαθά και οι υπηρεσίες που καταναλώνονται από τους κατοίκους μίας χώρας, εκφρασμένα στις αντίστοιχες υδατικές απαιτήσεις που χρειάστηκε η παραγωγή τους. Η μέθοδος αυτή παρέχει την ευελιξία στο επίπεδο της λεπτομέρειας ανάλυσης όμως είναι πολύ απαιτητική από την άποψη του όγκου των δεδομένων που χρειάζεται και επηρεάζεται πολύ από την καταγραφή ή μη των απαραίτητων λεπτομερειών. Δεν προτείνεται για τον υπολογισμό ΥΑ κρατών, αλλά ιδιωτών, επιχειρήσεων ή μικρότερων κοινοτήτων.

Στην καθοδική προσέγγιση το ΥΑ ενός κράτους υπολογίζεται η συνολική χρήση υδατικών πόρων μέσα στη χώρα, συν το συνολικό-ακαθάριστο εικονικό νερό που εισάγεται, μείον το ακαθάριστο εικονικό νερό που εξάγεται. Το εισαγόμενο εικονικό νερό αναφέρεται στον όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε σε άλλες χώρες για την παραγωγή των αγαθών και υπηρεσιών που εισάγονται και καταναλώνονται στην υπό μελέτη χώρα. Αντίστοιχα, το

εξαγόμενο εικονικό νερό αναφέρεται στον όγκο του νερού που χρησιμοποιήθηκε εντός της υπό μελέτη χώρας (εγχώριοι φυσικοί πόροι) για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών, τα οποία εξάγονται και καταναλώνονται σε άλλες χώρες. Η μέθοδος αυτή προσφέρει έναν ταχύ υπολογισμό του ΥΑ και ενδείκνυται στην περίπτωση κρατών, όπου διατίθενται τα εθνικά στοιχεία εμπορίου και κατανάλωσης. Ωστόσο η αξιοπιστία των βάσεων δεδομένων και των στατιστικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται έχει άμεσο αντίκτυπο στην ποιότητα των αποτελεσμάτων της καθοδικής προσέγγισης.

1.4.2 Υπολογισμός του ΥΑ κατά Ridoutt και Pfister

Προτείνεται μία αναθεωρημένη μέθοδος υπολογισμού των αγρό-διατροφικών προϊόντων, η οποία θα καθιστά σαφή την επιρροή της κατανάλωσης στα αποθέματα νερού και θα στοχεύει στην εξάλειψη φαινομένων λειψυδρίας περιοχών. Η Σταθάτου (2011) εντοπίζει τα βασικότερα χαρακτηριστικά της μεθόδου, που είναι:

- η άμεση κατανάλωση μπλε υδατικών πόρων, η οποία θεωρείται μείζονος σημασίας
- η επιρροή της χρήσης γης στα αποθέματα μπλε νερού, στην οποία θεωρείται ότι εμπεριέχεται η κατανάλωση πράσινου νερού (δεν προσμετράτε το πράσινο νερό αυτό καθ' εαυτό)
- το γκρι νερό που απαιτείται για την αφομοίωση των ρύπων, λαμβάνεται υπόψη και τέλος
- συμπεριλαμβάνεται το νερό που καταναλώνεται στο στάδιο χρήσης του προϊόντος, αφού το προϊόν έχει ήδη διατεθεί στο κοινό.

Θεωρείται ότι δεν πρέπει να αθροίζονται χωρίς να σταθμιστούν περισσότερες από μία υδατικές καταναλώσεις που εκφράζουν διαφορετικές υδατικές χρήσεις και προέρχονται από περιοχές με διαφορετικές συνθήκες αφθονίας νερού. Η βαρύτητα κάθε κατανάλωσης λαμβάνεται υπόψη, ώστε τελικός ΥΑ διαφορετικών προϊόντων να είναι συγκρίσιμα και να υπάρχει συσχετισμός μεταξύ κατανάλωσης και εν δυνάμει κοινωνικού ή περιβαλλοντικού κινδύνου. Επίσης, θεωρείται πως η βαρύτητα κάθε χρήσης καταδεικνύει εάν ένα μικρότερο ΥΑ είναι προτιμότερο έναντι ενός μεγαλύτερου, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή άντλησης του νερού σε κάθε περίπτωση. Για να υπολογιστεί η βαρύτητα κάθε κατανάλωσης ανάλογα με την περιοχή στην οποία συμβαίνει, εισήχθη ο Δείκτης Πίεσης Νερού, (Water Stress Index, WSI), (Pfister et al., 2009). Ο δείκτης αυτός βασίζεται στο διεθνές υδρολογικό μοντέλο WaterGAP 2 καθώς και σε άλλα διεθνή μοντέλα υδατικών χρήσεων και έχει τροποποιηθεί αναλόγως. Η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 0.01-1, με την τιμή 0.5 να αντιστοιχεί σε μέτρια πίεση νερού, και αποτελεί χαρακτηριστικό στοιχείο κάθε περιοχής. Σε μεγάλες και ετερογενείς χώρες όπως η Αυστραλία, η Κίνα, η Ινδία, οι ΗΠΑ τα εθνικά στατιστικά δεδομένα προσφέρουν πολύ φτωχή πληροφορία και δεν αντανακλούν την πιθανή τοπική έλλειψη νερού.

Το σταθμισμένο ΥΑ (stress-weighted WF) προκύπτει ως γινόμενο του δείκτη πίεσης νερού και της ογκομετρικής επίδρασης στη διαθεσιμότητα μπλε νερού. Στη συνέχεια είναι δυνατό

να υπολογιστεί το «ισοδύναμο» ΥΑ (WF H₂O-eq), διαιρώντας την σταθμισμένη τιμή του ΥΑ με τον μέσο εθνικό δείκτη πίεσης νερού (WSI National) για την υπό μελέτη χώρα.

1.4.3 Εμπειρική μεθοδολογία υπολογισμού του ΥΑ καλλιιεργειών

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα υπολογισμού του ΥΑ των καλλιιεργειών, τα οποία βασίζονται στη προσέγγιση των Hoekstra και Charagain (2008). Βασικό εργαλείο στους υπολογισμούς του ΥΑ αποτελεί η μέθοδος Blaney – Criddle για τον προσδιορισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής καλλιιεργειας. Σύμφωνα με τα παραπάνω το συνολικό ΥΑ ανάπτυξης μιας καλλιιεργειας (από το στάδιο σποράς έως τη συγκομιδή) είναι το άθροισμα των τριών συνιστωσών, της πράσινης, της μπλε και της γκρι.

$$YA_{Total} = YA_{Green} + YA_{Blue} + YA_{Grey} \quad (1.1)$$

Στη συνέχεια αναλύονται τα βήματα υπολογισμού κάθε συνιστώσας.

Πράσινη συνιστώσα (YA_{Green}):

Η πράσινη συνιστώσα του ΥΑ υπολογίζεται ως το πηλίκο του όγκου του πράσινου νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της καλλιιεργειας, CWUg σε m³/στρέμμα, προς την απόδοση της καλλιιεργειας, Y σε ton/στρέμμα.

$$YA_{Green} = \frac{CWUg}{Y} \quad (1.2)$$

Το πράσινο νερό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της καλλιιεργειας, CWUg, ουσιαστικά αντιπροσωπεύει τη συνεισφορά της βροχόπτωσης στην κάλυψη των υδατικών αναγκών για την ανάπτυξη της. Το νερό που χάνεται από ένα καλλιιεργούμενο χωράφι με τη διαπνοή από τα φυτά και την εξάτμιση από το έδαφος και το φύλλωμα, αναφέρεται ως εξατμισοδιαπνοή (PET_c σε mm/day) και με δεδομένη τη διαθεσιμότητα νερού, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της καλλιιεργειας, τη διαθέσιμη ενέργεια και τις αεροδυναμικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα.

Το CWUg καθορίζεται αποκλειστικά από τις απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής για την ανάπτυξη της καλλιιεργειας και από τη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό του πρέπει να υπολογιστούν οι απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής (PET_c) κάθε καλλιιεργειας, καθώς και η ωφέλιμη βροχόπτωση (P_{eff}) που αξιοποιείται από τις καλλιιεργειας για την κάλυψη των αναγκών τους. Οι απαιτήσεις της εξατμισοδιαπνοής των καλλιιεργειών υπολογίζονται έμμεσα με την εφαρμογή της θερμοκρασιακής μεθόδου Blaney-Criddle (1950) με στοιχεία από μετεωρολογικούς σταθμούς της υπό μελέτη περιοχής.

Η Σταθάτου (2011) αναφέρει ότι κατά τους Παναγούλια και Δήμου (2000), η Blaney- Criddle είναι από τις πιο διαδεδομένες εμπειρικές μεθόδους που βασίζονται στη θερμοκρασία. Η εξίσωση που την περιγράφει για μηνιαίο διάστημα είναι η παρακάτω:

$$PET_C = K_C * f \quad (1.3)$$

όπου:

PET_C (mm/day): η δυνητική εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

K_C : ο συντελεστής καλλιέργειας

f (mm/day): ο κλιματικός παράγοντας

ενώ ο κλιματικός παράγοντας δίνεται από τη σχέση:

$$f = \frac{(32+1,8 T\alpha)}{3,94} * P \quad (1.4)$$

όπου:

$T\alpha$ ($^{\circ}C$): η μέση θερμοκρασία του μήνα

P : το μέσο ημερήσιο ποσοστό συνολικής ετήσιας διάρκειας των ωρών ημέρας (συνάρτηση του μήνα και του βόρειου γεωγραφικού πλάτους της περιοχής).

Αντικαθιστώντας την (1.3) στην (1.4) προκύπτει:

$$PET_C = K_C * \frac{32+1,8 T\alpha}{3,94} * P \quad (1.5)$$

Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή υπό ιδανικές συνθήκες, γεγονός που σημαίνει ότι οι απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (PET_C) εξισώνονται με τις υδατικές της ανάγκες. Οι συνθήκες θεωρούνται ιδανικές εφόσον πρόκειται, για υγιείς καλλιέργειες, που λιπαίνονται επαρκώς, μεγαλώνουν σε μεγάλες εκτάσεις, με επαρκείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη παραγωγή για τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες.

Ο συντελεστής καλλιέργειας K_C χαρακτηρίζει τη διαφορά των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας από την καλλιέργεια αναφοράς και προσδιορίζεται πειραματικά. Ακόμη εκφράζει το στάδιο ανάπτυξης και το βαθμό κάλυψης της καλλιέργειας, τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής από την οποία συλλέγονται τα δεδομένα καθώς και τη μέθοδο υπολογισμού της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής PET_C . Για κάθε καλλιέργεια προσδιορίζεται η

βλαστική περίοδος, η οποία χωρίζεται σε τέσσερα στάδια ανάπτυξης (Initial - Crop Development - Mid. Season - at Harvest) και σε κάθε στάδιο της βλαστικής περιόδου αντιστοιχεί διαφορετικός φυτικός συντελεστής K_c .

Σε κάθε καλλιέργεια υπολογίστηκε η μέση δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET_c σε mm/day και στη συνέχεια αυτή η τιμή ανάγεται σε mm/month. Αθροίζοντας την εξατμισοδιαπνοή όλων των μηνών προκύπτει η εξατμισοδιαπνοή σε (mm) καθ' όλη την περίοδο ανάπτυξης του καρπού.

Από τη βροχή που πέφτει σε έναν αγρό, μέρος της μπορεί να χαθεί με επιφανειακή απορροή, κατείδυση ή εξάτμιση. Εκείνο που απομένει και αποθηκεύεται στη ζώνη του ριζοστρώματος αποτελεί την ωφέλιμη ή ενεργό βροχόπτωση (Τσακίρης, 1995). Το ποσοστό που αντιπροσωπεύει η ωφέλιμη βροχόπτωση δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης και το βαθμό κάλυψης του εδάφους από την καλλιέργεια. Η ωφέλιμη βροχόπτωση αντιπροσωπεύει μικρό σχετικά μέρος μιας βροχής που έχει σημαντικό ύψος και μεγάλη ένταση. Αντίθετα, συχνές ελαφρές βροχοπτώσεις που συγκρατούνται στο σύνολό τους από το φύλλωμα μιας καλλιέργειας που καλύπτει πλήρως την επιφάνεια του αγρού είναι σχεδόν 100% ωφέλιμες.

Η USDA (1970) προτείνει την εξίσωση (1.6) για την εκτίμηση της μηνιαίας ωφέλιμης βροχόπτωσης (Peff) με βάση τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή και τη μέση μηνιαία βροχόπτωση:

$$P_{eff} = F(D) * (1,25P_t^{0,824} - 2,93) * (10^{0,000955 * PET_c}) \quad (1.6)$$

όπου:

P_t : η μέση μηνιαία βροχόπτωση σε mm

PET_c : η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας σε (mm)

$f(D)$: ο παράγοντας προσαρμογής.

Ισούται με 1 για $D=75\text{mm}$ για κάθε άλλο D η $f(D)$ υπολογίζεται από

$$\text{την εξίσωση: } f(D) = 0,53 + 0,0116D - 8,94 \cdot 10^{-5} D^2 + 2,32 \cdot 10^{-7} D^3$$

όπου D το σύνηθες όριο υποβιβασμού της υγρασίας στη ζώνη ριζοστρώματος.

Για κάθε μήνα της βλαστικής περιόδου της καλλιέργειας υπολογίστηκε η αντίστοιχη ωφέλιμη βροχόπτωση σε mm, ενώ αθροίζοντας τους επιμέρους μήνες προέκυψε η συνολική ωφέλιμη βροχόπτωση καθ' όλη την περίοδο ανάπτυξης του καρπού. Η πράσινη υδατική χρήση κάθε μήνα, u_g ισούται με το ελάχιστο της ωφέλιμης βροχόπτωσης και της μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής:

$$U_g = \min [PET_C, P_{eff}] \quad (1.7)$$

Ενώ ο συνολικός όγκος πράσινου νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της καλλιέργειας είναι:

$$CWG_{green} = \sum U_g \quad (1.8)$$

Η συνολική πράσινη υδατική χρήση προκύπτει τελικώς σε mm/βλαστική περίοδο. Επομένως, η συνολική πράσινη υδατική χρήση, CWU_{green} , σε m^3 /στρέμμα, η οποία είναι ανεξάρτητη από την παροχή άρδευσης, εξαρτάται αποκλειστικά από την ωφέλιμη βροχόπτωση και της απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής για την ανάπτυξη των καρπών.

Μπλε συνιστώσα (YA_{Blue})

Η μπλε συνιστώσα του YA υπολογίζεται, αντίστοιχα με την πράσινη, ως το πηλίκο του όγκου μπλε νερού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της καλλιέργειας, CWU_{blue} σε m^3 /στρέμμα, προς την απόδοση της καλλιέργειας, Y σε ton /στρέμμα.

$$YA_{Blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (1.9)$$

Το μπλε νερό που χρησιμοποιήθηκε καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας εκφράζει τις ανάγκες της σε αρδευτικό νερό. Οι καθαρές απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό I_r υπολογίζονται από την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου (Τσακίρης, 2006).

$$I_r = PET_C - (P_e + GW + SM) + L \quad (1.10)$$

όπου:

- PET_C : η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας
- P_e : η ωφέλιμη βροχόπτωση
- GW : η συμβολή υπόγειου νερού
- SM : το νερό που είναι αποθηκευμένο στο ριζόστρωμα κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου
- L : συντελεστής έκπλυσης αλάτων

Πρακτικά θεωρείται ότι η συμβολή του υπογείου νερού είναι μηδενική ($GW=0$), το αποθηκευμένο νερό στο ριζόστρωμα κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου είναι μηδέν

(SM=0) καθώς και ο συντελεστής έκπλυσης αλάτων αμελητέος (L=0). Άρα η εξίσωση (1.10) απλοποιείται σε:

$$I_r = PET_c - P_{eff} \quad (1.11)$$

Η ποσότητα της μπλε υδατικής χρήσης είναι μηδενική εάν οι απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας καλύπτονται πλήρως από την ωφέλιμη βροχόπτωση. Άρα αφού υπολογίστουν για κάθε μήνα οι απαιτήσεις άρδευσης κάθε καλλιέργειας I_r , προκύπτει η μπλε υδατική χρήση ανά μήνα U_b από τη σχέση:

$$U_b = I_r \quad (1.12)$$

Η ποσότητα αυτή είναι εκφρασμένη σε mm/month. Συνεπώς Ο συνολικός όγκος μπλε νερού που απαιτείται τελικώς είναι:

$$CWU_{blue} = \sum u_b \quad (1.13)$$

Διαιρώντας με την απόδοση της καλλιέργειας, Y (ton/στρέμμα), προκύπτει τελικώς η μπλε συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος.

Γκρι συνιστώσα (YA_{Grey}):

Η Γκρι συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος εκφράζει την ποσότητα νερού που απαιτείται για να διαλυθούν οι συγκεντρώσεις των ρυπαντών στα υδατικά συστήματα, ώστε κάθε υδάτινος αποδέκτης που δέχεται τις αποπλύσεις των καλλιεργειών, να βρίσκεται εντός των καθορισμένων ποιοτικών ορίων. Τα ποιοτικά αυτά όρια μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος του αποδέκτη (επιφανειακός ή υπόγειος), την κατάσταση στην οποία αυτός βρίσκεται (π.χ. αν ισχύουν ειδικοί κανονισμοί λόγω της θέσης του ή της πανίδας που επηρεάζει) καθώς και τη χρήση ύδατος που ικανοποιεί (π.χ. νερό για ύδρευση).

Η εξίσωση (1.14) υπολογίζει το Γκρι νερό στην περίπτωση των καλλιεργειών θεωρώντας ως πιθανότερους ρυπαντές τα λιπάσματα (κυρίως αζωτούχα και φωσφορούχα).

$$YA_{Grey} = \frac{(\alpha * AR) / (C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (1.14)$$

όπου:

AR: η ποσότητα του ρυπαντή σε kg/στρέμμα που τοποθετείται για λίπανση

α : το ποσοστό του ρυπαντή που εισχωρεί στο υδατικό σύστημα

C_{max} : η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση του ρυπαντή στο υδατικό σώμα (mg/l)

C_{nat} : η φυσική - υπάρχουσα συγκέντρωση του ρυπαντή στον υδατικό αποδέκτη
(mg/l)

Y : η απόδοση της καλλιέργειας.

Η εκτίμηση της Γκρι συνιστώσας του ΥΑ είναι ιδιαίτερα επισφαλής αφού οι ποσότητες του ρυπαντή είναι σχεδόν αδύνατο να εκτιμηθούν βάσει στατιστικών στοιχείων και οι απαιτήσεις σε λίπανση κάθε καλλιέργειας μεταβάλλονται από τα κλιματολογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά.

1.5 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος καλλιεργειών με χρήση δεδομένων Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης και η συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με αυτά των παραδοσιακών μεθόδων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η έννοια του ΥΑ, παρά την πρόσφατη εμφάνιση της στην επιστημονική κοινότητα, έχει καθιερωθεί ως σημαντικό εργαλείο στη διαχείριση των υδατικών πόρων και ως δείκτης αειφορίας γενικότερα. Ωστόσο ο υπολογισμός του παραμένει ιδιαίτερα δύσκολος εξ' αιτίας της πολυπλοκότητας και του όγκου των δεδομένων που πρέπει να συνεκτιμηθούν. Στην περίπτωση του ΥΑ των καλλιεργειών η μέθοδος που ακολουθείται είναι αυτή των Hoekstra και Charagain η οποία βασίζεται σε στατιστικά στοιχεία (είδος και ποσότητα παραγωγής, διάρκεια βλαστικής περιόδου, ποσότητα αρδευτικού νερού, διάρκεια και ένταση βροχοπτώσεων κ.α.) καθώς και σε «in-situ» μετρήσεις (υγρασία εδάφους, τραχύτητα εδάφους, επιφανειακές απορροές, ποσότητα λίπανσης, είδη ρυπαντών κ.α.). Τα παραπάνω στοιχεία πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμα και η ακρίβεια τους δεν είναι ικανοποιητική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η εκτίμηση του ΥΑ των καλλιεργειών να είναι προσεγγιστική και να αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο για την οποία τα αντίστοιχα δεδομένα είναι διαθέσιμα.

Οι παραπάνω περιορισμοί, δεδομένης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της σημαντικής μείωσης των υδατικών αποθεμάτων παγκοσμίως, έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για εναλλακτικές μεθόδους υπολογισμού του ΥΑ καλλιεργειών με ακριβέστερα και πιο άμεσα αποτελέσματα. Η πρώτη προσπάθεια για διερεύνηση της δυνατότητας υπολογισμού του ΥΑ καλλιεργειών με την χρήση τηλεπισκόπησης έγινε το 2010 από τους Romanguera *et al.* Στη συγκεκριμένη εργασία κατηγοριοποιούνται όλα τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που εμπλέκονται στην εκτίμηση του ΥΑ, ενώ προτείνεται ένα μοντέλο υπολογισμού βασισμένο σε μετεωρολογικές παρατηρήσεις.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας βασισμένη σε προϊόντα Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης, προσαρμοσμένη στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του Ελλαδικού χώρου. Συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των κλασικών μεθόδων είναι η διαθεσιμότητα των τηλεπισκοπικών δεδομένων τόσο σε χωρική αλλά και σε χρονική κλίμακα.

Ωστόσο για την αξιολόγηση της μεθόδου κρίνεται αναγκαία η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της μεθόδου που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Οπότε επιλέχθηκαν τρεις περιοχές (η πεδιάδα Μεσσαράς, ο Δήμος Θεσσαλιώτιδας και ο κάμπος των Χανίων) οι οποίες ήταν αντικείμενο μελέτης προηγούμενων εργασιών (Σταθάτου, 2011, Αλεξίου, 2012, Χαρχούση, 2012). Στις περιοχές αυτές υπολογίστηκε το ΥΑ των καλλιεργειών με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο και συγκρίθηκε με τις αντίστοιχες τιμές των προηγούμενων εργασιών.

1.6 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται σε τέσσερα κεφάλαια:

Το παρόν Κεφάλαιο ξεκινάει με μια εισαγωγή στους υδατικούς πόρους, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε εθνικό επίπεδο, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος, οι συνιστώσες που το συνθέτουν, αλλά και η σημασία του στην αειφόρο ανάπτυξη. Στη συνέχεια περιγράφεται η εμπειρική μέθοδος υπολογισμού του και τελικά παρουσιάζεται ο σκοπός και η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.

Στο 2^ο Κεφάλαιο ο αναγνώστης εξοικειώνεται με την έννοια της ψηφιακής τηλεπισκόπησης και τον ρόλο της στις γεωεπιστήμες και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Αναπτύσσεται μια μεθοδολογία υπολογισμού του ΥΑ με βάση τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και ακολουθεί ένα απλουστευμένο παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου.

Στο 3^ο Κεφάλαιο η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται για τρεις περιοχές (πεδιάδα Μεσσαράς, Δήμος Θεσσαλιώτιδας και κάμπος Χανίων) στις οποίες το ΥΑ υπολογίστηκε σε προηγούμενες εργασίες με εμπειρικές μεθόδους. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους και παρουσιάζονται οι αποκλίσεις.

Στο 4^ο Κεφάλαιο εφαρμόζεται η μέθοδος για την ευρύτερη περιοχή της Πελοποννήσου.

Στο 5^ο Κεφάλαιο αξιολογούνται οι παραπάνω αποκλίσεις και γενικότερα τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

Στο παράρτημα του τεύχους, το οποίο είναι σε ψηφιακή μορφή (CD-ROM), υπάρχουν όλοι οι χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν σε υψηλή ακρίβεια, καθώς και όλα τα αρχεία του ArcMap για τις υπο μελέτη περιοχές.

2. ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

2.1 Η έννοια της τηλεπισκόπησης

Με τον όρο τηλεπισκόπηση προσδιορίζεται η επιστήμη που ασχολείται με την παρατήρηση αντικειμένων και φαινομένων από απόσταση. Η λέξη είναι σύνθετη και αποτελείται από το επίρρημα 'τηλε' και το ρήμα 'επισκοπεύω', δηλαδή παρατηρώ από απόσταση. Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντάται με τον όρο Remote Sensing. Η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται από πλήθος επιστημών όπως η φυσική, η γεωγραφία, η μετεωρολογία κ.α. Η ικανότητα της να δίνει συνεχή και ακριβή ποιοτική αλλά και μετρητική πληροφορία την καθιέρωσε ως ένα από τα σημαντικότερα διεπιστημονικά εργαλεία. Οι κατηγορίες των τεχνικών της τηλεπισκόπησης διαφοροποιούνται κυρίως από τα δεδομένα που αυτές χρησιμοποιούν. Συγκεκριμένα το εύρος των τηλεπισκοπικών δεδομένων ποικίλει από απλές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες, στερεοζεύγη αεροφωτογραφιών, δορυφορικές απεικονίσεις κ.α. Οι αντίστοιχοι επιστημονικοί κλάδοι που προκύπτουν είναι αυτοί της φωτοερμηνείας, της φωτογραμμετρίας και της ψηφιακής τηλεπισκόπησης.

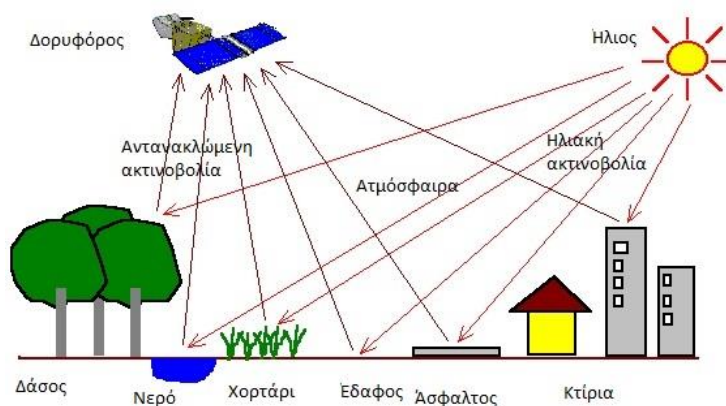
2.2 Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση

Τα τελευταία χρόνια τα επιτεύγματα της αεροναυπηγικής και της διαστημικής τεχνολογίας έδωσαν τη δυνατότητα παρατήρησης της φυσικής γήινης επιφάνειας από μεγάλη απόσταση και σε πραγματικό χρόνο. Η εκτεταμένη χρήση δορυφόρων μπορεί να διαθέσει πλέον πλήθος ψηφιακών απεικονίσεων μεγάλων εκτάσεων με ικανοποιητική ακρίβεια. Ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με την επεξεργασία αυτών των δεδομένων είναι η ψηφιακή τηλεπισκόπηση.

2.2.1 Ψηφιακοί σαρωτές

Η παρατήρηση της επιφάνειας της γης (Earth Observation) είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών) που ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές μπορεί να είναι εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη ή να βρίσκονται σε αερομεταφερόμενα μέσα (αεροσκάφη, ελικόπτερα). Για την παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, οι ανιχνευτές

μετρούν το ποσοστό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται από τα διάφορα υλικά. Κάθε αντικείμενο - επιφάνεια - υλικό που βρίσκεται επάνω στη γη, έχει ένα μοναδικό τρόπο να αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος (Εικόνα 2.1). Ανάλογα με το υπό μελέτη χαρακτηριστικό, επιλέγεται ο φασματικός τύπος του ανιχνευτή ώστε να ληφθεί η μέγιστη πληροφορία.



Εικόνα 2.1. Αρχή λειτουργίας δορυφορικού σαρωτή

Ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία αντανακλάται και στη συνέχεια ανιχνεύεται, οι σαρωτές (ή αισθητήρες) μπορούν να διακριθούν σε παθητικούς και σε ενεργητικούς. Παθητικοί είναι εκείνοι που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή (συνήθως ο ήλιος), ενώ ενεργητικοί σαρωτές είναι εκείνοι που "φωτίζουν" (προσβάλλουν) οι ίδιοι το στόχο χρησιμοποιώντας την δική τους πηγή ακτινοβολίας. Άλλη διάκριση των ανιχνευτών μπορεί να γίνει ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών και το φασματικό εύρος που ανιχνεύουν. Ένας ανιχνευτής που καταγράφει σε μία φασματική ζώνη καλείται μονοφασματικός, και μπορεί να ανιχνεύει την φασματική αντανάκλαση σε ένα μικρό (στενό) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή σε μια ευρύτερη περιοχή. Ανιχνευτές που καταγράφουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες ονομάζονται πολυφασματικοί (multispectral). Τέλος, ανιχνευτές που καταγράφουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε πολλές φασματικές ζώνες, στενού εύρους, συνήθως 10-20 νανομέτρων καλούνται υπερφασματικοί.

2.2.2 Χαρακτηριστικά δεδομένων

Τα δεδομένα που μεταδίδονται από τους ανιχνευτές (αερομεταφερόμενοι ή σε τροχιά) μετατρέπονται σε 2-διάστατους πίνακες n γραμμών x m στηλών όπου η τιμή κάθε εικονοστοιχείου (pixel) αντιπροσωπεύει την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής

ακτινοβολίας. Γενικά τα τηλεπισκοπικά δεδομένα δηλαδή οι ψηφιακές εικόνες χαρακτηρίζονται από τα τις παρακάτω ιδιότητες (Μηλιαρέσης, 2003).

Χωρική Ανάλυση

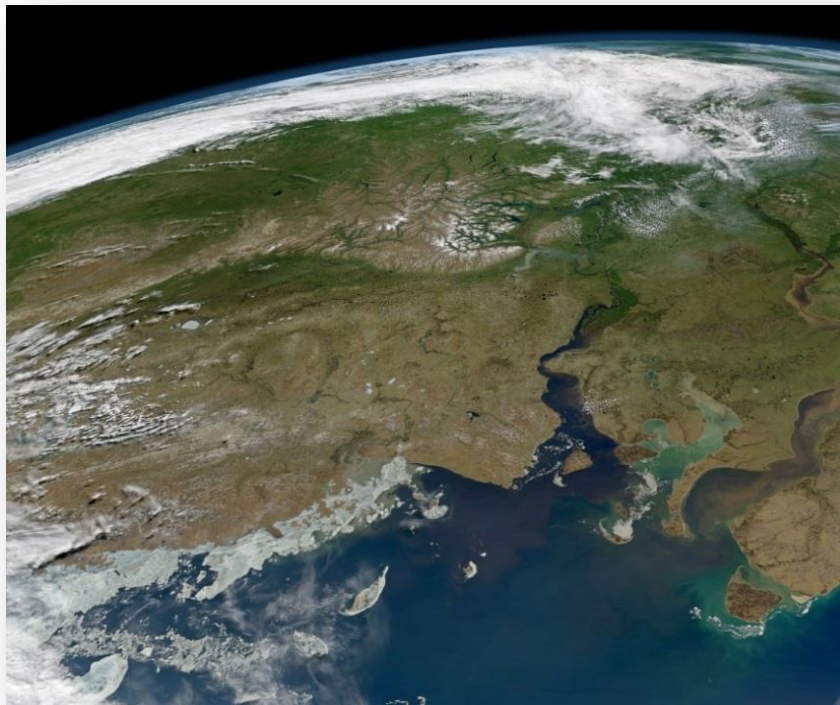
Είναι η χωρική διακριτική ικανότητα της εικόνας, δηλαδή το μέγεθος του pixel σε πραγματικές διαστάσεις. Στην πράξη η χωρική ανάλυση καθορίζει τις ελάχιστες διαστάσεις των αντικειμένων ικανών να αποτυπωθούν στη ψηφιακή εικόνα. Υψηλής χωρικής ανάλυσης εικόνες, διαθέσιμες για πολιτική χρήση, έχουν μέγεθος pixel από 15m έως και 0,6m.

Φασματική Ανάλυση

Είναι το φασματικό εύρος κάθε φασματικού καναλιού. Εικόνες με μικρό φασματικό εύρος (π.χ. 10 nm) είναι εικόνες υψηλής φασματικής ανάλυσης και προσφέρονται για λεπτομερή εξέταση και αναγνώριση των υλικών που αποτυπώνονται, χρησιμοποιώντας τεχνικές υπερφασματικής ανάλυσης.

Ραδιομετρική Ανάλυση

Είναι η φασματική διακριτική ικανότητα, δηλαδή το πόσο εύκολα ή δύσκολα μπορούν να διακριθούν υλικά γειτονικής φασματικής συμπεριφοράς σε μια εικόνα.



Εικόνα 2.2. Εικόνα υψηλής ανάλυσης του δέκτη MODIS.

2.2.3 Επεξεργασία δεδομένων

Η ορθή αξιοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων προϋποθέτει την κατάλληλη προεπεξεργασία τους, ώστε να απαλειφθεί μια σειρά σφαλμάτων, αλλοιώσεων και μεταβολών που εάν παραμείνουν θα υποβαθμίσουν την ποιότητα της τελικής πληροφορίας και θα οδηγήσουν αντίστοιχα σε εσφαλμένα ή αλλοιωμένα συμπεράσματα. Κατά Μηλιάρη (2003) οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν αφορούν:

Γεωμετρικές διορθώσεις

Αποκαθιστούν τη σωστή γεωμετρία της εικόνας απαλείφοντας τα σφάλματα που προέρχονται από την επιφάνεια του γήινου ελλειψοειδούς αλλά και της κίνησης γης και τεχνητού δορυφόρου. Επίσης γεωμετρικές διορθώσεις επιβάλλονται ώστε να διορθωθούν σφάλματα που οφείλονται στο έντονο ανάγλυφο μιας περιοχής, διαδικασία που είναι γνωστή ως ορθοαναγωγή. Τέλος η εικόνα θα πρέπει να ανοιχθεί σε ένα σύστημα γεωγραφικών ή προβολικών συντεταγμένων ώστε να μπορεί να συνδυασθεί με άλλα γεωγραφικά δεδομένα.

Ραδιομετρικές διορθώσεις

Αφορούν την απαλοιφή σφαλμάτων που οφείλονται στην απορύθμιση των αισθητήρων του καταγραφέα και σε γενικά σε σφάλματα και αλλοιώσεις που προέρχονται από τα τεχνικά στοιχεία της διαδικασίας καταγραφής και μετάδοσης. Στις ραδιομετρικές διορθώσεις εντάσσονται και οι μέθοδοι που προσπαθούν να διορθώσουν ραδιομετρικά σφάλματα προερχόμενα από την επίδραση του αναγλύφου, όπως είναι η σκιά ενός ορεινού όγκου (εικόνα 2.3).

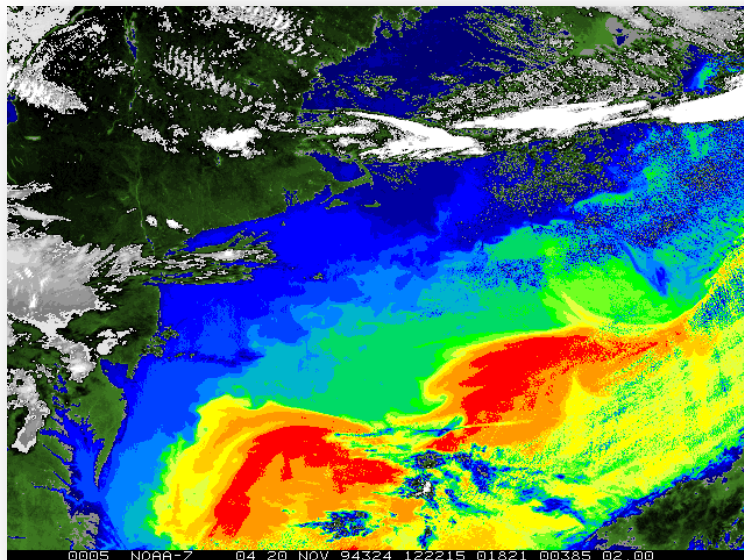
Ατμοσφαιρικές διορθώσεις

Έχουν να κάνουν με την απαλοιφή σφαλμάτων που προέρχονται από την επίδραση των στοιχείων της ατμόσφαιρας. Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που αντανακλάστηκε από την γήινη επιφάνεια επιστρέφει στο διάστημα, διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, τα συστατικά της οποίας (νερό σε αέρια φάση & αερολύματα) αλλοιώνουν την ποσότητα της εισερχόμενης στον αισθητήρα ακτινοβολίας. Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις διακρίνονται σε μεθόδους σταθερής τιμής και σε μεθόδους μετάδοσης ακτινοβολίας. Η πρώτη ομάδα μεθόδων προσπαθεί να διορθώσει τα σφάλματα με την εφαρμογή μιας σταθερής τιμής (π.χ. διαίρεση με το μέσο όρο της εικόνας) στις τιμές των pixels, ενώ η δεύτερη ομάδα μεθόδων συνδυάζει δεδομένα από την ίδια την εικόνα με κάποια προϋπολογισμένα μοντέλα ώστε να "ανακατασκευαστεί" η διάδοση της η/μ ακτινοβολίας σε δεδομένο χρόνο και τόπο.



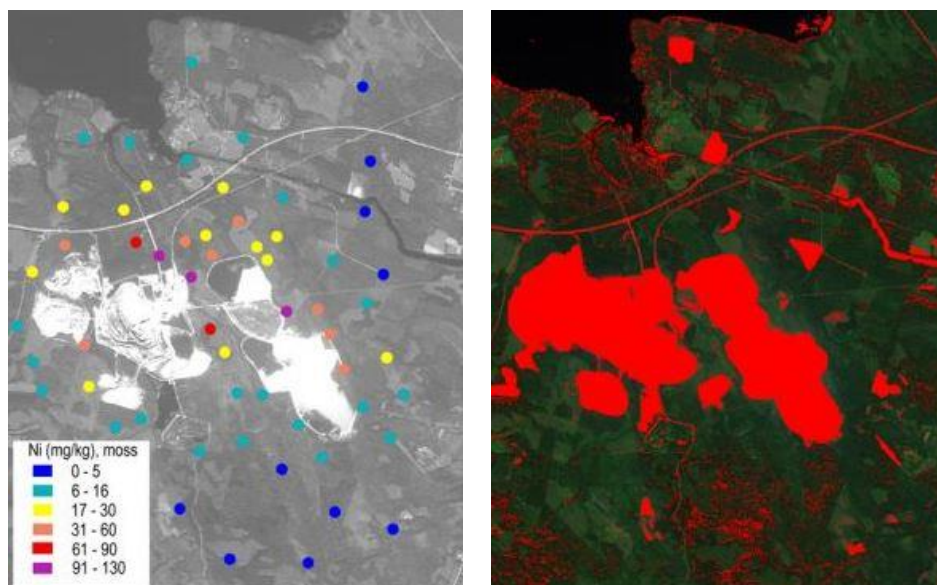
Εικόνα 2.3. Εικόνα LANDSAT πριν και μετά την γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση (LANDSAT Web, Image Archive).

Μετά τις παραπάνω διορθώσεις ακολουθεί η ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Αυτή μπορεί να διακριθεί σε τρεις γενικές κατηγορίες: ποσοτική ανάλυση, ποιοτική ανάλυση και οπτική ανάλυση (ή φωτοερμηνεία). Στην πρώτη περίπτωση ζητούμενο είναι η μέτρηση μιας ιδιότητας - μεταβλητής, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4. Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (MODIS Web).

Στην περίπτωση της ποιοτικής ανάλυσης ζητούμενο είναι η αποτύπωση χαρακτηριστικών όπως οι χρήσεις γης ή ο εντοπισμός και αναγνώριση συγκεκριμένων υλικών. Τέλος όταν ο αναλυτής εικόνας ερμηνεύει τα δεδομένα με οπτικό τρόπο, δηλαδή μεταφράζει το μοτίβο, το χρώμα και το σχήμα της διάταξης των pixels ώστε να εξάγει πληροφορίες με οπτική ανάλυση (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5. Ψηφιακές απεικονίσεις της συγκέντρωσης Νικελίου (Ni) σε δασική περιοχή της Βορειοδυτικής Φινλανδίας.

Κάθε κατηγορία απαιτεί διαφορετική αντιμετώπιση, διαφορετικές μεθόδους και εργαλεία ανάλυσης. Επίσης και σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες απαιτείται διαφορετική αντιμετώπιση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων δεδομένων (χωρική ανάλυση, φασματικής ανάλυση και ραδιομετρική ανάλυση).

2.3 Η αναγκαιότητα της ψηφιακής τηλεπισκόπησης στις γεωεπιστήμες και στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος

Οι Γεωεπιστήμες είναι ένας γενικός όρος για τις επιστήμες που σχετίζονται με τον πλανήτη Γη. Ο τυπικός όρος των επιστημών της γης περιλαμβάνει τη μελέτη της ατμόσφαιρας, της υδρόσφαιρας, της βιόσφαιρας, καθώς και του εσωτερικού της γης. Συνήθως, οι γεωεπιστήμονες χρησιμοποιούν εργαλεία από τη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία και τα μαθηματικά για να κατανοήσουν τον τρόπο λειτουργίας και εξέλιξης του συστήματος της

Γης. Η βασικότερη πρόκληση των παραπάνω επιστημονικών κλάδων είναι η αποτελεσματική αντίδραση στη παγκόσμια αλλαγή (global change) και στις περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που επιφέρει. Ωστόσο τις τελευταίες δεκαετίες η ανάπτυξη των τηλεπισκοπικών μεθόδων δημιούργησε πολύτιμα εργαλεία στην προσπάθεια για τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της αειφόρου ανάπτυξης. Ειδικότερα η δορυφορική τηλεπισκόπηση μπορεί να υποστηρίξει τόσο πολύπλοκα μοντέλα προσομοίωσης όσο και περιβαλλοντικές και γεωτεχνικές μελέτες, οι οποίες εξαρτώνται από τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής περιβαλλοντικών παραμέτρων και γεωφυσικών χαρακτηριστικών σε κατάλληλες χωρικές και χρονικές κλίμακες.

2.4 Ψηφιακή τηλεπισκόπηση και Υδατικό Αποτύπωμα

Το Υδατικό Αποτύπωμα (ΥΑ), όπως αναλύθηκε προηγουμένως είναι όρος ο οποίος εισήχθη πρόσφατα στην επιστημονική κοινότητα. Οι μέχρι τώρα υπολογισμοί του βασίστηκαν αποκλειστικά σε στατιστικά δεδομένα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη αβεβαιότητα και αποκλίσεις μεταξύ τους καθώς και εμπειρικές μεθόδους. Ακόμα υπάρχουν δυσκολίες στη συλλογή των δεδομένων, αφού τις περισσότερες φορές δεν είναι διαθέσιμα για την περιοχή ενδιαφέροντος. Συνεπώς η διαδικασία υπολογισμού του ΥΑ παρουσιάζει μεγάλα σφάλματα ενώ σε πολλές περιπτώσεις είναι αδύνατος.

Η εναλλακτική υπολογισμού του ΥΑ καλλιεργειών με χρήση τηλεπισκόπησης προσεγγίστηκε πρώτη φορά από τους Ολλανδούς Romaguera et al. (2010). Στη συγκεκριμένη εργασία προτάθηκε ένα μοντέλο για τον υπολογισμό του Υ.Α. βασισμένο σε δορυφορικά τηλεπισκοπικά δεδομένα, το οποίο παρά τους περιορισμούς που παρουσιάζει υπερτερεί έναντι των παραπάνω μεθόδων στα εξής:

- δυνατότητα εφαρμογής σε παγκόσμια κλίμακα,
- άμεση πρόσβαση σε δεδομένα οποιασδήποτε περιοχής χωρίς την ανάγκη επί τόπου μετρήσεων,
- συνεχής ανανέωση των δεδομένων

Τα παραπάνω συγκριτικά πλεονεκτήματα κατέστησαν σαφές ότι η τηλεπισκόπηση θα παίξει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του ΥΑ ειδικότερα με την εξέλιξη των τεχνικών που αφορούν τη λήψη και επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.

2.4.1 Αρχική προσέγγιση

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως το ΥΑ είναι ένας δείκτης που εκφράζει τη ποσότητα γλυκού νερού η οποία χρειάζεται για την παραγωγή ενός αγαθού ή υπηρεσίας.

Στην περίπτωση που μελετάται αφορά την ποσότητα νερού που χρειάζεται μια καλλιέργεια από τη στιγμή της σποράς έως τη συγκομιδή. Η ποσότητα αυτή χωρίζεται σε τρεις συνιστώσες: την μπλε, την πράσινη και την γκρι. Ωστόσο είναι σαφές από την αρχή ότι μόνο η πράσινη και η μπλε μπορούν να υπολογισθούν με επεξεργασία τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η ποσότητα του νερού η οποία χρειάζεται για την διάλυση του ρυπαντικού φορτίου (γκρι συνιστώσα) είναι υπολογίσιμη μόνο σε θεωρητικό επίπεδο και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να απεικονιστεί σε δορυφορική εικόνα.

Το επόμενο στάδιο είναι να προσδιοριστούν όλες οι φυσικές παράμετροι που αφορούν την κατανάλωση νερού της καλλιέργειας και να συσχετιστούν μεταξύ τους όπως προκύπτει από την εξίσωση (2.1).

$$P + I = ET + Q + \frac{dS}{dt} \quad (2.1)$$

Όπου,

P : η ποσότητα του νερού από βροχοπτώσεις,

I : η ποσότητα του αρδευόμενου νερού,

ET : η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας,

Q : οι επιφανειακές απορροές,

S : η αποθηκευτικότητα.

Ακόμα κρίθηκε σκόπιμος ο διαχωρισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε πράσινη και μπλε συνιστώσα αντίστοιχα:

$$ET = ET_{\text{πράσινη}} + ET_{\text{μπλε}} \quad (2.2)$$

Όπου,

$ET_{\text{πράσινη}}$: το μέρος της συνολικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής το οποίο

προέρχεται από βροχόπτωση

$ET_{\text{μπλε}}$: το μέρος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που προέρχεται από την

άρδευση

Για περιοχές με μικρή επιφανειακή απορροή, η πράσινη και μπλε συνιστώσα της εξατμισοδιαπνοής μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτουν από την βροχόπτωση και την άρδευση αντίστοιχα. Αυτή η παραδοχή διευκολύνει αρκετά τους υπολογισμούς ενώ μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Άρα οι παραπάνω εξισώσεις οδηγούν στον υπολογισμό του Υ.Α. των καλλιεργειών ως εξής:

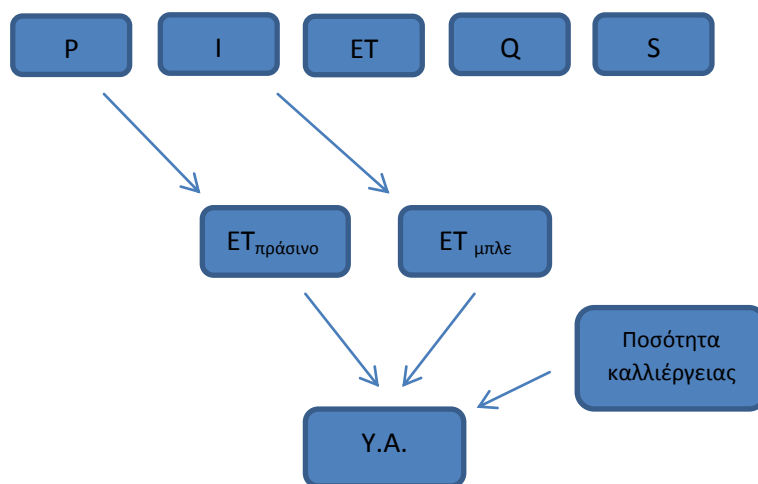
$$Υ.Α. = Υ.Α._{\text{πράσινο}} + Υ.Α._{\text{μπλε}} \quad (2.3)$$

Όπου,

$$Υ.Α._{\text{πράσινο}} = \frac{\text{Συνολική ποσότητα νερού βροχοπτώσης ανα βλαστική περίοδο}}{\text{Συνολική ποσότητα παραγωγής (ton)}} \quad (2.4)$$

$$Υ.Α._{\text{μπλε}} = \frac{\text{Συνολική ποσότητα αρδευτικού νερού ανα βλαστική περίοδο}}{\text{Συνολική ποσότητα παραγωγής (ton)}} \quad (2.5)$$

Ακολουθώντας τις παραπάνω παραδοχές υπολογίζονται οι ποσότητες του νερού από τις βροχοπτώσεις και από την άρδευση ως άθροισμα των αντίστοιχων συνιστωσών πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ($ET_{\text{πράσινη}}$, $ET_{\text{μπλε}}$) σε χρονικό διάστημα μιας βλαστικής περιόδου.



Εικόνα 2.6. Διάγραμμα υπολογισμού του Υ. Α. καλλιέργειας

Στην Εικόνα (2.6) παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που εκτιμώνται με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων. Εξάριση αποτελεί η συνολική ποσότητα της καλλιέργειας την οποία θα δίνεται από στατιστικά στοιχεία.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας των δορυφορικών δεδομένων που συμμετέχουν στην εξίσωση υδατικού ισοζυγίου (2.1) όπως συγκεντρώθηκαν από τους Romanguera et al.

(2010). Παρουσιάζονται συνοπτικά οι πηγές τους, η επιφανειακή κάλυψη των δορυφορικών δεκτών, η διακριτική τους ικανότητα αλλά και η συχνότητα παροχής δεδομένων.

EO product	Source	Spatial coverage	Spatial resolution	Temporal resolution	Main input	Data availability
P	CMORPH	Global	8 km at the equator	30' monthly	MW IR	2002–present
	PERSIANN	Global	0.25°	6h	IR	2000–present
	MPE	Meteosat disk *	Met7:5 km at nadir Met8:3 km at nadir Met9:3 km at nadir	Met7: 30' Met8: 15' Met9: 15'	MW IR	2000–present
ET	MET	Meteosat disk *	3 km at nadir	30'	Radiation fluxes LAI, FVC Climatic data	Pre-operational (available)
	MOD 16	Global	1 km	daily	Land cover LAI, FAPAR Climatic data	Pre-operational (not available)
S	GRACE	Global	400 km	monthly	Gravity fields	2002–present
Q	GLDAS	Global	1°	3h monthly	Land cover LAI and soil par. Skin temperature Radiation fluxes Climatic data	1979–present

Πίνακας 2.1. Δεδομένα ψηφιακής τηλεπισκόπησης που συμμετέχουν στην εξίσωση υδατικού ισοζυγίου (Romaguera M. et al., 2010)

Η συγκέντρωση των παραπάνω στοιχείων αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία με μεγάλη αβεβαιότητα στους υπολογισμούς, αφού πολλά από τα στοιχεία αυτά δεν είναι ακόμα διαθέσιμα (*pre-operational*) είτε η χωρική ανάλυση των δεκτών δεν είναι ικανοποιητική.

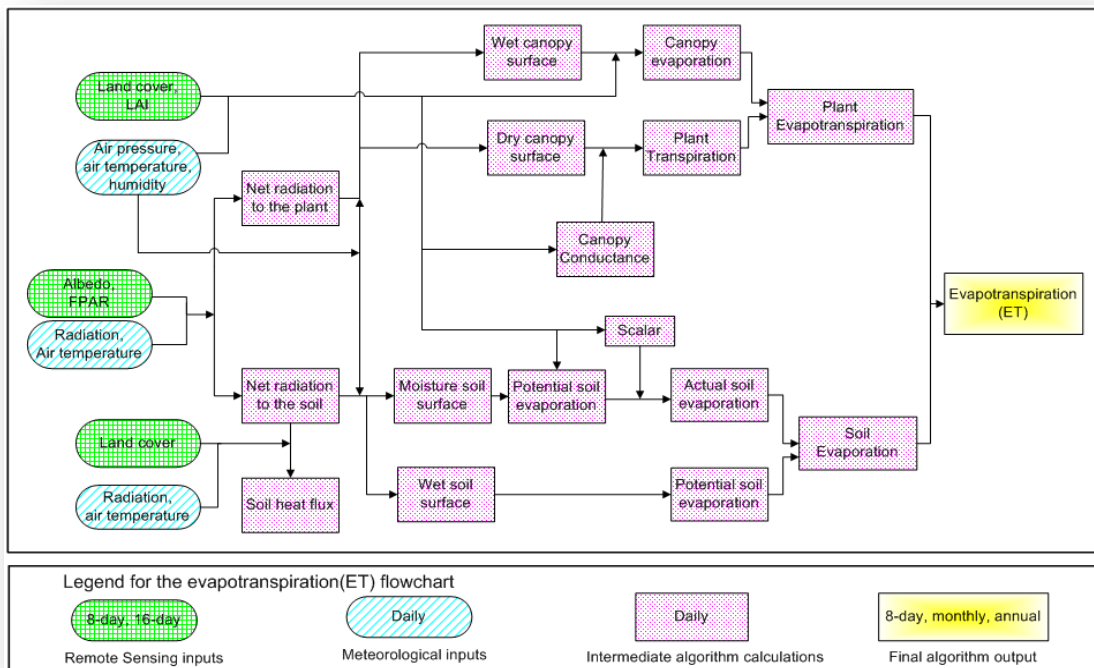
Στην εργασία των Romaguera M. et al. υπάρχει ένα απλουστευμένο παράδειγμα υπολογισμού του Υ.Α. της ευρύτερης περιοχής του ποταμού Νείλου στην Αίγυπτο. Εκεί τα δεδομένα της βροχόπτωσης προκύπτουν από το δίκτυο επίγειων βροχομετρικών σταθμών FEWS-NET, ενώ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται μετά από στατιστική επεξεργασία *in-situ* μετρήσεων στην περιοχή. Ταυτόχρονα γίνεται η παραδοχή για αμελητέες επιφανειακές απορροές. Οπότε είναι σαφές ότι η παραπάνω μέθοδος δεν είναι ακόμα ικανή να δώσει ικανοποιητική εκτίμηση του ΥΑ καλλιεργειών βασιζόμενη μόνο σε δεδομένα τηλεπισκόπησης, αφού διαπιστώνεται αδυναμία εγκυρότητας της συσχέτισης μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων με το τελικό αποτέλεσμα.

2.5 Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

2.5.1 MOD 16

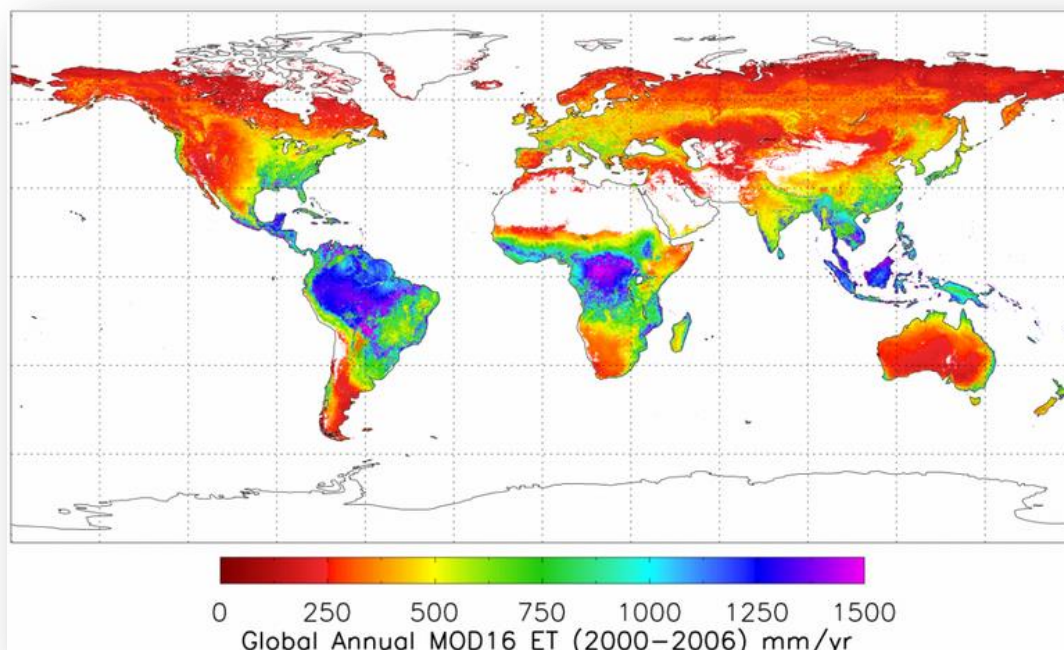
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το βασικότερο στοιχείο για τον υπολογισμό του ΥΑ με χρήση τηλεπισκόπησης είναι η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών. Η διαφορά σε σχέση με τις εμπειρικές μεθόδους που αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο είναι ότι εδώ υπολογίζεται η πραγματική και όχι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Το μόνο τηλεπισκοπικό προϊόν που αναφέρεται σε πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι το MOD 16 του δέκτη MODIS των δορυφόρων Terra και Aqua. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε καθημερινή βάση με χωρική ανάλυση 1 km². Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στην εξίσωση Penman – Monteith για τον υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής με χρήση των προϊόντων MODIS land cover (κατηγοριοποίηση χρήσεων γης), Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR) προϊόν το οποίο αναφέρεται στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης και δεδομένα από την υπηρεσία Global Modeling and Assimilation Office (GMAO). Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 2.7) παρουσιάζονται τα στοιχεία που συμμετέχουν στον αλγόριθμο υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής του προϊόντος MOD 16.



Εικόνα 2.7. Διάγραμμα δεδομένων του αλγόριθμου MOD 16 για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών (MODIS Global Evapotranspiration Project, <http://ntsg.umd.edu/project/mod16>).

Στην εικόνα (2.8) παρουσιάζεται ο παγκόσμιος χάρτης της μέσης ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με δεδομένα της περιόδου 2000-2006. Πρέπει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο τηλεπισκοπικό προϊόν δεν είναι ακόμα διαθέσιμο.



Εικόνα 2.8. Παγκόσμιος χάρτης μέσης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής περιόδου 2000-2006 (MODIS Global Evapotranspiration Project, <http://nts.g.umd.edu/project/mod16>).

2.5.2 Επεξεργασία δεδομένων MOD16 σε περιβάλλον G.I.S.

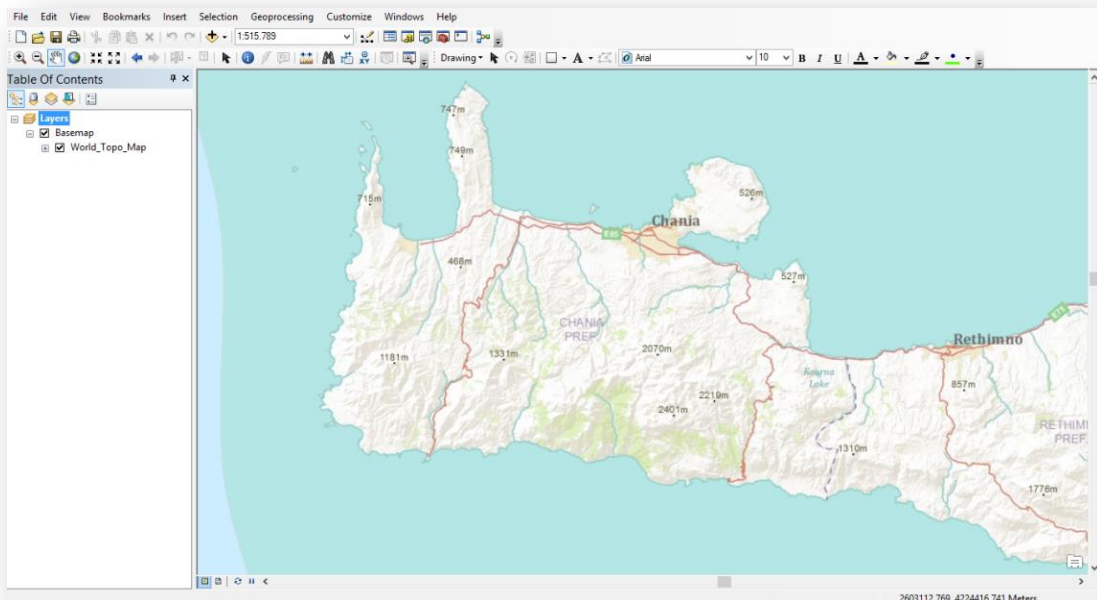
Τα παραπάνω δεδομένα δεν είναι ακόμα διαθέσιμα στο κοινό αφού το προϊόν MOD 16 βρίσκεται ακόμα σε φάση επεξεργασίας (pre-operational). Ωστόσο η επιστημονική ομάδα που ασχολείται με την ανάπτυξη του διαθέτει διαδικτυακά όλες τις εικόνες του δέκτη από το 2000 έως σήμερα (Running et al., 2012). Τα δεδομένα έχουν διορθωθεί γεωμετρικά στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς WGS 84.

Αυτή τη βάση δεδομένων χρησιμοποίησαν οι ερευνητές του Κέντρου Ερευνών Υδατικών Πόρων του Πανεπιστημίου του Τέξας (Center for Research in Water Resources, University of Texas, Austin) ώστε να αναπτύξουν ένα toolbox στο περιβάλλον του ArcGis 10. Με την προσθήκη του συγκεκριμένου εργαλείου στο πρόγραμμα είναι δυνατή η απευθείας εισαγωγή και επεξεργασία των εικόνων του MODIS στο ArcMap. Τα δεδομένα που μπορούν να απεικονιστούν είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας και οι δείκτες NDVI και EVI.

2.5.3 Παράδειγμα υπολογισμού πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και Υδατικού Αποτυπώματος καλλιεργειών στον Κάμπο Χανίων

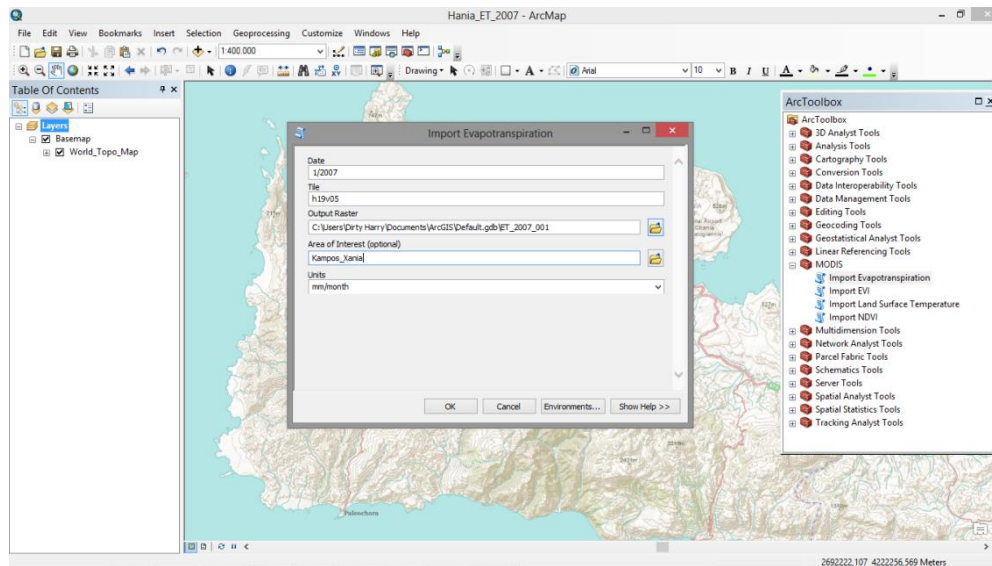
Στη συνέχεια ακολουθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών στον κάμπο Χανίων. Όλα τα βήματα του υπολογισμού γίνονται μέσα στην εφαρμογή ArcMap. Έχοντας πρόσβαση σε στοιχεία που αφορούν τις χρήσεις γης και την απόδοση των καλλιεργειών στην ευρύτερη περιοχή είναι δυνατόν να υπολογιστεί το ΥΑ.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται η εισαγωγή του υποβάθρου πάνω στο οποίο θα εμφανιστούν οι μετρήσεις. Το υπόβαθρο είναι ένας τοπογραφικός χάρτης (basemap) από τη βάση δεδομένων του ArcGis. Οι χάρτες που διατίθενται έχουν ως σύστημα αναφοράς το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα WGS 84. Στο ίδιο σύστημα είναι ανηγμένες και οι δορυφορικές απεικονίσεις του δέκτη MODIS.



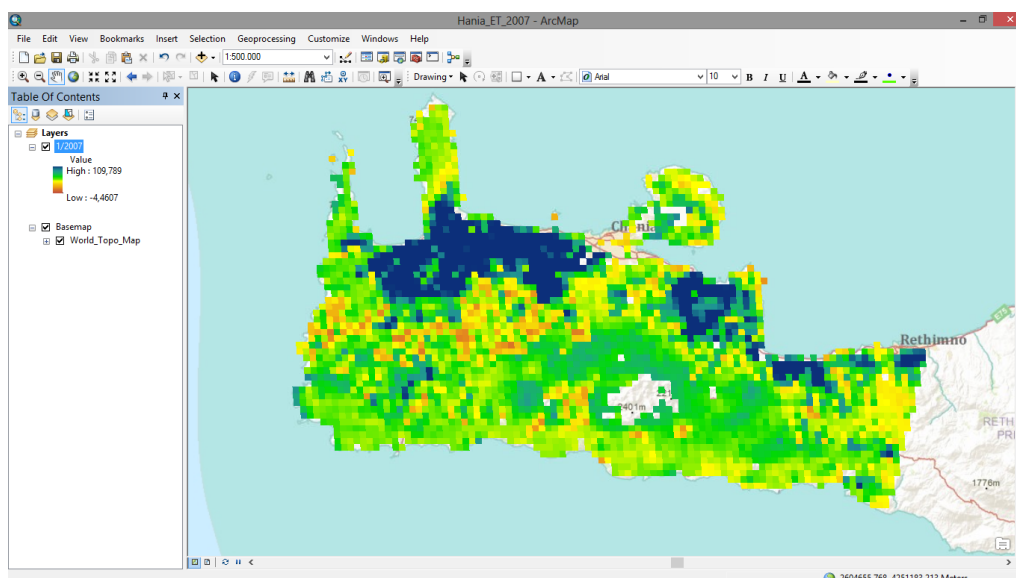
Εικόνα 2.9. Χάρτης του Νομού Χανίων στο ArcMap (σύστημα αναφοράς WGS 84)

Στη συνέχεια θα εισάγονται οι εικόνες του MOD 16 απευθείας στο πρόγραμμα.



Εικόνα 2.10. Εισαγωγή εικόνας του MODIS στο ArcMap

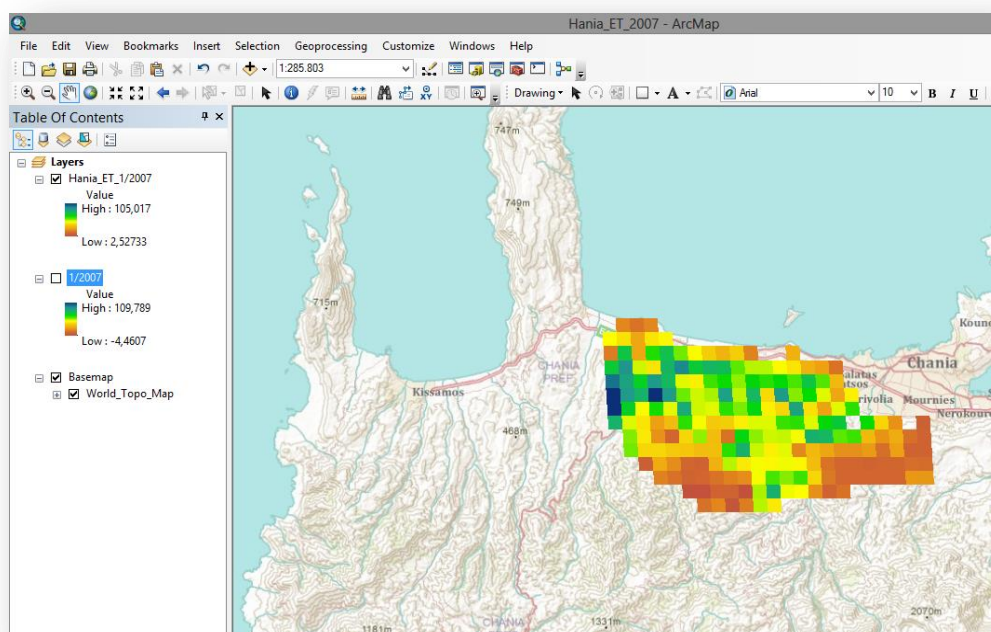
Κατά την εφαρμογή της προσθήκης στο πρόγραμμα θα πρέπει να επιλεγούν η ημερομηνία λήψης (Date) αλλά και η περιοχή κάλυψης (Tile). Ακόμα θα πρέπει να επιλεγούν οι μονάδες στις οποίες θα εκφραστούν τα αποτελέσματα (mm/day, mm/month). Το συγκεκριμένο toolbox εισάγει στο πρόγραμμα τις μέσες ημερήσιες τιμές της εξατμισοδιαπνοής και αθροίζοντας τις υπολογίζει τη μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή. Για αυτό το παράδειγμα επιλέγεται ο Ιανουάριος του 2007. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων που ορίστηκε θα προκύψει η Εικόνα (2.11).



Εικόνα 2.11. Χάρτης συνολικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής Νομού Χανίων τον Ιανουάριο του 2007

Στην Εικόνα (2.11) παρουσιάζεται ο χάρτης της συνολικής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Νομού Χανίων για τον Ιανουάριο του 2007. Στο υπόμνημα αριστερά του χάρτη φαίνονται οι τιμές να κυμαίνονται από -4,4606 mm έως 109,789 mm. Η αρνητικές τιμές της εξατμισοδιαπνοής εκφράζουν το ότι σε ορισμένα τμήματα καλλιεργειών η απορροφημένη ποσότητα νερού ήταν μεγαλύτερη από την ποσότητα που απελευθερώθηκε. Αρνητικές τιμές δεν εμφανίζονται στην περίπτωση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής αφού θεωρητικά θα υπάρχει επάρκεια νερού.

Οριοθετώντας την περιοχή ενδιαφέροντος προκύπτει ο χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Κάμπου Χανίων για τον Ιανουάριο του 2007:

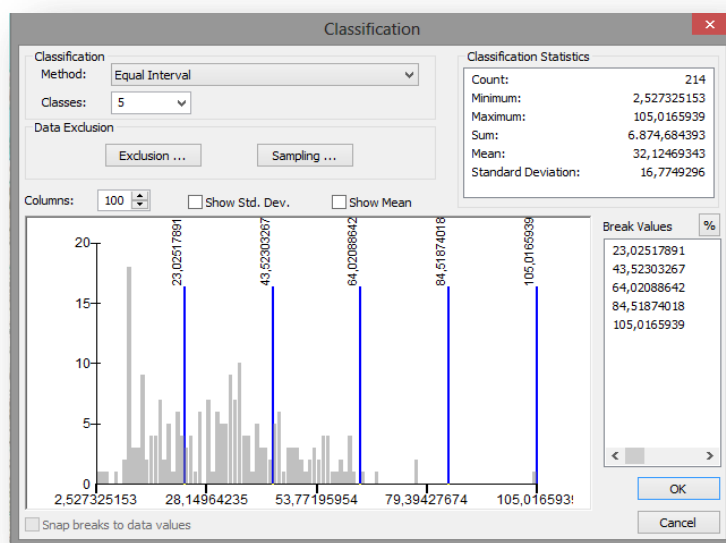


Εικόνα 2.12. Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Κάμπου Χανίων τον Ιανουάριο του 2007

Στην εικόνα 2.13 φαίνονται τα στατιστικά στοιχεία της περιοχής που εξετάστηκε. Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής είναι κατανομημένες σε ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων με μικρότερη τιμή ίση με 2,527 mm/month και μεγαλύτερη 105,017 mm/month. Ακόμα υπολογίζεται η μέση τιμή της εξατμισοδιαπνοής όλης της περιοχής 32,1247 mm/month καθώς και η συνολική ποσότητα του νερού που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ίση με 6874,68 m³.

Στο παράδειγμα που εξετάστηκε δεν θα χρησιμοποιήθηκε απευθείας η συνολική ποσότητα του νερού (Sum) που επιστρέφει το πρόγραμμα αλλά πολλαπλασιάστηκε η μέση τιμή (Mean) με τη συνολική, ακριβή έκταση των καλλιεργειών όπως αυτή προκύπτει από τα στατιστικά στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο θα επιτευχτεί μεγαλύτερη ακρίβεια αφού ο

συνολικός όγκος του νερού που θα υπολογίστηκε αφορά μόνο την εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών.



Εικόνα 2.13. Στατιστικά στοιχεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Κάμπου Χανίων για τον Ιανουάριο του 2007

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της μέσης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών για κάθε μήνα του έτους 2007 καθώς και της συνολικής ποσότητας νερού που απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα. Η παραπάνω διαδικασία θα επαναληφθεί για κάθε μήνα και όλες οι μετρήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα (2.2).

μήνας/έτος	ET (mm)	μήνας/έτος	ET (mm)
Ιαν-07	32,1469	Ιουλ-07	73,0024
Φεβ-07	34,1967	Αυγ-07	69,6543
Μαρ-07	64,4937	Σεπ-07	52,8863
Απρ-07	83,0156	Οκτ-07	44,5035
Μαϊ-07	95,1044	Νοε-07	34,2932
Ιουν-07	80,0679	Δεκ-07	26,1011
		Σύνολο:	689,4438

Πίνακας 2.2. Μέσες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής Κάμπου Χανίων για το έτος 2007

Ο συνολικός όγκος του νερού που απελευθερώθηκε από όλη την έκταση ισούται με το συνολικό ύψος του νερού για όλους τους μήνες επί τη συνολική έκταση των καλλιεργειών (Πίνακας 2.3). Έχοντας υπολογίσει τη συνολική ποσότητα του νερού που απελευθερώθηκε μέσω της εξατμισοδιαπνοής για όλο το 2007 μπορούμε να υπολογίσουμε το Υ.Α. των καλλιεργειών βασιζόμενοι στις σχέσεις της παραγράφου 2.4.1. Αναλυτικότερα αθροίζοντας τις σχέσεις (2.4) και (2.5) προκύπτει η σχέση:

$$Υ.Α_{\text{πράσινο, μπλε}} = \frac{\text{Συνολική ποσότητα νερού βροχόπτωσης} + \text{Συνολική ποσότητα αρδ/κού νερού}}{\text{Συνολική ποσότητα παραγωγής (ton)}} \quad (2.6)$$

Οι παραπάνω ποσότητες αναφέρονται σε διάστημα μιας βλαστικής περιόδου. Ανατρέχοντας στα στοιχεία των καλλιεργειών για τον κάμπο Χανίων προκύπτει ότι πρόκειται για καλλιέργειες κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου (Χαρχούση, 2012). Άρα η βλαστική περίοδος θα είναι προσεγγιστικά ίση με όλο το 2007.

Ωστόσο η σχέση (2.6) θα υπολογισθεί βασιζόμενοι στην παραδοχή ότι όλη η ποσότητα του γλυκού νερού που χρειάζεται για την ανάπτυξη μιας καλλιέργεια (πράσινη και μπλε συνιστώσα) θα απελευθερωθεί τελικά στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Οπότε η συνολική ποσότητα του νερού της εξατμισοδιαπνοής θα ισούται με τον αριθμητή του παραπάνω όρου.

Παρακάτω συγκεντρώνονται τα στοιχεία που αφορούν την απόδοση των καλλιεργειών στην περιοχή.

Καλλιέργεια	Στρέμματα	Απόδοση	
		(Τόνοι/στρέμμα)	Σύνολο (ton)
Ελιές (αρδ.)	9890	0.075	692,3
Ελιές (ξηρ.)	31516	0.050	1.575,80
Λαχανόκηποι	4843	3.500	16.950,50
Αμπελοειδή (αρδ.)	594	1.500	891
Αμπελοειδή (ξηρ.)	620	1.000	620
Τριφύλλια	3312	1.000	3312
Εσπεριδοειδή	54798	2.000	109.596
Αβοκάντο	3421	1.600	5.473,60
Σανό	770	0.200	154
Σύνολο:	109764		139265,2

Πίνακας 2.3. Κατηγορίες καλλιεργειών, εκτάσεις και αποδόσεις στον κάμπο Χανίων (Χαρχούση, 2012)

Εφαρμόζοντας τη σχέση (2.6):

$$YA_{\text{πράσινο, μπλε}} = \frac{689,4438 * (109764 * 1000) / 1000}{139265,2} = 543,3957 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Άρα η ποσότητα του γλυκού νερού που καταναλώθηκε (από βροχόπτωση και άρδευση) για την παραγωγή των καλλιεργειών στον κάμπο Χανίων από την ημέρα σποράς έως την συγκομιδή είναι ίση με 543,40 m³ ανά τόνο μικτής καλλιέργειας.

2.6 Συμπεράσματα

Το βασικότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αδυναμία υπολογισμού της γκρι συνιστώσας, δηλαδή του νερού που απαιτείται για τη διάλυση του ρυπαντικού φορτίου. Είναι προφανές ότι αυτή η συνιστώσα είναι αδύνατο να υπολογισθεί με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Ακόμα είναι απαραίτητη η χρήση στατιστικών δεδομένων που αφορούν τις χρήσεις γης, τα είδη των καλλιεργειών καθώς και την απόδοση της παραγωγής. Τα στοιχεία αυτά είναι τις περισσότερες φορές προσεγγιστικά και δεν ανανεώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Παρόλα αυτά η χρήση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε παραπάνω αποτελεί καινοτόμο εργαλείο για τον υπολογισμό του Υ.Α. και πλεονεκτεί έναντι των εμπειρικών μεθόδων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα υπολογιστούν τα Υ.Α. των καλλιεργειών τριών περιοχών στον Ελλαδικό χώρο και τα αποτελέσματα θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα που προέκυψαν με τη μέθοδο Blaney – Criddle. Στη συνέχεια θα υπολογιστεί το Υ.Α. των καλλιεργειών της Πελοποννήσου. Με αυτόν τον τρόπο θα δωθεί μια σαφής εικόνα τόσο για την ακρίβεια της μεθόδου αλλά και για το κατά πόσο εφαρμόσιμη είναι για εκτάσεις μεγάλης κλίμακας, όπου οι κλασσικές μέθοδοι αδυνατούν να δώσουν αποτελέσματα.

3. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ – ΣΥΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

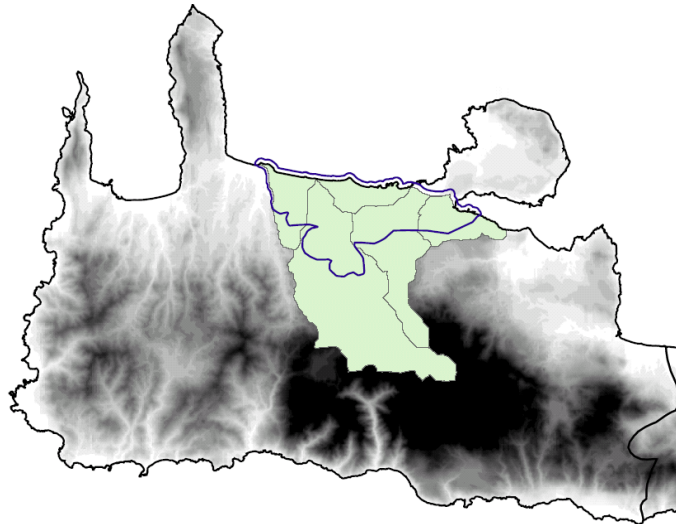
3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα υπολογιστεί το ΥΑ των καλλιεργειών στις εξής τρεις περιοχές: στον Κάμπο Χανίων στο Νομό Χανίων, στο Δήμο Θεσσαλιώτιδας του Νομού Φθιώτιδας και στην Πεδιάδα της Μεσσαράς του Νομού Ηρακλείου. Οι συγκεκριμένες περιοχές είναι το αντικείμενο μελέτης των Χαρχούση (2012), Αλεξίου (2012) και Σταθάτου (2011) αντίστοιχα. Σκοπός των υπολογισμών είναι η εκτίμηση της ακρίβειας της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα θα εξεταστούν οι αποκλίσεις από τα αποτελέσματα της μεθόδου Blaney – Criddle η οποία χρησιμοποιήθηκε και στις τρεις εργασίες.

3.2 Κάμπος Χανίων

3.2.1. Περιγραφή περιοχής

Ο κάμπος Χανίων βρίσκεται στο Νομό Χανίων και περιλαμβάνει την περιοχή από την πόλη των Χανίων και δυτικότερα, έως και τη λεκάνη του ρέματος Πλατανιά (Κερίτη). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής είναι 35.4 ° έως 35.5 ° Βόρειο Γεωγραφικό πλάτος και 23.8 ° έως 24.1 ° ανατολικά του GREENWICH Γεωγραφικό μήκος. Διοικητικά η περιοχή υπάγεται στους Δήμους Χανίων και Πλατανιά, της Περιφέρειας Κρήτης. Ως ευρύτερη περιοχή μελέτης ορίσθηκε η έκταση η οποία καταλαμβάνεται από τις υδρολογικές λεκάνες οι οποίες εκβάλλουν στην ακτογραμμή της άμεσης περιοχής μελέτης. Τα όρια των δύο περιοχών δίνονται στον Χάρτη (3.1).



Χάρτης 3.1. Κάμπος Χανίων. Η μπλε γραμμή οριοθετεί την άμεση περιοχή μελέτης ενώ με πράσινο χρώμα οριοθετείται η ευρύτερη περιοχή (Χαρχούση, 2012)

Η έκταση της γεωργικής γης του κάμπου Χανίων σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος) είναι περίπου 165 000 στρέμματα. Η αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών παρουσιάστηκε συνοπτικά στον πίνακα (2.3).

3.2.2. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με τη μέθοδο Blaney - Criddle

Ο υπολογισμός της αναγκαίας ποσότητας μπλε νερού των καλλιεργειών καθώς και η ποσότητα της ωφέλιμης βροχόπτωσης υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο Blaney – Criddle. Στη συνέχεια συγκεντρώνονται τα αποτελέσματα για τον Κάμπο των Χανίων (Χαρχούση, 2012). Οι συνιστώσες του ΥΑ προστίθενται ώστε να προκύψει το συνολικό ΥΑ για κάθε καλλιέργεια.

Καλλιέργεια	Παραγωγή (ton)	Υ.Α. πράσινο (m ³ /ton)	Υ.Α. μπλε (m ³ /ton)	Υ.Α. γκρι (m ³ /ton)	Συνολικό Υ.Α. (m ³ /ton)
Ελιές (αρδ.)	692,3	3990,17	2751,01	6116,21	12857,39
Ελιές (ξηρ.)	1.575,80	5985,26		9174,31	15159,57
Λαχανόκηποι	16.950,50	13,1	165,46		375,15
Αμπελοειδή (αρδ.)	891	60,4	388,93		449,33
Αμπελοειδή (ξηρ.)	620	90,61			90,61
Τριφύλλια	3312	108,54	925,31		1033,85
Εσπεριδοειδή	109.596	196,39	246,37	286,7	729,46
Αβοκάντο	5.473,60	236,9	406,35	196,59	643,26
Σανό	154	709,17			709,17
Σύνολο:	139265,2				

Πίνακας 3.1 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στον Κάμπο Χανίων για το έτος 2007

Για τον υπολογισμό του συνολικού Υ.Α. για το σύνολο των καλλιεργειών θα πρέπει να υπολογίσουμε την καλύτερη τιμή του Συνολικού Υ.Α. του Πίνακα (3.1). Στην περίπτωση που εξετάζεται οι μετρήσεις είναι ανισοβαρείς, αφού πρόκειται για διαφορετικές ποσότητες παραγόμενου προϊόντος, οπότε θα εφαρμοστεί η σχέση του μέσου όρου για ανισοβαρείς παρατηρήσεις:

$$\hat{x} = \sum_{k_1}^{k_n} \frac{k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_{n-1} x_{n-1} + k_n x_n}{k_1 + k_2 + \dots + k_{n-1} + k_n} \quad (3.1)$$

Όπου

x_1, x_2, \dots, x_n : οι τιμές του Υ.Α. κάθε είδους καλλιέργειας

k_1, k_2, \dots, k_n : η απόδοση κάθε καλλιέργειας σε τόνους

Η εφαρμογή της σχέσης (3.1) καταλήγει στο συγκεντρωτικό πίνακα (3.2). Το ΥΑ υπολογίστηκε ανά τόνο μικτής καλλιέργειας με βάση τα δεδομένα επεξεργασίας. Η μπλε και πράσινη συνιστώσα αθροίζονται.

Υ.Α. μπλε, πράσινο =	525,33	m ³ /ton
Υ.Α. γκρι =	367,56	m ³ /ton
Συνολικό Υ.Α. =	892,89	m ³ /ton

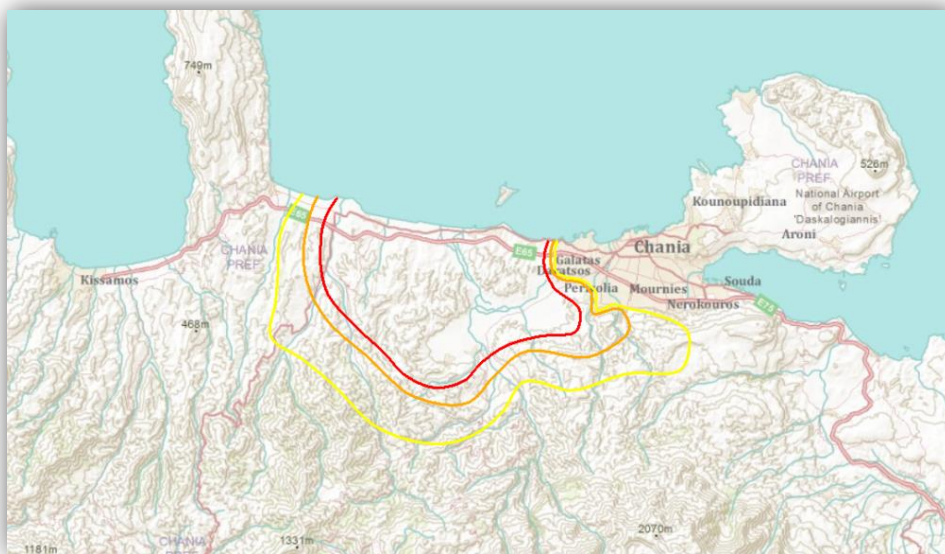
Πίνακας 3.2 Το ενδεικτικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Κάμπο Χανίων

3.2.3. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Αρχικά υπολογίστηκε η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή για όλους τους μήνες του 2007 (η παραπάνω εργασία αναφέρεται στο συγκεκριμένο έτος) και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο συνολικός όγκος του νερού που απελευθερώθηκε από τις καλλιέργειες για όλο το έτος. Τέλος η σχέση (2.6) έδωσε το Υ.Α. των καλλιεργειών ίσο με 543,40 m³/ton. Σε αυτή την ποσότητα δεν συμπεριλαμβάνεται, όπως προαναφέρθηκε, η γκρι συνιστώσα.

Στην παραπάνω διαδικασία πρέπει να αναφερθεί ότι δεν είναι δυνατή η ακριβής οριοθέτηση της περιοχής που εξετάστηκε. Οπότε είναι λογικό οι εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής να παρουσιάζουν διακυμάνσεις ανάλογα με τα όρια που ορίζονται στο περιβάλλον του ArcMap. Για την εξάλειψη αυτής της αβεβαιότητας ορίστηκαν τρία διαφορετικά όρια για την περιοχή μελέτης (Χάρτης 3.2).

Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν τρεις σειρές μετρήσεων, οπότε και τρεις διαφορετικές τιμές για το Υ.Α. του συνόλου των καλλιεργειών. Οι τρεις σειρές δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 3.4. Για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας του νερού που μεταφέρθηκε στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιήθηκε το γινόμενο της συνολικής έκτασης των καλλιεργειών (πίνακας 2.3) και του ετήσιου ύψους της εξατμισοδιαπνοής για κάθε μια από τις τρεις σειρές. Το ύψος της εξατμισοδιαπνοής μετατρέπεται από χιλιοστά σε μέτρα, ενώ η συνολική έκταση από στρέμματα σε τετραγωνικά μέτρα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.



Χάρτης 3.2. Διαφορετικά όρια της υπο μελέτη περιοχής (με κόκκινο χρώμα ορίζεται η έκταση Α, με πορτοκαλί η έκταση Β και με κίτρινο η έκταση Γ)

μήνας/έτος	ΕΤ (mm) Έκταση Α	ΕΤ (mm) Έκταση Β	ΕΤ (mm) Έκταση Γ
Ιαν-07	32,1247	32,1247	35,406
Φεβ-07	31,5481	34,1967	34,2355
Μαρ-07	59,8253	64,4937	64,2865
Απρ-07	77,574	83,0156	83,1152
Μαϊ-07	89,1068	95,1044	95,4114
Ιουν-07	73,8588	80,0679	80,5189
Ιουλ-07	65,2469	73,0024	73,1037
Αυγ-07	47,3239	69,6543	69,4571
Σεπ-07	61,5184	52,8863	52,7094
Οκτ-07	41,1564	44,5035	44,3766
Νοε-07	32,2419	34,2932	34,2474
Δεκ-07	23,9362	26,1011	25,983
Σύνολο:	635,46	689,44	692,85

Πίνακας 3.3 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή του 2007 για τις τρεις διαφορετικές εκτάσεις

Έκταση	Ποσότητα νερού ΕΤ (m³)
A	69750785,11
B	75676109,26
Γ	76050064,23

Πίνακας 3.4 Συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής το 2007 (περιοχές Α, Β και Γ)

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση (2.6) υπολογίζεται το Υ.Α. της πράσινης και μπλε συνιστώσας για τις περιοχές όπως αυτές ορίστηκαν παραπάνω (Πίνακας 3.5). Ακόμα στον πίνακα έχουν προσαρτηθεί οι αποκλίσεις από των τιμών από την τιμή που προέκυψε με τη μέθοδο Blaney - Criddle , $Υ.Α_{μπλε, πράσινο} = 525,33 \text{ m}^3/\text{ton}$ (Πίνακας 3.2).

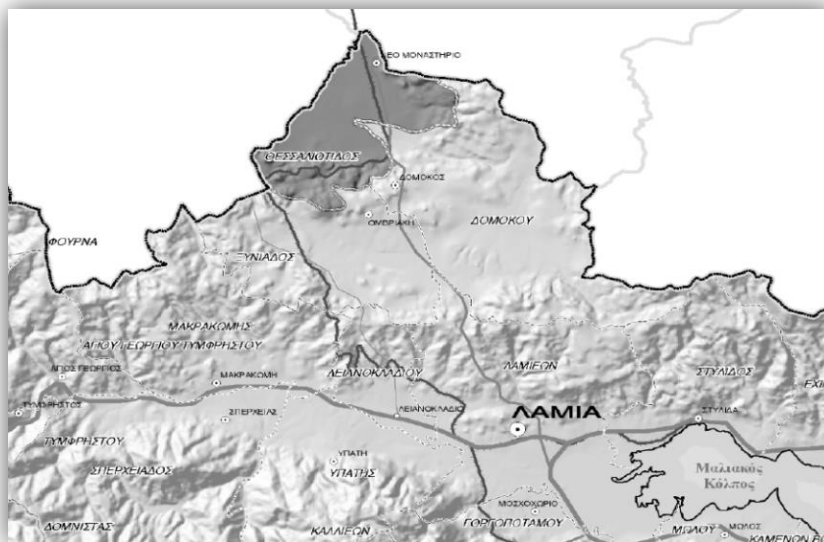
Περιοχή	Υ.Α. μπε, πράσινο (m³/ton)	Απόκλιση
A	500,85	-4,8 %
B	543,40	3,4 %
Γ	546,08	4,0 %

Πίνακας 3.5 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Κάμπο Χανίων το 2007 υπολογισμένο με χρήση ψηφιακής τηλεπισκόπησης και οι αποκλίσεις από τη μέθοδο Blaney – Criddle

3.3 Δήμος Θεσσαλιώτιδας

3.3.1. Περιγραφή περιοχής

Ο Δήμος Θεσσαλιώτιδος βρίσκεται στο Βόρειο άκρο του Νομού Φθιώτιδας και συνορεύει με τους Νομούς Λάρισας και Καρδίτσας (Χάρτης 3.3). Βορειοανατολικά συνορεύει με τον Δήμο Φαρσάλων (Ν. Λάρισας), Ανατολικά με τον Δήμο Δομοκού (Ν. Φθιώτιδας), Δυτικά με το Δήμο Ταμασίου (Ν. Καρδίτσας) και Νότια με το Δήμο Ξυνιάδος (Ν. Φθιώτιδας). Συγκροτείται από τα Δημοτικά διαμερίσματα Νέου Μοναστηρίου, Αγραπιδιάς, Βαρδαλής, Βελεσιωτών, Γαβρακίων, Εκκάρας, Θαυμακού και Σοφιάδας. Η έδρα του Δήμου είναι το Νέο Μοναστήρι.



Χάρτης 3.3. Δήμος Θεσσαλιώτιδος. Βόρεια όρια Νομού Φθιώτιδας (Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π., 2008)

Ο Δήμος Θεσσαλιώτιδος είναι πεδινός και έχει έκταση 155 km² η οποία καλύπτεται κατά 55% από καλλιεργούμενες εκτάσεις, 42% από βοσκοτόπους, 0,1% από δασικές εκτάσεις και 2,5% του συνόλου της έκτασης από οικισμούς (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001). Η κύριες κατηγορίες καλλιεργειών, οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν αλλά και οι παραγωγή τους συγκεντρώνονται στον Πίνακα 3.6.

Καλλιέργεια	Έκταση (στρ.)	Απόδοση (ton)
Βαμβάκι	45700	14290
Σιτάρι μαλακό	600	225
Σιτάρι σκληρό	30200	11930
Βρώμη	140	38,8
Κριθάρι	1520	625
Αραβόσιτος	1810	2065
Ζαχαρότευτλα	230	1700
Βιομ. τομάτα	955	7950
Μηδική	1080	1006
Σύνολο:	82235	39829,8

Πίνακας 3.6 Είδη καλλιεργειών, εκτάσεις και αποδόσεις στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος (Αλεξίου, 2012)

3.3.2. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με τη μέθοδο Blaney - Criddle

Ο υπολογισμός της αναγκαίας ποσότητας μπλε νερού των καλλιεργειών καθώς και η ποσότητα της ωφέλιμης βροχόπτωσης υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο Blaney – Criddle για τα έτη 2007 και 2008.

Η αναλυτική μεθοδολογία και τα αποτελέσματα βρίσκονται στο Κεφάλαιο 4 της διπλωματικής εργασίας «Το Υδατικό Αποτύπωμα ως εργαλείο χάραξης αγροτικής πολιτικής. Η περίπτωση της Δημοτικής ενότητας Θεσσαλιώτιδος» (Αλεξίου, 2012). Τα αποτελέσματα επεξεργάζονται με σκοπό να δημιουργηθούν οι συγκεντρωτικοί Πίνακες (3.7) και (3.8).

<u>Καλλιέργεια</u>	<u>Έκταση (στρ.)</u>	<u>Υ.Α. πράσινο (m3/ton)</u>	<u>Υ.Α. μπλε (m3/ton)</u>	<u>Υ.Α. γκρι (m3/ton)</u>	<u>Συνολικό Υ.Α. (m3/ton)</u>
Βαμβάκι	45700	296,12	1250,04	722,27	2268,43
Σιτάρι μαλακό	600	600,8155263	0	624,362895	1225,18
Σιτάρι σκληρό	30200	635,1288402	0	660,0210282	1295,15
Βρώμη	140	745,5861068	0	899,0825688	1644,67
Κριθάρι	1520	571,1404226	0	688,7231315	1259,86
Αραβόσιτος	1810	47,0420931	219,4765242	492,9902412	759,51
Ζαχαρότευτλα	230	15,7834442	86,45566725	38,60686374	140,85
Βιομ. τομάτα	955	15,54924786	72,56267547	74,4561959	162,5681192
Μηδική	1080	811,4389045	1526,074556	1142,726533	3480,239993
Σύνολο:	82235				

Πίνακας 3.7 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για το έτος 2007

Ενώ το Υδατικό Αποτύπωμα για το έτος 2008:

<u>Καλλιέργεια</u>	<u>Έκταση (στρ.)</u>	<u>Υ.Α. πράσινο (m3/ton)</u>	<u>Υ.Α. μπλε (m3/ton)</u>	<u>Υ.Α. γκρι (m3/ton)</u>	<u>Συνολικό Υ.Α. (m3/ton)</u>
Βαμβάκι	45700	520,59	1441,23	845,73	2807,55
Σιτάρι μαλακό	600	473,2791915		594,6575504	3875,49
Σιτάρι σκληρό	30200	459,0264231		576,7494815	1035,78
Βρώμη	140	538,2349583		885,4601056	1423,70
Κριθάρι	1520	345,9307335		569,0969326	915,03
Αραβόσιτος	1810	65,58668159	217,2935543	548,1301573	831,01
Ζαχαρότευτλα	230	11,17372195	74,74068224	32,7706422	118,69
Βιομ. τομάτα	955	9,860110329	59,09637251	60,3270897	129,2835725
Μηδική	1080	423,7210313	738,9385304	544,9782635	1707,637825
Σύνολο:	82235				

Πίνακας 3.8 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για το έτος 2008

Εφαρμόζοντας τη σχέση (3.1) υπολογίστηκε το συνολικού Υ.Α. για τις καλλιέργειες του Δήμου Θεσσαλιώτιδος για τα έτη 2007 και 2008:

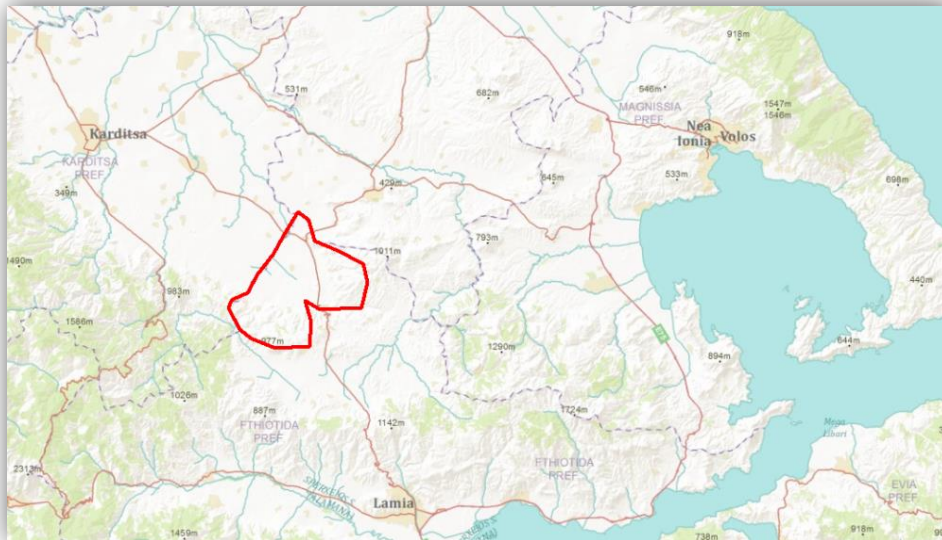
Υ.Α.	2007	2008
Υ.Α. μπλε, πράσινο (m ³ /ton)	852,85	911,43
Υ.Α. γκρι (m ³ /ton)	542,97	544,95
Συνολικό Υ.Α. (m ³ /ton)	1395,82	1456,39

Πίνακας 3.9 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για τα έτη 2007, 2008

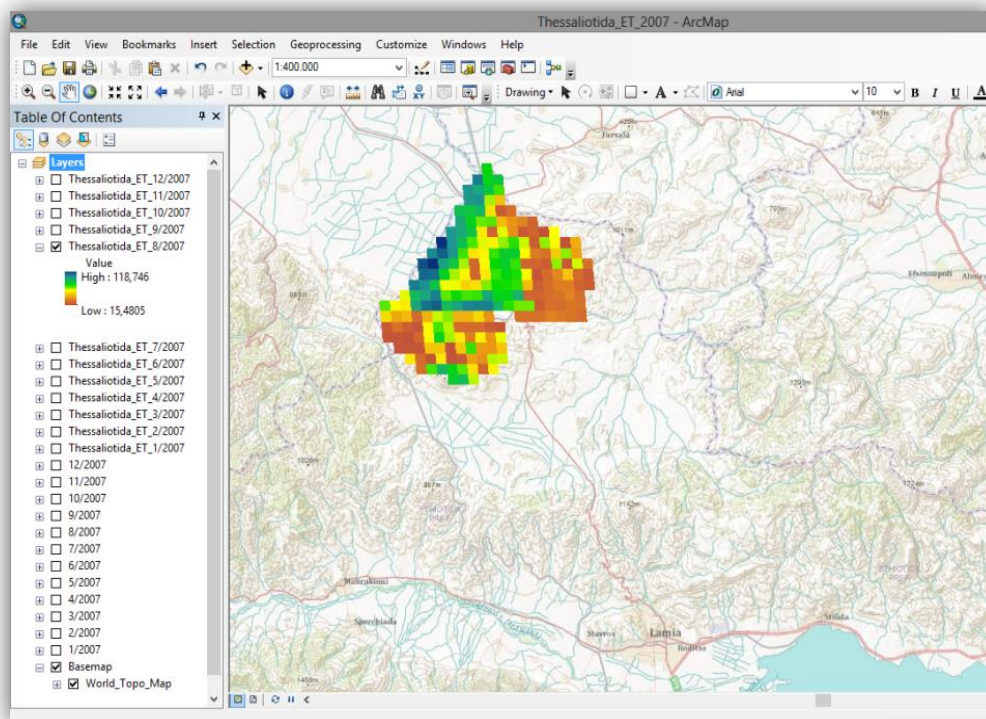
3.3.3. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι ακριβώς η ίδια με αυτήν της προηγούμενης παραγράφου. Η περιοχή μελέτης οριοθετήθηκε στα όρια του Δημοτικού διαμερίσματος αφού οι καλλιεργήσιμες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την έκταση.

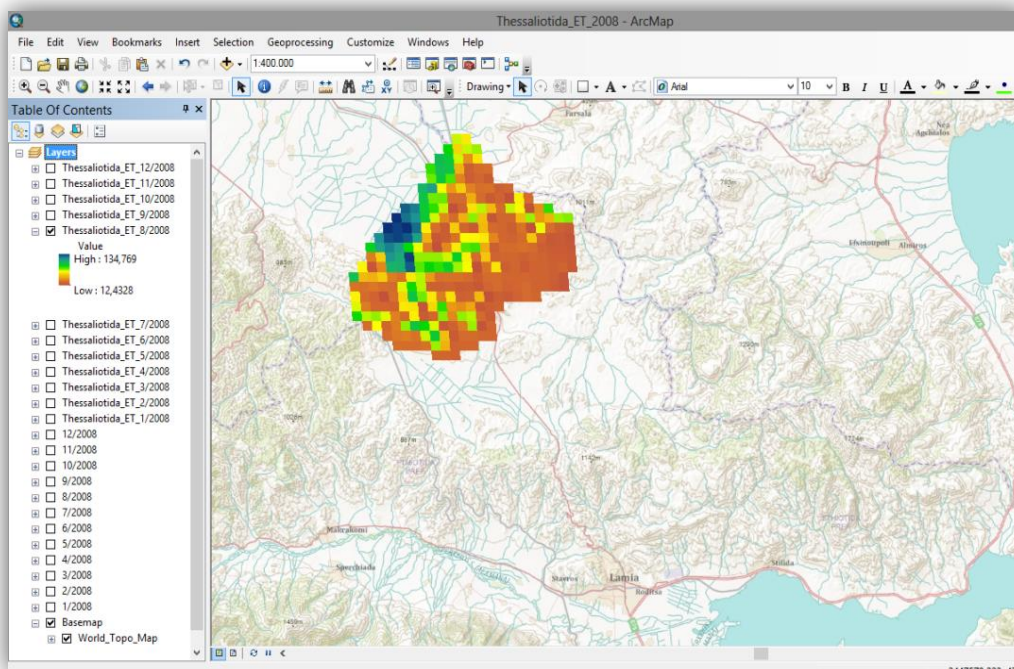
Τα δεδομένα προς επεξεργασία αφορούσαν τα έτη 2007 και 2008. Στις Εικόνες (3.1) και (3.2) φαίνεται ενδεικτικά ο χάρτης της εξατμισοδιαπνοής για τον Αύγουστο του 2007 και 2008 αντίστοιχα, όπως προέκυψε από το ArcMap. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλους τους μήνες των δυο ετών. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα (3.10) με τις τιμές της μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής της περιοχής για το 2007 και το 2008.



Χάρτης 3.4. Η περιοχή μελέτης όπως οριοθετήθηκε στο λογισμικό



Εικόνα 3.1. Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Δήμου Θεσσαλιώτιδας για τον Αύγουστο του 2007



Εικόνα 3.2. Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του Δήμου Θεσσαλιώτιδας για τον Αύγουστο του 2008

<u>Μήνας / Έτος</u>	<u>ΕΤ (mm)</u>	<u>Μήνας / Έτος</u>	<u>ΕΤ (mm)</u>
Ιαν-07	14,6032	Ιαν-08	11,1916
Φεβ-07	13,2221	Φεβ-08	16,7122
Μαρ-07	30,6796	Μαρ-08	32,7117
Απρ-07	45,3584	Απρ-08	49,3532
Μαϊ-07	48,8476	Μαϊ-08	43,9816
Ιουν-07	38,8637	Ιουν-08	29,2078
Ιουλ-07	48,9677	Ιουλ-08	42,8903
Αυγ-07	57,1549	Αυγ-08	41,1809
Σεπ-07	25,7246	Σεπ-08	22,3741
Οκτ-07	23,7124	Οκτ-08	26,4304
Νοε-07	19,8813	Νοε-08	16,0182
Δεκ-07	10,1976	Δεκ-08	9,4026
Σύνολο:	377,2131	Σύνολο:	341,4546

Πίνακας 3.10 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή του Δήμου Θεσσαλιώτιδας για τα έτη 2007 και 2008

Για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας του νερού που μεταφέρθηκε στην ατμόσφαιρα έγινε αναγωγή στη συνολική έκταση των καλλιεργειών (Πίνακας 3.6). Το ύψος της εξατμισοδιαπνοής μετατρέπεται από χιλιοστά σε μέτρα, ενώ η συνολική έκταση από στρέμματα σε τετραγωνικά μέτρα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα (3.11).

Έτος	Ποσότητα νερού ΕΤ (m ³)
2007	31020119,28
2008	28079519,03

Πίνακας 3.11 Συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής στο Δήμο Θεσσαλιώτιδας το 2007 και 2008

Τελικά εφαρμόζοντας τη σχέση (2.6) υπολογίζεται το ΥΑ της πράσινης και μπλε συνιστώσας για την περιοχή μελέτης. Ακόμα στον πίνακα έχουν προσαρτηθεί οι αποκλίσεις από των τιμών από την τιμή που προέκυψε με τη μέθοδο Blaney - Criddle (πίνακας 3.10).

Έτος	Υ.Α. μπλε, πράσινο (m ³ /ton)	Απόκλιση
2007	778,82	-9,5 %
2008	704,99	-29,2 %

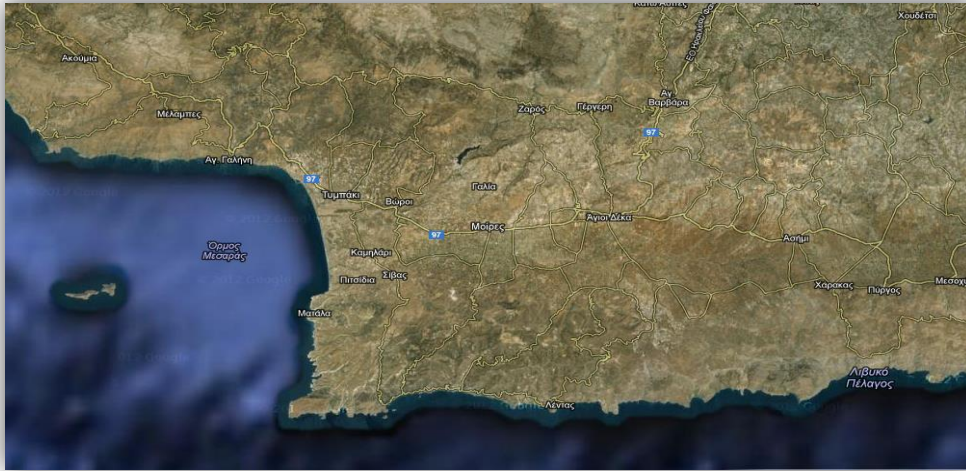
Πίνακας 3.12 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στον Δήμο Θεσσαλιώτιδος για το 2007 και 2008 υπολογισμένο με χρήση ψηφιακής τηλεπισκόπησης και οι αποκλίσεις από τη μέθοδο Blaney - Criddle

3.4 Πεδιάδα Μεσσαράς

3.4.1. Περιγραφή περιοχής

Η περιοχή μελέτης, πεδιάδα Μεσσαράς, βρίσκεται στο ΝΔ τμήμα του Νομού Ηρακλείου Κρήτης και περιλαμβάνει λοφώδεις περιοχές και πεδινές εκτάσεις που ευρίσκονται κυρίως νοτίως των νοτίων κλιτύων του όρους Ίδη (Ψηλορείτης). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής είναι 35 0 01' 00" ως 35 0 07' 00" Βόρειο Γεωγραφικό πλάτος και 24 0 45' 00" ως 24 0 55' 00" Ανατολικά του GREENWICH Γεωγραφικό μήκος. Διοικητικά η περιοχή υπάγεται

στους Δήμους Τυμπακίου και Μοιρών του Ν. Ηρακλείου Κρήτης. Η ευρύτερη περιοχή απεικονίζεται στον χάρτη 3.5.



Χάρτης 3.5. Πεδιάδα Μεσσαράς, Νότιο άκρο Νομού Ηρακλείου (Google Maps)

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει εκτάσεις της τ. Κοινότητας Σκουρβούλων (Νοτιοανατολικά του ομώνυμου οικισμού, από τον επαρχιακό δρόμο μέχρι την κοίτη του π. Κουτσουλίδη), λοφώδεις εκτάσεις της τ. Κοινότητας Γαλιάς (στην ευρύτερη περιοχή που ορίζεται από την κοίτη του π. Κουτσουλίδη και τους οικισμούς Γαλιάς και Λαλουμά), πεδινές εκτάσεις στη συμβολή του π. Κουτσουλίδη με το Γεροπόταμο των τ. Κοινοτήτων Βώρων και Φανερωμένης (συμπεριλαμβανομένων και των εκτάσεων του ομώνυμου αναδασμού), πεδινές εκτάσεις των ζωνών Α, Β και Γ των δικτύων Μεσσαράς και την πεδινή έκταση του Νέου Αναδασμού (νότια της κοίτης του Γεροπόταμου από τους Βώρους μέχρι την εκβολή του στον Κόλπο της Μεσσαράς).

Στο σύνολο της η έκταση της περιοχής έχει χαρακτήρα λοφώδη προς ορεινό στο βόρειο άκρο αυτής ενώ οι κλίσεις προοδευτικά μειώνονται προς νότο για να καταλήξει στην παραθαλάσσια ζώνη με σχεδόν οριζόντια διαμόρφωση. Αυτή η ποικιλία στην μορφή σήμερα έχει ως συνέπεια τη διαφορετική αξιοποίηση της καλλιεργήσιμης γης τόσο όσο ως προς τον βαθμό εκμετάλλευσης όσο και ως προς το είδος των καλλιεργειών. Η γεωγραφική επιφάνεια της περιοχής υπολογίσθηκε σε 106.800 στρ. που περιλαμβάνει γεωργική γη οκτώ τ. Κοινοτήτων και σήμερα Δημοτικών Διαμερισμάτων των Δήμων Τυμπακίου (Βώροι, Τυμπακί, Φανερωμένη) και Μοιρών (Γαλιά, Μοίρες, Πετροκεφάλι, Πόμπια, Σκούρβουλα) του Ν Ηρακλείου.

Η έκταση της γεωργικής γης πεδιάδας της Μεσσαράς σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος) είναι περίπου 23280 στρέμματα. Η αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών παρουσιάζεται συνοπτικά στους Πίνακες (3.13) και (3.14).

Για τις υπαίθριες καλλιέργειες:

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ)	ΜΕΣΗ ΑΠΟΔΟΔΗ (ton/στρ)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ton)	ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ
1.	Σιτηρά (ξηρική καλ.)	1000	0,2	200	Ιανουάριος-Μάιος
2.	Κριθάρι (ξηρική καλ.)	1000	0,22	220	Ιανουάριος-Μάιος
3.	Κοφτολίβαδα (ξηρ.)	1500	0,55	825	Μάρτιος-Οκτώβριος
4.	Ελιές ελ (ξηρικές)	500	0,04	20	Μάρτιος-Φεβρουάριος
5.	Ελιές ελ (αρδευόμενες)	12000	0,075	900	Μάρτιος-Φεβρουάριος
6.	Αμπέλια οιν (ξηρικά)	300	0,48	144	Μάρτιος-Νοέμβριος
7.	Αμπέλια οιν (αρδευόμενα)	800	1,5	1200	Μάρτιος-Νοέμβριος
8.	Όσπρια	120	0,16	19,2	Μάιος-Σεπτέμβριος
9.	Μηδική	130	0,8	104	Απρίλιος-Νοέμβριος
10.	Μποστανικά (καρπούζι, πεπόνι)	750	5	3750	Ιούνιος-Σεπτέμβριος
11.	Πατάτες	1400	3,5	4900	Απρίλιος-Ιούλιος
12.	Λαχανικά	750	1,25	937,5	Απρίλιος-Οκτώβριος
13.	Ντομάτες	1800	3,7	6660	Μάιος-Σεπτέμβριος
14.	Εσπεριδοειδή	950	2	1900	Ιανουάριος-Δεκέμβριος
15.	Οπορωφόρα	280	2,2	616	Μάρτιος-Νοέμβριος
ΣΥΝΟΛΟ		23280	-	22395,7	

Πίνακας 3.13 Υπαίθριες καλλιέργειες στην πεδιάδα Μεσσαράς. Έκταση, μέση απόδοση, συνολική παραγωγή και βλαστική περίοδος ανά καλλιέργεια (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007)

Ενώ για τις υπό κάλυψη καλλιέργειες:

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ)	ΜΕΣΗ ΑΠΟΔΟΔΗ (ton/στρ)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (ton)	ΒΛΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ
1.	Μποστανικά (καρπούζι, πεπόνι)	750	6,25	4687,5	Ιούνιος-Σεπτέμβριος
2.	Λαχανικά	750	1,56	1170	Απρίλιος-Οκτώβριος
3.	Ντομάτες	1800	4,63	8334	Μάιος-Σεπτέμβριος
ΣΥΝΟΛΟ		3300	-	14191,5	

Πίνακας 3.14 Υπό κάλυψη καλλιέργειες στην πεδιάδα Μεσσαράς. Έκταση, μέση απόδοση, συνολική παραγωγή και βλαστική περίοδος ανά καλλιέργεια (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007.)

3.4.2. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με τη μέθοδο Blaney - Criddle

Ο υπολογισμός της αναγκαίας ποσότητας μπλε νερού των καλλιεργειών καθώς και η ποσότητα της ωφέλιμης βροχόπτωσης υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο Blaney – Criddle για το έτος 2006 (Σταθάτου, 2011). Τα αποτελέσματα της εργασίας επεξεργάστηκαν εκ νέου ώστε να προκύψει ο συγκεντρωτικός Πίνακας (3.15) με το ΥΑ ανά συνιστώσα για κάθε είδος καλλιέργειας.

<u>Καλλιέργεια</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>	<u>Υ.Α. πράσινο (m³/ton)</u>	<u>Υ.Α. μπλε (m³/ton)</u>	<u>Υ.Α. γκρι (m³/ton)</u>	<u>Συνολικό Υ.Α. (m³/ton)</u>
Σιτηρά	200	573,55		1733,94	2307,49
Κριθάρι	220	592,85		1576,3	2169,16
Κοφτολίβαδα	825	105,97		630,53	736,5
Ελιές (ξηρ.)	20	6123,28		5057,34	11180,62
Ελιές (αρδ.)	900	3265,75	5635,52	3853,21	12754,48
Αμπέλια (ξηρ.)	144	259,99		515,1	775,09
Αμπέλια (αρδ.)	1200	83,2	420,57	222,63	726,4
Όσπρια	19,2	55,96	3659,76	2157,4	5873,11
Μηδική	104	172,75	1258,06	431,48	1862,29
Μποστανικά	3750	1,98	98,23	103,39	203,61
Πατάτες	4900	6,04	150,56	147,71	304,3
Λαχανικά	937,5	46,76	506,66	276,15	829,57
Ντομάτες	6660	4,46	189,02	139,72	333,2
Εσπεριδοειδή	1900	154,81	411,82	115,6	682,23
Οπορωφόρα	616	65,1	482,91	105,09	653,1

Πίνακας 3.15 Το Υδατικό Αποτύπωμα ανά είδος καλλιέργειας στην πεδιάδα Μεσσαράς, Ηρακλείου για το έτος 2006

Εφαρμόζοντας τη σχέση (3.1) υπολογίζεται το Υ.Α. για τις καλλιέργειες της πεδιάδας της Μεσσαράς για το 2006. Στον Πίνακα (3.16) φαίνονται οι συνιστώσες του Υ.Α. για τις υπαίθριες και υπό κάλυψη καλλιέργειες. Στον Πίνακα (3.17) υπολογίζεται το συνολικό Υ.Α. των καλλιεργειών της πεδιάδας.

<u>Υ.Α.</u>	<u>Υπαίθριες καλλιέργειες</u>	<u>Καλλιέργειες υπό κάλυψη</u>
Υ.Α. μπλε, πράσινο (m ³ /ton)	611,41	107,69
Υ.Α. γκρι (m ³ /ton)	348,09	111,14
Συνολικό Υ.Α. (m³/ton)	959,50	218,82

Πίνακας 3.16 Το συνολικό Υ.Α. των καλλιεργειών στην πεδιάδα της Μεσσαράς (Υπαίθριες και υπό κάλυψη καλλιέργειες) για το 2006

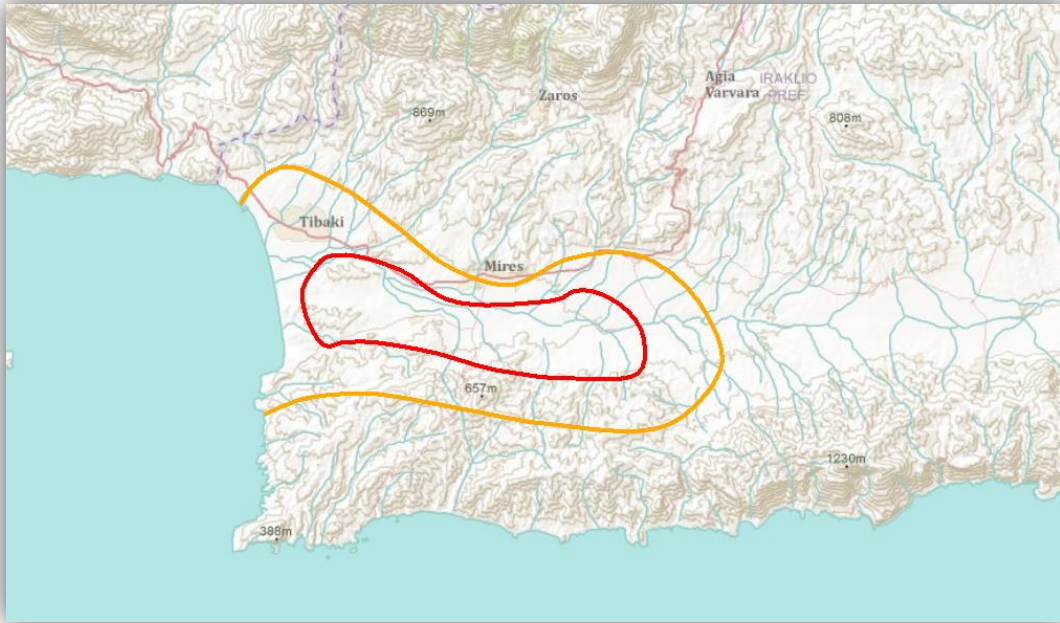
Υ.Α. μπλε, πράσινο =	416,03	m ³ /ton
Υ.Α. γκρι =	256,18	m ³ /ton
Συνολικό Υ.Α. =	672,21	m³/ton

Πίνακας 3.17 Το συνολικό Υ.Α. των καλλιεργειών στην πεδιάδα της Μεσσαράς για το 2006

3.4.3. Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης

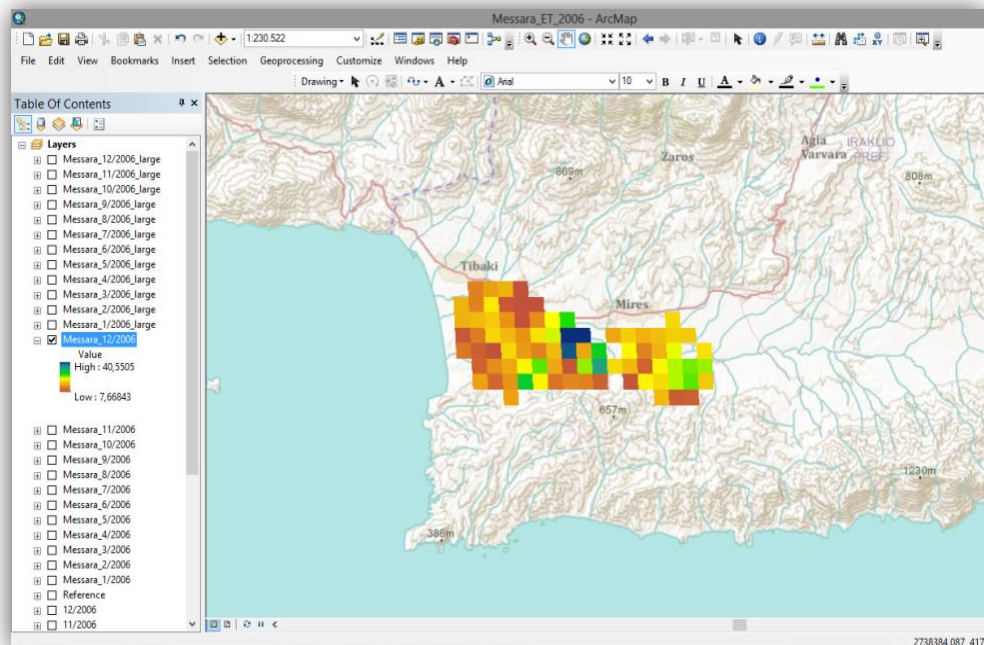
Η διαδικασία που ακολουθήσαμε είναι όμοια με αυτήν των προηγούμενων παραγράφων. Όπως και στην περίπτωση του Κάμπου Χανίων δεν υπάρχουν σαφή όρια της περιοχής μελέτης οπότε οριοθετήθηκαν δυο φορές τα όρια της έκτασης στο περιβάλλον του ArcMap για να μειωθεί η αβεβαιότητα του υπολογισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής που αφορά την περιοχή μελέτης (χάρτης 3.6).

Στις εικόνες 3.3 και 3.4 φαίνονται ενδεικτικά οι χάρτες της εξατμισοδιαπνοής για τον Δεκέμβριο του 2006 για τις δυο εκτάσεις αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από το λογισμικό ArcMap. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλους τους μήνες του ίδιου έτους και για τις δυο εκτάσεις.

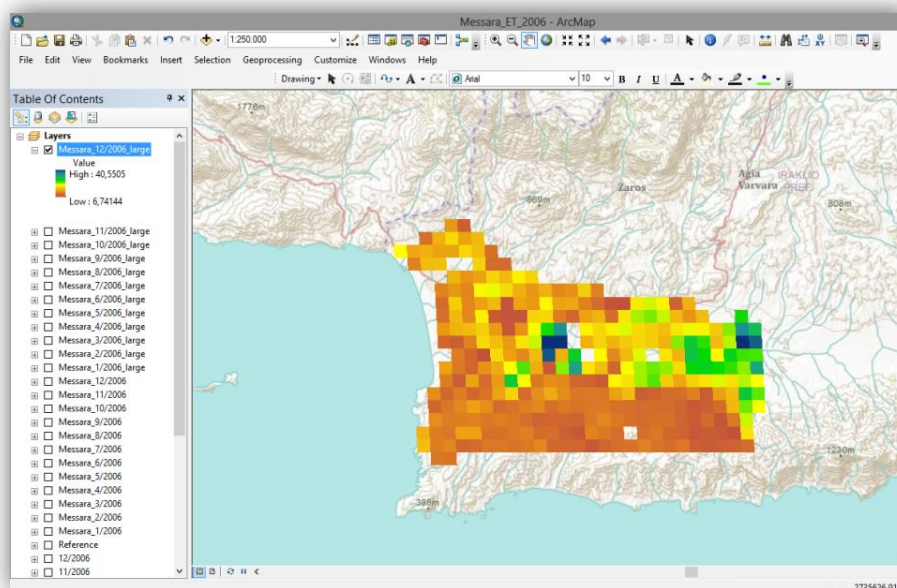


Χάρτης 3.6. Διαφορετικά όρια της υπο μελέτη περιοχής (με κόκκινο χρώμα ορίζεται η έκταση Α, με πορτοκαλί η έκταση Β)

Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στο ArcMap:



Εικόνα 3.3. Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της πεδιάδας της Μεσσαράς για τον Δεκέμβρη του 2006 (έκταση Α)



Εικόνα 3.4. Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της πεδιάδας της Μεσσαράς για τον Δεκέμβρη του 2006 (έκταση Β)

Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν δυο σειρές μετρήσεων, οπότε και δυο διαφορετικές τιμές για το Υ.Α. του συνόλου των καλλιεργειών. Οι δυο σειρές δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα (3.18).

<u>μήνας/έτος</u>	<u>ΕΤ (mm)</u> <u>Έκταση Α</u>	<u>ΕΤ (mm)</u> <u>Έκταση Β</u>
Ιαν-06	13,2795	14,3584
Φεβ-06	25,3384	28,7961
Μαρ-06	41,2481	47,0462
Απρ-06	32,4001	34,9684
Μαϊ-06	12,9233	12,5393
Ιουν-06	6,1885	6,6094
Ιουλ-06	4,5923	4,7206
Αυγ-06	5,7925	5,8975
Σεπ-06	2,694	2,901
Οκτ-06	26,5897	26,825
Νοε-06	19,6385	21,8801
Δεκ-06	13,5686	15,5819
Σύνολο:	204,2535	222,1239

Πίνακας 3.18 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή του 2006 για τις δυο διαφορετικές εκτάσεις

Ενώ η συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα σε ετήσια βάση από τη συνολική έκταση των καλλιεργειών είναι:

Έκταση	Ποσότητα νερού ΕΤ (m ³)
A	21814273,8
B	23722832,52

Πίνακας 3.19 Συνολική ποσότητα νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής το 2006 (εκτάσεις A και B)

Οπότε εφαρμόζοντας τη σχέση (2.6) υπολογίστηκε το Υ.Α. της πράσινης και μπλε συνιστώσας για τις δυο περιοχές. Ακόμα στον πίνακα έχουν προσαρτηθεί οι αποκλίσεις από των τιμών από την τιμή που προέκυψε με τη μέθοδο Blaney – Criddle.

Περιοχή	Υ.Α. μπλε, πράσινο (m ³ /ton)	Απόκλιση
A	596,23	-2,5 %
B	648,39	5,7 %

Πίνακας 3.20. Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών στη πεδιάδα Μεσσαράς το 2006 υπολογισμένο με χρήση ψηφιακής τηλεπισκόπησης και οι αποκλίσεις από τη μέθοδο Blaney – Criddle

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αποκλίσεις των τιμών που υπολογίστηκαν αφορούν τις αντίστοιχες τιμές των υπαίθριων καλλιεργειών.

3.5 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στις προηγούμενες ενότητες υπολογίστηκαν οι τιμές του ΥΑ καλλιεργειών για τρεις περιοχές στις οποίες το ΥΑ είχε υπολογισθεί σε προηγούμενες εργασίες με εμπειρικές μεθόδους.

Αφού δεδομένα των εργασιών αυτών επεξεργάστηκαν εκ νέου ώστε να υπολογισθεί το ΥΑ ανά τόνο μεικτής καλλιέργειας στη συνέχεια έγινε ο υπολογισμός της πράσινης και μπλε συνιστώσας από δεδομένα τηλεπισκόπησης. Οι αποκλίσεις που υπολογίστηκαν μεταξύ των δυο προσεγγίσεων (εμπειρική – τηλεπισκοπήση) αξιολογήθηκαν προκειμένου να εκτιμηθεί η εγκυρότητα της προτεινόμενης τηλεπισκοπικής μεθόδου.

Στην περίπτωση του Κάμπου των Χανίων, δεν υπήρχε σαφής οριοθέτηση της αγροτικής έκτασης. Οπότε η υπό μελέτη περιοχή οριοθετήθηκε αυθαίρετα στο περιβάλλον του ArcMap για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (Περιοχές Α, Β και Γ). Τα αποτελέσματα των ΥΑ μεικτής καλλιέργειας για τις περιοχές αυτές είχαν αποκλίσεις -4,8%, 3,4% και 4,0% για κάθε περιοχή αντίστοιχα. Οι τιμές των αποκλίσεων εκτιμώνται ικανοποιητικές, δεδομένης της ασάφειας στον ορισμό των ορίων της καλλιεργήσιμης έκτασης.

Στην περίπτωση της πεδιάδας της Μεσσαράς, αντιμετωπίστηκε το ίδιο πρόβλημα. Η υπό μελέτη περιοχή οριοθετήθηκε στο ArcMap για δυο περιπτώσεις (Περιοχές Α και Β). Το ενδεικτικό ΥΑ υπολογισμένο με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων παρουσίαζε αποκλίσεις -2,5% και 5,7% για τις περιοχές Α και Β αντίστοιχα. Όπως και στην περίπτωση του κάμπου των Χανίων η σαφής οριοθέτηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων θα αύξανε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Παρόλα αυτά, οι αποκλίσεις των ενδεικτικών τιμών κρίνονται ικανοποιητικές.

Στην περίπτωση του Δήμου Θεσσαλιώτιδας οι αποκλίσεις των ενδεικτικών τιμών του ΥΑ ήταν -9,5% για το έτος 2007 και -29,2% για το 2008. Παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις μεγάλωσαν αισθητά σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται κυρίως ότι στην οριοθέτηση της υπό μελέτη περιοχής δεν είναι δυνατό να απομονωθούν οι γεωργικές εκτάσεις (λόγω της μορφολογίας της περιοχής) οπότε οι τιμές της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής αφορούσαν και ορισμένες ημιδιασικές και αστικές χρήσεις γης. Ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, η οποία σε αντίθεση με τις δυο προηγούμενες περιπτώσεις, παρουσιάζει μεγάλες τιμές επιφανειακών απορροών καθώς και αποθηκευτικότητα του νερού.

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Στο παρών Κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης του Υδατικού Αποτυπώματος του συνόλου των καλλιεργειών της Πελοποννήσου, για τα έτη 2004 και 2006, με τη μέθοδο που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Η διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Πελοποννήσου αποδεικνύεται ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας των υδρολογικών και κλιματολογικών χαρακτηριστικών και της ποικιλομορφίας της αγροτικής παραγωγής. Η εφαρμογή της μεθόδου σε ολόκληρο το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου θα αναδείξει τα πλεονεκτήματα της έναντι της εμπειρικής μεθόδου Blaney - Criddle.

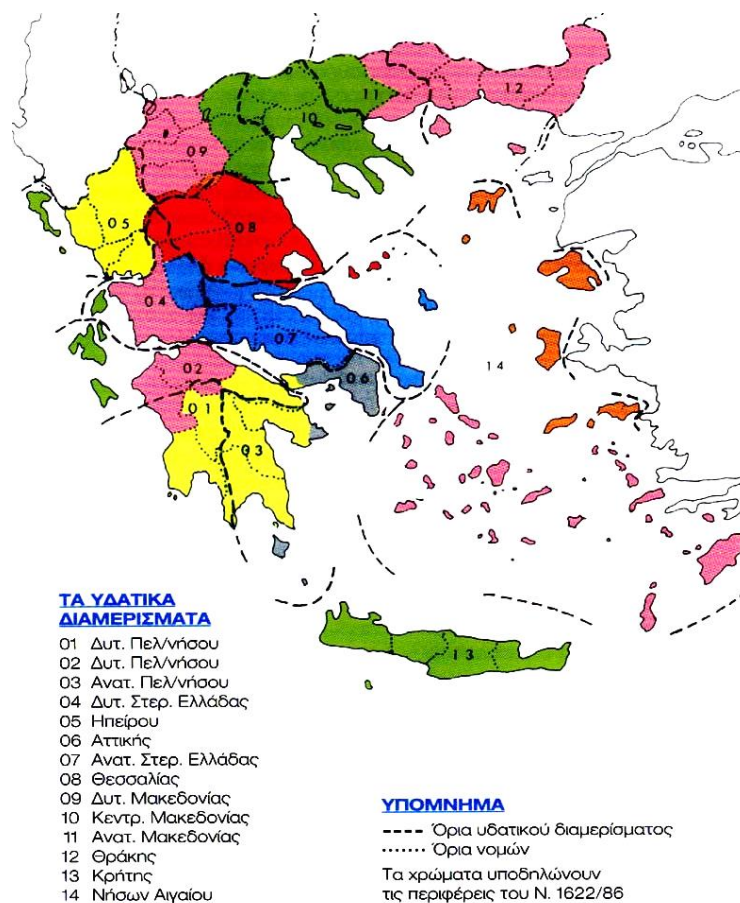
4.2 Περιγραφή της περιοχής

Η Πελοπόννησος είναι η μεγαλύτερη χερσόνησος της Ελλάδας και ένα από τα εννέα γεωγραφικά της διαμερίσματα με έκταση 21.439 km² και πληθυσμό 1.086.935 κατοίκους. Βρίσκεται στα νότια του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και συνδέεται με τη Στερεά Ελλάδα μέσω μιας στενής λωρίδας γης, του Ισθμού της Κορίνθου, στον οποίο το 1893 κατασκευάστηκε η ομώνυμη διώρυγα, μετατρέποντάς την ουσιαστικά σε νησί. Η Πελοπόννησος διαιρείται διοικητικά σε επτά νομούς (Αχαΐα, Ηλεία, Μεσσηνία, Αρκαδία, Λακωνία, Αργολίδα και Κορινθία, με ένα μικρό τμήμα της να υπάγεται στο νομό Αττικής) και από το 1986 σε δύο περιφέρειες, τη Δυτικής Ελλάδας και την περιφέρεια Πελοποννήσου (και ένα μικρό τμήμα αντίστοιχα, στην Περιφέρεια Αττικής).

Η διαχείριση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα διέπεται από τις διατάξεις του Ν. 1739/87, ο οποίος υπαγορεύει τη διαίρεση της χώρας σε 14 υδατικά διαμερίσματα (Χάρτης 4.1). Η Πελοπόννησος χωρίζεται σε τρία υδατικά διαμερίσματα με σύνολο επτά λεκανών απορροής. Εκτενείς αναφορές στα χαρακτηριστικά των υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας βρίσκονται στα Σχέδια Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων του Υ.Π.Ε.Κ.Α.

Η εκτίμηση του ΥΑ είναι μια διαδικασία που αποβλέπει στην ορθή κατανομή των υδατικών πόρων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά και τον όγκο της αγροτικής παραγωγής. Οπότε στις επόμενες ενότητες ακολουθεί η συνοπτική περιγραφή των υδρολογικών χαρακτηριστικών

κάθε υδατικού διαμερίσματος καθώς και τα βασικότερα ανθρωπογενή χαρακτηριστικά όπως η διοικητική διαίρεση, οι χρήσεις γης, οι χρήσεις νερού κ.α.



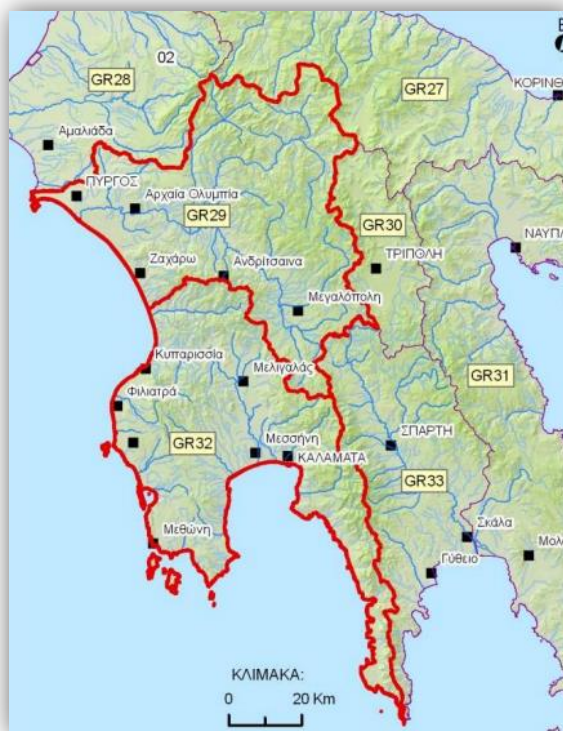
Χάρτης 4.1 Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας)

4.2.1 Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου

Το Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου (ΥΔ01) καλύπτει μια έκταση 7.234,87 km² και περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής του ποταμού Αλφειού (GR29) και Πάμισου - Νέδοντος - Νέδας (GR32), (Εικόνα 4.1).

Το Υδατικό διαμέρισμά εκτείνεται στις Περιφερειακές Ενότητες Αχαΐας, Ηλείας, Αρκαδίας, Μεσσηνίας και Λακωνίας. Οριοθετείται στα βόρεια από τον Ερύμανθο (Ωλενός 2.224 m) και τον Χελμό (Ψηλή Κορυφή 2.355 m), ενώ η ανατολική πλευρά του ορίζεται από το όρος Μαίναλο (1.980 m) και νοτιότερα τον Ταΰγετο (Προφήτης Ηλίας 2.407 m). Στα Δυτικά απλώνεται το Ιόνιο Πέλαγος. Συνολικά περιλαμβάνει 14 ποτάμια με σημαντικότερα τον Αλφειό και τον Πάμισο. Κοντά στις ακτές του ΥΔ βρίσκονται οι λιμνοθάλασσες Γιάλοβας και Καϊάφα. Από διοικητικής άποψης, σε αυτή την έκταση περιλαμβάνονται, εξ ολοκλήρου ή εν μέρει, οι Περιφερειακές Ενότητες Αρκαδίας, Αχαΐας, Ηλείας, Μεσσηνίας, Λακωνίας και ένα μικρό τμήμα της Κορινθίας (ΥΠΕΚΑ, 2013).

Το κλίμα που επικρατεί στο ΥΔ είναι θαλάσσιο μεσογειακό στις παράκτιες και πεδινές περιοχές, γίνεται χερσαίο όσο προχωρούμε προς την ενδοχώρα της Πελοποννήσου και ορεινό στις ορεινές περιοχές. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 800 mm στις πεδινές περιοχές μέχρι 1600 mm στους ορεινούς όγκους του Μαινάλου και του Ταΰγετου, με μέση τιμή για το ΥΔ 1100 mm.



Εικόνα 4.1 Υδατικό διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου. Λεκάνες απορροής GR29 και GR32 (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Η λεκάνη απορροής (ΛΑΠ) του ποταμού Αλφειού (GR29) αντιστοιχεί σε μια έκταση 3.568 km² και βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του ΥΔ01. Τα γεωγραφικά όρια της ΛΑΠ Αλφειού αποτελούν προς το βορρά τα όρη Ερύμανθος και Χελμός, στα ανατολικά το όρος Μαίναλο, το οποίο συνδέεται προς τα νότια με τις οροσειρές του Ταΰγετου, ενώ οι κορυφές των όρων Μίνθη και Λύκαιον αποτελούν το φυσικό σύνορο της ΛΑΠ Αλφειού με τη γειτονική ΛΑΠ Πάμισου – Νέδοντος – Νέδας (GR32). Η ΛΑΠ Αλφειού εκτείνεται στις ΠΕ Αχαΐας, Ηλείας και Αρκαδίας. Δύο υδατικά σώματα περιλαμβάνονται στη ΛΑΠ Αλφειού, το μεγαλύτερο σε μήκος (περίπου 120 km φυσικής ροή και 7 km εκτροπής) ποταμό της Πελοποννήσου Αλφειό, με τους παραπόταμους του Ερύμανθο και Λάδωνα και τη λιμνοθάλασσα Καϊάφα, που είναι μεταβατικό σώμα.

Η Λεκάνη Απορροής των ποταμών Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32) βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου και καλύπτει μία έκταση 3.425 km² στις ΠΕ Μεσσηνίας, Ηλείας, Αρκαδίας και Λακωνίας. Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής είναι στα

βόρεια τα όρη Μίνθη και Λύκαιο και στα ανατολικά ο Ταΰγετος. Η ΛΑΠ βρέχεται στα νότια από τον Μεσσηνιακό κόλπο και στα δυτικά από το Ιόνιο πέλαγος. Το ανάγλυφο είναι πεδινό στις παράκτιες περιοχές, ενώ καθώς προχωρούμε προς την ενδοχώρα γίνεται ημιορεινό και λοφώδες και ορεινό στις ορεινές περιοχές. Ο κύριος ποταμός που διατρέχει τη ΛΑΠ (GR32) είναι ο Πάμισος, ο οποίος διασχίζει το Μεσσηνιακό κάμπο και εκβάλλει στο Μεσσηνιακό κόλπο. Άλλα ποτάμια που περιλαμβάνονται στη ΛΑΠ και εκβάλουν στο Μεσσηνιακό κόλπο είναι, οι ποταμοί Νέδων και Άρης, και τα ρέματα Μύλοι, Βελίκα και Κλεισουρέικο, ενώ στις δυτικές παράκτιες ζώνες εκβάλουν τα ποτάμια Νέδα, Καλό Νερό, Φιλιατρινό, Λαγκούβαρδος, Σελάς, Γιανούζαγας και Μιναγιώτικο. Οι βασικότερες κατηγορίες χρήσεων γης στην έκταση του Υδατικού Διαμερίσματος της Δυτικής Πελοποννήσου διακρίνονται παρακάτω για κάθε λεκάνη απορροής (ΥΠΕΚΑ, 2013).

Λεκάνη Απορροής Ποταμού Αλφειού (GR29):

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 50%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 25%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 20%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 5%

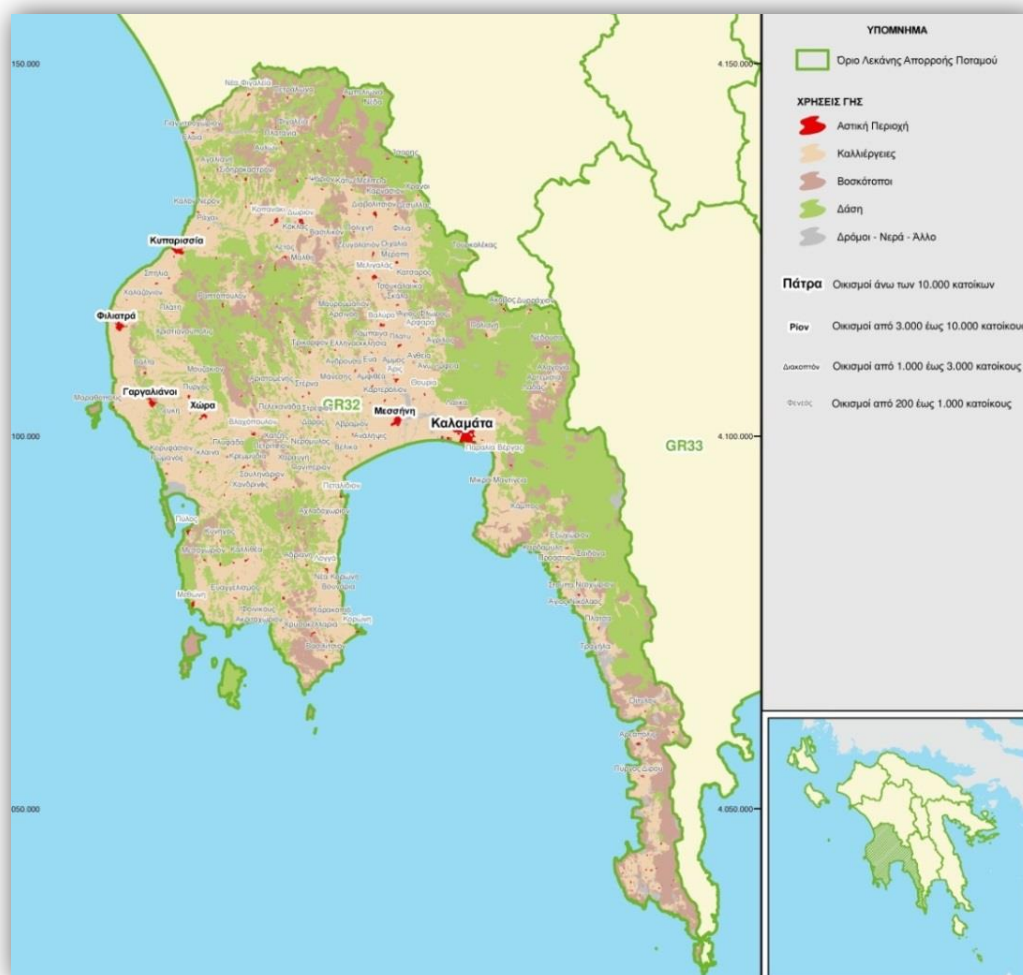


Χάρτης 4.2 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Αλφειού (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Συνολικά, στην περιοχή της ΛΑΠ Αλφειού υπάρχουν σημαντικές δασικές και ημιδασικές εκτάσεις που κατανέμονται σε όλη την έκταση της λεκάνης. Σε ότι αφορά τις εκτάσεις καλλιεργειών, στην περιοχή της ΛΑΠ Αλφειού σήμερα υπάρχουν συνολικά περίπου 590.000 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε 45.000στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 283.000στρ. αροτραίων, 236.000στρ. δενδρωδών και 26.000στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).

Λεκάνη Απορροής Ποταμών Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32):

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 37%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 44%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 16%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 3%



Χάρτης 4.3 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων)

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις στην περιοχή της ΛΑΠ σήμερα φθάνουν συνολικά τα 1.114.000 στρέμματα. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε: 66.000 στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 167.300 στρ. αροτραίων, 841.000 στρ. δενδρωδών και 40.000 στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).

4.2.2 Υδατικό διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου

Το Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου (ΥΔ02) καλύπτει συνολική έκταση 7396.55 km² και αποτελείται από τις Λεκάνες Πείρου - Βέργα - Πηνειού (GR28), τη Λεκάνη Ρεμάτων Παραλίας Β. Πελοποννήσου (GR27) και τη Λεκάνη Κεφαλλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου (GR45).

Το υδατικό διαμέρισμα οριοθετείται στο χερσαίο τμήμα του από τον υδροκρίτη που ξεκινά από το ακρωτήριο Κατάκωλο, συνεχίζει στους ορεινούς όγκους Φολή, Λάμπεια, Ερύμανθο, Αροάνεια, στο υψίπεδο Καλαβρύτων, στο νότιο όριο της κλειστής λεκάνης Φενεού, στους ορεινούς όγκους του Ολιγύρτου, Λύρκειου και Ονείων, και καταλήγει στο ακρωτήριο Τραχήλι μέσω των κορυφών Τραπεζώνα και Πολίτη στην Κορινθία. Περιλαμβάνει επίσης και τα νησιά Κεφαλλονιά, Ζάκυνθο και Ιθάκη. Περιλαμβάνει τμήματα των Περιφερειών Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας και Ιονίων Νήσων με ποσοστά έκτασης 28%, 54% και 18% αντίστοιχα. Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο του ΥΔ χαρακτηρίζεται γενικά ορεινό (600 έως 2400 m) και απότομο στο εσωτερικό, ημιορεινό (100 έως 600μ) στην εξωτερική του περίμετρο και πεδινό (0 έως 100 m) στη παράκτια ζώνη του (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).



Εικόνα 4.2 Υδατικό διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου. Λεκάνες απορροής GR28, GR27 και GR45 (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Η Λεκάνη Πείρου - Βέργα - Πηνειού έχει έκταση 2423.43 km². Περιλαμβάνει τις υδρολογικές λεκάνες Πηνειού έκτασης 1025 km², Πείρου έκτασης 580 km², Βέργα έκτασης 125 km², και έξι παράκτιες λεκάνες χωρίς σημαντικούς ποταμούς. Η ΛΑΠ Πηνειού - Πείρου - Βέργα ανήκει εξ' ολοκλήρου στην Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας. Η υδρολογική λεκάνη του Πηνειού είναι η μεγαλύτερη λεκάνη του διαμερίσματος και αποστραγγίζεται από τον Πηνειό, που διασχίζει την ορεινή και ημιορεινή Ηλεία και καταλήγει σήμερα στην τεχνητή λίμνη του ομώνυμου φράγματος (τοποθεσία Κέντρο).

Η υδρολογική λεκάνη του Πείρου αναπτύσσεται στη δυτική Αχαΐα. Αποστραγγίζεται από τον ποταμό Πείρο που πηγάζει από πηγές του καρστικού συστήματος βόρειου Ερύμανθου, και έχει ροή σε όλη τη διάρκεια του έτους. Στο πεδινό τμήμα της λεκάνης (κάμπος Κάτω Αχαΐας) συμβάλλουν τρεις σχετικά μεγάλοι χειμαρροί. Οι ποταμοί Πείρος και Παραπείρος ρέουν χωριστά μέχρις ορισμένου σημείου (περιοχή Θεριανό) όπου και ενώνονται σε έναν ο οποίος τελικά εκβάλλει στον Πατραϊκό κόλπο, στην περιοχή της Κάτω Αχαΐας.

Η Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Παραλίας Β. Πελοποννήσου έχει έκταση 3685 km² και περιλαμβάνει 42 υδρολογικές λεκάνες από τις οποίες τρεις είναι κλειστές (Αλέας, Φενεού, Στυμφαλίας) και οι υπόλοιπες είναι παράκτιες. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι του Γλαύκου, του Κράθι, του Σελινούντα, του Κριού, του Ασωπού, του Βουραϊκού, του Σίθα και της Ράχιανης. Η ΛΑΠ Ρεμάτων Παραλίας Β. Πελοποννήσου περιλαμβάνει τμήματα των Περιφερειών Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας με ποσοστά έκτασης 57% και 43% αντίστοιχα.

Η Λεκάνη Απορροής Κεφαλληνιάς, Ιθάκης, Ζακύνθου έχει έκταση 1288 km², και περιλαμβάνει τα νησιά Κεφαλονιά, Ιθάκη, Ζάκυνθο και Στροφάδες. Ο χαρακτήρας της Λεκάνης είναι καθαρά νησιωτικός χωρίς σημαντικά ποτάμια και λίμνες. Η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται σε 950 mm ετησίως.

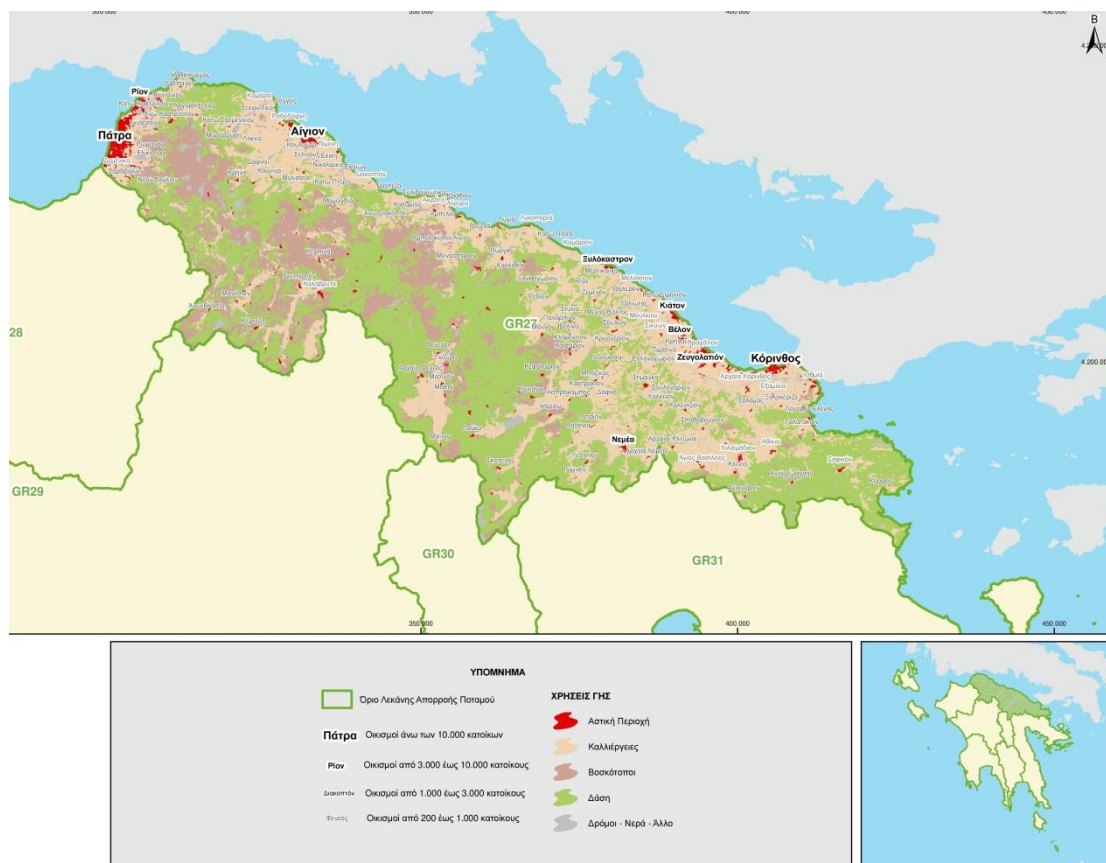
Οι βασικότερες κατηγορίες χρήσεων γης στην έκταση του Υδατικού διαμερίσματος της Βόρειας Πελοποννήσου διακρίνονται παρακάτω για κάθε λεκάνη απορροής (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (GR27):

Στην περιοχή της λεκάνης, σε μια συνολική έκταση 3.685 km², διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες χρήσεων γης:

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 46%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 33%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 16%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 5%

Συνολικά, στην περιοχή της ΛΑΠ Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου, υπάρχουν σημαντικές δασικές και ημιδασικές εκτάσεις που κατανέμονται σε όλη την έκταση της λεκάνης. Σε ότι αφορά τις εκτάσεις καλλιεργειών, στην περιοχή της ΛΑΠ Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου σήμερα υπάρχουν συνολικά περίπου 800.500 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε 250.000στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 177.000στρ. αροτραίων, 346.000στρ. δενδρωδών και 27.000στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).



Χάρτης 4.4 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Λεκάνη Απορροής Ποταμών Πείρου – Βέργα – Πηνειού (GR28):

Στην περιοχή της λεκάνης, σε μια συνολική έκταση 2.423 km², διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες χρήσεων γης:

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 24%.
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 57%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 13%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 6%



Χάρτης 4.5 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ποταμών Πείρου – Βέργα – Πηνειού (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Οι εκτάσεις καλλιεργειών, στην περιοχή της ΛΑΠ Πείρου - Βέργα - Πηνειού σήμερα φθάνουν τα 1.172.000 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε 73.500 στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 811.000 στρ. αροτραίων, 191.500 στρ. δενδρωδών και 95.500 στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).

Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Κεφαλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (GR45):

Στην περιοχή της λεκάνης, σε μια συνολική έκταση 1.289 km², διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες χρήσεων γης:

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 33%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 33%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 30%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 4%



Χάρτης 4.6 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ρεμάτων Κεφαλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013)

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις στην περιοχή της ΛΑΠ Κεφαλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου σήμερα φθάνουν περίπου τα 263.500 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε 43.000 στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 81.000 στρ. αροτραίων, 132.000 στρ. δενδρωδών και 7.000 στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).

4.2.3 Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (ΥΔ03) εκτείνεται γεωγραφικά στην Ανατολική και Νοτιοανατολική Πελοπόννησο. Εντός των ορίων του βρίσκονται, επίσης, τα

νησιά Πόρος, Ύδρα, Σπέτσες, Σπετσοπούλα, Δοκός, Κύθηρα και Αντικύθηρα καθώς και η χερσόνησος των Μεθάνων. Οι λεκάνες απορροής που το απαρτίζουν είναι αυτή Οροπεδίου Τρίπολης (GR30), των Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) και Ευρώτα (GR33). Στα δυτικά, το Διαμέρισμα συνορεύει με το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου (Υ.Δ. 01) ενώ στα βόρεια με το Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου (Υ.Δ. 02).

Η συνολική έκταση του Διαμερίσματος είναι 8.442 km². Από διοικητικής άποψης, σε αυτή την έκταση περιλαμβάνονται, εξ ολοκλήρου ή εν μέρει, οι Περιφερειακές Ενότητες Αργολίδας, Αρκαδίας, Κορινθίας, Λακωνίας, Μεσσηνίας και Νήσων.

Όσον αφορά στα φυσικά-γεωμορφολογικά όρια του Διαμερίσματος, αυτά είναι προς τα δυτικά ο Ταΰγετος και το Μαίναλο, προς τα βόρεια ο ορειογραφικός άξονας Ολύγιρτου-Λυρκείων-Ονειών, προς τα ανατολικά ο Πάρνωνας, ο Αργολικός Κόλπος και ο Κόλπος της Επιδαύρου και προς τα νότια ο Λακωνικός Κόλπος. Η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμάται σε 750 mm, με τις τιμές να είναι υψηλότερες για τις ορεινές περιοχές και το οροπέδιο της Τρίπολης και σημαντικά χαμηλότερες στην Αργολίδα (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).



Εικόνα 4.3 Υδατικό διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου. Λεκάνες απορροής GR30 GR31 και GR33 (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).

Η έκταση της Λεκάνης Απορροής του Οροπεδίου Τρίπολης (GR30) είναι 907 km². Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής είναι στα δυτικά το όρος Μαίναλο, στα βόρεια τα όρη Ολίγυρτος και Λύρκειο, στα ανατολικά ο ορογραφικός άξονας Αρτεμίσιο-Κτενιάς-Παρθένιο και στα νότια οι ορεινές περιοχές της Δημοτικής Ενότητας Καρυών (παρυφές Πάρνωννα). Το οροπέδιο της Τρίπολης αποτελεί μία τυφλή κοιλάδα, η οποία χαρακτηρίζεται από μέτρια ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου. Η κοιλάδα είναι μακρόστενη με διεύθυνση Β-N και ορίζεται από περιμετρικές ορεινές εξάρσεις, οι οποίες στο κέντρο της υπό εξέταση Λεκάνης δημιουργούν μία στένωση και χωρίζουν το Οροπέδιο στα λεκανοπέδια της Τρίπολης και της Μαντινείας. Την περιοχή δεν διατρέχει κάποιος σημαντικός ποταμός, αλλά μικρά ρέματα. Στο νοτιοδυτικό άκρο της Λεκάνης και σε υψόμετρο περίπου 660 m έχει κατασκευαστεί η λιμνοδεξαμενή Τάκα, η οποία περιβάλλεται από λόφους με αραιή βλάστηση.

Η έκταση της Λεκάνης Απορροής των Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου είναι 5.296 km². Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής είναι στα δυτικά τα όρη του Αρτεμισίου και ο Πάρνωννας, στα βόρεια το όρος Λύρκειο και τα Όνεια Όρη, στα ανατολικά ο Αργολικός Κόλπος και ο Κόλπος της Επιδαύρου και στα νότια ο Λακωνικός Κόλπος. Επίσης, τα νησιά Πόρος, Ύδρα, Σπέτσες, Σπετσοπούλα, Δοκός, Κύθηρα και Αντικύθηρα καθώς και η χερσόνησος των Μεθάνων, της Περιφερειακής Ενότητας Νήσων, συμπεριλαμβάνονται στην εν λόγω Λεκάνη Απορροής. Οι κύριοι ποταμοί και ρέματα της περιοχής είναι ο Ράδος π., ο Ίναχος π., ο Τάνος π., το ρ. Βρασιάτης και το ρ. Ξόρβριο, που εκβάλλουν στον Αργολικό Κόλπο, το ρ. Δαφνών που απορρέει στις ανατολικές ακτές της Πελοποννήσου και το ρ. Μαριόρρεμα, το οποίο καταλήγει στο Λακωνικό κόλπο. Η Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου είναι στο μεγαλύτερο τμήμα της ορεινή, με απόκρημνα ψηλά βουνά, τα οποία οριοθετούν τις πεδιάδες της περιοχής. Η πεδιάδα του Άργους, που απλώνεται από τις Μυκήνες έως τον Αργολικό Κόλπο, η πεδιάδα του Άστρους Βόρειας Κυνουρίας, η πεδιάδα των Μολάων και η πεδιάδα της Νεάπολης Βοιών αποτελούν τις σημαντικότερες πεδιάδες στην περιοχή.

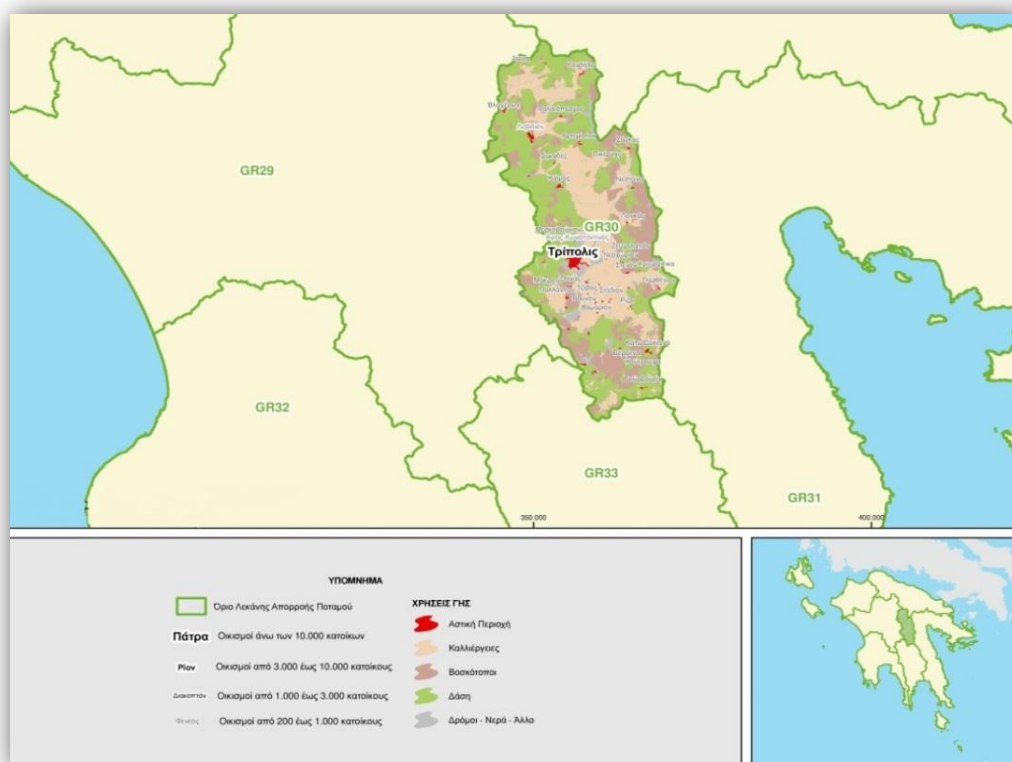
Η έκταση της Λεκάνης Απορροής του Ευρώτα (GR33) είναι 2.239 km², έκταση στην οποία συμπεριλαμβάνονται τμήματα των Περιφερειακών Ενοτήτων Λακωνίας, Αρκαδίας και Μεσσηνίας. Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής είναι στα δυτικά η οροσειρά του Ταυγέτου, στα βόρεια οι ορεινές περιοχές της Δημοτικής Ενότητας Σκιρίτιδας (κορυφή Αγριοκερασιά), στα ανατολικά η οροσειρά του Πάρνωννα και στα νότια ο Λακωνικός Κόλπος. Οι κύριοι ποταμοί που διατρέχουν τη Λεκάνη Απορροής είναι ο Ευρώτας και ο Πλατύς ή Σμύνος ή Αρνιώτικο. Ο ποταμός Ευρώτας αποτελεί ιστορικό ποτάμι, γύρω από το οποίο έχει αναπτυχθεί η Σπάρτη, το σημαντικότερο αστικό κέντρο της Λεκάνης. Πηγάζει από τη νοτιοανατολική περιοχή του οροπεδίου της Μεγαλόπολης της Περιφερειακής Ενότητας Αρκαδίας και εκβάλλει στο Λακωνικό Κόλπο. Ο ποταμός Πλατύς πηγάζει από την ανατολική πλευρά του Ταυγέτου και εκβάλλει στο Λακωνικό κόλπο, δυτικά της αντίστοιχης εκβολής του Ευρώτα, κοντά στο Γύθειο. Στην περιοχή βρίσκονται δυο κύριες πεδιάδες, η κοιλάδα της Σπάρτης και το δυτικό τμήμα της πεδιάδας της Σκάλας.

Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Τρίπολης (GR30):

Στην περιοχή της λεκάνης, σε μια συνολική έκταση 907 km², διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες χρήσεων γης:

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 42%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 29%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 23%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 6%

Στην περιοχή της ΛΑΠ Οροπεδίου Τρίπολης σήμερα υπάρχουν συνολικά περίπου 182.000 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε 13.000 στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 129.000 στρ. αροτραίων, 33.000 στρ. δενδρωδών και 7.000 στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).



Χάρτης 4.7 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ οροπεδίου Τρίπολης (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).

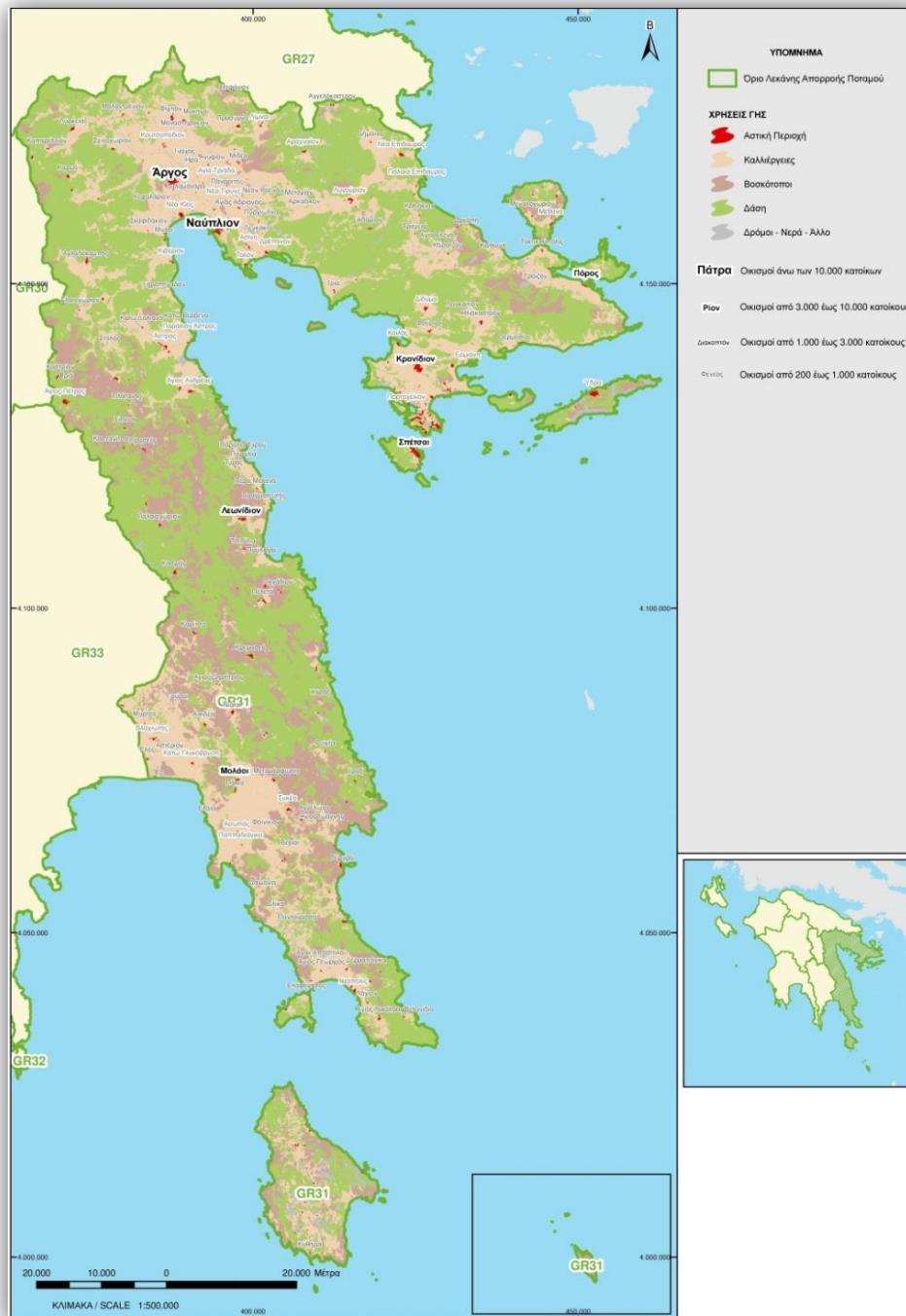
Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31):

Στην περιοχή της λεκάνης, σε μια συνολική έκταση 5.296 km², διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες χρήσεων γης:

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 50%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 29%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 17%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 4%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Στην περιοχή της ΛΑΠ των Ρεμάτων του Αργολικού Κόλπου σήμερα υπάρχουν συνολικά περίπου 1.176.000 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις διακρίνουμε: 17.500 στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 232.000 στρ. αροτραίων, 865.500 στρ. δενδρωδών και 61.000 στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).

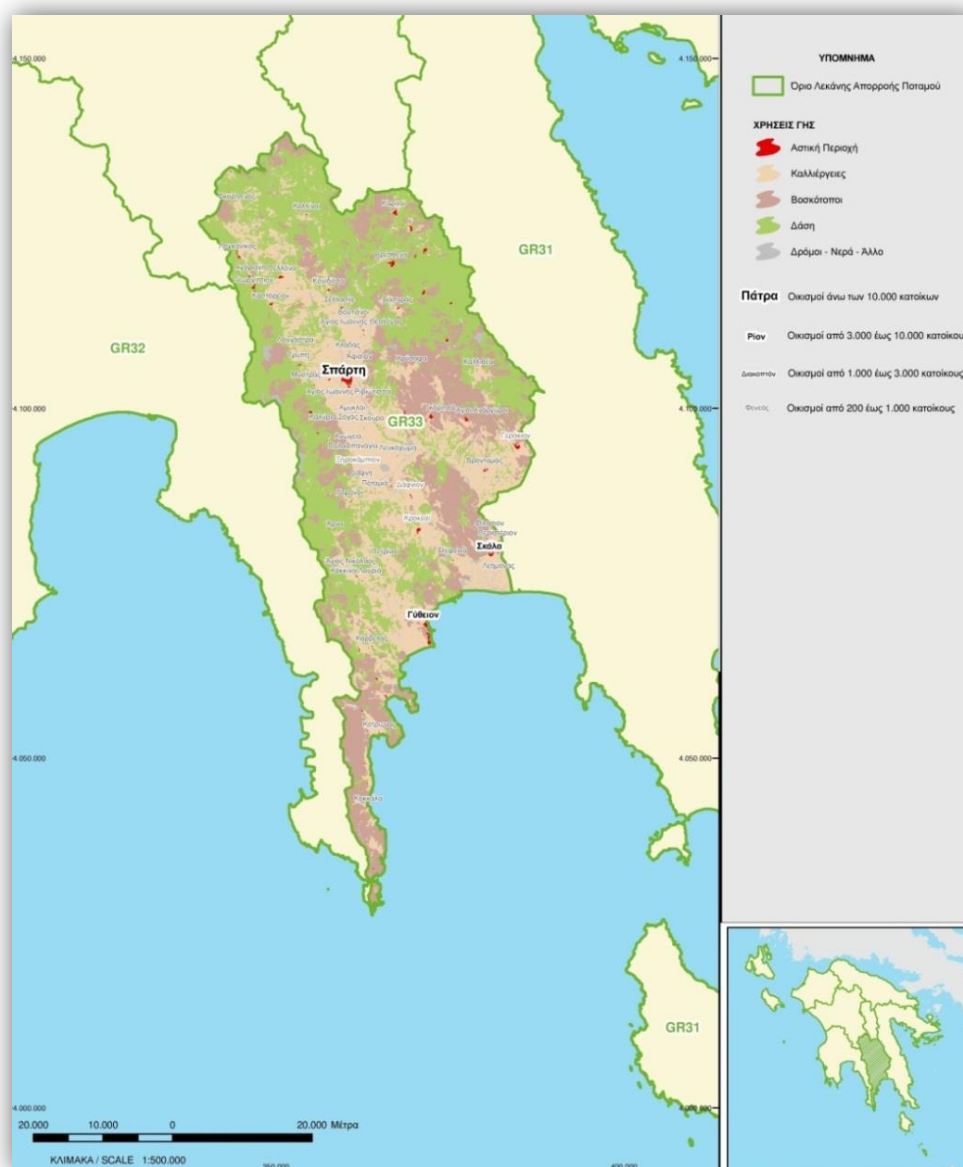


Χάρτης 4.8 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).

Λεκάνη Απορροής του Ευρώτα (GR33):

Στην περιοχή της λεκάνης, σε μια συνολική έκταση 2.239 km², διακρίνονται οι παρακάτω βασικές κατηγορίες χρήσεων γης:

- Δάση και δασικές εκτάσεις, σε ποσοστό 42%
- Γεωργική γη, σε ποσοστό 31%
- Βοσκότοποι, σε ποσοστό 25%
- Αστικές και άλλες χρήσεις, σε ποσοστό 2%.



Χάρτης 4.9 Χάρτης χρήσεων γης στη ΛΑΠ Ευρώτα (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013).

Στην περιοχή της ΛΑΠ σήμερα υπάρχουν συνολικά 491.000 στρέμματα καλλιεργούμενης γης. Σε αυτές τις εκτάσεις συμπεριλαμβάνονται: 4.000 στρ. αμπέλων και σταφιδαμπέλων, 38.000 στρ. αροτραίων, 443.000 στρ. δενδρωδών και 6.000 στρ. κηπευτικών (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007).

4.3 Γεωργική παραγωγή

Στη παρούσα ενότητα γίνεται η συνοπτική καταγραφή των στοιχείων που αφορούν την αγροτική παραγωγή στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου. Καταγράφονται οι κύριες κατηγορίες καλλιέργειας (είδος και ποσότητα παραγωγής) για τα έτη 2004 και 2006. Τα στοιχεία αντλούνται από τις Γεωργικές Στατιστικές της Ελλάδος για τα αντίστοιχα έτη (ΕΛ.ΣΤΑΤ., Στατιστικές Πρωτογενούς Τομέα).

- Σημειώνεται ότι στη παρακάτω συγκεντρωτική καταγραφή δεν συμπεριλαμβάνεται η αγροτική παραγωγή των νησιών της Κεφαλονιάς, Ιθάκης, Ζακύνθου και Κυθήρων παρά το ότι ανήκουν στα υδατικά διαμερίσματα Βόρειας και Ανατολικής Πελοποννήσου αντίστοιχα. Ο αποκλεισμός αυτός γίνεται με σκοπό να υπολογιστεί το ΥΑ των καλλιεργειών μόνο του νησιού της Πελοποννήσου, θεωρώντας την ως μια αυτόνομη, υδρολογικά, οντότητα.

Στους πίνακες (4.1) έως (4.10) συγκεντρώνεται η γεωργική παραγωγή του γεωγραφικού διαμερίσματος.

Σιτηρά για καρπό:

<u>Είδος καλλιέργειας</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>	
	<u>2004</u>	<u>2006</u>
Σιτάρι μαλακό	28.943	26.289
Σιτάρι σκληρό	38.324	35.963
Κριθάρι	24.555	24.165
Βρώμη	41.215	45.433
Σίκαλη	928	1.169
Αραβόσιτος (χωρίς συγκαλλιέργεια)	235.146	246.829
Αραβόσιτος (συγκαλλιεργούμενος)	3.381	3.046
Ρύζι	1.625	613
Σόργο	11	10
Λοιπά	8	16
Σύνολο:	374.136	383.533

Πίνακας 4.1 Παραγωγή σιτηρών για καρπό της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Βρώσιμα όσπρια:

<u>Είδος καλλιέργειας</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>	
	<u>2004</u>	<u>2006</u>
Φασόλια (χωρίς συγκαλλιέργεια)	2.352	2.331
Φασόλια (συγκαλλιεργούμενα)	1.116	1.009
Κουκιά	585	515
Φακή	37	45
Ρεβίθια	94	85
Λαθούρι (Φάβα)	41	38
Μπιζέλια	148	171
Λοιπά βρώσιμα όσπρια	55	81
Σύνολο:	4.428	4.275

Πίνακας 4.2 Παραγωγή βρώσιμων οσπρίων της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Κτηνοτροφικά όσπρια:

<u>Είδος καλλιέργειας</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>	
	<u>2004</u>	<u>2006</u>
Βίκος	1.782	1.846
Ρόβη	92	31
Λούπινα	262	254
Λαθούρι	200	102
Σπόρος τριφυλλιών	20	33
Λοιπά	394	282
Σύνολο:	2.750	2.548

Πίνακας 4.3 Παραγωγή κτηνοτροφικών οσπρίων της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Βιομηχανικά φυτά:

Είδος καλλιέργειας	Παραγωγή (ton)	
	2004	2006
Καπνός Ανατολικού τύπου	1.317	34
Καπνός Μπέρλεϋ, Βιρτζίνια	974	-
Βαμβάκι Ποτιστικό	11.285	8.874
Βαμβάκι Ξερικό	-	-
Σουσάμι	-	-
Ηλιόσπορος	-	-
Σόργο	-	-
Αραχίδα	1.632	1.546
Ζαχαρότευτλα	-	-
Σόγια σπόρος	-	-
Κολοκύθες για σπόρους	-	-
Πιπεριές για κόκκινο πιπέρι	-	-
Αρωματικά φυτά καλλιεργήσιμα	-	-
Λοιπά	-	-
Σύνολο:	1.632	10454

Πίνακας 4.4 Παραγωγή βιομηχανικών φυτών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Κτηνοτροφικά φυτά:

Είδος καλλιέργειας	Παραγωγή (ton)	
	2004	2006
Κριθάρι	23.718	24.344
Βρώμη	33.014	32.290
Βίκος	13.916	13.385
Τριφύλλια πολυετή	70.099	68.434
Τριφύλλια ετήσια	11.033	10.180
Κοφτολίβαδα (Σανός)	17.922	18.161
Λοιπά σανά	1.103	916
Αραβόσιτος, χλωρός	4.853	5.601
Σόργο, χλωρό	1.909	2.008
Τεύτλα, κτηνοτροφικά	-	1
Σύνολο:	177.567	175.320

Πίνακας 4.5 Παραγωγή κτηνοτροφικών φυτών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Πεπονοειδή και πατάτες:

Είδος καλλιέργειας	Παραγωγή (ton)	
	2004	2006
Καρπούζια	352.183	325.329
Πεπόνια	57.408	50.197
Πατάτες συγκομιζόμενες την άνοιξη	186.354	172.301
Πατάτες συγκομιζόμενες το καλοκαίρι	84.003	81.574
Πατάτες συγκομιζόμενες το χειμώνα	132.496	126.621
Γλυκοπατάτες	10.887	2.017
Σύνολο:	823.331	758.039

Πίνακας 4.6 Παραγωγή πεπονοειδών και πατάτας της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Λαχανικά και κηπευτική γη:

Είδος καλλιέργειας	Παραγωγή (ton)	
	2004	2006
Τομάτες επιτραπέζιες	226.931	144.252
Τομάτες υπαίθριες	98.972	102.648
Τομάτες θερμοκηπίου	39.276	39.098
Φασολάκια	20.321	20.438
Λάχανα	35.801	37.060
Κουνουπίδια	27.582	25.893
Κολοκυθάκια	31.835	32.821
Κρεμμύδια, ξερά	17.622	20.328
Σκόρδα, ξερά	2.162	2.111
Αγκινάρες	18.200	17.643
Ραδίκια και αντίδια	7.429	6.662
Σπανάκι	4.853	4.900
Αρακάς	1.798	1.722
Μπάμιες ποτιστικές	2.222	2.148
Μπάμιες ξερικές	88	107
Πράσα	370	537
Μαρούλια	47.414	36.670
Αγγούρια υπαίθρου	3.136	3.225
Αγγούρια θερμοκηπίου	32.333	34.188
Μελιτζάνες υπαίθρου	18.860	17.432
Μελιτζάνες θερμοκηπίου	4.972	4.492
Σπαράγγια	230	285
Φράουλες	3.380	3.230
Λοιπά λαχανικά	46.896	48.030
Σύνολο:	692.683	605.920

Πίνακας 4.7 Παραγωγή λαχανικών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Αμπέλια και σταφιδάμπελα:

<u>Είδος καλλιέργειας</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>	
	<u>2004</u>	<u>2006</u>
Σταφύλια που γλευκοποιήθηκαν	226.152	227.238
Επιτραπέζια σταφύλια	83.223	121.379
Σταφίδες	49.784	49.310
Σύνολο:	359.159	397.927

Πίνακας 4.8 Παραγωγή αμπελιού και σταφίδας της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Δενδρώδης καλλιέργειες:

<u>Είδος καλλιέργειας</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>		<u>Στήλη1</u>
	<u>2004</u>	<u>2006</u>	
Πορτοκαλιές	439.132	566.889	
Λεμονιές	29.699	54.838	
Μανταρινιές	29.874	37.231	
Μηλιές	16.859	18.514	
Αχλαδιές	12.289	11.710	
Ροδακινιές	3.198	3.353	
Βερικοκιές	64.530	42.630	
Κερασιές	4.108	4.322	
Συκιές (νωπών σύκων)	3.244	3.058	
Συκιές (ξερών σύκων)	7.279	7.928	
Αμυγδαλιές	4.475	5.607	
Καρυδιές	5.060	7.198	
Καστανιές	2.945	3.434	
Λεπτοκαρυές (Φουντουκιές)	16	14	
Ελιές βρώσιμες	24.135	27.873	
Ελιές για ελαιοποίηση	704.457	830.290	
Σύνολο:	1.351.300	1.624.889	

Πίνακας 4.9 Παραγωγή δενδρώδους καλλιέργειας της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

Η συνολική ποσότητα παραγωγής για τα δυο έτη συγκεντρώνεται στον παρακάτω πίνακα:

<u>Είδος καλλιέργειας</u>	<u>Παραγωγή (ton)</u>	
	<u>2004</u>	<u>2006</u>
Σιτηρά για καρπό	374.136	383.533
Βρώσιμα όσπρια	4.428	4.275
Κτηνοτροφικά όσπρια	2.750	2.548
Βιομηχανικά φυτά	1.632	10.454
Κτηνοτροφικά φυτά	177.567	175.320
Πεπονοειδή και πατάτες	823.331	758.039
Λαχανικά και κηπευτική γη	692.683	605.920
Αμπέλια και σταφιδάμπελα	359.159	397.927
Δενδρώδεις καλλιέργειες	1.351.300	1.624.889
Σύνολο:	3.786.986	3.962.905

Πίνακας 4.10 Συνολική παραγωγή καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006 (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2004 και 2006)

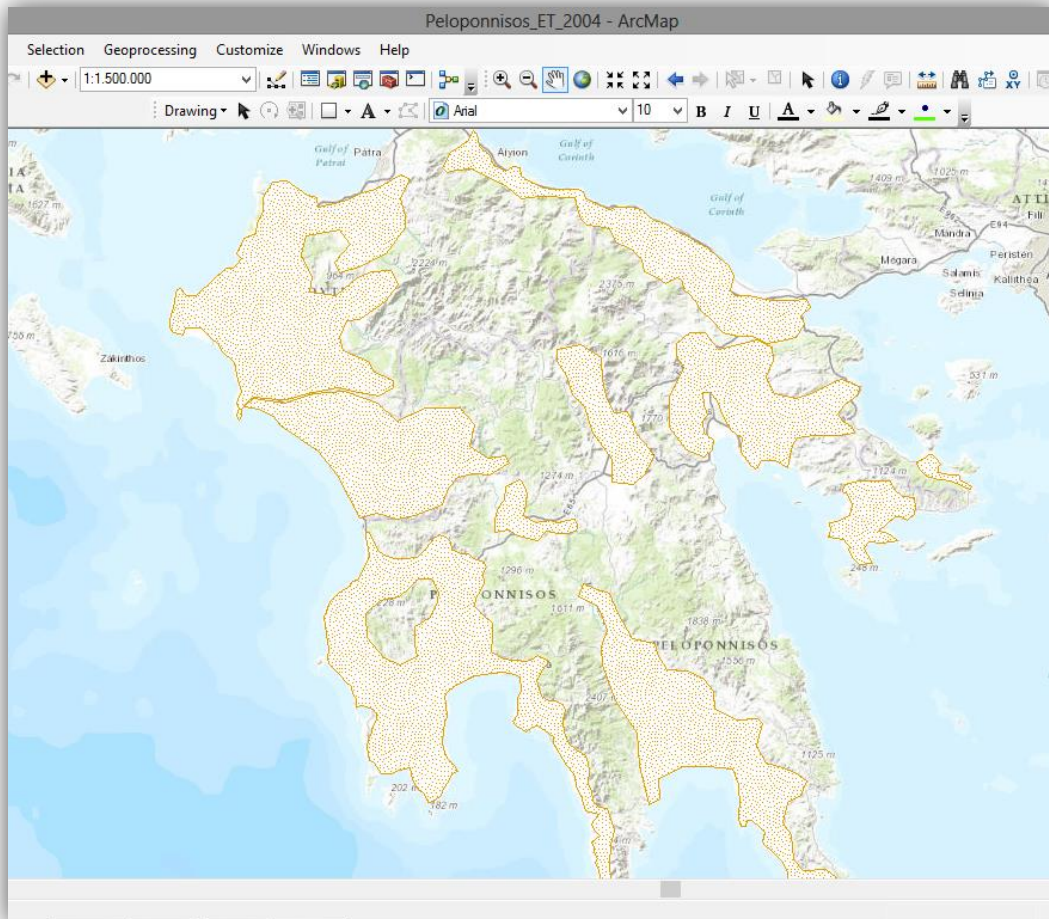
Να σημειωθεί ότι στους παραπάνω υπολογισμούς έχουν συμπεριληφθεί και οι ξερικές καλλιέργειες.

4.4 Υπολογισμός πραγματικής εξατμισοδιαπνοής καλλιεργειών

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών της Πελοποννήσου θα υπολογισθεί όπως και στις προηγούμενες ενότητες με επεξεργασία των τηλεπισκοπικών δεδομένων του δέκτη MODIS στο λογισμικό ArcMap. Ωστόσο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής μόνο των καλλιεργήσιμων εκτάσεων αφού σε ολόκληρο το γεωγραφικό διαμέρισμα υπάρχουν μεγάλες δασικές και ημιδασικές εκτάσεις με μεγάλες τιμές εξατμισοδιαπνοής. Η συνεκτίμηση αυτών των τιμών θα οδηγούσε σε λάθος υπολογισμό του Υδατικού Αποτυπώματος.

4.4.1 Οριοθέτηση καλλιεργήσιμων εκτάσεων

Η οριοθέτηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων θα γίνει στο περιβάλλον του ArcMap. Με τη βοήθεια των χαρτών χρήσεως γης κάθε υδατικού διαμερίσματος (ενότητα 4.2) ψηφιοποιούνται τα όρια των εκτάσεων όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα (4.4).

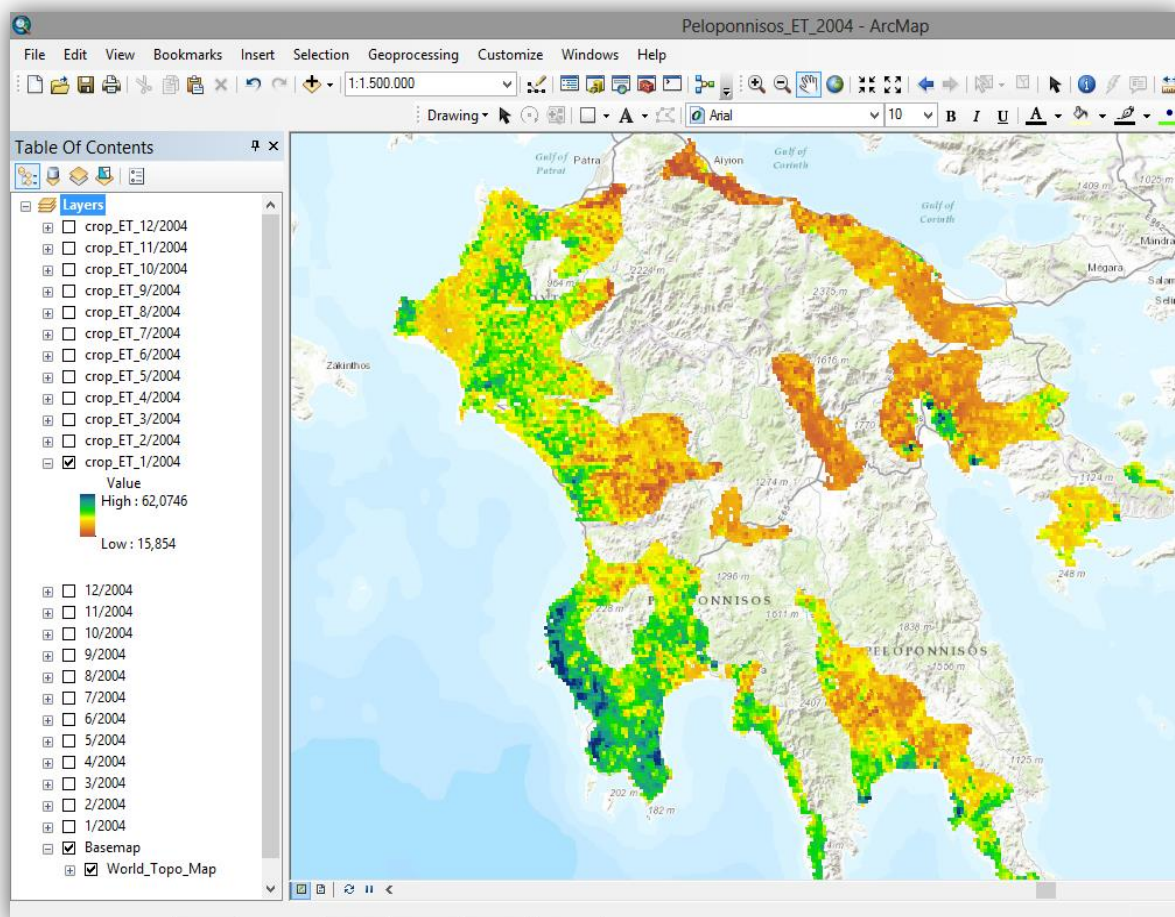


Εικόνα 4.4 Ψηφιοποίηση ορίων καλλιεργήσιμων εκτάσεων στο ArcMap.

- Στο στάδιο αυτό γίνεται χονδροειδής επιλογή των ορίων των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης γίνεται για να εξαχθούν τελικά οι τιμές της πραγματικής εξαμυσοδιαπνοής μόνο των καλλιεργειών και όχι των δασικών και ημιδασικών εκτάσεων.

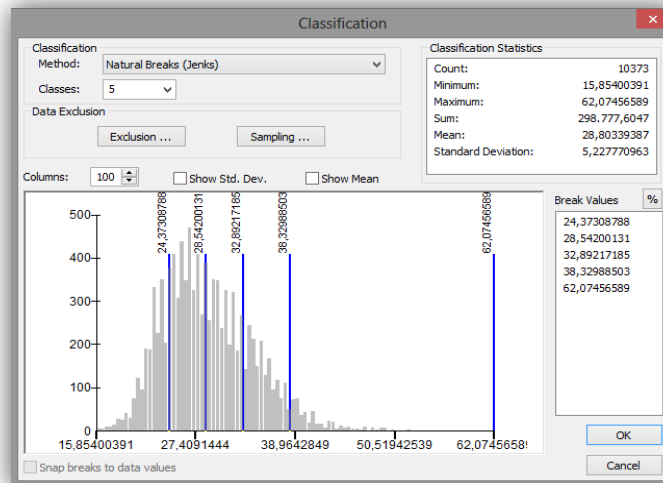
4.4.2 Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής

Για τις εκτάσεις που ορίστηκαν προηγουμένως θα εξαχθούν οι μέσες μηνιαίες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τα έτη 2004 και 2006. Ενδεικτικά, στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες εξατμισοδιαπνοής, όπως προέκυψαν στο ArcMap, για τον Ιανουάριο του 2004 (Εικόνα 4.5) και τον Ιανουάριο του 2006 (Εικόνα 4.7).

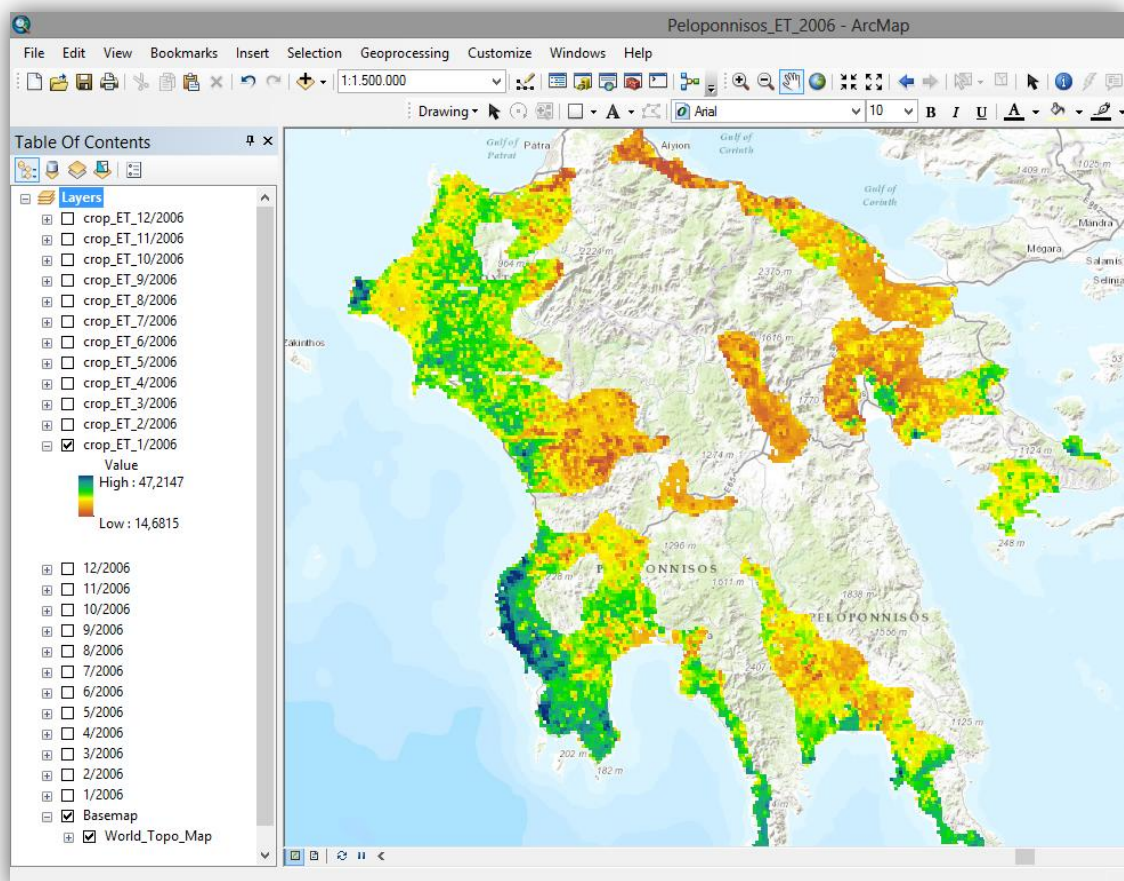


Εικόνα 4.5 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2004.

Παρατηρήται ότι για τον Ιανουάριο του 2004 οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής κυμαίνονται από 15,854 mm έως 62,0746 mm. Η μέση τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για το σύνολο των επιλεγμένων εκτάσεων θα δοθεί από τον πίνακα των στατιστικών για τον συγκεκριμένο μήνα (Εικόνα 4.6) και ισούται με 28,8034 mm (Εικόνα 4.6).

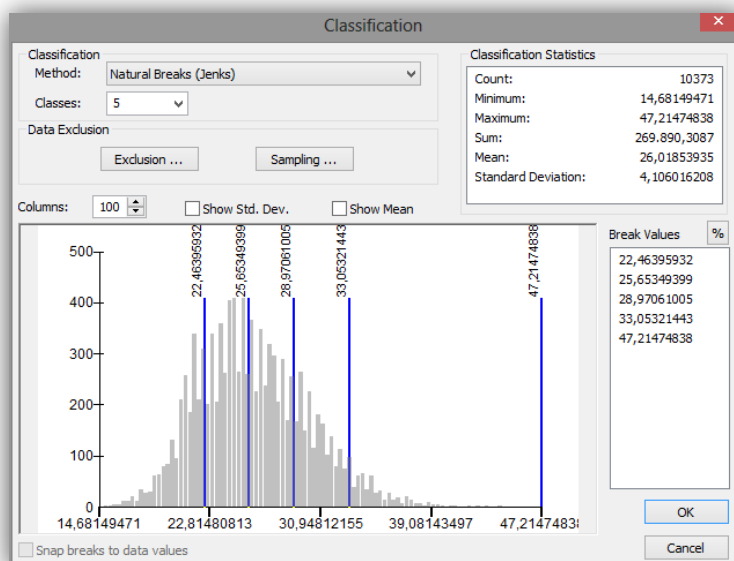


Εικόνα 4.6 Στατιστικά στοιχεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2004.



Εικόνα 4.7 Χάρτης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2006.

Για τον Ιανουάριο του 2006 αντίστοιχα, οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής κυμαίνονται από 14,6815 mm έως 47,2147 mm με μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή ίση με 26,0185 mm (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8 Στατιστικά στοιχεία της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τον Ιανουάριο του 2006.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους μήνες του 2004 και 2006 αντίστοιχα και τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον πίνακα 4.11.

Μήνας	ΕΤ (mm)	Μήνας	ΕΤ (mm)
Ιαν-04	28,8034	Ιαν-06	26,0185
Φεβ-04	31,2888	Φεβ-06	34,5439
Μαρ-04	49,6098	Μαρ-06	52,6427
Απρ-04	61,429	Απρ-06	65,9269
Μαϊ-04	67,6932	Μαϊ-06	67, 5430
Ιουν-04	53,6426	Ιουν-06	43,8778
Ιουλ-04	35,7892	Ιουλ-06	40,5914
Αυγ-04	37,4896	Αυγ-06	32,9954
Σεπ-04	37,2592	Σεπ-06	37,2837
Οκτ-04	36,7034	Οκτ-06	43,7164
Νοε-04	32,8114	Νοε-06	31,8567
Δεκ-04	30,428	Δεκ-06	30,3472
Σύνολο:	502,9476	Σύνολο:	439,8006

Πίνακας 4.11 Η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για τα έτη 2004 και 2006.

Στον Πίνακα (4.11) συγκεντρώνονται οι μέσες τιμές της μηνιαίας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, καθώς και το σύνολο για όλους του μήνες των δυο ετών, σε mm. Για να υπολογιστεί ο συνολικός όγκος του νερού που απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί το ύψος του νερού της εξατμισοδιαπνοής επί τη συνολική έκταση των καλλιεργήσιμων περιοχών.

4.4.3 Συνολικός όγκος νερού

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις κάθε υδατικού διαμερίσματος (ενότητα 4.2) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα (4.12).

Υδατικό διαμέρισμα	Καλλιεργήσιμες εκτάσεις (στρέμματα)
Δυτικής Πελοποννήσου	1.704.000
Βόρειας Πελοποννήσου	1.972.500
Ανατολικής Πελοποννήσου	1.849.000
Σύνολο:	5.525.500

Πίνακας 4.12 Καλλιεργήσιμες εκτάσεις ανά Υδατικό Διαμέρισμα Πελοποννήσου (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2007)

Οπότε ο συνολικός όγκος του νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής ισούται με το συνολικό ύψος της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (σε m) επί τη συνολική έκταση του πίνακα 4.12 (εκφρασμένη σε m²). Άρα για τα έτη 2004 και 2006 ο συνολικός όγκος νερού ανά υδατικό διαμέρισμα ισούται με:

Υδατικό διαμέρισμα	Όγκος νερού (m ³)	
	2004	2006
Δυτικής Πελοποννήσου	857.022.710	749.420.222
Βόρειας Πελοποννήσου	992.064.141	867.506.684
Ανατολικής Πελοποννήσου	929.950.112	813.191.309
Σύνολο:	2.779.036.964	2.430.118.215

Πίνακας 4.13 Συνολικός όγκος νερού που απελευθερώθηκε μέσω εξατμισοδιαπνοής το 2004 και 2006.

4.5 Υδατικό Αποτύπωμα καλλιεργειών

Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών (πλην της γκρι συνιστώσας) θα υπολογισθεί όπως και στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι παραδοχές για αμελητέες επιφανειακές απορροές ισχύουν και σε αυτήν την περίπτωση. Οπότε το ΥΑ των καλλιεργειών εκφρασμένο σε κυβικά μέτρα νερού ανά τόνο προϊόντος (m^3/ton) για το 2004 και 2006 είναι ο συνολικός όγκος του νερού που καταναλώθηκε για την διαδικασία της ανάπτυξης των καλλιεργειών, από τη σπορά έως τη συγκομιδή, (Πίνακας 4.13) δια τον συνολικό όγκο της γεωργικής παραγωγής (Πίνακας 4.10). Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στον πίνακα 4.14.

Έτος	Υ.Α. μπλε, πράσινο (m^3/ton)
2004	733,84
2006	613,22

Πίνακας 4.14 Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των καλλιεργειών της Πελοποννήσου για το 2004 και 2006.

4.6 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρατηρείται ότι το συνολικό ΥΑ (μπλε και πράσινη συνιστώσα) μειώθηκε από το 2004 στο 2006 κατά 19,7%. Η μείωση αυτή οφείλεται στη διαφοροποίηση των καλλιεργήσιμων ειδών από το 2004 στο 2006, αφού παρά την αύξηση της συνολικής παραγωγής κατά 175.919 τόνους (Πίνακας 4.10) οι απαιτήσεις σε νερό μειώθηκαν κατά 348.918.749 m^3 (Πίνακας 4.13). Ακόμα, οι κλιματικές συνθήκες του 2004 και 2006, κρίνεται ότι δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα της μεθόδου.

Σε επίπεδο περιφέρειας η χρήση δεδομένων Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης μπορεί να δώσει αξιόπιστα και γρήγορα αποτελέσματα. Ωστόσο η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται άμεσα από την ακριβή οριοθέτηση της υπό μελέτη περιοχής. Η ύπαρξη δασικών και ημιδασικών εκτάσεων επηρεάζει τις υπολογισθήσες τιμές εξατμισοδιαπνοής οι οποίες δεν αντιπροσωπεύουν αποκλειστικά καλλιέργειες.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος καλλιεργειών, με χρήση Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης. Συγκεκριμένα επιχειρείται ο υπολογισμός του όγκου του μπλε και πράσινου νερού που καταναλώνεται κατά την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Ο υπολογισμός της γκρι συνιστώσας δεν είναι δυνατόν να υπολογιστεί τηλεπισκοπικά αφού αφορά στον όγκο του νερού που απαιτείται για τη διάλυση των ρυπαντών που καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες.

Έχοντας αναλύσει την έννοια του ΥΑ στο πρώτο κεφάλαιο στη συνέχεια έγινε μια περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης και των τηλεπισκοπικών δεδομένων που εμπλέκονται στον υπολογισμό της μπλε και πράσινης συνιστώσας. Στην περίπτωση των καλλιεργειών, θεωρώντας την αποθηκευτικότητα του νερού μηδενική και τις επιφανειακές απορροές αμελητέες, ο υπολογισμός του μπλε και πράσινου νερού έγινε αποκλείστηκε με βάση την πραγματική εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (προϊόν MOD16) επεξεργάζονται στο περιβάλλον του ArcMap και εξάγονται οι μέσες μηνιαίες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τη περιοχή μελέτης σε κάθε περίπτωση.

Στο τρίτο κεφάλαιο η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε για τις καλλιέργειες τριών περιοχών του Ελληνικού χώρου και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από τον υπολογισμό των αντίστοιχων συνιστωσών του ΥΑ με εμπειρικές μεθόδους. Οι αποκλίσεις μεταξύ των δυο προσεγγίσεων εκτιμώνται ως ικανοποιητικές και στις περισσότερες περιπτώσεις κυμαίνονται στο 10%. Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρήθηκε ο υπολογισμός του ΥΑ (μπλε και πράσινης συνιστώσας) των καλλιεργειών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Πελοποννήσου όπου η ανάλυση κατέδειξε ότι σε επίπεδο περιφέρειας η χρήση δεδομένων Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης μπορεί να δώσει αξιόπιστα και γρήγορα αποτελέσματα στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής.

5.2 Πλεονεκτήματα της χρήσης Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης στον υπολογισμό του Υδατικού Αποτυπώματος

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης για τον υπολογισμό του ΥΑ καλλιεργειών συνοψίζονται στα εξής σημεία:

- Δεν απαιτείται η συλλογή και επεξεργασία στατιστικών στοιχείων όπως στην περίπτωση της μεθόδου Blaney - Criddle.
- Δεν απαιτείται η πρόσβαση και οι μετρήσεις στην περιοχή μελέτης.
- Υπάρχει δυνατότητα διάθεσης δεδομένων Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης σε οποιαδήποτε χωρική και χρονική κλίμακα, με παγκόσμια κάλυψη, χωρίς περιορισμούς.
- Μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο.
- Παρακάμπτεται το πρόβλημα των επικαλύψεων μεταξύ μπλε και πράσινης συνιστώσας. Οι επικαλύψεις στη κατανάλωση μπλε και πράσινου νερού αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στον υπολογισμό των επιμέρους συνιστωσών του υδατικού αποτυπώματος αφού η διάκριση των υδατικών χρήσεων είναι ιδιαίτερα δύσκολη στην περίπτωση της καλλιεργειτικής γης.

Επίσης, η σημαντικότερη αδυναμία της προτεινόμενης μεθοδολογίας υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων για τον υπολογισμό του ΥΑ μπορεί να διεξαχθεί μόνο για την περίοδο διάθεσης των δορυφορικών εικόνων από το 2000 έως σήμερα.

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία βασίστηκε στην παραδοχή ότι το συνολικό νερό από απαιτείται για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Με βάση την παραδοχή αυτή, δεν λαμβάνονται υπόψη βασικά μεγέθη όπως οι επιφανειακές απορροές και η αποθηκευτικότητα του νερού παρόλα αυτά τα αποτελέσματα κρίνονται αξιόπιστα. Θα είχε ενδιαφέρον η προσπάθεια μέτρησης αυτών των στοιχείων με τεχνικές Ψηφιακής Τηλεπισκόπησης ώστε να επιτευχθεί:

- α) Η αύξηση της ακρίβειας των τελικών τιμών του ΥΑ
- β) Η προσαρμογή του μοντέλου υπολογισμού σε κάθε καλλιέργεια ανεξαρτήτως γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Blaney, H.F., Criddle, W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA-SCS, TP-96, pp 48.

Chapagain, A.K., Orr, S., 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, Vol. 2, pp. 1219-1228.

Hoekstra, A.Y., 2003. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft.

Hoekstra, A.Y., 2009. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, Vol. 68, pp. 1963-1974.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., 2007. The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics* 64, pp. 519-536

Kampman, D.A., Hoekstra, A.Y., Krol, M.S., 2008. The Water Footprint of India, Value of Water Research Report Series No.32, UNESCO-IHE, Delft.

Ma, J., Hoekstra, A.Y., Wang, H., Chapagain, A.K., Wang, D., 2006. Virtual versus real water transfers within China. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 361 (1469).

Mekonnen, M.M, Hoekstra, A.Y., 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop, *Hydrology and Earth System Sciences products*, pp. 1597-1632

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE.

Mu Q., Heinsch F.A., Zhao M., Running S.W., 2007. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data, Elsevier, *Remote Sensing of Environment*, Vol 111, pp. 519-536

Mu Q., Jones L.A., Kimball J.S., McDonald K.C., Running S.W., 2008. Satellite assessment of land surface evapotranspiration for the pan-Arctic domain, *Water Resources Research*, VOL. 45, W09420.

Mu Q., Zhao M., Heinsch F.A., Liu M., Tian H., Running S.W., 2006. Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 112, G01012.

Mu Q., Zhao M., Running S.W., 2012. Brief Introduction to MODIS Evapotranspiration Data Set (MOD16).

Mu, Q., M. Zhao, S. W. Running, 2011. Improvements to a MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm, Remote Sensing of Environment, Vol. 115, pp. 1781-1800.

Romaguera M., Hoekstra A.Y., Zhongbo S, Krol M.S., Mhd. Suhyb Salama, 2010. Potential of Using Remote Sensing Techniques for Global Assessment of Water Footprint of Crops, Remote Sens. 2010, Vol. 2, pp. 1177-1196.

Running S.W., Kimball J.S., 2005. 113: Satellite-Based Analysis of Ecological Controls For Land-Surface Evaporation Resistance, Encyclopedia of Hydrological Sciences, hsa 110.

Ελληνική

Αλεξίου Γ., 2012. Το Υδατικό Αποτύπωμα ως εργαλείο χάραξης αγροτικής πολιτικής. Η περίπτωση της Δημοτικής ενότητας Θεσσαλιώτιδος. Διπλωματική Εργασία Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Ανώνυμος, 2013, Τηλεπισκόπηση, Βικιπαίδεια,

(url:<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B7%CF%83%CE%B7>)

Αργιαλάς Δ., 1998, Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση, Κεφάλαιο 7: Ψηφιακή επεξεργασία εικόνων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2009. Γεωργική Στατιστική της Ελλάδος έτους 2004, Εκδόσεις Ελληνική Στατιστική Αρχή.

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2011. Γεωργική Στατιστική της Ελλάδος έτους 2006, Εκδόσεις Ελληνική Στατιστική Αρχή.

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2012. Η Ελλάδα με αριθμούς, Εκδόσεις Ελληνική Στατιστική Αρχή.

Κουτσόπουλος Κ., Ανδρουλάκης Ν., 2005. Εφαρμογές του λογισμικού ArcGis 9x με απλά λόγια, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μηλιαρέσης Γ., 2003. Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση, Εκδόσεις Ιων, Αθήνα.

Παπαδοπούλου Μ., 2011. Εφαρμογές στη διαχείριση φυσικών πόρων, Σημειώσεις στο μάθημα Εφαρμογές στη διαχείριση φυσικών πόρων, Αθήνα Ε.Μ.Π.

Παπαζαφειρίου Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σσ 347.

Σταθάτου Π.Μ., 2011. Ανάπτυξη γεωργικής-αρδευτικής πολιτικής με τη χρήση του Υδατικού Αποτυπώματος. Εφαρμογή στην πεδιάδα Μεσσαρά Κρήτης. Διπλωματική Εργασία Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Στάμου, Α.Ι., 2010. Το υδατικό αποτύπωμα, πόσο νερό μας «κοστίζει» το εθνικό μας έδεσμα και η ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Τεχνικά Χρονικά, Τεύχος 4, σσ. 25- 28.

ΥΠΑΝ, 2003. Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, Συμπλήρωση της ταξινόμησης ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων στα υδατικά διαμερίσματα της χώρας, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα.

Τσακίρης Γ., 1995. Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης, Γ., 2006. Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση, Τόμος ΙΙ, Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013, Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου (GR01).

ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013, Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (GR02).

ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2013, Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (GR03).

Χαρχούση Δ., 2012. Συγκριτική αξιολόγηση μεθοδολογιών υπολογισμού υδατικού αποτυπώματος Εφαρμογή στον Κάμπο Χανίων. Διπλωματική Εργασία Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Διαδικτυακή

Center for research in water resources, The University of Texas:
<http://www.crrw.utexas.edu/> (τελευταία πρόσβαση 3/7/2013)

ERSI, ArcGis Resources, Modis Toolbox:
<http://resources.arcgis.com/gallery/file/geoprocessing/details?entryID=9CC382D2-1422-2418-34F8-DC9F97B24052> (τελευταία πρόσβαση 12/7/2013)

European Climate Assessment & Dataset, Greece:
http://eca.knmi.nl/countries/country_info.php?coun_id=gr
(τελευταία πρόσβαση 2/5/2013)

MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16), Numerical Terradynamic Simulation Group, The University of Montana: <http://ntsg.umt.edu/project/mod16>
(τελευταία πρόσβαση 15/6/2013)

MODIS Website: <http://modis.gsfc.nasa.gov/index.php> (τελευταία πρόσβαση 25/3/2013)

WWF Ελλάς: <http://www.wwf.gr/> (τελευταία πρόσβαση 5/9/2012)

Ελληνική Στατιστική Αρχή, Ψηφιακή βιβλιοθήκη:
<http://dlib.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/> (τελευταία πρόσβαση 14/2/2013)

ΥΠΕΚΑ, Γενική Γραμματεία Υδάτων:
http://wfd.opengov.gr/index.php?option=com_frontpage&Itemid=9
(τελευταία πρόσβαση 27/6/2013)