

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το θέμα της παρούσας εργασίας ανατέθηκε από την κα. Παπαδοπούλου Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π, στα πλαίσια εκπόνησης διπλωματικής εργασίας της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για τις ανάγκες ολοκλήρωσης των σπουδών μου. Η διπλωματική εργασία αφορά γενικότερα στην έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος, ενός δείκτη κατανάλωσης νερού που αποτελεί ένα σύγχρονο εργαλείο διαχείρισης των υδατικών πόρων, και έχει τίτλο «Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως Μεθοδολογία Προσδιορισμού του Υδατικού Αποτυπώματος Βιομηχανικής Δραστηριότητας: Η Περίπτωση της Οινοποίησης». Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν οι μεθοδολογίες υπολογισμού που έχουν προταθεί από τους Hoekstra & Charagain και τους Ridoutt & Pfister και έγινε εφαρμογή τους στην περίπτωση παραγωγής μίας φιάλης οίνου.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Παπαδοπούλου Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια του τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π, επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την υπόδειξη ενός ιδιαίτερα ενδιαφέροντος θέματος, καθώς και για τον χρόνο που μου αφιέρωσε και για την βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω:

Τον κ. Αργυρίου, οινολόγο – παραγωγό, για τις πληροφορίες και τα δεδομένα που μου παρέιχε, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τον κ. Κοντελέ, γεωπόνο, για την πολύτιμη βοήθειά του και τις συμβουλές του.

Τον Χατζηκυριάκου Θεοδόση, φοιτητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π, για την βοήθειά του όποτε ήταν αναγκαίο.

Τους κυρίους Σιόλα Άγγελο, Καθηγητή και Πρόεδρο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και Σαγιά Ιωάννη, Καθηγητή του τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού, για τον χρόνο και τις παρατηρήσεις τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την ηθική και οικονομική υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τους φίλους μου για τη στήριξή τους όλα τα χρόνια. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους φίλους μου Έφη και Σπύρο για

την κατανόηση και την ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν τους τελευταίους μήνες.

## Πίνακας περιεχομένων

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	10
ABSTRACT.....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1 Γενικά.....	12
1.2 Βασικές Έννοιες.....	13
1.2.1 Αειφορία-Αειφόρος Ανάπτυξη .....	13
1.2.2 Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ).....	14
1.2.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής, AKZ (Life Cycle Assessment, LCA) .....	17
1.2.4 Έννοια του Εικονικού Νερού (Virtual Water).....	18
1.3 Νομικό Πλαίσιο .....	18
1.3.1 Η Ελληνική Πραγματικότητα .....	18
1.3.2 Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ.....	20
1.4 Οι Υδατικοί Πόροι στην Ελλάδα.....	20
1.5 Αντικείμενο της Διπλωματικής.....	22
1.6 Διάρθρωση της Διπλωματικής.....	23
2. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ.....	24
2.1 Έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος .....	24

2.2	Οι Συνιστώσες του Υδατικού Αποτυπώματος.....	25
2.3	Το Υδατικό Αποτύπωμα στην Ελλάδα .....	26
2.4	Μέθοδοι Υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος.....	28
2.4.1	Προσεγγίσεις Υπολογισμού κατά Hoekstra & Chapagain (2008).....	29
2.4.2	Αναθεωρημένη Μέθοδος κατά Ridoutt & Pfister (2010) .....	31
2.4.3	Σύγκριση των Δύο Μεθοδολογιών .....	33
2.5	Σύγκριση του Υδατικού Αποτυπώματος με Άλλους Δείκτες.....	34
2.5.1	Γενικά.....	34
2.5.2	Το Οικολογικό Αποτύπωμα (Ecological Footprint) .....	34
2.5.3	Το Αποτύπωμα του Άνθρακα (Carbon Footprint).....	35
2.5.4	Το Ενεργειακό Αποτύπωμα (Energy Footprint) .....	36
2.5.5	Σύγκριση των Δεικτών.....	36
3.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	37
3.1	Ιστορική Αναδρομή .....	37
3.2	Εφαρμογές Υπολογισμού Υδατικού Αποτυπώματος .....	37
3.2.1	Αγροτικά Προϊόντα.....	38
3.2.2	Βιομηχανικά Προϊόντα.....	40
4.	ΜΕΘΟΔΟΣ HOEKSTRA & CHAPAGAIN .....	44
4.1	Περιγραφή Περιοχής Μελέτης και Οινοποιείου.....	45
4.1.1	Αμπελώνας.....	45

4.1.2 Οινοποιείο .....	47
4.2 Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply - Chain Water Footprint).....	48
4.2.1 Πράσινο Υδατικό Αποτύπωμα Καλλιέργειας.....	48
4.2.2 Μπλε Υδατικό Αποτύπωμα Καλλιέργειας.....	58
4.2.3 Γκρι Υδατικό Αποτύπωμα Καλλιέργειας .....	61
4.2.4 Υδατικό Αποτύπωμα Γυάλινων Φιαλών .....	64
4.2.5 Υδατικό Αποτύπωμα Χάρτινων Συσκευασιών.....	64
4.3 Υπολογισμός Λειτουργικού Υδατικού Αποτυπώματος (Operational Water Footprint) .....	65
4.3.1 Πράσινο Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα .....	65
4.3.2 Μπλε Υδατικό Αποτύπωμα Βιομηχανίας.....	65
4.3.3 Γκρι Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα .....	65
4.4 Τελικοί Υπολογισμοί – Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα.....	68
5. ΜΕΘΟΔΟΣ RIDOUTT & PFISTER.....	70
5.1 Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος.....	71
5.2 Θεωρία Ανάλυσης Κύκλου ζωής (AKZ).....	73
5.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Οίνου .....	76
5.2.1 Γενικά.....	76
5.2.2 Διαχείριση Χημικών Αποβλήτων .....	78

5.3 Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με Χρήση του Λογισμικού OpenLCA .....	79
5.3.1 Παρουσίαση Λογισμικού OpenLCA .....	79
5.3.2 Εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στην Περίπτωση της Παραγωγής μιας Φιάλης Οίνου .....	83
5.3.3 Ανάλυση Επιπτώσεων για την Συνολική Παραγωγή του Οινοποιείου .....	89
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	92
6.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μεθοδολογιών Υπολογισμού Υ.Α.....	92
6.2 Γενικότερα Συμπεράσματα.....	94
6.3 Συμπεράσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	95
6.4 Προτάσεις για Περεταίρω Έρευνα.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	100

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και μηνιαία βροχόπτωση για το έτος 2011	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.: Μέσο ημερήσιο ποσοστό της συνολικής ετήσιας διάρκειας των ωρών της ημέρας	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3.: Μηνιαίοι συντελεστές αναγκαίας κατανάλωσης	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.: Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής (ETc), (mm/day)	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5.: Μέση μηνιαία ενεργός βροχόπτωση Peff σε mm για ύψος αποθηκευτικότητας ριζοστρώματος D=75mm	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6.: Υπολογισμός ωφέλιμης βροχόπτωσης (Peff), (mm/month)	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7.: Υπολογισμός πράσινης συνιστώσας Υ.Α για την περίπτωση του αμπελώνα	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8.: Υπολογισμός μπλε συνιστώσας Υ.Α για την περίπτωση του αμπελώνα	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9.: Ποσότητες κύριων ρυπαντών για τις ανάγκες λίπανσης	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10.: Υπολογισμός γκρι συνιστώσας Υ.Α για την περίπτωση του αμπελώνα	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11.: Αναλυτικός υπολογισμός συνολικού Υ.Α για μία φιάλη οίνου 750ml	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.: Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικού Υ.Α για τον αμπελώνα	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.: Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικού Υ.Α για μία φιάλη οίνου	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Wine growing»	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Vinification»	85

---

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Creation of packaging materials»	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Final product»	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7.: LCI results για μία φιάλη οίνου 750 ml	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8.: Διαδικασία Χαρακτηρισμού για μία φιάλη οίνου 750 ml	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.9.: LCI results για την συνολική ετήσια παραγωγή	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.10.: Διαδικασία Χαρακτηρισμού για την συνολική ετήσια παραγωγή	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1.: Τιμές Υ.Α για τις δύο προσεγγίσεις	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2.: Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού ανά διαδικασία	97



**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

ΕΙΚΟΝΑ 1.1.: Δείκτης ξηρότητας στην Ελλάδα	16
ΕΙΚΟΝΑ 2.1.: Μέσες τιμές εθνικών ΥΑ (m <sup>3</sup> /κάτοικο/year)	27
ΕΙΚΟΝΑ 2.2.: Ποσοστιαία σύνθεση ΥΑ στην Ελλάδα	28
ΕΙΚΟΝΑ 4.1.: Περιοχή Πολυδρόσου και ευρύτερη περιοχή καλλιιεργειών	46
ΕΙΚΟΝΑ 4.2.: Άποψη της ευρύτερης περιοχής μελέτης και κάλυψη του δικτύου NATURA	47
ΕΙΚΟΝΑ 4.3.: Τιμές συμμετοχής των συνιστωσών του Υ.Α στο συνολικό για τον αμπελώνα	68
ΕΙΚΟΝΑ 4.4.: Τιμές συμμετοχής των συνιστωσών του Υ.Α εφοδιαστικής αλυσίδας και του λειτουργικού στο συνολικό για μία φιάλη οίνου	68
ΕΙΚΟΝΑ 5.1.: Διαδικτυακός χάρτης δείκτη πίεσης νερού, WSI στην Πολύδροσο	71
ΕΙΚΟΝΑ 5.2.: Στάδια και εφαρμογές της Α.Κ.Ζ	76
ΕΙΚΟΝΑ 5.3.: Κύκλος ζωής παραγωγής μίας φιάλης (750ml) οίνου	77
ΕΙΚΟΝΑ 5.4.: Σύστημα προϊόντος	86
ΕΙΚΟΝΑ 6.1.: Κατανάλωση νερού στις παραγωγικές διαδικασίες του προϊόντος	95
ΕΙΚΟΝΑ 6.2.: Διάγραμμα Sankey για την ροή «water»	96

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το νερό είναι ένας από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους που επηρεάζει τον άνθρωπο τόσο στο θέμα της επιβίωσής του, αλλά και στην εξέλιξη και την γενικότερη πορεία του. Ωστόσο ο πόρος αυτός δεν είναι ανεξάντλητος και ο σύγχρονος τρόπος ζωής, ο υπερπληθυσμός και η κλιματική αλλαγή έχουν εντείνει τα φαινόμενα λειψυδρίας. Η κατανάλωση του νερού στην γεωργία, στην βιομηχανία, στην παραγωγή ενέργειας και την οικιακή χρήση έχουν αυξηθεί ραγδαία και η υπερεκμετάλλευση έχει δημιουργήσει πολλά κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Ως συνέπεια, δημιουργήθηκε η επιτακτική ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων.

Το Υδατικό Αποτύπωμα εισήχθη ως έννοια από τον Α.Υ. Hoekstra, το 2002, στο πανεπιστήμιο του Twente της Ολλανδίας. Πρόκειται για έναν εναλλακτικό περιβαλλοντικό δείκτη κατανάλωσης γλυκού νερού και αναφέρεται στον συνολικό όγκο γλυκού νερού που καταναλώνεται κατά την παραγωγή ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Το ΥΑ μπορεί να υπολογιστεί επίσης για έναν καταναλωτή, μία χώρα, μία επιχείρηση ή μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Ο υπολογισμός του μπορεί να γίνει με βάση δύο μεθοδολογίες που έχουν προταθεί αντίστοιχα από τους Hoekstra & Chapagain και Ridoutt & Pfister.

Στην παρούσα μελέτη έγινε διερεύνηση των δύο αυτών μεθοδολογιών υπολογισμού του ΥΑ και υπολογισμός των δύο ΥΑ για την περίπτωση ενός βιομηχανικού προϊόντος και συγκεκριμένα μίας φιάλης κρασιού. Το προϊόν αυτό επιλέχθηκε λόγω της έντονης παραγωγής του στον Ελλαδικό χώρο. Στα πλαίσια της εργασίας έγινε και ανάλυση κύκλου ζωής για την παραγωγή του κρασιού.

Μέσω των αναλύσεων και των υπολογισμών που έγιναν το ΥΑ αποδείχθηκε σημαντικό εργαλείο για την αειφόρο ανάπτυξη των βιομηχανιών μέσω του εντοπισμού των διαδικασιών παραγωγής που έχουν προοπτικές βελτίωσης. Ωστόσο υπάρχουν ακόμη πολλά περιθώρια έρευνας για την περαιτέρω ανάδειξη του δείκτη.

## ABSTRACT

Water is one of the most important natural resources that affect humans' life both in terms of survival, but also in their development. However, this resource is not inexhaustible and modern lifestyle, overpopulation and climate change have intensified water scarcity. The consumption of water in agriculture, industry, energy production and domestic use has increased rapidly, and the overexploitation has created many social and environmental issues. As a result, an urgent need has been created for rational management of water resources.

The water footprint concept was introduced by A.Y. Hoekstra in 2002, at the University of Twente, Netherlands. This is an alternative environmental indicator of freshwater consumption and refers to the total volume of freshwater consumed in the production of a product or a service. The water footprint may also be calculated for a consumer, a country, a company or a particular geographical region. The calculation may be based on two methodologies that have been proposed respectively by Hoekstra & Chapagain and Ridoutt & Pfister.

In the present study, these two methodologies were investigated for calculating the water footprint in the case of an industrial product, namely wine. This product was chosen because of the intense production in Greece. As part of the work, a life cycle analysis has also been performed for the production of wine.

Through the analyzes and calculations made, water footprint proved to be an important tool for sustainable development of industries by identifying processes that have potential for improvement. However, there is still much research to be done in order to enhance this indicator.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Το νερό είναι ένας πολύ σημαντικός φυσικός πόρος απαραίτητος για την επιβίωση του ανθρώπου. Σε όλη την πορεία εξέλιξης του, έπαιξε και συνεχίζει να παίζει πρωτεύοντα ρόλο σχετικά με τη διαμόρφωση αποφάσεων εγκατάστασης και ανάπτυξης ενός πληθυσμού σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Είναι ένας πόρος που όχι μόνο καλύπτει τις ζωτικές ανάγκες των ανθρώπων αλλά και των οικοσυστημάτων γενικότερα, αλλά είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξή τους και την λειτουργία τους. Προσφέρει εκτός της βασικής του λειτουργίας, πρόσβαση στην γεωργία, βιομηχανία, αλιεία, τουρισμό και στην παραγωγή ενέργειας.

Το νερό, αν και αγαθό με μεγάλη αξία χρήσης ιστορικά, είχε μικρή αξία ανταλλαγής και κατά συνέπεια, εξαιρούμενο από την αγορά, εξαιρούνταν και από την οικονομική θεώρηση επειδή ως φυσικός πόρος, σε αντιστοιχία με τον αέρα, κατατασσόταν στα δώρα της φύσης προς τον άνθρωπο. Η οικονομική ανάπτυξη, όμως, των τελευταίων δεκαετιών διαμόρφωσε νέες συνθήκες στη χρήση των υδατικών πόρων, μια και αποτελούν μέσο για την επίτευξη διαφόρων τομεακών οικονομικών στόχων, ενώ εξακολουθούν να είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την επιβίωση του ανθρώπου και για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας. Η ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων, η ανάγκη αύξησης της παραγωγικότητας των υφιστάμενων, οι ανάγκες που προκύπτουν από την αύξηση του πληθυσμού και την ανύψωση του βιοτικού επιπέδου, δημιουργούν ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση νερού κατάλληλης ποιότητας για κάθε χρήση. Ταυτόχρονα, η συνεχής ποιοτική υποβάθμιση, σε συνδυασμό με την ανάγκη διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας και της αειφορίας των φυσικών πόρων, δημιουργούν πολύπλοκα προβλήματα στην ανάπτυξη της κάθε περιοχής. Η έντονη λοιπόν οικονομική διάσταση των υδατικών πόρων σήμερα, η άμεση πολλές φορές σύνδεσή τους με τον προγραμματισμό ανάπτυξης, καθώς και η συνεχής παρουσία τους στην καθημερινή πρακτική, επιβάλλει την αντιμετώπισή τους ως φυσικού πόρου σε ανεπάρκεια, μέσω της ανάδειξης και εφαρμογής σύγχρονης και συνεπούς πολιτικής διαχείρισης. Η πολιτική αυτή καταξιώνεται όταν αυξάνει τα οφέλη στο κοινωνικό σύνολο, στην οικονομία και στο περιβάλλον (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008).

Όπως αναφέρει και η Μ.Α. Μιμίκου (2003) οι υδατικοί πόροι αποτελούν βασικό ρυθμιστικό παράγοντα της οικονομικής, κοινωνικής, τεχνολογικής και πολιτισμικής ανάπτυξης. Αν και το νερό φαίνεται να υπάρχει σε αφθονία στη γη, 70% της επιφάνειάς της καλύπτεται από αυτό, η τελική διαθέσιμη και κατάλληλη για χρήση ποσότητα είναι πολύ μικρή. Το 98% του νερού της γης προέρχεται από θάλασσες, ωκεανούς και τους πάγους, ενώ το 1,4% είναι τεχνικά μη εκμεταλλεύσιμο (βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο

των 800 μέτρων ή είναι υφάλμυρο). Επομένως μόνο το 0,6% του νερού σε παγκόσμια κλίμακα θεωρείται κατάλληλο και διατίθεται για χρήση.

Όπως είναι φανερό σήμερα το γλυκό νερό έχει γίνει ένας σπάνιος και υπερεκμεταλλευόμενος πόρος δημιουργώντας πολλαπλά κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα. Συνεπώς η διατήρηση της καλής οικολογικής κατάστασης των υδροφορέων μέσα από την μελέτη και εφαρμογή σχεδίων διαχείρισης αποτελεί στόχο και πρόκληση για τις σύγχρονες κοινωνίες.

## 1.2 Βασικές Έννοιες

### 1.2.1 Αειφορία-Αειφόρος Ανάπτυξη

Η αειφορία είναι μια πολυδιάστατη και ασαφής έννοια η οποία δεν μπορεί να οριστεί με ικανοποιητική ακρίβεια. Καθίσταται δυνατή παρόλα ταύτα η προσέγγισή της μέσω ενός αριθμού δεικτών που περιγράφουν την κατάσταση του περιβάλλοντος, της κοινωνίας, της οικονομίας και όλων των γενικότερων και ειδικότερων συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Η περιοχή μελέτης μπορεί να περιορίζεται είτε στα στενά όρια ενός νοικοκυριού ή μίας κοινότητας, είτε να μελετάται σε διεθνές και παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με τον ορισμό της Brundtland Commission Report (WCED, 1987, «Αειφόρος ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που καλύπτει τις ανάγκες του σήμερα χωρίς να υποσκάπτει την δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Ωστόσο, στόχος της αειφόρου ανάπτυξης δεν είναι αποκλειστικά η εξασφάλιση του μέλλοντος θυσιάζοντας την ευμάρεια του παρόντος, αλλά η παράλληλη ορθολογική χρήση των υπαρχόντων πόρων και η ευημερία της παρούσας γενιάς.

Συγκεκριμένοι στόχοι της αειφόρου ανάπτυξης αποτελούν οι εξής παρακάτω (Ρόκος, 2005):

- Η αναζωογόνηση της οικονομικής ανάπτυξης, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η φτώχεια μειώνει τις δυνατότητες των ανθρώπων να χρησιμοποιούν συνετά τους φυσικούς πόρους και εντείνει τις πιέσεις στο περιβάλλον.
- Η προώθηση μιας κοινωνικά δίκαιης και λιγότερου ενεργοβόρου ανάπτυξης.
- Η ικανοποίηση των αναγκών του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού στις αναπτυσσόμενες χώρες (σωστή διατροφή, απαραίτητη ενέργεια, στέγαση, καθαρό νερό, υγιεινές συνθήκες διαβίωσης, ιατρική περίθαλψη). Η δημιουργία ευκαιριών απασχόλησης για την εξασφάλιση των αναγκαίων καταναλωτικών αγαθών.

- Η δημογραφική σταθεροποίηση στις μεγάλες πόλεις του Τρίτου Κόσμου, όπου οι ελλείψεις κατοικίας, νερού, υγιεινής και μαζικών μεταφορών είναι ιδιαίτερα οξείες.
- Η διατήρηση και αναβάθμιση των φυσικών πόρων, οι οποίοι πιέζονται από το υψηλό επίπεδο κατανάλωσης των βιομηχανικών χωρών, σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο πληθυσμό και την κατανάλωση των αναπτυσσόμενων χωρών. Οι προοπτικές εναλλακτικών λύσεων στην αγροτική παραγωγή, στις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και στην ενέργεια είναι σημαντικές για τη μείωση της ατμοσφαιρικής και της υδατικής ρύπανσης.
- Ο επαναπροσδιορισμός των τεχνολογιών, μέσω στροφής προς προϊόντα φιλικότερα στο περιβάλλον, με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, με δυνατότητα ανακύκλωσης ή εξοικονόμησης ενέργειας κ.λπ.
- Η συμφωνία οικονομικών και περιβαλλοντικών στόχων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, με κοινωνική ευθύνη, αναγνώριση των ορίων της επιστήμης και της τεχνολογίας, αναγνώριση των μακροπρόθεσμων συνεπειών που επιφέρουν οι σημερινές αποφάσεις. Η αειφορία απαιτεί ευρύτερη συμμετοχή στις ευθύνες και στις αποφάσεις και ευρύτερη πρόσβαση των πολιτών στις πηγές πληροφοριών.

### 1.2.2 Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ)

Ο όρος «Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ)» αναφέρεται στο σύνολο των έργων και μέτρων που είναι απαραίτητα για να εξασφαλιστεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό η κάλυψη των αναγκών του κάθε χρήστη ή στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, να εξασφαλιστεί η ισόνομη ικανοποίηση όλων των ενδιαφερομένων σε σχέση με την κοινωνική σημασία της κάθε χρήσης, σήμερα και στο μέλλον (Τάτσης, 2008).

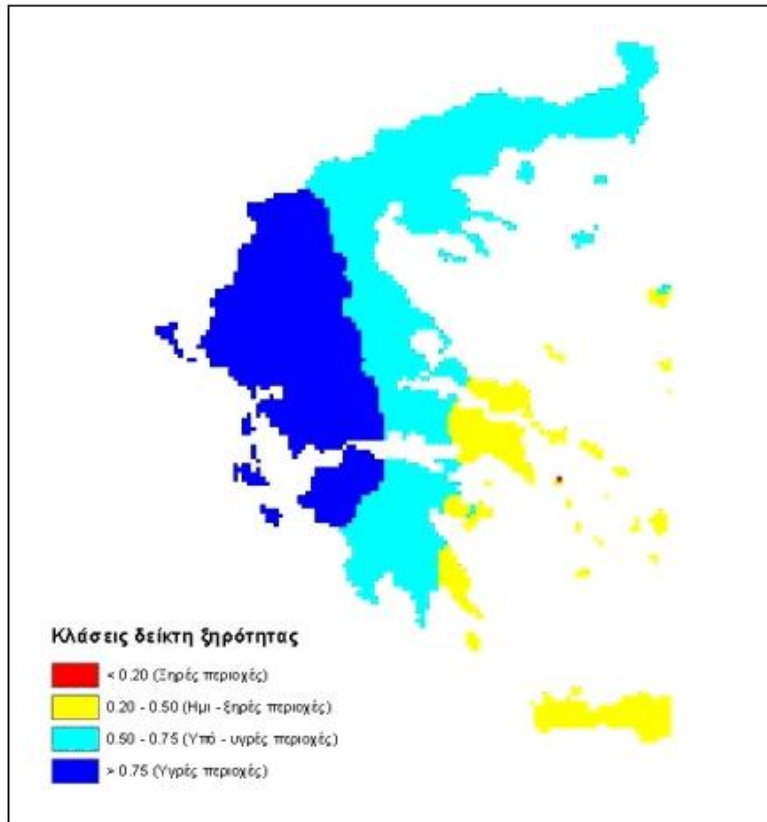
Όπως αναπτύσσει στην εργασία του ο Τάτσης, 2008 οι τέσσερις θεμελιώδεις αρχές για την ορθολογική διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων είναι οι εξής:

- Η ενιαία και ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των τεχνικών, οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων της διαχείρισης των υδατικών πόρων.
- Η διαχείριση της ζήτησης, αντί της ζημιογόνου περιβαλλοντικά, αλλά και αδιέξοδης οικονομικά πολιτικής της διαχείρισης της προσφοράς του νερού.
- Η οικονομική θεώρηση του νερού και κοστολόγησή του με βάση την πραγματική του αξία, η οποία αντικατοπτρίζει την αξία της πολύτιμης εναλλακτικής ή και δυνητικής του ακόμα χρήσης.

- Η αποκεντρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων με την ένταξη και συμμετοχή στη διαδικασία των τελικών χρηστών του νερού, όλων των συναρμόδιων και άμεσα ενδιαφερόμενων τοπικών και κοινωνικών φορέων, καθώς και την ανάμειξη και εμπλοκή του ιδιωτικού τομέα.

Η ανάγκη για μεγαλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων προέκυψε από τις αυξανόμενες τάσεις του παγκόσμιου πληθυσμού και ως εκ τούτου και τις αυξανόμενες ανάγκες σε νερό και τροφή. Επιπλέον σημαντικό ρόλο έπαιξε η αλλαγή στον τρόπο ζωής και γενικότερα στην τεχνολογική και βιομηχανική ανάπτυξη που δημιουργεί νέες μορφές δραστηριοτήτων με αυξημένες απαιτήσεις σε υδατική κατανάλωση. Τα φαινόμενα αυτά σε συνδυασμό με την περιορισμένη ποσότητα γλυκού νερού στον πλανήτη, κάνουν ιδιαίτερα επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας και εξέλιξης συστημάτων ελέγχου για τη διαχείριση των υδάτων, με σκοπό την βέλτιστη διάθεσή τους (Τάτσης, 2008, Τσακίρης, 1995).

Η αύξηση των πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Πρέπει επομένως να λαμβάνεται υπόψη ο προσεκτικός σχεδιασμός, η υλοποίηση και η λειτουργία έργων υποδομής, η διαχείριση ακραίων φαινομένων (προβλήματα λειψυδρίας και πλημμυρών), η διαχρονική προστασία των νερών και των οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας και της οικολογικής τους κατάστασης και τέλος η σταδιακή μείωση απορριπτόμενων ρυπαντικών ουσιών και η προοδευτική εξάλειψη τοξικών αποβλήτων. Συγκεκριμένα η Ελλάδα είναι μία σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα της Μεσογείου, αν και η άνιση χρονική και χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων δημιουργούν πολλές φορές προβλήματα έλλειψης νερού. Ευρύτερα αποδεκτή είναι επίσης η διαπίστωση ότι, λόγω ευκολίας, η εκμετάλλευση των υπογείων νερών γίνεται με εντονότερο ρυθμό σε σύγκριση με την εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών καθώς στη δεύτερη περίπτωση είναι αναγκαίες σοβαρές και συχνά μακροχρόνιες επενδύσεις (ΥΠΕΚΑ, 2012). Σήμερα μόνο το 25% των επιφανειακών υδάτων αξιοποιείται, επιβεβαιώνοντας έτσι ότι δεν τίθεται πρόβλημα επάρκειας αλλά διαχείρισης των υδάτινων πόρων.



Εικόνα 1.1.: Δείκτης ξηρότητας στην Ελλάδα (Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας, 2012)

Οι στόχοι της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΔΥΠ) είναι οι εξής (Κουτσογιάννης κ.ά., 2006):

- Η προμήθεια νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την κάλυψη των αναγκών.
- Η προστασία των υδατικών διαθέσιμων από την ρύπανση.
- Η διατήρηση των οικοσυστημάτων και του φυσικού περιβάλλοντος.
- Η προστασία από τα ακραία γεγονότα (πλημμύρες, ξηρασία).
- Η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των υδατικών πόρων.
- Η μέριμνα για τη διατήρηση των αναγκαίων αποθεμάτων στο μέλλον και η αποφυγή μη αναστρέψιμων επεμβάσεων.
- Η διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας.

Τελικά παρατίθενται οι κυριότερες τεχνικές διαχείρισης των υδατικών πόρων για την κάλυψη των αναγκών του ανθρώπινου είδους που είναι οι εξής (Τάτσης, 2008):



- Η κατασκευή φραγμάτων, ταμιευτήρων και δεξαμενών.
- Η χρήση υδαταγωγών.
- Η αφαλάτωση.
- Η χρήση και επαναχρησιμοποίηση του νερού.
- Ο έλεγχος των καιρικών συνθηκών.
- Ο έλεγχος απορροών υδάτων στις αστικές περιοχές.

### 1.2.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής, AKZ (Life Cycle Assessment, LCA)

Κάθε προϊόν έχει «ζωή» η οποία ξεκινά από το στάδιο του σχεδιασμού, συνεχίζει με την εξαγωγή των πόρων, το στάδιο της παραγωγής, την χρήση ή κατανάλωση και τελικά την διαλογή, την διάθεσή του στα απορρίμματα, την ανακύκλωσή και την επαναχρήση του. Η μεθοδολογία της AKZ εισήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και αναπτύχθηκε κυρίως για να εξυπηρετήσει βιομηχανικά συστήματα σε χώρες υδατικής αφθονίας (Mila i Canals et al., 2009). Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μία μεθοδολογία μελέτης και αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του προϊόντος, όπως η κλιματική αλλαγή, η τρύπα του όζοντος, ο ευτροφισμός, η οξύνιση, η τοξικολογική επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία και τα οικοσυστήματα, η εξάντληση των πόρων, η χρήση του νερού, οι χρήσεις γης, ο θόρυβος κ.ά. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την ανάλυση κύκλου ζωής η φάση του σχεδιασμού συνήθως παραλείπεται γιατί θεωρείται ότι δεν συνεισφέρει σημαντικά. Ωστόσο οι αποφάσεις που παίρνονται κατά το σχεδιασμό και την αναπτυξιακή φάση επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε άλλα στάδια του κύκλου ζωής. Επομένως αν ο σκοπός της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι η βελτιστοποίηση των αγαθών και υπηρεσιών θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη το στάδιο του σχεδιασμού για την επιλογή των κατάλληλων υλικών, τεχνολογιών, χωροθετήσεων, διαδικασιών κ.ά.

Κατά την δόμηση ανάλυσης κύκλου ζωής ενός προϊόντος μπορούν να προκύψουν διάφορα προβλήματα που σχετίζονται κυρίως με την μεθοδολογία δόμησης τα οποία είναι τα εξής (Rebitzer et al., 2004):

- Ένα σύστημα AKZ συνήθως αποτελείται από πολλές μονάδες επεξεργασίας και επομένως θα είναι απαραίτητη η γνώση και η συνεργασία όλων.
- Η διαδικασία συχνά απαιτεί επικοινωνία με πολλές εταιρίες/επιχειρήσεις εφόσον δεν αρκεί η πληροφορία που παράγεται από μία και μόνο μεμονωμένη πηγή.
- Η ποσότητα κάθε προϊόντος, ρυπαντή, πηγής/αποθέματος κ.ά., πρέπει να μετριέται με τον ίδιο τρόπο σε κάθε παραγωγική μονάδα και κάθε στάδιο επεξεργασίας.

Συμπερασματικά μία ιδανική μελέτη AKZ θα πρέπει να περιλαμβάνει την γεωργική παραγωγή, την βιομηχανική επεξεργασία, την αποθήκευση και την διανομή, τη συσκευασία, την κατανάλωση και τη διαχείριση των αποβλήτων (Charagain and Orr, 2009).

#### **1.2.4 Η Έννοια του Εικονικού Νερού (Virtual Water)**

Το εικονικό νερό είναι ένας όρος που αναφέρεται στο νερό που απαιτείται για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου προϊόντος. Ο χαρακτηρισμός «εικονικό» προσδίδεται στο νερό επειδή η ποσότητα αυτού που περιέχεται στο τελικό προϊόν είναι αμελητέα σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιήθηκε κατά το στάδιο της παραγωγής του. Η έννοια εισήχθη από τον Allan (1998) κατά την έρευνά του σχετικά με την καταλληλότητα του νερού αυτού (εισαγωγές) ως μερική λύση στο πρόβλημα της λειψυδρίας στην Μέση Ανατολή. Πρότεινε ότι το εμπόριο των προϊόντων με έντονες υδατικές ανάγκες κατά την παραγωγή στη περιοχή της Μέσης Ανατολής, ανακούφισε την ανάγκη των χωρών εισαγωγής να χρησιμοποιήσουν τους δικούς τους υδατικούς πόρους για την παραγωγή των ίδιων προϊόντων (Charagain and Orr, 2009).

Το εικονικό νερό ως έννοια χρησιμοποιείται αρκετές φορές αντί του υδατικού αποτύπωματος. Πράγματι οι δύο έννοιες είναι αρκετά συγγενικές ωστόσο υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις. Το υδατικό αποτύπωμα έχει περισσότερες εφαρμογές. Για παράδειγμα είναι δυνατόν να υπολογιστεί για έναν καταναλωτή, μία υπηρεσία μέσω των προϊόντων που παράγονται και καταναλώνονται. Περαιτέρω, το υδατικό αποτύπωμα δεν αναφέρεται μόνο στον όγκο του νερού όπως συμβαίνει στην περίπτωση του εικονικού νερού. Πρόκειται για ένα πολυδιάστατο δείκτη που εκτός του όγκου, προσδιορίζει επίσης την προέλευση του νερού, τον τόπο χρήσης του και την περιοχή υπολογισμού του. Λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες αυτούς υπάρχει δυνατότητα αξιολόγησης των επιπτώσεων που προκύπτουν από το υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος στην περιοχή ενδιαφέροντος.

### **1.3 Νομικό Πλαίσιο**

#### **1.3.1 Η Ελληνική Πραγματικότητα**

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, μια σειρά από νομοθετήματα δημιουργήθηκαν με σκοπό την αξιοποίηση, την προστασία και γενικότερα την διαχείριση των υδατικών πόρων. Όπως αναφέρουν χαρακτηριστικά οι Κουτσογιάννης κ.ά., 2008 ο αριθμός τους

ανέρχεται σε πάνω από 300 και τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008):

- Η προσπάθεια προώθησης των θέσεων των φορέων που τις έχουν εκδώσει.
- Η αποσπασματική αντιμετώπιση των τομεακών προβλημάτων.
- Η απουσία προσέγγισης των σημερινών προβλημάτων.
- Η σχετική υποβάθμιση της ποιοτικής διάστασης της διαχείρισης.
- Η μη δρομολόγηση συντονισμένων και συστηματικών προγραμμάτων απόκτησης και αξιολόγησης δεδομένων πεδίου, απαραίτητων για την ουσιαστική εφαρμογή τους.
- Η έλλειψη πρόβλεψης οργάνων παρακολούθησης και εξειδίκευσης της εφαρμογής τους.
- Η απουσία σύνδεσης και εναρμόνισης με τις αναπτυξιακές επιδιώξεις παραγωγικών τομέων και περιοχών της χώρας.
- Η έλλειψη πρόβλεψης και προοπτικής για το μέλλον.
- Η καθυστέρηση κάλυψης υποχρεώσεων που απορρέουν από την εφαρμογή κοινοτικών οδηγιών.

Το σοβαρότερο όμως πρόβλημα είναι η αδυναμία εφαρμογής τους, καθώς και η έλλειψη αποτελεσματικών μηχανισμών ελέγχου και επιβολής των προβλεπόμενων κυρώσεων.

Μετά τα μέσα της δεκαετίας του 80, ψηφίστηκαν ακόμη δύο συμπληρωματικά νομοθετήματα που δρουν ολοκληρωμένα για την διαχείριση των υδατικών πόρων. Οι νόμοι αυτοί είναι συγκεκριμένα (Χαρχούση, 2012):

- Ο Ν. 1650/86 για την προστασία του περιβάλλοντος. Για πρώτη φορά προβλέπεται από το ΥΠΕΧΩΔΕ η δημιουργία κατάλληλης υποδομής ελέγχου για την προστασία και την παρακολούθηση της ποιότητας των υδατικών πόρων.
- Ο Ν. 1739/87 για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Με το Ν.1739/87 καταργήθηκαν όσες από τις διατάξεις των προηγούμενων νόμων έρχονται σε αντίθεση με αυτόν ή ανάγονται σε θέματα που ρυθμίζονται ειδικά από αυτόν. Με τον νόμο αυτό θεσμοθετήθηκε η διαίρεση της χώρας σε 14 υδατικά διαμερίσματα, δηλαδή περιοχές οριοθετημένες που περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα υδρογραφικά δίκτυα με ομοιότητα υδρολογικών-υδρογεωλογικών συνθηκών.

### 1.3.2 Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ

Η Οδηγία 2000/60/ΕΚ, που δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων στις 22/12/2000, αποτελεί το βασικότερο θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης των υδάτων σε κοινοτικό επίπεδο. Βασικός στόχος της Οδηγίας είναι η αναβάθμιση και προστασία της ποιότητας των υδατικών πόρων (επιφανειακών, υπόγειων, μεταβατικών και παράκτιων) και των οικοσυστημάτων στην ΕΕ και δημιουργεί ένα πλαίσιο αειφορικής διαχείρισης, το οποίο (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008):

- Αποτρέπει την περαιτέρω υποβάθμιση, και προστατεύει και βελτιώνει την κατάσταση όλων των υδατικών πόρων.
- Προωθεί τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, μέσω της μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων.
- Ενισχύει την προστασία του υδατικού περιβάλλοντος με την εφαρμογή μέτρων για τη μείωση της απόρριψης ρυπαντικών ουσιών και την εξάλειψη της απόρριψης ορισμένων επικίνδυνων ρυπαντών που προσδιορίζονται και επικαιροποιούνται σε ειδικούς καταλόγους ουσιών προτεραιότητας.
- Διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και τη σταδιακή αποκατάσταση της ποιότητάς τους.
- Συμβάλλει στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων ακραίων φαινομένων, πλημμυρών και ξηρασίας.

## 1.4 Οι Υδατικοί Πόροι στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μικρή σε έκταση χώρα (131.957 km<sup>2</sup>) με έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών. Αποτέλεσμα της ιδιόμορφης αυτής γεωμορφολογικής διάρθρωσης είναι η πολυδιάσπαση του χώρου σε μικρές λεκάνες απορροής, καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετικά προβλήματα και απαιτεί διαφορετική διαχειριστική πολιτική (ΥΠΑΝ, 2003).

Η Ελλάδα διαθέτει, συνολικά, επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, αλλά διάφοροι λόγοι μειώνουν σημαντικά την πραγματικά διαθέσιμη ποσότητα και δυσκολεύουν την αξιοποίησή τους, αφού μικρό ποσοστό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα ανεπάρκειας νερού. Ειδικότερα τα συνολικά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα για την χώρα είναι 116330 hm<sup>3</sup>/έτος, ενώ το συνολικό υδατικό δυναμικό προσεγγίζεται σε 57100 hm<sup>3</sup>/έτος στο οποίο συμπεριλαμβάνονται και τα νερά που εισρέουν από γειτονικές χώρες. Η κατανάλωση του νερού υπολογίζεται σε 8243 hm<sup>3</sup>/έτος, από τα οποία το 84% διατίθεται

στην άρδευση, το 1% στην κτηνοτροφία, το 12% στην ύδρευση και το 3% στη βιομηχανία και ενέργεια. Είναι φανερό ότι το δυναμικό της χώρας υπερκαλύπτει την κατανάλωση ωστόσο υπάρχουν αρκετά προβλήματα στην διαχείρισή του. Οι κυριότεροι φυσικοί λόγοι που προκαλούν προβλήματα στην αξιοποίηση των υδατικών πόρων της χώρας είναι (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008):

- Η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στο χρόνο.
- Η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χώρο και το χρόνο, αναντίστοιχη με την κατανομή της προσφοράς.
- Η γεωμορφολογία της χώρας.
- Η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη.
- Το μεγάλο ανάπτυγμα ακτών.
- Τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

Όσον αφορά στην ποιότητα των υδατικών πόρων όπως αναφέρουν χαρακτηριστικά και οι Κουτσογιάννης κ.ά. (2008) αν και η Ελλάδα είχε καλής ποιότητας νερά, οι μακροχρόνιες, χωρίς προγραμματισμό και έλεγχο ανθρώπινες δραστηριότητες, κυρίως των τελευταίων ετών, έχουν αρχίσει να κάνουν εμφανή την υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδατικών πόρων. Τα αίτια καθώς και τα αποτελέσματα της υποβάθμισης αυτής παρατίθενται στην συνέχεια.

- Οι κύριες πηγές ρύπανσης εντοπίζονται αφενός μεν σε γεωργικές δραστηριότητες (λόγω της συχνά εντατικής και μη ορθολογικής χρήσης λιπασμάτων, εντομοκτόνων, ζιζανιοκτόνων, κλπ.), αφετέρου δε στα αστικά λύματα και όμβρια, καθώς και τα βιομηχανικά απόβλητα.
- Μεγάλες λίμνες, κοντά σε οικιστικές περιοχές, έχουν ήδη υποστεί υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους, ενώ το ίδιο συμβαίνει και σε πολλά υδατορέματα.
- Τα νερά της βόρειας Ελλάδας επιβαρύνονται με τη ρύπανση που μεταφέρεται από τις ανάντη χώρες.
- Ειδικότερα, οι περιοχές που βρίσκονται στον άξονα Θεσσαλονίκη-Αθήνα-Πάτρα, λόγω της συγκέντρωσης πληθυσμού και δραστηριοτήτων, σε συνδυασμό με τα περιορισμένα αποθέματα νερού που παρουσιάζουν, έχουν το πιο οξυμένο πρόβλημα σχετικά με την ποιότητα του νερού.
- Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι, που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές, έχουν υποστεί σε σημαντικό βαθμό υφαλμύριση λόγω διείσδυσης του θαλάσσιου νερού, γεγονός που επιτείνεται από την υπεράντληση.
- Υπάρχουν επίσης προβλήματα ποιότητας των νερών που οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, αφού προέρχονται κυρίως από τη γεωλογική σύσταση των υδροφορέων.

Αξιόλογη είναι και η προσπάθεια που γίνεται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από αστικά λύματα (σημειακές πηγές). Από την άλλη πλευρά, δεν έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στα βιομηχανικά υγρά απόβλητα, όπου απαιτείται ενίσχυση των προσπαθειών προεπεξεργασίας τους και συγκέντρωσης των μονάδων σε βιομηχανικές περιοχές.

Συμπερασματικά, για τους υδατικούς πόρους της χώρας επισημαίνεται ότι η διαθέσιμη ποσότητα νερού συνεχώς ελαττώνεται, έτσι ώστε σημαντικές περιοχές είναι ή τείνουν να γίνουν ελλειμματικές σε νερό, ενώ οι σοβαρότερες ανάγκες καλύπτονται από έργα μεταφοράς, με μεγάλο κόστος κατασκευής και λειτουργίας. Η ποιοτική τους κατάσταση δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα οξυμένα προβλήματα, εκτός από μεμονωμένες περιοχές και παράκτιες ζώνες (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008).

Με τον Ν. 1739/87 έχει θεσμοθετηθεί η διαίρεση της χώρας σε 14 μονάδες (σύνολα λεκανών απορροής) με κατά το δυνατόν όμοιες υδρολογικές-υδρογεωλογικές συνθήκες. Οι μονάδες αυτές αποτελούν το περιφερειακό επίπεδο στον τομέα της διαχείρισης του νερού και ονομάζονται υδατικά διαμερίσματα (ΥΠΑΝ, 2003).

## 1.5 Αντικείμενο της Διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι ο υπολογισμός της κατανάλωσης νερού για την παραγωγή ενός βιομηχανικού προϊόντος και συγκεκριμένα για την παραγωγή μίας φιάλης οίνου με τη χρήση του υδατικού αποτυπώματος.

Το συγκεκριμένο προϊόν επιλέχθηκε εφόσον η πρώτη ύλη του, δηλαδή τα σταφύλια αποτελούν μία από τις πλέον ευρέως διαδεδομένες καλλιέργειες γεωργικών προϊόντων στην Ελλάδα και η παραγωγή του δύναται βελτιώσεων στα διάφορα στάδια επεξεργασίας, από την καλλιέργεια, την οινοποίηση, την εμφιάλωση, την μεταφορά και τελικά την διάθεση των παραγόμενων αποβλήτων του.

Στα πλαίσια της εργασίας υπολογίστηκε το υδατικό αποτύπωμα της φιάλης οίνου με δύο διαφορετικές μεθοδολογίες. Σε πρώτη φάση ο υπολογισμός έγινε με τη μέθοδο των Hoekstra & Charagain και στη συνέχεια με τη μέθοδο των Ridoutt & Pfister. Η εκτίμηση των επιπτώσεων της συγκεκριμένης δραστηριότητας βασίστηκε στο λογισμικό openLCA.

Σκοπός της εργασίας είναι να γίνει σύγκριση των δύο μεθοδολογιών για τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος και να εξαχθούν συμπεράσματα για τη χρησιμότητα του

δείκτη ως εργαλείο διαχείρισης των υδατικών πόρων αλλά και ως μέσο βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας στα βιομηχανικά προϊόντα.

## 1.6 Διάρθρωση της Διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι δομημένη σε έξι βασικά κεφάλαια:

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στο πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων και την περιγραφή κάποιων βασικών εννοιών που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια. Στη συνέχεια αναφέρεται το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο είναι σε ισχύ στην Ελλάδα καθώς και γίνεται μία αναφορά στους υδάτινους πόρους της. Τέλος παρουσιάζεται το αντικείμενο και ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται περιγραφή του δείκτη του Υδατικού Αποτυπώματος. Αναλύονται η έννοια, οι συνιστώσες καθώς και αποτελέσματα μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί για τον Ελλαδικό χώρο. Τέλος παρουσιάζονται οι μέθοδοι υπολογισμού του και πραγματοποιείται σύγκριση τόσο μεταξύ των μεθόδων όσο και μεταξύ του Υδατικού Αποτυπώματος με άλλους δείκτες.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση της θεωρίας καθώς και των εφαρμογών του Υδατικού Αποτυπώματος που έχουν πραγματοποιηθεί για αγροτικά και βιομηχανικά προϊόντα καθώς επίσης και μία σύντομη ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του δείκτη.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο υπολογίζεται το Υδατικό Αποτύπωμα για το υπό μελέτη βιομηχανικό προϊόν με την μέθοδο των Hoekstra & Charagain. Γίνεται επίσης σύντομη περιγραφή της περιοχής μελέτης και της βιομηχανικής μονάδας.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο υπολογίζεται το Υδατικό Αποτύπωμα για το υπό μελέτη βιομηχανικό προϊόν με την μέθοδο των Ridoutt & Pfister και πραγματοποιείται εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της θεωρίας ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ) και του λογισμικού OpenLCA.

Στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθοδολογιών και αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την μελέτη. Επιπρόσθετα επισημαίνονται ελλείψεις και προτείνονται κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα του αντικειμένου.

## 2. ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ

### 2.1 Η Έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος

Η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος, ΥΑ (Water Footprint) εισήχθη για πρώτη φορά από τον Α.Υ. Hoekstra το 2002, στο Διεθνές Συνέδριο Επιστημόνων της UNESCO σχετικά με το Εμπόριο Εικονικού Νερού στο Ντελφτ της Ολλανδίας (Hoekstra, 2003). Πρόκειται για έναν δείκτη χρήσης γλυκού νερού που συμπεριλαμβάνει όχι μόνο την άμεση κατανάλωση μιας υπηρεσίας ή ενός προϊόντος αλλά και την έμμεση. Είναι ένας εναλλακτικός δείκτης της χρήσης νερού που διαφέρει αισθητά από τους παλαιότερους δείκτες μέτρησης που υπολόγιζαν απλώς την υδροληψία στους διάφορους τομείς της οικονομίας. Η κύρια βάση του ΥΑ είναι η αναζήτηση τρόπων σύνδεσης της ανθρώπινης κατανάλωσης με τη χρήση νερού και του παγκοσμίου εμπορίου με τη διαχείριση υδατικών πόρων. Σκοπός του ήταν νη ανάδειξη της ανάγκης να συμπεριληφθεί μία καταναλωτική και παγκόσμια διάσταση στην μελέτη του αντικειμένου για μια καλύτερη διαχείριση του νερού (Hoekstra, 2009).

Το ΥΑ βασίζεται στην έννοια του «εικονικού νερού» (virtual water), έννοια που εισήχθη από τον καθηγητή Allan (1998) και αναφέρεται στην ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Η ονομασία προέρχεται από το γεγονός ότι η πραγματική ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του προϊόντος δεν εμπεριέχεται πια σε αυτό μετά την παραγωγή του. Το ΥΑ εκφράζεται συνήθως σε μονάδες όγκου νερού ανά μονάδα προϊόντος ( $m^3/ton$ ) ή σε μονάδες όγκου νερού ανά μονάδα χρόνου ( $m^3/yr$ ) και αναφέρεται αποκλειστικά στην χρήση γλυκού νερού. Διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με άλλους δείκτες που μελετούν την υδροληψία σε τρία καίρια σημεία (Hoekstra et al., 2011):

- Δεν συμπεριλαμβάνει τη χρήση του μπλε νερού (υδατικοί πόροι επιφάνειας και υπεδάφους) που επιστρέφει στην λεκάνη απορροής και επομένως μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.
- Δεν περιορίζεται στην χρήση μόνο μπλε νερού αλλά επίσης πράσινου (κατακρημνίσματα) και γκρι (νερό διάλυσης ρυπαντικού φορτίου).
- Δεν περιορίζεται στην άμεση χρήση του νερού αλλά συμπεριλαμβάνει επίσης και την έμμεση χρήση του.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το ΥΑ δεν αποτελεί ένα τρόπο μέτρησης της δριμύτητας της τοπικής περιβαλλοντικής επίπτωσης της κατανάλωσης και επιβάρυνσης του νερού. Αυτή εξαρτάται από την ευπάθεια των τοπικών συστημάτων νερού και από τον αριθμό των καταναλωτών και των ρυπαντών που χρησιμοποιούν τα συγκεκριμένα συστήματα.



Το ΥΑ δίνει χωροχρονικές πληροφορίες σχετικά με το πώς το νερό διατίθεται για διάφορους ανθρώπινους σκοπούς (Hoekstra et al., 2011).

## 2.2 Οι Συνιστώσες του Υδατικού Αποτύπωματος

Σύμφωνα με τον Hoekstra (2009) το υδατικό αποτύπωμα αποτελείται από τρεις συνιστώσες: την μπλε, την πράσινη και την γκρι.

- Το μπλε υδατικό αποτύπωμα είναι ένας δείκτης κατανάλωσης μπλε νερού, δηλαδή νερού που προέρχεται από επιφανειακά και υπόγεια αποθέματα. Με τον όρο κατανάλωση εννοείται η απώλεια νερού ως εξάτμιση, ενσωμάτωση σε ένα προϊόν, μεταφορά σε μία άλλη λεκάνη απορροής, επιστροφή σε διαφορετική χρονική περίοδο.

$$\mathbf{WF_{proc,blue} = BlueWaterEvaporation + BlueWaterIncorporation + LostReturnflow \quad [volume/time] \quad (2.1)}$$

Ο τελευταίος παράγοντας της σχέσης αναφέρεται στο μέρος του νερού που δεν είναι διαθέσιμο για επαναχρησιμοποίηση λόγω του ότι είτε έχει μεταφερθεί σε άλλη λεκάνη απορροής (ή στη θάλασσα), είτε έχει επιστραφεί στην ίδια αλλά σε διαφορετική χρονική περίοδο.

- Το πράσινο υδατικό αποτύπωμα είναι ένας δείκτης κατανάλωσης πράσινου νερού, δηλαδή νερού που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (κυρίως βρόχινο νερό) που δεν απορρέει επιφανειακά αλλά αποθηκεύεται στο έδαφος με τη μορφή υγρασίας και καταναλώνεται κατά την εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών.

$$\mathbf{WF_{proc,green} = GreenWaterEvaporation + GreenWaterIncorporation \quad [volume/time] \quad (2.2)}$$

- Το γκρι υδατικό αποτύπωμα είναι ένας δείκτης του βαθμού ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών. Ορίζεται ως ο όγκος του γλυκού νερού που απαιτείται για την διάλυση των ρύπων σε βαθμό που να είναι αποδεκτή και δεν υποβαθμίζεται η ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών τουλάχιστον όσο αφορά στα ισχύοντα επίπεδα.

$$\mathbf{WF_{proc,gray} = L / (c_{max} - c_{nat}) \quad [volume/time] \quad (2.3)}$$

Όπου:

L: Το ρυπαντικό φορτίο

$c_{\max}$ : Η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση για τον συγκεκριμένο ρύπο

$c_{\text{nat}}$ : Η φυσική συγκέντρωση στο υδατικό σώμα

Οι τρεις αυτές συνιστώσες έχουν διαφορετικά μεταξύ τους χαρακτηριστικά. Η βασική διαφορά ανάμεσα στο πράσινο και το μπλε νερό είναι ότι έχουν διαφορετικό πεδίο εφαρμογής. Το πράσινο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραγωγικά μόνο στην φυτική παραγωγή και την παραγωγή φυσικής βιομάζας (υποστήριξη της λειτουργίας των οικοσυστημάτων), ενώ το μπλε νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για την άρδευση καλλιεργειών αλλά και για διάφορους άλλους τύπους οικιακής, γεωργικής και βιομηχανικής χρήσης νερού (Hoekstra, 2009). Υπάρχει δηλαδή μεγάλος ανταγωνισμός για την χρήση του και θεωρείται ότι έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος ευκαιρίας από ότι το πράσινο νερό (Charagain et al., 2006).

### 2.3 Το Υδατικό Αποτύπωμα στην Ελλάδα

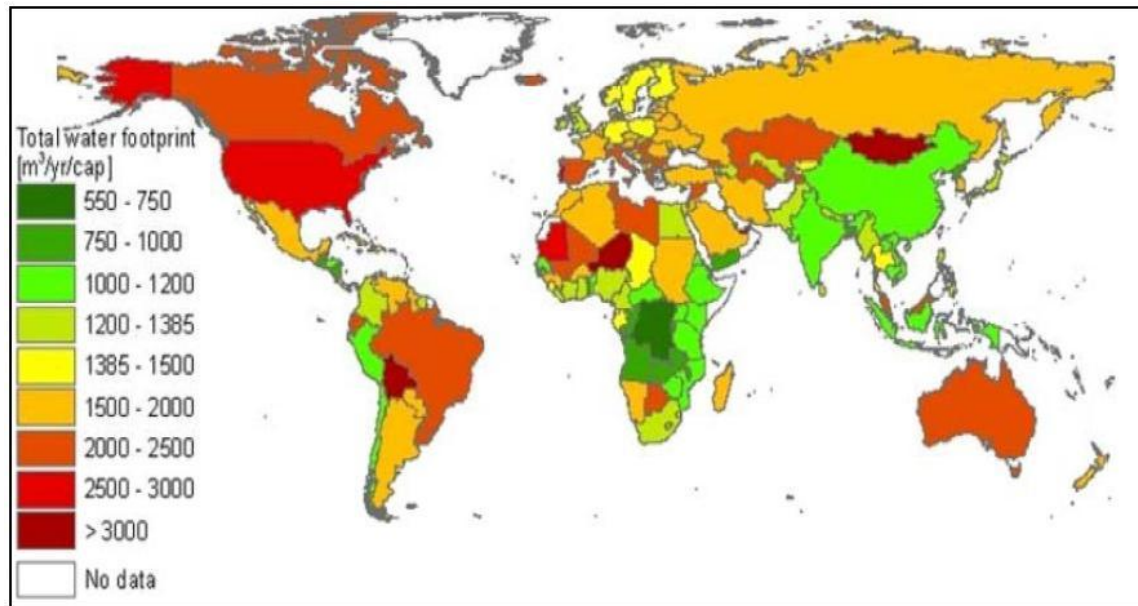
Το υδατικό αποτύπωμα ενός κράτους ορίζεται ως ο όγκος του νερού που χρειάζεται για την παραγωγή των προϊόντων και υπηρεσιών που καταναλώνονται από τους κατοίκους του και αποτελείται από δύο συνιστώσες:

- Το ενδογενές υδατικό αποτύπωμα που είναι ο χρησιμοποιούμενος όγκος νερού από τοπικούς υδατικούς πόρους.
- Το εξωγενές υδατικό αποτύπωμα που είναι ο χρησιμοποιούμενος όγκος νερού για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών σε άλλα κράτη που εισάγονται και καταναλώνονται από τους κατοίκους της χώρας.

Το 2007 οι Hoekstra και Charagain υπολόγισαν τα υδατικά αποτυπώματα των κρατών του κόσμου με στατιστικά στοιχεία της περιόδου 1997-2001 και λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση τεσσάρων παραγόντων που είναι οι εξής:

- Ο όγκος της κατανάλωσης που εκφράζεται από το ΑΕΠ.
- Οι καταναλωτικές συνήθειες των κατοίκων.
- Οι τοπικές κλιματικές συνθήκες.
- Η εφαρμοζόμενη αγροτική πρακτική (κυρίως η απόδοση του χρησιμοποιούμενου ύδατος).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν δημιούργησαν έναν χάρτη κατανάλωσης νερού με τις μέσες τιμές των εθνικών υδατικών αποτυπωμάτων όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.1.

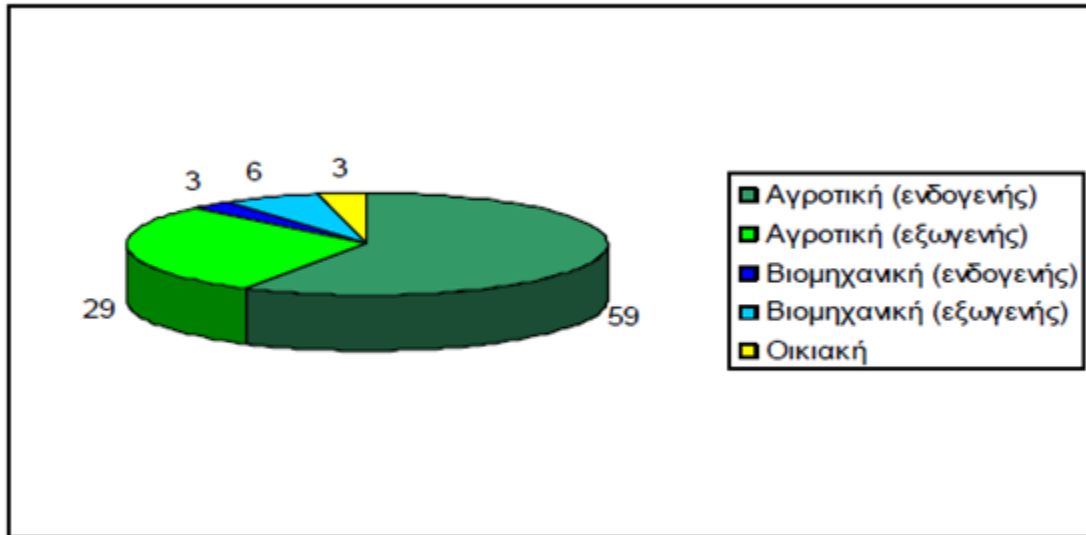


Εικόνα 2.1. : Μέσες τιμές εθνικών ΥΑ ( $\text{m}^3/\text{κάτοικο}/\text{year}$ ), (Hoekstra and Charapagain, 2007)

Το παγκόσμιο μέσο ΥΑ, σύμφωνα με τη μεθοδολογία κατά Hoekstra και Charapagain, υπολογίστηκε σε  $1385 \text{ m}^3/\text{έτος}/\text{κάτοικο}$  για την περίοδο 1996-2005 (Mekonnen και Hoekstra, 2011). Οι χώρες που παρουσιάζονται με πράσινο έχουν ΥΑ που είναι μικρότερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο. Οι χώρες που εμφανίζονται με κίτρινο - κόκκινο διαθέτουν ΥΑ μεγαλύτερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο.

Σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα, είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι η Ελλάδα έχει ένα από τα υψηλότερα ΥΑ ( $2389 \text{ m}^3/\text{cap.yr}$ ), μαζί με την Ισπανία ( $2325 \text{ m}^3/\text{cap.yr}$ ), την Πορτογαλία ( $2264 \text{ m}^3/\text{cap.yr}$ ) και την Ιταλία ( $2332 \text{ m}^3/\text{cap.yr}$ ), εξαιτίας της κατανάλωσης νερού στη γεωργία. Το μεγαλύτερο ΥΑ έχουν οι ΗΠΑ ( $2483 \text{ m}^3/\text{cap.yr}$ ), εξαιτίας κυρίως των μεγάλων εισαγόμενων ποσοτήτων κρέατος. Το μικρότερο ΥΑ έχει η Κίνα ( $700 \text{ m}^3/\text{cap.yr}$ ).

Ο Στάμου (2010) ανέλυσε τη σύνθεση του ΥΑ στην Ελλάδα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2.. Παρατηρείται ότι η αγροτική παραγωγή καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό, όπως ήταν αναμενόμενο.



Εικόνα 2.2.: Ποσοστιαία σύνθεση ΥΑ στην Ελλάδα (Στάμου, 2010)

Στην Ελλάδα, όπως στις περισσότερες ξηρές χώρες, η διαχείριση υδατικών πόρων αποτελεί ένα εξαιρετικά σημαντικό και αντιφατικό θέμα με τεράστια πολιτική και κοινωνική διάσταση. Το σημερινό πρόβλημα της Ελλάδας στη διαχείριση υδατικών πόρων δεν είναι τόσο η έλλειψη των υδατικών πόρων, αλλά η κακή διαχείριση και η αναποτελεσματική διαχειριστική πολιτική που εφαρμόζεται, ιδιαίτερα στο γεωργικό τομέα. Η ανάλυση του ΥΑ, δηλαδή ο προσδιορισμός των 3 συνιστωσών του και η ερμηνεία τους, από υδρολογική, οικονομική και οικολογική άποψη, μπορεί να αποδειχτεί ιδιαίτερα χρήσιμη (σε συνδυασμό με τους συνηθισμένους δείκτες κατανάλωσης νερού) διευκολύνοντας σημαντικά την αναγνώριση πιθανών λύσεων σε υφιστάμενα προβλήματα και την αποτελεσματική κατανομή των υδατικών και οικονομικών πόρων (Στάμου, 2010).

## 2.4 Μέθοδοι Υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος

Ο υπολογισμός του υδατικού αποτυπώματος είναι δυνατόν να γίνει με βάση δύο διαφορετικές προσεγγίσεις που είναι οι εξής:

- Η μέθοδος των A.Y. Hoekstra και A.K. Charagain (2008)
- Η μέθοδος των B.G. Ridoutt και S. Pfister (2010) που στην ουσία αποτελεί μία αναθεωρημένη μορφή της πρώτης μεθόδου.

Στην συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη ανάλυση των δύο μεθοδολογιών επισημαίνοντας τα βασικά χαρακτηριστικά και τα σημεία διαφοροποίησής τους.

### 2.4.1 Προσεγγίσεις Υπολογισμού κατά Hoekstra & Chapagain (2008)

Ο υπολογισμός του υδατικού αποτύπωματος κατά A.Y. Hoekstra και A.K. Chapagain γίνεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω με τη άθροιση των τριών συνιστωσών του: μπλε, πράσινη και γκρι. Συνοπτικά αναφέρονται οι τρόποι υπολογισμού του ΥΑ διαφόρων κατηγοριών ενδιαφέροντος (Hoekstra et al., 2011):

- Το υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος ορίζεται ως ο συνολικός όγκος του γλυκού νερού που χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα για την παραγωγή του.
- Το υδατικό αποτύπωμα ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών ορίζεται ως ο συνολικός όγκος του γλυκού νερού που καταναλώνεται ή επιβαρύνεται για την παραγωγή των προϊόντων και των υπηρεσιών που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής.
- Το υδατικό αποτύπωμα μίας χώρας ορίζεται ως η συνολική ποσότητα γλυκού νερού που καταναλώνεται ή επιβαρύνεται με κάθε τρόπο στα χωρικά όρια του κράτους, συμπεριλαμβανομένων και των προϊόντων που παράγονται στη χώρα αλλά και αυτών που εξάγονται και καταναλώνονται σε διαφορετικά κράτη.
- Το υδατικό αποτύπωμα της εθνικής κατανάλωσης ορίζεται ως ο συνολικός όγκος γλυκού νερού που είναι απαραίτητος για την κάλυψη των αναγκών των κατοίκων μιας χώρας. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και το υδατικό αποτύπωμα λεκανών απορροής, κοινοτήτων, επαρχιών κτλ αλλάζοντας μόνο τα χωρικά όρια μέσα στα οποία γίνεται ο υπολογισμός.
- Το υδατικό αποτύπωμα μίας υπηρεσίας ή επιχείρησης ορίζεται ως ο συνολικός όγκος γλυκού νερού που χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα για την λειτουργία της επιχείρησης και χωρίζεται σε δύο βασικούς συντελεστές. Το λειτουργικό ΥΑ, δηλαδή το γλυκό νερό που καταναλώνεται ή επιβαρύνεται λόγω των λειτουργιών της επιχείρησης και το ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή αυτό που καταναλώνεται ή επιβαρύνεται για την παραγωγή των προϊόντων και υπηρεσιών που λειτουργούν ως εισαγόμενα προϊόντα για την επιχείρηση.

Το υδατικό αποτύπωμα που αφορά στην γενικότερη εθνική κατανάλωση ( $WF_{cons,nat}$ ) είναι δυνατό να υπολογιστεί μέσω δύο εναλλακτικών προσεγγίσεων: την καθοδική (top-down) και την ανοδική (bottom-up) οι οποίες λειτουργούν ως εξής:

- Η καθοδική (top-down approach) αποτελεί μία προσέγγιση η οποία υπολογίζει το υδατικό αποτύπωμα εθνικής κατανάλωσης ( $WF_{cons,nat}$ ) αθροίζοντας το υδατικό αποτύπωμα μέσα στη χώρα ( $WF_{area,nat}$ ) με το συνολικό εισαγόμενο εικονικό νερό ( $V_i$ ) και αφαιρώντας το συνολικό εξαγόμενο εικονικό νερό ( $V_e$ ).

$$(WF_{cons,nat}) = (WF_{area,nat}) + (V_i) - (V_e) \quad [\text{volume/time}] \quad (2.4)$$

- Η ανοδική (bottom-up approach) αποτελεί μία προσέγγιση η οποία βασίζεται στη μέθοδο υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος ενός συνόλου καταναλωτών. Υπολογίζεται ως το άθροισμα των άμεσων και έμμεσων υδατικών αποτυπωμάτων των καταναλωτών μέσα στο κράτος:

$$(WF_{\text{cons,nat}}) = (WF_{\text{cons,nat,dir}}) + (WF_{\text{cons,nat,indir}}) \quad [\text{volume/time}] \quad (2.5)$$

Το άμεσο υδατικό αποτύπωμα αναφέρεται στην κατανάλωση και την επιβάρυνση του νερού λόγω του νερού που χρησιμοποιείται για οικιακούς και κοινόχρηστους σκοπούς. Το έμμεσο υδατικό αποτύπωμα αναφέρεται στο νερό που χρησιμοποιείται από άλλους για την παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών και υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας όλα τα αγαθά και υπηρεσίες που καταναλώνονται από τους κατοίκους της χώρας, με τις αντίστοιχες απαιτήσεις νερού αυτών για την παραγωγή τους.

#### • Σύγκριση των προσεγγίσεων

Οι δύο προσεγγίσεις θεωρητικά πρέπει να καταλήγουν στα ίδια αποτελέσματα δεδομένου ότι δεν υπάρχει αποθεματικό προϊόντων για ένα χρόνο. Ωστόσο παρουσιάζουν ορισμένες διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματά τους λόγω κυρίως των δεδομένων που χρησιμοποιούν και έχουν κάποια μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα αντίστοιχα. Η καθοδική ανάλυση είναι πιθανό να δώσει ελαφρώς διαφοροποιημένα αποτελέσματα από τα πραγματικά αν το απόθεμα των προϊόντων αλλάξει (μειωθεί ή αυξηθεί) μέσα στο χρόνο. Ένα ακόμη μειονέκτημα της καθοδικής μεθόδου είναι ότι ίσως παρεμβληθούν χρονικές καθυστερήσεις ανάμεσα στην στιγμή της υδατικής χρήσης και την στιγμή του εμπορίου. Σημαντική διαφορά των δύο προσεγγίσεων αποτελεί και το είδος των δεδομένων που χρησιμοποιούν στους υπολογισμούς. Η ανοδική εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων κατανάλωσης ενώ η καθοδική από την ποιότητα των δεδομένων εμπορίου. Συγκεκριμένα στην περίπτωση που οι εισαγωγές και εξαγωγές της χώρας είναι μεγάλες σε σχέση με την τοπική παραγωγή, τα αποτελέσματα της καθοδικής είναι εξαιρετικά ευαίσθητα σε ακόμη και πολύ μικρά λάθη κατά την διαδικασία της εισαγωγής των πληροφοριών. Αυτό συμβαίνει κυρίως σε μικρές χώρες που ειδικεύονται στο εμπόριο όπως κατέδειξε και μία έρευνα για τη Ολλανδία (Van Oel et al, 2009). Γενικότερα η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των προσεγγίσεων εξαρτάται από τη σχετική ποιότητα των βάσεων δεδομένων στις οποίες βασίζονται. Η καθοδική προσέγγιση επιλέγεται κυρίως στην περίπτωση κρατών εφόσον υπάρχουν τα απαραίτητα εθνικά δεδομένα και εφόσον είναι αρκετά γρήγορη. Από την άλλη πλευρά, η ανοδική προσέγγιση ενδείκνυται για υπολογισμούς σε μικρότερες χωρικές οντότητες όπως είναι μία επιχείρηση ή ένας ιδιώτης (Hoekstra et al., 2011).

#### 2.4.2 Αναθεωρημένη Μέθοδος κατά Ridoutt & Pfister (2010)

Το υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος συνήθως υπολογίζεται ως το άθροισμα ολόκληρης της ποσότητας του νερού που καταναλώνεται στα διάφορα στάδια παραγωγής. Αυτό κατά κύριο λόγο περιλαμβάνει το μπλε νερό (επιφανειακά και υπόγεια ύδατα), το πράσινο νερό (κατακρημνίσματα-βρόχινο νερό που καταναλώνεται κατά την εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών) και το γκρι νερό (ποσότητα φρέσκου νερού αναγκαία για την διάλυση ρυπογόνων παραγόντων). Ωστόσο οι Mila i Canals et al. (2009) και Ridoutt et al. (2010) έχουν επεκτείνει τις συγκεκριμένες μεθοδολογίες ώστε να συμπεριλαμβάνεται και το νερό που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια χρήσης του προϊόντος.

Οι ήδη υπάρχουσες μεθοδολογίες υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος έχουν αναπτυχθεί ανεξάρτητα από την μελέτη του κύκλου ζωής των προϊόντων (Life Cycle Assessment). Το γεγονός αυτό τους προσδίδει επομένως μια αδυναμία στην σύνδεση των αποτελεσμάτων με κάθε ορισμένη κατηγορία κοινωνικής ή περιβαλλοντικής επιρροής. Υπήρξε ως εκ τούτου η ανάγκη ανάπτυξης μίας αναθεωρημένης μεθοδολογίας υπολογισμού όπως προαναφέρθηκε η οποία πραγματοποιήθηκε από τους Ridoutt και Pfister το 2010 και προσεγγίζει κυρίως τα αγρό-διατροφικά προϊόντα. Για την ανάπτυξη της βελτιωμένης αυτής υπολογιστικής μεθόδου κρίθηκε σκόπιμη η αναθεώρηση του χαρακτήρα των παραγόντων λειψυδρίας και της διάταξης του υδατικού αποτυπώματος. Κύριο μέλημα της μεθόδου είναι η εξάλειψη των φαινομένων λειψυδρίας που περιορίζουν την διαθεσιμότητα του γλυκού νερού για ανθρώπινες χρήσεις και για το περιβάλλον.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση σχετικά με τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος εξετάζει την χρήση του νερού σε μια σχετικά μικρότερη και περιορισμένη κλίμακα. Ως βάση της προσέγγισης θεωρείται η χωρική οντότητα της λεκάνης απορροής της εκάστοτε περιοχής μελέτης και τονίζεται η επιρροή της χρήσης γης στα αποθέματα μπλε νερού. Σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με την μέθοδο των Hoekstra & Charagain αποτελεί το γεγονός ότι στην διαδικασία υπολογισμού του ΥΑ δεν συμπεριλαμβάνεται η χρήση του πράσινου νερού εφόσον θεωρείται ότι εμπεριέχεται στο μπλε νερό. Αυτό δικαιολογείται επειδή το πράσινο νερό πριν γίνει μπλε δεν συμβάλει σε περιβαλλοντικές ροές που είναι απαραίτητες για την σωστή λειτουργία των οικοσυστημάτων γλυκού νερού αλλά δεν είναι και προσιτό για άλλες χρήσεις από τον άνθρωπο. Τα στοιχεία επομένως που μελετώνται κατά την διαδικασία αυτή είναι:

- Τα αποθέματα μπλε νερού της περιοχής μελέτης.

- Το γκρι νερό που απαιτείται για την αφομοίωση των ρυπογόνων παραγόντων. Γενικότερα η μέθοδος υπολογισμού του γκρι νερού είναι ατελής εφόσον ένα λίτρο νερού προερχόμενο απευθείας από μια πηγή δεν είναι εννοιολογικά ή φυσικά το ίδιο με ένα λίτρο νερού που αφομοιώνει μια εκπομπή ρύπων. Ωστόσο είναι προτιμότερο να συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς από την απώλεια κάθε στοιχείου για τον αντίκτυπο στην υποβάθμιση της ποιότητας της χρησιμοποιήσιμης ποσότητας του νερού.

- **Πλεονεκτήματα της αναθεωρημένης μεθόδου**

- Η μέθοδος παρέχει μία καλή βάση για τον απολογισμό των εταιριών σχετικά με την βιωσιμότητα. Ήδη πολλές εταιρίες θέτουν στόχους σχετικά με την μείωση της χρήσης του νερού και ειδικότερα αυτές που σχετίζονται με την βιομηχανία τροφίμων. Όπως καταδεικνύει αυτή η έρευνα η πλειοψηφία των επιπτώσεων συμβαίνει στο στάδιο παραγωγής των αγροτικών προϊόντων με αποτέλεσμα πολλές επιχειρήσεις να επιλέγουν τη αξιολόγηση του κύκλου ζωής που παρέχει ποσοτικά μέσα για τον εντοπισμό των προτεραιοτήτων και των κατευθύνσεων δράσης.
- Γενικά τα υδατικά αποτυπώματα των προϊόντων παρέχουν την δυνατότητα στους καταναλωτές να αξιολογήσουν καλύτερα τις αγοραστικές τους επιλογές και ως εκ τούτου τις καταναλωτικές τους συνήθειες. Τα ογκομετρικά υδατικά αποτυπώματα ωστόσο μπορούν να γίνουν παραπλανητικά και να προκαλέσουν σύγχυση στον μέσο καταναλωτή που δεν ξέρει πώς να διαχειριστεί την παρεχόμενη πληροφορία. Για παράδειγμα ένα προϊόν με υψηλό υδατικό αποτύπωμα δεν επηρεάζει απαραίτητα την περιοχή στην οποία καταναλώνεται εφόσον το πιθανότερο είναι να έχει παραχθεί αλλού. Με την αναθεωρημένη μέθοδο είναι εφικτό να εκφραστεί σε μονάδες επηρεασμού της περιοχής κατανάλωσης και ο καταναλωτής δύναται να συγκρίνει τα προϊόντα με βάση το υδατικό αποτύπωμα για την περιοχή κατανάλωσης που είναι απλούστερο και πιο κατανοητό.
- Στη μέθοδο αυτή θεωρείται σκόπιμο να μην αθροίζονται υδατικά αποτυπώματα που δεν έχουν σταθμιστεί και προέρχονται τόσο από διαφορετικές περιοχές όπου επικρατούν διαφορετικές συνθήκες όσο και εκφράζουν διαφορετικές υδατικές χρήσεις. Αυτό δίνει την δυνατότητα σύγκρισης ανάμεσα σε διαφορετικά προϊόντα αλλά και ανάμεσα σε διαφορετικά στάδια στον κύκλο ζωής ενός συγκεκριμένου προϊόντος.
- Ο συντελεστής βάρους που δίνεται σε κάθε υδατική κατανάλωση παρέχει το πλεονέκτημα συσχετισμού κατανάλωσης και αρνητικών επιρροών-κινδύνων στο κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον.



- Η βαρύτητα υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο είναι δυνατόν να συγκριθούν τα μεγέθη των υδατικών αποτυπωμάτων με βάση της συνθήκες άντλησης σε συγκεκριμένες περιοχές. Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνεται μέσω του Δείκτη Πίεσης Νερού (Water Stress Index, WSI) (Pfister et al., 2009) που αποτελεί χαρακτηριστικό στοιχείο κάθε περιοχής. Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0.01 έως 1, με το 0.5 να αντικατοπτρίζει την περιοχή με μέτρια πίεση νερού. Πολλαπλασιαζόμενος με τον όγκο του διαθέσιμου μπλε υδατικού αποτυπώματος προκύπτει το σταθμισμένο υδατικό αποτύπωμα (stress-weighted WF). Η τιμή αυτή αν στη συνέχεια διαιρεθεί με το μέσο εθνικό δείκτη πίεσης νερού της υπό μελέτη χώρας προκύπτει το ισοδύναμο υδατικό αποτύπωμα.

Η προσέγγιση Pfister δημιουργεί τρεις κατηγορίες όσον αφορά την χρήση του νερού που είναι οι εξής:

- Χρήση του νερού σε ροή
- Κατανάλωση του νερού όπου το νερό δεν είναι πλέον διαθέσιμο στη λεκάνη απορροής
- Η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού όπου το νερό συνεχίζει να είναι διαθέσιμο μετά τη χρήση του, με μειωμένη ωστόσο ποιότητα.

Σημαντικά εξίσου χαρακτηριστικά της μεθόδου που αποτελούν και στοιχεία διαφοροποίησης από άλλες μεθόδους είναι:

- Το νερό που εκχέεται σε άλλη λεκάνη απορροής θεωρείται καταναλούμενο και όχι ως μία μη εξατμιστική χρήση όπως περιγράφουν οι Mila I Canals et al..
- Τα λύματα και η απόρριψή τους γενικότερα θα πρέπει να αξιολογούνται για την ζημία που προκαλούν στην ποιότητα του νερού, χωρίς ωστόσο η μέθοδος να υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο θα επιτευχθεί.

#### 2.4.3 Σύγκριση των Δύο Μεθοδολογιών

Η κυριότερη διαφορά μεταξύ των δύο μεθοδολογιών είναι η βάση στην οποία έχουν δημιουργηθεί. Οι B.G. Ridoutt και S. Pfister στηρίζονται καθολικά στην ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων, κάτι που δεν λαμβάνουν υπόψη οι A.Y. Hoekstra και A.K. Chapagain. Η πρώτη χρονολογικά μεθοδολογία κατά A.Y. Hoekstra και A.K. Chapagain θέτει το πρόβλημα στο πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων και στην βιωσιμότητα τους, ενώ η αναθεωρημένη των B.G. Ridoutt και S. Pfister χρησιμοποιεί συντελεστές βάρους που σταθμίζουν τις συνέπειες και τις επιπτώσεις στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον. Οι Hoekstra και Chapagain προβληματίζονται σχετικά με τον αποκλεισμό της πράσινης συνιστώσας από το στάδιο του υπολογισμού του ΥΑ στην αναθεωρημένη μέθοδο.

Επίσης εκφράζουν ανησυχίες σχετικά με τη χρήση συντελεστών βάρους που επηρεάζουν την αξιοπιστία της μεθόδου. Από την άλλη πλευρά οι Ridoutt και Pfister, στηρίζουν την άποψη ότι η απλή άθροιση των ΥΑ των συνιστωσών κατανάλωσης γλυκού νερού (μπλε, πράσινη, γκρι) για περιοχές με διαφορετικές συνθήκες και ποσοστά λειψυδρίας είναι λανθασμένη και δημιουργεί σύγχυση σχετικά με την επιλογή προϊόντων, ανεξαρτήτων του τόπου προέλευσης του νερού που έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τους. Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι η μέθοδος των A.Y. Hoekstra και A.K. Chapagain ασχολείται κυρίως με τη φυσική σημασία και τα φυσικά μεγέθη του ΥΑ, ενώ η αναθεωρημένη των B.G. Ridoutt και S. Pfister με τις συνέπειες που προκύπτουν. Ωστόσο είναι φανερό ότι η αναθεωρημένη μέθοδος έχει περισσότερη πρακτική σημασία εφόσον κάνει τα προϊόντα άμεσα συγκρίσιμα.

## 2.5 Σύγκριση του Υδατικού Αποτυπώματος με Άλλους Δείκτες

### 2.5.1 Γενικά

Το υδατικό αποτύπωμα ανήκει σε μία μεγαλύτερη ομάδα περιβαλλοντικών δεικτών που έχει εξελιχθεί κυρίως την τελευταία δεκαετία. Το «αποτύπωμα» γενικότερα έχει διαδοθεί ως ένας ποσοτικός τρόπος μέτρησης της πίεσης που ασκείται από ανθρωπογενείς παράγοντες, στις διάφορες φυσικές μεταβλητές και αποθέματα. Στη συνέχεια παρατίθεται τα βασικά στοιχεία κάθε ενός από τους περιβαλλοντικούς δείκτες που συσχετίζονται με την ιδέα του υδατικού αποτυπώματος.

### 2.5.2 Το Οικολογικό Αποτύπωμα (Ecological Footprint)

Το οικολογικό αποτύπωμα (ecological footprint) εισήχθη ως έννοια την δεκαετία του 1990 από τους William Rees και Mathis Wackernagel (Rees and Wackernagel, 1996). Η ιδέα έχει τις ρίζες τις στην αναζήτηση δεικτών της αειφόρου ανάπτυξης και ειδικότερα στην επιθυμία μέτρησης της ανθρώπινης οικειοποίησης των αποθεμάτων της γης σε σχέση με την φέρουσα ικανότητά της.

Το οικολογικό αποτύπωμα μετράει πόση γη χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή όλων των πόρων που καταναλώνονται από έναν δεδομένο πληθυσμό και για την απορρόφηση των αποβλήτων που αυτός παράγει, χρησιμοποιώντας την επικρατούσα τεχνολογία (Chambers et al., 2000). Το οικολογικό αποτύπωμα εκφράζεται συνήθως σε εκτάρια και μπορεί να προσδιοριστεί τόσο για μεμονωμένα άτομα όσο και για

κοινότητες, πόλεις, χώρες, ακόμη και σε παγκόσμιο επίπεδο. Για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη οι έξι συνιστώσες που ακολουθούν (Monfreda et al., 2004):

- Η χρήση καλλιεργήσιμης γης (για βρώση, εκτροφή, άλλα γεωργικά προϊόντα).
- Η χρήση βοσκοτόπων (για κτηνοτροφία).
- Η χρήση δασικών εκτάσεων (για ξυλεία).
- Η χρήση οικιστικών εκτάσεων (για κατοικία).
- Η χρήση παραγωγικού θαλάσσιου χώρου (για ψάρεμα).
- Η χρήση δασικών εκτάσεων για την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκπέμπεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το οικολογικό αποτύπωμα αποκλίνει από τους άλλους δείκτες αειφορίας σε δύο απόψεις: Εκφράζει τις επιπτώσεις της ανθρωπότητας για το περιβάλλον σε μια κοινή μονάδα (χρήση του βιοπαραγωγικού χώρου) και μπορεί να συνδέεται με την φέρουσα ικανότητα της γης (διαθέσιμος βιοπαραγωγικός χώρος ή όπως είναι γνωστός σαν όρος «βιολογική ικανότητα του πλανήτη»). Ιδιαίτερα το τελευταίο έχει θεωρηθεί από τους συγγραφείς της έννοιας του οικολογικού αποτυπώματος ως το μεγαλύτερο βήμα προόδου (Chambers et al., 2000).

### 2.5.3 Το Αποτύπωμα του Άνθρακα (Carbon Footprint)

Το αποτύπωμα του άνθρακα (carbon footprint) μετρά τις εκπομπές των ρύπων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εκφράζεται σε μονάδες ισοδύναμων διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>-eq) και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας συντελεστές χαρακτηρισμού που περιγράφουν την προοπτική υπερθέρμανσης του πλανήτη από τα διάφορα αέρια του θερμοκηπίου (Ridoutt and Pfister, 2010). Με τον τρόπο αυτό τα αποτυπώματα του άνθρακα των διαφόρων προϊόντων μπορούν να συγκριθούν άμεσα και είναι εύκολο να εξαχθούν εξ αυτών χρήσιμα συμπεράσματα. Επιπλέον τα αέρια που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου λειτουργούν προσθετικά και ως εκ τούτου είναι εφικτό να αθροιστούν για μία χώρα, μία επιχείρηση, ένα άτομο, ακόμη και για τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Τα αποτυπώματα του άνθρακα μπορούν επίσης να συγκριθούν με τον δείκτη μέσης πιθανής υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential GWP) που χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάλυση κύκλου ζωής (LCA).

### 2.5.4 Το Ενεργειακό Αποτύπωμα (Energy Footprint)

Το ενεργειακό αποτύπωμα (energy footprint) ορίζεται ως η έκταση που απαιτείται για την αντιστάθμιση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτά καύσιμα, για την εξουδετέρωση της ακτινοβολίας από την πυρηνική ενέργεια και για την κατασκευή φραγμάτων με σκοπό την δημιουργία υδροηλεκτρικής ενέργειας (Ferng, 2002). Το ενεργειακό αποτύπωμα μετράται σε εκτάρια και στην ουσία αποτελεί συνιστώσα του οικολογικού αποτυπώματος.

### 2.5.5 Σύγκριση των Δεικτών

Εξετάζοντας συνολικά τους δείκτες που προαναφέρθηκαν συνοψίζεται ότι το οικολογικό αποτύπωμα όπως και το ενεργειακό εκφράζονται σε εκτάρια αφού στην ουσία μετράνε δασικές εκτάσεις. Το αποτύπωμα του άνθρακα εκφράζεται σε τόνους (ισοδύναμα του διοξειδίου του άνθρακα) και μετρά τις εκπομπές των ρύπων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Από την άλλη πλευρά, το υδατικό αποτύπωμα μετρά την χρήση του νερού και εκφράζεται συνήθως σε κυβικά μέτρα ανά χρόνο. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό αν και όλοι αποτελούν στην βάση τους μία προσπάθεια μέτρησης της ανθρώπινης οικειοποίησης των διαθέσιμων φυσικών πόρων, λόγω της διαφορετικής φύσης του κάθε δείκτη και λόγω του ότι μετρούν τελείως διαφορετικά αντικείμενα, δεν μπορούν να αντικαταστήσουν ο ένας τον άλλον αλλά λειτουργούν μόνο συμπληρωματικά αφού παρέχουν και διαφορετική πληροφορία. Οι διαφορές τους έγκεινται εκτός των άλλων και στις διαφορετικές ιστορικές ρίζες τους, στις μεθοδολογίες υπολογισμού τους, στις εφαρμογές τους, που όμως δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλυθούν περαιτέρω.

### 3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

#### 3.1 Ιστορική Αναδρομή

Μετά την εισαγωγή της έννοιας του ΥΑ το 2002, η συζήτηση για το αντικείμενο συνεχίστηκε σε διάφορα διεθνή υδρολογικά συνέδρια, όπως το 3<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Υδρολογικό Συνέδριο στην Ιαπωνία το 2003, η τηλεδιάσκεψη με θέμα «Εμπόριο Εικονικού Νερού και Γεωπολιτική» που διοργανώθηκε από το Παγκόσμιο Υδρολογικό Συμβούλιο το 2003 (WWC, 2004), η Διάσκεψη για το «Εμπόριο Εικονικού Νερού» που διοργανώθηκε από το Γερμανικό Ινστιτούτο Ανάπτυξης στη Βόννη το 2005 (Horlemann and Neubert, 2007), το 4ο Παγκόσμιο Υδρολογικό Συνέδριο στο Μεξικό το 2006, η Διάσκεψη για την «Παγκόσμια Διαχείριση Νερού» που διοργανώθηκε από το Παγκόσμιο Σχέδιο Υδατικού Συστήματος στη Βόννη το 2006 και η διάσκεψη για το «Εμπόριο Εικονικού Νερού» που διοργανώθηκε από το Ινστιτούτο Κοινωνικό-Οικολογικής Έρευνας στη Φρανκφούρτη το 2006.

Οι πρώτες προσπάθειες υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος έγιναν το 2002 από τους Hoekstra & Hung που υπολόγισαν ΥΑ εθνών και βασίστηκαν στο διεθνές εμπόριο βασικών γεωργικών καλλιεργειών και στη συνέχεια το 2003 οι Hoekstra & Chapagain που συμπεριέλαβαν και το διεθνές εμπόριο κτηνοτροφικών προϊόντων. Ωστόσο ως εκείνη την χρονική στιγμή οι μελέτες έκαναν λόγο μόνο για τη χρήση μπλε νερού. Η πράσινη συνιστώσα του νερού, δηλαδή η ωφέλιμη βροχόπτωση λήφθηκε υπόψη για πρώτη φορά το 2004 από τους Hoekstra & Chapagain. Δύο χρόνια μετά, η έννοια του υδατικού αποτυπώματος διευρύνθηκε από τους Chapagain et al. (2006), συμπεριλαμβάνοντας στον υπολογισμό του ΥΑ για την κατανάλωση βαμβακιού την επίδραση της ρύπανσης, την γκρι συνιστώσα του νερού, δηλαδή τον απαραίτητο υδατικό όγκο για την αραίωση των ρυπαντών ώστε η ποιότητα του νερού να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Τελικά, οι Ridoutt & Pfister (2009) προτείνουν μία αναθεωρημένη μέθοδο, που στηρίζεται στην ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων και στον τοπικό χαρακτήρα του προβλήματος σε μία προσπάθεια κάλυψης των υπαρχουσών αδυναμιών. Η εξέλιξη του δείκτη του υδατικού αποτυπώματος δεν έχει σταματήσει και έως σήμερα γίνονται έρευνες για την βελτιστοποίηση των μεθοδολογιών υπολογισμού του.

#### 3.2 Εφαρμογές Υπολογισμού Υδατικού Αποτυπώματος

Με την πάροδο των ετών και με την εξέλιξη των μεθοδολογιών υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος έγιναν αρκετές εφαρμογές όσον αφορά την συνολική

κατανάλωση νερού κρατών αλλά και συγκεκριμένες εφαρμογές σε όλους σχεδόν τους τομείς της παραγωγικής δραστηριότητας (ενέργεια, αγροτικά προϊόντα –καλλιέργειες, βιομηχανικά προϊόντα). Στη συνέχεια παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά οι κυριότερες μελέτες που έγιναν για αγροτικά και κυρίως βιομηχανικά προϊόντα εφόσον αυτά σχετίζονται περισσότερο με τη συγκεκριμένη εφαρμογή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 3.2.1 Αγροτικά Προϊόντα

Ο δείκτης του υδατικού αποτυπώματος έχει χρησιμοποιηθεί αρκετές φορές για τον υπολογισμό της υδατοκατανάλωσης σε καλλιέργειες και γενικότερα σε αγροτικά προϊόντα. Μέσω αυτού μπορούν να συγκριθούν μέθοδοι καλλιέργειας και να αξιολογηθούν αγροτικές πολιτικές. Το νερό που καταναλώνεται κατά την φάση της ανάπτυξης των καλλιεργειών αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ποσοστό στη συνολική υδατοκατανάλωση πολλών προϊόντων, όχι μόνο αγροτικών αλλά και βιομηχανικών και διατροφικών. Οι κυριότερες εφαρμογές υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος αφορούν το βαμβάκι, το σιτάρι και το ρύζι και είναι οι ακόλουθες:

Σκοπός της μελέτης των Charagain et al. (2006) είναι η αξιολόγηση του υδατικού αποτυπώματος της παγκόσμιας κατανάλωσης βαμβακιού, εξετάζοντας και την τοποθεσία αλλά και τον χαρακτήρα των επιπτώσεων. Η μελέτη διαχωρίζει τις επιπτώσεις σε τρεις κατηγορίες: την εξάτμιση του μη διεισδυόμενου βρόχινου νερού για την ανάπτυξη του φυτού (πράσινο νερό), τα επιφανειακά ή υπόγεια νερά για άρδευση ή χρήση κατά την επεξεργασία (μπλε νερό) και η ρύπανση του νερού (νερό διάλυσης). Η έρευνα έδειξε ότι για την περίοδο 1997-2001 η παγκόσμια κατανάλωση βαμβακιού απαιτούσε  $256\text{Gm}^3$  νερό ανά χρόνο, εκ των οποίων το 42% είναι μπλε νερό, το 39% πράσινο και το 19% γκρι νερό διάλυσης. Οι επιπτώσεις από την άλλη πλευρά είναι διασυννοριακές. Για παράδειγμα το 84% του υδατικού αποτυπώματος στην περιοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης τοποθετείται εκτός της Ευρώπης, με έντονες επιδράσεις κυρίως στην Ινδία και το Ουζμπεκιστάν.

Στη συνέχεια η μελέτη των Charagain & Orr (2009) προεκτείνει τις τότε υπάρχουσες μεθοδολογίες για το υδατικό αποτύπωμα προκειμένου να βγουν συμπεράσματα σε πιο τοπικό επίπεδο για την ανάπτυξη καλλιεργειών μερικώς σε ανοιχτά συστήματα και μερικώς σε θερμοκήπια με πολυεποχιακή συγκομιδή, όπως η κηπουρική βιομηχανία στην Ισπανία. Η συγκεκριμένη μελέτη συνέκρινε επίσης τις υπάρχουσες οικολογικές μεθοδολογίες με το υδατικό αποτύπωμα και υποστηρίζει ότι τα μοντέλα της AKZ και του οικολογικού αποτυπώματος μπορούν να επωφεληθούν από τις μεθόδους του υδατικού αποτυπώματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση καταναλώνει 957000

ton/yr φρέσκες ισπανικές ντομάτες και αυτή η κατανάλωση εξατμίζει  $71 \text{ Mm}^3/\text{yr}$  νερού και απαιτεί  $7 \text{ Mm}^3/\text{yr}$  για να αραιωθεί η διαρροή νιτρικών στους υδατικούς αποδέκτες της χώρας.

Οι Mekonnen & Hoekstra (2010) υπολόγισαν το υδατικό αποτύπωμα του σιταριού από παραγωγική και καταναλωτική σκοπιά παγκοσμίως. Στην έρευνα έγινε ιδιαίτερα υψηλής ανάλυσης υπολογισμός εφόσον το υδατικό αποτύπωμα της καλλιέργειας εκτιμήθηκε σε κάναβο  $5' \times 5'$ . Σε κάθε κελί εκτιμήθηκε σε καθημερινή βάση η πράσινη, η μπλε και η γκρι συνιστώσα του νερού σύμφωνα με τη μέθοδο των Hoekstra & Charagain. Η παγκόσμια παραγωγή σιταριού την περίοδο του 1996-2005 απαίτησε  $108 * 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$  νερό (70% πράσινο, 19% μπλε, 11% γκρι). Το μέσο παγκόσμιο υδατικό αποτύπωμα προϊόντος ήταν  $1830 \text{ m}^3/\text{ton}$ .

Οι Charagain & Hoekstra (2011) υπολόγισαν το υδατικό αποτύπωμα χρησιμοποιώντας τις τρεις συνιστώσες του με τοπικά δεδομένα της πραγματικής άρδευσης κάθε περιοχής. Η εθνική υδατοκατανάλωση για την παραγωγή και κατανάλωση του ρυζιού εκτιμήθηκε μέσω δεδομένων του διεθνούς εμπορίου και της οικιακής παραγωγής. Το παγκόσμιο Υ.Α της παραγωγής ρυζιού υπολογίστηκε στα  $784 \text{ km}^3/\text{year}$  με μέση τιμή  $1325 \text{ m}^3/\text{t}$  (48% πράσινο, 44% μπλε, 8% γκρι). Στην Ινδία, Ινδονησία, Βιετνάμ, Ταϊλάνδη, Μιανμάρ και Φιλιππίνες η πράσινη συνιστώσα του νερού είναι πολύ μεγαλύτερη από την μπλε, ενώ στις ΗΠΑ και στο Πακιστάν η μπλε είναι τέσσερεις φορές μεγαλύτερη από την πράσινη. Τα αποτελέσματα τελικά έδειξαν ότι το υδατικό αποτύπωμα της κατανάλωσης του ρυζιού δημιουργεί σχετικά μικρότερες πιέσεις στα αποθέματα νερού στην Ινδία σε σχέση με το Πακιστάν και τις ΗΠΑ.

Σε άλλη μελέτη των Mekonnen & Hoekstra (2011) έγινε υπολογισμός του παγκόσμιου υδατικού αποτυπώματος διαφόρων τύπων καλλιεργειών (126 στον αριθμό) και των παράγωγων προϊόντων τους για την χρονική περίοδο 1996-2005 με την μέθοδο των Hoekstra & Charagain. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το παγκόσμιο υδατικό αποτύπωμα που σχετίζεται με τις καλλιέργειες για την συγκεκριμένη περίοδο ήταν  $7404 * 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$  νερό (78% πράσινο, 12% μπλε, 10% γκρι). Ένα μεγάλο ΥΑ υπολογίστηκε για το σιτάρι ( $1087 \text{ Gm}^3/\text{yr}$ ), το ρύζι ( $992 \text{ Gm}^3/\text{yr}$ ) και τον αραβόσιτο ( $770 \text{ Gm}^3/\text{yr}$ ). Το σιτάρι και το ρύζι έχουν τα μεγαλύτερα μπλε υδατικά αποτυπώματα, στο άθροισμά τους 45% του παγκόσμιου. Σε επίπεδο χώρας μεγαλύτερα υδατικά αποτυπώματα υπολογίστηκαν για την Ινδία, την Κίνα και τις ΗΠΑ. Παγκοσμίως η γεωργία που στηρίζεται στο βρόχινο νερό έχει υδατικό αποτύπωμα  $5173 \text{ Gm}^3/\text{yr}$  (91% πράσινο και 9% γκρι), ενώ οι αρδεύσιμες καλλιέργειες  $2230 \text{ Gm}^3/\text{yr}$  (48% πράσινο, 40% μπλε, 12% γκρι).

### 3.2.2 Βιομηχανικά Προϊόντα

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης των Charagain & Hoekstra (2007) ήταν να αξιολογηθεί το παγκόσμιο υδατικό αποτύπωμα της Ολλανδικής κοινωνίας σε σχέση με την κατανάλωσή της σε καφέ και τσάι. Ο υπολογισμός έγινε με βάση τις απαιτήσεις σε νερό άρδευσης στις κυριότερες χώρες εξαγωγής των δύο αυτών προϊόντων αλλά και τις απαιτήσεις νερού στις επακόλουθες διαδικασίες. Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο CROPWAT. Συνολικά ο παγκόσμιος πληθυσμός χρειάζεται  $140 * 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$  νερό για την κατανάλωση καφέ και τσαγιού. Στην Ολλανδία η μέση κούπα καφέ και τσάι κοστίζει περίπου 140 και 34 λίτρα νερό αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού αυτού χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη των φυτών. Οι Ολλανδοί «ευθύνονται» για το 2.4% της παγκόσμιας κατανάλωσης καφέ. Το συνολικό υδατικό αποτύπωμά τους για καφέ και τσάι αντιστοιχεί σε  $2.7 * 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$  νερό. Το νερό που απαιτείται για να πει κάποιος καφέ ή τσάι στην Ολλανδία προέρχεται κυρίως από την Βραζιλία και την Κολομβία όσον αφορά τον καφέ και από την Ινδονησία, Κίνα και την Σρι Λάνκα όσον αφορά το τσάι. Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού για την ανάπτυξη του καφεόδεντρου προέρχεται από τα κατακρημνίσματα. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι το συνολικό νερό στην παραγωγή καφέ δεν επηρεάζεται από τον τύπο της παραγωγικής διαδικασίας του (υγρή ή ξηρή) γιατί το νερό που χρησιμοποιείται στην υγρή παραγωγική διαδικασία είναι ένα πολύ μικρό ποσοστό (0.34%) του νερού που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των καφεόδεντρων. Ωστόσο το νερό που προκύπτει μετά την υγρή διαδικασία παραγωγής είναι συχνά έντονα ρυπασμένο.

Οι van Oel & Hoekstra (2010) πρότειναν μία μέθοδο για τον προσδιορισμό του υδατικού αποτυπώματος χαρτικών προϊόντων σε εθνικό επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την δασική όσο και την βιομηχανική φάση της παραγωγικής διαδικασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μελέτη περιορίστηκε στην κατανάλωση γλυκού νερού υπολογίζοντας τόσο την μπλε όσο και την πράσινη συνιστώσα του υδατικού αποτυπώματος. Στην παρούσα μελέτη δεν μελετήθηκε η γκρι συνιστώσα. Σε πρώτη φάση υπολογίστηκε το υδατικό αποτύπωμα χαρτικών προϊόντων που προέρχονται από τον βασικό πολτό που παράγουν χώρες στον κόσμο, λαμβάνοντας υπόψη και τη χρήση ανακυκλωμένου χαρτιού. Σε δεύτερη φάση παρουσιάστηκε μία μέθοδος για τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος χαρτικών προϊόντων που καταναλώνονται σε μία συγκεκριμένη χώρα και η εφαρμογή της για την περίπτωση της Ολλανδίας. Ο αλγόριθμος της συγκεκριμένης μεθόδου συνοψίζεται στα εξής βήματα:

1. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με βάση τον τύπο του δάσους και την χώρα προέλευσης.
2. Εκτίμηση της απόδοσης του ξύλου.
3. Αναλογία του νερού στην υλοτομημένη ξυλεία.
4. Συντελεστές μετατροπών από ξύλο σε χαρτί.



5. Εκτίμηση του μέρους της συνολικής αξίας του δάσους που σχετίζεται με την παραγωγή χαρτιού.
6. Εκτίμηση του μέρους του πολτού που προέρχεται από ανακυκλωμένο χαρτί.
7. Εκτίμηση του υδατικού αποτυπώματος των χαρτικών προϊόντων στο δασικό στάδιο.
8. Εκτίμηση του υδατικού αποτυπώματος των χαρτικών προϊόντων στο βιομηχανικό στάδιο.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό τόσο από την προέλευση της πρώτης ύλης του χαρτιού, όσο και από τα ποσοστά του ανακυκλωμένου χαρτιού που χρησιμοποιούνται σε κάθε χώρα. Συμπερασματικά, το υδατικό αποτύπωμα του προς εκτύπωση και γραφή χαρτιού εκτιμήθηκε ανάμεσα σε 300 και 2600 m<sup>3</sup>/ton, δηλαδή για ένα χαρτί μεγέθους A4 από 2 έως 13 lit, με δεδομένα τα ποσοστά της ανακύκλωσης όπως είχαν διαμορφωθεί την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Χωρίς την ανακύκλωση, το παγκόσμιο μέσο υδατικό αποτύπωμα χαρτιού θα ήταν πολύ μεγαλύτερο. Με τη χρήση ανακυκλωμένου χαρτιού εκτιμάται ότι σώζεται ένα ποσοστό περίπου 40% παγκοσμίως.

Στην μελέτη των Aldaya & Hoekstra (2010) υπολογίστηκε το υδατικό αποτύπωμα δύο δημοφιλών διατροφικών προϊόντων της Ιταλίας, των ζυμαρικών και της πίτσας «μαργαρίτα». Το υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος είναι ο όγκος του γλυκού νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του, σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Στην περίπτωση και των δύο αυτών προϊόντων χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των Hoekstra & Charagain (2008) και υπολογίζεται η πράσινη, μπλε και γκρι συνιστώσα των πρωτογενών υλών δηλαδή των καλλιεργειών και των κτηνοτροφικών προϊόντων. Σε αυτά προστίθεται και η υδατική κατανάλωση των βιομηχανικών διαδικασιών επεξεργασίας για την παραγωγή του τελικού προϊόντος. Όσο αφορά στα κτηνοτροφικά προϊόντα αξίζει να σημειωθεί ότι πρέπει να προστεθεί κατά τον υπολογισμό και το υδατικό αποτύπωμα του ζώου με βάση το αποτύπωμα της τροφής τους και του νερού που καταναλώνουν. Τα τελικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το υδατικό αποτύπωμα για την παραγωγή μίας πίτσας «μαργαρίτα» 725 gr είναι 1216 lit και για ζυμαρικά(1 kg) 1924 lit αντίστοιχα.

Οι Ercin et al. (2011) έκαναν μία προσπάθεια υπολογισμού του υδατικού αποτυπώματος ενός υποθετικού αναψυκτικού που περιέχει ζάχαρη και ανθρακικό, συσκευάζεται σε πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 0.5 lit και παράγεται σε εργοστάσιο που παίρνει την ζάχαρη αποκλειστικά από ζαχαρότευτλα, ζαχαροκάλαμα και από σιρόπι καλαμποκιού υψηλής φρουκτόζης από διαφορετικές χώρες. Η μελέτη αυτή δεν λαμβάνει υπόψη μόνο το υδατικό αποτύπωμα των συστατικών του αναψυκτικού αλλά και του δοχείου, άλλων συσκευαστικών και κατασκευαστικών υλικών, του χαρτιού και της ενέργειας που χρησιμοποιείται στο εργοστάσιο. Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό

είναι των Hoekstra & Chapagain. Το νερό που καταναλώνεται αρχικά διαχωρίζεται σε δύο μέρη: το λειτουργικό νερό που μπαίνει στο προϊόν ως συστατικό (το νερό που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία, το νερό που ρυπαίνεται ως αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας, το νερό που καταναλώνεται από τους εργαζομένους αλλά και από τις τουαλέτες και την κουζίνα, νερό που καταναλώνεται ή ρυπαίνεται για τον καθαρισμό του εργοστασίου), και το νερό εφοδιαστικής αλυσίδας (υδατικό αποτύπωμα άλλων συστατικών του αναψυκτικού και προϊόντων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και συσκευασία, κατασκευαστικά υλικά, χαρτί, ενέργεια, μεταφορά). Τα δύο μέρη τελικά προστίθενται και υπολογίζεται το συνολικό υδατικό αποτύπωμα του προϊόντος. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την μελέτη αυτή έδειξαν ότι το συνολικό υδατικό αποτύπωμα του αναψυκτικού είναι πολύ ευαίσθητο στις περιοχές παραγωγής των αγροτικών συστατικών. Αν και η ποσότητα της ζάχαρης ως συστατικό ήταν σταθερή σε κάθε πείραμα, το υδατικό αποτύπωμα του προϊόντος άλλαζε έντονα ανάλογα με τον τύπο της ζάχαρης και την προέλευσή της. Το υδατικό αποτύπωμα του προϊόντος κυμαίνεται από 169 έως 309 lit με ελάχιστο χρησιμοποιώντας ζαχαρότευτλα από την Ολλανδία και μέγιστο ζαχαροκάλαμα από τη Κούβα. Το λειτουργικό νερό αποτελεί το 0.2-0.3% της συνολικής υδατοκατανάλωσης ενώ το νερό εφοδιαστικής αλυσίδας το 99.7-99.8%. Αυτά τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν την σημασία της χωρικής διάστασης του συγκεκριμένου δείκτη καθώς και το ότι ακόμη και μικρά συστατικά μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το τελικό υδατικό αποτύπωμα ενός προϊόντος.

Η μελέτη των Gerbens-Leenes & Hoekstra (2012) εστιάζει στον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος γλυκαντικών ουσιών και της βιοαιθανόλης ως παράγωγο των ζαχαρότευτλων, ζαχαροκάλαμων και σιροπιού καλαμποκιού υψηλής φρουκτόζης. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή που περιγράφουν οι Hoekstra & Chapagain, υπολογίζοντας το πράσινο, μπλε και γκρι υδατικό αποτύπωμα των προϊόντων για τις χώρες κύριας παραγωγής καθώς και για τις κυριότερες παραγωγικές πολιτείες των Η.Π.Α. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το μέσο σταθμισμένο παγκόσμιο υδατικό αποτύπωμα του ζαχαροκάλαμου είναι 209 m<sup>3</sup>/ton (μεταξύ 120 και 410 m<sup>3</sup>/ton), του ζαχαρότευτλου 133 m<sup>3</sup>/ton (μεταξύ 37 και 446 m<sup>3</sup>/ton) και του σιροπιού καλαμποκιού υψηλής φρουκτόζης 1222 m<sup>3</sup>/ton (μεταξύ 566 και 2537 m<sup>3</sup>/ton). Οι μεγάλες διαφοροποιήσεις στα υδατικά αποτυπώματα δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλο περιθώριο για βελτιώσεις στις καλλιέργειες για ζάχαρη και βιοαιθανόλη. Γενικά είναι προτιμότερη η χρήση του σιροπιού καλαμποκιού υψηλής φρουκτόζης ως πρώτη ύλη για την παραγωγή γλυκαντικών ή βιοαιθανόλης από ζαχαρότευτλα ή ζαχαροκάλαμα. Αυτό εκφράζεται στον πολλαπλασιαστικό παράγοντα του αποτυπώματος, δηλαδή τον παράγοντα που εφαρμόζεται για την μετατροπή του Υ.Α της καλλιέργειας σε Υ.Α προϊόντος. Για την ζάχαρη ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί σε 2.0 για σιρόπι καλαμποκιού υψηλής φρουκτόζης, 5.6 για ζαχαροκάλαμα και 6.2 για ζαχαρότευτλα. Για

την βιοαιθανόλη οι αντίστοιχοι συντελεστές είναι 4.3, 10.2 και 14.8. Οι διαφορές στα ΥΑ οφείλονται κυρίως σε δύο παράγοντες, τις ανάγκες σε αρδευτικό νερό και τις αποδόσεις. Οι αρδευτικές ανάγκες εξαρτώνται από τον τύπο της καλλιέργειας, τα κλιματικά και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά. Τα επίπεδα απόδοσης εξαρτώνται από τις συνθήκες και τις μεθόδους καλλιέργειας.

Τέλος οι Jefferies et al. (2012) πραγματοποίησαν την πρώτη συγκριτική μελέτη που αφορούσε στην κατανάλωση νερού για την παραγωγή τσαγιού και μαργαρίνης. Για τον υπολογισμό των υδατικών αποτυπωμάτων τους χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο μέθοδοι που αναλύθηκαν σε προγενέστερο κεφάλαιο, η μέθοδος των Hoekstra & Chapagain και η μέθοδος των Ridoutt & Pfister. Συγκεκριμένα η μελέτη για το τσάι βασίστηκε σε πακέτο με 25 σακουλάκια τσαγιού που περιέχουν συνολικά 50 gr τσαγιού, ποσότητα που αντιστοιχεί και στην μονάδα αναφοράς. Το τσάι του προϊόντος υπό μελέτη έχει καλλιεργηθεί στην Κένυα, Ινδονησία και Ινδία και στην συνέχεια έχει μεταφερθεί στο Μάντσεστερ της Αγγλίας όπου και επεξεργάζεται και στέλνεται για συσκευασία στις Βρυξέλλες από όπου και διατίθεται. Θεωρήθηκε ότι η κατανάλωση του προϊόντος γίνεται στο Βέλγιο. Η μελέτη για την μαργαρίνη βασίστηκε σε συσκευασία των 500 gr προϊόντος που έχει παραχθεί στο Πράτο της Γερμανίας και διατίθεται για κατανάλωση στην γερμανική αγορά. Τα κυριότερα συστατικά της μαργαρίνης είναι διάφοροι τύποι φυτικών ελαίων που παράγονται σε Γερμανία, Πολωνία, Τσεχία, Ουγγαρία, Γαλλία, Αργεντινή, Ουκρανία. Για τα δύο υπό μελέτη προϊόντα εξαιρέθηκε από τον υπολογισμό των υδατικών αποτυπωμάτων τους το γκρι νερό, ενώ η μπλε και πράσινη συνιστώσα εκτιμήθηκαν με το μοντέλο CROPWAT. Στην μέθοδο των Ridoutt & Pfister έγινε χρήση και του Water Stress Index (WSI) για τον υπολογισμό του σταθμισμένου υδατικού αποτύπωματος όπως υποδεικνύει η μέθοδος. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναφέρουν ότι σύμφωνα με τη μέθοδο των Hoekstra & Chapagain το υδατικό αποτύπωμα της συσκευασίας του τσαγιού υπολογίστηκε σε 304 lit νερό (294 lit πράσινο και 10 lit μπλε), ενώ στην περίπτωση της μαργαρίνης σε 662 lit νερό (553 lit πράσινο και 109 lit μπλε). Με την αναθεωρημένη μέθοδο των Ridoutt & Pfister με βάση την ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων το υδατικό αποτύπωμα της συσκευασίας του τσαγιού υπολογίστηκε σε 13 λίτρα νερό, ενώ στην περίπτωση της μαργαρίνης σε 114 lit. Η διαφορά στους όγκους νερού οφείλεται στο ότι η αναθεωρημένη μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη της την πράσινη συνιστώσα. Δεδομένου ότι το γκρι νερό εξαιρέθηκε από τις διαδικασίες υπολογισμού, οι μικρές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις τιμές της μπλε συνιστώσας οφείλονται στις διαφορετικές προσεγγίσεις και θεωρήσεις των μεθόδων.

#### 4. ΜΕΘΟΔΟΣ HOEKSTRA & CHAPAGAIN

Το συνολικό υδατικό αποτύπωμα του υπό μελέτη βιομηχανικού προϊόντος, δηλαδή μίας φιάλης οίνου θα υπολογιστεί αθροίζοντας τις συνιστώσες του υδατικού αποτυπώματος (μπλε, πράσινη, γκρι) για όλες τις φάσεις παραγωγής του (καλλιέργεια αμπελώνων, βιομηχανική επεξεργασία κα εμφιάλωση).

$$Y_{\text{ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ}} = Y_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ}} + Y_{\text{ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ}} \quad (4.1)$$

Σύμφωνα με τους Hoekstra et al. (2011), το υδατικό αποτύπωμα μιας καλλιέργειας είναι το άθροισμα των τριών συνιστωσών του:

$$Y_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΣΥΝΟΛΙΚΟ}} = Y_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΠΡΑΣΙΝΟ}} + Y_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΜΠΛΕ}} + Y_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΓΚΡΙ}} \quad (4.2)$$

Από την άλλη πλευρά, το συνολικό υδατικό αποτύπωμα μιας βιομηχανίας σύμφωνα με τους Hoekstra et al. (2009), είναι ίσο με το άθροισμα του υδατικού αποτυπώματος της εφοδιαστικής αλυσίδας – έμμεσο ΥΑ (supply-chain water footprint) και του λειτουργικού υδατικού αποτυπώματος – άμεσο ΥΑ (operational water footprint).

$$Y_{\text{ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ, ΣΥΝΟΛΙΚΟ}} = Y_{\text{ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ}} + Y_{\text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ}} \quad (4.3)$$

Ο τρόπος υπολογισμού και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε μία από τις επιμέρους συνιστώσες αναλύονται στην συνέχεια του κεφαλαίου. Τα παραπάνω υδατικά αποτυπώματα εκφράζονται σε μονάδες όγκου προς μάζα και συγκεκριμένα σε  $\text{m}^3/\text{ton}$ , που είναι και η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης και ισοδυναμεί με  $1 \text{ l/kg}$

#### Περιορισμοί της Μελέτης:

Στην παρούσα μελέτη υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί οι οποίοι πρέπει να αναφερθούν. Κατά τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος του προϊόντος μελέτης δεν έχουν ληφθεί υπόψη κάποιες από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται κατά τη φάση παραγωγής, καθώς και κάποια από τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι γενικευμένα. Τα όρια της έρευνας συνοψίζονται ως εξής:

- Στον υπολογισμό δεν προσμετρείται η φάση κατανάλωσης του προϊόντος.

- Η μελέτη σταματά στο επίπεδο της βιομηχανικής επεξεργασίας (εμφιάλωση και συσκευασία) του προϊόντος. Δεν λαμβάνεται υπόψη η μεταφορά και η διάθεση του τελικού προϊόντος.
- Δεν λήφθηκαν υπόψη τα υδατικά αποτυπώματα για την κατασκευή των υποδομών της βιομηχανίας.
- Δεν λήφθηκαν υπόψη τα υδατικά αποτυπώματα πρώτων υλών όπως ο φελλός, η κόλλα, το χαρτί για την ετικέτα και κάποιων πρόσθετων προϊόντων που χρησιμοποιούνται για το φιλτράρισμα και συμμετέχουν γενικότερα στην διαδικασία της οινοποίησης (NaOH, SO<sub>2</sub>) λόγω έλλειψης δεδομένων.
- Δεν λήφθηκε υπόψη η ενεργειακή κατανάλωση της βιομηχανίας.
- Τα δεδομένα για την υδατοκατανάλωση κατά την παραγωγή των γυάλινων φιαλών και των χάρτινων συσκευασιών είναι γενικευμένα, λήφθηκαν από βιβλιογραφικές πηγές και δεν αφορούν τα ακριβή προϊόντα που χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη βιομηχανία.

## 4.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης και Οινοποιείου

### 4.1.1 Αμπελώνας

Το Πολύδροσο όπου και βρίσκονται οι αμπελώνες της περιοχής μελέτης, είναι ένα χωριό στους βορειοδυτικούς πρόποδες του Παρνασσού όπου κατοικούν περίπου χίλιοι μόνιμοι κάτοικοι (Εικόνα 4.1.). Ανήκει στα διοικητικά όρια του νομού Φωκίδος με πρωτεύουσα την Άμφισσα. Το οροπέδιο που σχηματίζεται μπροστά από το Πολύδροσο (ακριβής τοποθεσία αμπελώνα), περιστοιχίζεται από τους ορεινούς όγκους της Οίτης, της Γκιώνας και του Καλλίδρομου. Κύριο χαρακτηριστικό του τόπου είναι η αφθονία νερού. Εκεί οφείλεται η δημιουργία ενός πλούσιου οικοσυστήματος με μεγάλη ποικιλία στην χλωρίδα και την πανίδα. Αξίζει να σημειωθεί και η ύπαρξη του εθνικού δρυμού Παρνασσού όπου και βρίσκουν καταφύγιο μεγάλος αριθμός ζώων και φυτών (Εικόνα 4.2.).

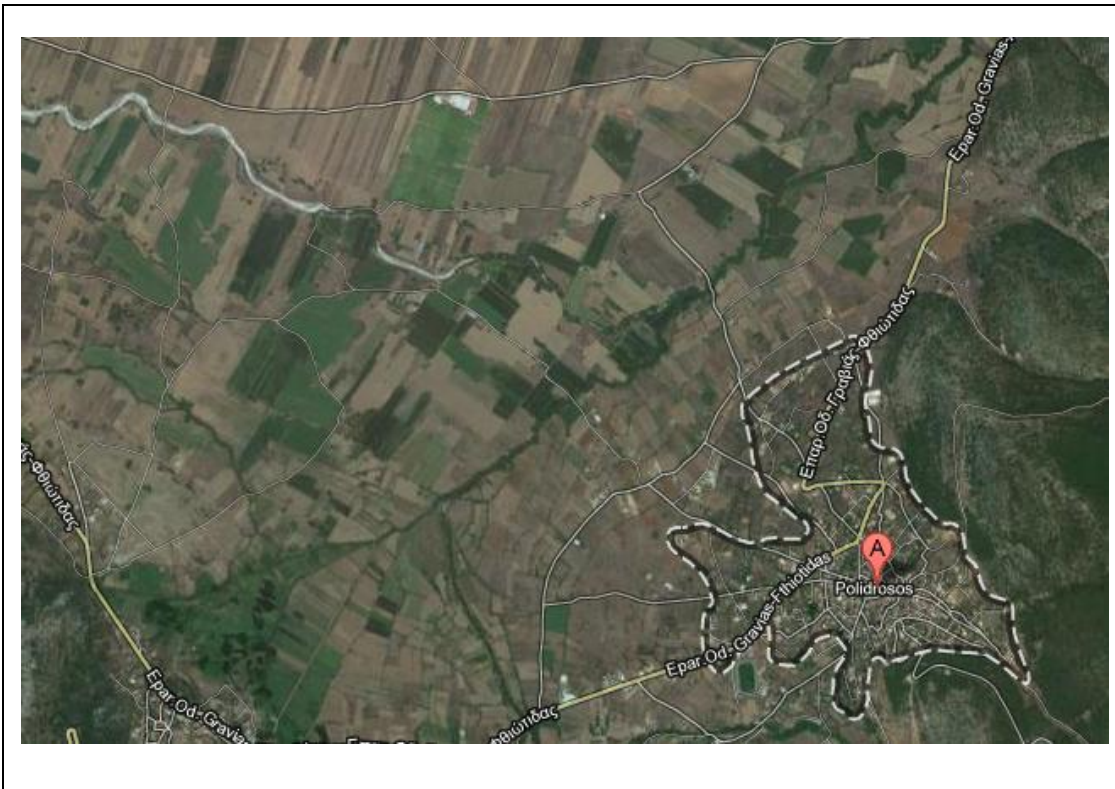
Η συνολική έκταση των αμπελώνων είναι σήμερα 280 στρέμματα, που είναι αρκετά για την κάλυψη της ετήσιας ζήτησης σε κρασί αποκλειστικά από ιδιόκτητους αμπελώνες, με μέσο όρο απόδοσης τα 850 kg ανά στρέμμα. Λόγω των ιδανικών εδαφοκλιματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, συνίσταται η καλλιέργεια τόσο γηγενών όσο και διεθνών ποικιλιών αμπελιού με πολύ καλά αποτελέσματα.

Το κλίμα είναι μεσογειακό με ήπιους χειμώνες, όπου οι χαμηλές θερμοκρασίες δεν ξεπερνούν τους -5 °C ώστε να μην δημιουργούνται σοβαρές ζημιές στα αμπέλια. Τα

καλοκαίρια είναι επίσης επαρκώς δροσερά. Σε αυτό συμβάλλουν οι ορεινοί όγκοι του Παρνασσού, Καλλίδρομου και Οίτης που επιτρέπουν στους βόρειους ανέμους να διεισδύουν στο οροπέδιο που βρίσκεται ο αμπελώνας, διατηρώντας έτσι χαμηλές θερμοκρασίες και οξυγονώνοντας επαρκώς το αμπέλι κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Επίσης το κλίμα εμφανίζεται ξηρό, αρκετά σημαντική παράμετρος για την αποφυγή ασθενειών που σχετίζονται με το αμπέλι.

Στα κτήματα οι ελληνικές ποικιλίες που καλλιεργούνται είναι το Μαυρούδι Αραχώβης, η τοπική ποικιλία Ασπρούδα, η κλασική ποικιλία της Σαντορίνης Ασύρτικο και η αρωματική Μαλαγουζιά. Από τις διεθνείς ποικιλίες καλλιεργούνται οι κλασικές λευκές Sauvignon Blanc και Chardonnay και από τις ερυθρές οι πασίγνωστες Merlot, Cabernet Sauvignon και Pinot Noir.

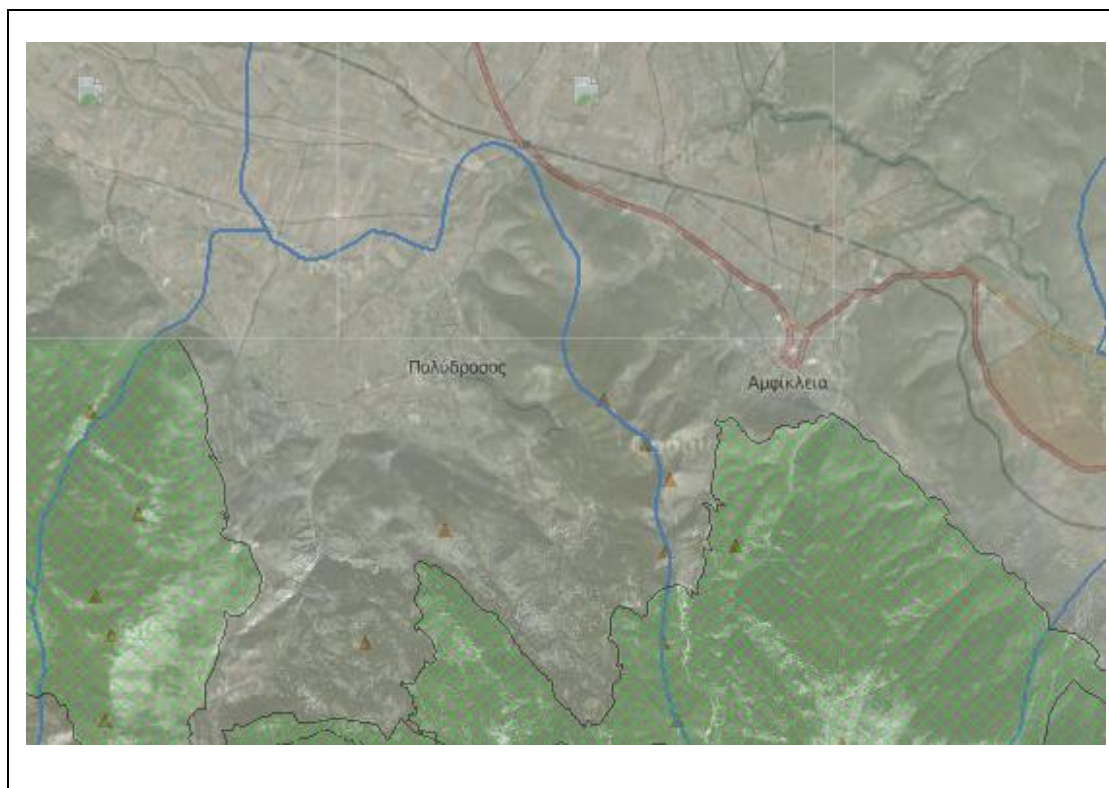
Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αμπελώνας ανήκει σε πρόγραμμα ολοκληρωμένης διαχείρισης, πράγμα που σημαίνει ότι η παραγωγή σταφυλιών γίνεται με γνώμονα τον σεβασμό τόσο στον καταναλωτή όσο και στο περιβάλλον. Τέλος το πλήθος των εργασιών στον αμπελώνα, όπως κλάδεμα, κορφολόγημα, ξεφύλλισμα, τρύγος γίνεται χειρονακτικά, δίνοντας έμφαση στον ανθρώπινο παράγοντα.



Εικόνα 4.1.: Περιοχή Πολύδροσου και ευρύτερη περιοχή καλλιέργειών (<http://maps.google.com>, 2013)

#### 4.1.2 Οινοποιείο

Το οινοποιείο βρίσκεται εντός του οικισμού του Πολύδροσου, περιβάλλεται από έναν μικρό αμπελώνα και διαιρείται σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει τον εξοπλισμό οινοποίησης, δηλαδή τις ανοξείδωτες ψυχωμένες δεξαμενές για την οινοποίηση λευκών και ερυθρών οίνων, καθώς και το πιεστήριο και άλλα απαραίτητα για τη διαδικασία μηχανήματα. Στο δεύτερο τμήμα στεγάζεται η γραμμή εμφιάλωσης, όπου επίσης υπάρχουν και τα δρύινα βαρέλια για την παλαίωση των οίνων. Πρόκειται για μία μικρού μεγέθους επιχείρηση με ετήσια παραγωγή περίπου 147.560 lit οίνου και εμφιάλωσης 197.000 φιαλών (750ml).



Εικόνα 4.2. : Άποψη της ευρύτερης περιοχής μελέτης και κάλυψη του δικτύου NATURA (<http://geodata.gov.gr>, 2013)

## 4.2 Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος Εφοδιαστικής Αλυσίδας (Supply - Chain Water Footprint)

Στην περίπτωση του οινοποιείου κατά τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος της εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να ληφθούν υπόψη κάθε μία από τις υδατικές καταναλώσεις για την παραγωγή των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία. Ωστόσο η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά χρονοβόρα και δύσκολη εφόσον για την συγκεκριμένη μελέτη θα έπρεπε να υπολογιστούν τα υδατικά αποτυπώματα των σταφυλιών, των φελλών, των μπουκαλιών για την εμφιάλωση, του χαρτιού, ακόμη και κάποιων πρόσθετων ουσιών που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της οινοποίησης. Επίσης θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη και τα υδατικά αποτυπώματα υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του εργοστασίου όπως μπετό, ασφάλι, ενέργεια κ.ά. Τέτοιου είδους δεδομένα δεν ήταν εφικτό να συλλεχθούν και επομένως στο στάδιο αυτό υπολογίστηκε το υδατικό αποτύπωμα της πρώτης ύλης των σταφυλιών καθώς και των γυάλινων φιαλών και των χάρτινων συσκευασιών.

### 4.2.1 Πράσινο Υδατικό Αποτύπωμα Καλλιέργειας

Η πράσινη συνιστώσα μιας καλλιέργειας υπολογίζεται ως το πηλίκο του όγκου της χρήσης πράσινου νερού για την ανάπτυξη της καλλιέργειας προς την απόδοση της καλλιέργειας (Hoekstra et al., 2011):

$$YA_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΠΡΑΣΙΝΟ}} = \frac{CWUg}{Y} \quad (4.4)$$

Όπου,

$CWUg$  : ο συνολικός όγκος πράσινου νερού που χρησιμοποιείται, σε  $m^3$ /στρέμμα

$Y$  : η απόδοση της καλλιέργειας, σε  $ton$ /στρέμμα

Ο όγκος της πράσινης χρήσης νερού  $CWUg$  εξαρτάται από τις απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας κι από την διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας. Ο όρος εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) αναφέρεται στην ποσότητα που καταναλίσκεται στη διαπνοή των φυτών και στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης περιόδου. Η διαπνοή, που είναι γενικά αποτέλεσμα βιολογικών διεργασιών και η εξάτμιση, που είναι ένα φυσικό φαινόμενο, αναφέρονται μαζί για ευκολία μια που είναι δύσκολο να διαχωριστούν ποσοτικά. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής υποθέτουν



συνήθως ότι υπάρχει πάντα επαρκές διαθέσιμο νερό στο έδαφος το οποίο καταναλίσκεται με την εξατμισοδιαπνοή. Συνήθως ως καλλιέργεια αναφοράς λαμβάνεται το γρασίδι. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (potential evapotranspiration of reference crop, PETc) είναι η εξατμισοδιαπνοή από μια επιφάνεια πλήρως καλυμμένη από γρασίδι ομοιόμορφου ύψους 8-15 cm, ελεύθερου από οποιαδήποτε ασθένεια με επαρκές διαθέσιμο εδαφικό νερό για την ανάπτυξη του (Doorenbos & Pruitt, 1977 ; Penman, 1948)

Προφανώς λόγω κυρίως των διαφορετικών αεροδυναμικών και ανακλαστικών χαρακτηριστικών των καλλιεργειών, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή κάθε καλλιέργειας δεν είναι ίση με αυτή της καλλιέργειας αναφοράς. Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας PETc μπορεί να προβλεφθεί αν είναι γνωστή η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς PET με την εισαγωγή ενός φυτικού συντελεστή που χαρακτηρίζει τη διαφορά των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας από την καλλιέργεια αναφοράς (Kc):

$$PETc = Kc * PET \quad (4.5)$$

Το CWUg καθορίζεται αποκλειστικά από τις απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής για την ανάπτυξη του καρπού και από τη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους. Συνεπώς, για τον προσδιορισμό του πρέπει να υπολογιστούν οι απαιτήσεις εξατμισοδιαπνοής (ETc) κάθε καλλιέργειας, καθώς και η ωφέλιμη – ενεργός βροχόπτωση (Peff) που αξιοποιείται από τις καλλιέργειες για την κάλυψη των αναγκών τους. Η ενεργός βροχόπτωση (Peff) είναι το μέρος εκείνο της βροχόπτωσης που εισχωρεί στο ριζόστρωμα και χρησιμοποιείται από τις καλλιέργειες για την ανάπτυξη τους. Προφανώς η ενεργός βροχόπτωση εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι (Γ. Τσακίρης, 2004):

- το ύψος και η ένταση βροχόπτωσης,
- η αποθηκευτικότητα του ριζοστρώματος της καλλιέργειας,
- η κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους (ξηρό έδαφος, φύλλωμα δένδρων)
- η διηθητικότητα του εδάφους,
- το έλλειμμα υγρασίας πριν τη βροχόπτωση που καθορίζεται από το καθεστώς της υγρασίας (αρδευόμενες περιοχές),
- η εξάτμιση.

Σύμφωνα με τους Chapagain and Orr (2009), η πράσινη υδατική χρήση μίας καλλιέργειας κατά το χρονικό διάστημα το οποίο έχει ορισθεί ως βήμα μελέτης προκύπτει ως το ελάχιστο της ωφέλιμης βροχής, Peff, και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ETc και επομένως αυτές είναι και οι παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν:

$$U_g = \min (ET_c, P_{eff}) \quad (4.6)$$

#### A. Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής

Για τον υπολογισμό των απαιτήσεων εξατμισοδιαπνοής της δεδομένης καλλιέργειας λόγω έλλειψης επαρκών στοιχείων για την εφαρμογή της μεθόδου Penman-Monteith, εφαρμόστηκε η εμπειρική μέθοδος Blaney - Criddle (1950). Οι Blaney - Morin (1942) ανέπτυξαν μια πρώτη εμπειρική σχέση που βασίστηκε στη συσχέτιση της εξατμισοδιαπνοής με τη μέση θερμοκρασία του αέρα, το μέσο ποσοστό των ωρών ημέρας και τη μέση σχετική υγρασία. Η σχέση αυτή αργότερα τροποποιήθηκε από τους Blaney - Criddle (1950, 1962) και Blaney et al. (1952) με απαλοιφή του όρου της σχετικής υγρασίας, οπότε πήρε την τελική της μορφή (Αμπάς, 2010). Η εξίσωση των Blaney - Criddle γράφεται ως εξής:

$$ET_c = K * f \quad (4.7)$$

Όπου,

$ET_c$  : δυνητική εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, σε mm/day

$K$  : μηνιαίος συντελεστής αναγκαίας κατανάλωσης, καθαρός αριθμός

$f$  : κλιματικός παράγοντας, σε mm/day

Ο κλιματικός παράγοντας  $f$  υπολογίζεται με βάση τον εξής τύπο:

$$f = \frac{(32 + 1,8 * T_i)}{3,94} * p \quad (4.8)$$

Όπου,

$T_i$  : μέση μηνιαία θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, σε °C

$p$  : μέσο ημερήσιο ποσοστό της συνολικής ετήσιας διάρκειας των ωρών της ημέρας, για συγκεκριμένη χρονική περίοδο και δεδομένο γεωγραφικό πλάτος

Τελικά η εξίσωση (4.7) παίρνει την παρακάτω μορφή και υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας:

$$E_{Tc} = K * \frac{(32 + 1,8 * T_i)}{3,94} * p \quad (4.9)$$

Για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και για να γίνει χρήση του παραπάνω τυπολογίου είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ορισμένων μεταβλητών και η συλλογή ορισμένων στοιχείων.

Στην περιοχή μελέτης υπάρχει ένας αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που τα στοιχεία του είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικά λόγω της εγγύτητας του στους αμπελώνες. Για την λήψη δεδομένων (μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας και μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης) επομένως χρησιμοποιήθηκε ο εν λόγω μετεωρολογικός σταθμός στο Πολύδροσο Παρνασσού (Ν. Φωκίδας). Ο σταθμός βρίσκεται εντός του οικισμού, σε υψόμετρο 350 μέτρα και ξεκίνησε να παρέχει δεδομένα από τον Απρίλιο του 2010. Οι παρατηρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν το έτος του 2011 για το οποίο και υπάρχουν πλήρη και αντιπροσωπευτικά δεδομένα για την περιοχή (Πίνακας 4.1.).

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	6,1	62,2
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	6,4	214,2
ΜΑΡΤΙΟΣ	8,3	145
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	11,6	129,4
ΜΑΙΟΣ	16	67
ΙΟΥΝΙΟΣ	21,3	25,8
ΙΟΥΛΙΟΣ	25,7	0,4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	24,2	0,2
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	21,6	27
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	13	182,4
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	7,2	26,4
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	7,8	66,4

Πίνακας 4.1.: Μέση μηνιαία θερμοκρασία και μηνιαία βροχόπτωση για το έτος 2011 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2013)

Ο συντελεστής  $p$  προσδιορίζεται με βάση το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης και είναι ξεχωριστός για κάθε μήνα. Η περιοχή μελέτης έχει γεωγραφικό πλάτος  $38^{\circ} 38' 25''$ . Το  $p$  θα υπολογιστεί εφαρμόζοντας γραμμική παρεμβολή στα στοιχεία του πίνακα (4.2.) από όπου και θα προκύψουν οι τιμές για την υπό μελέτη περιοχή. Θεωρείται ενιαίο

γεωγραφικό πλάτος για την περιοχή μελέτης 38° και επομένως η γραμμική παρεμβολή θα γίνει ανάμεσα στις τιμές 35° και 40° του Πίνακα 4.2..

Παρατηρείται ότι οι τιμές που προκύπτουν για γεωγραφικό πλάτος 38° μετά τις απαραίτητες στρογγυλοποιήσεις, είναι ίδιες με τις τιμές της παραμέτρου για γεωγραφικό πλάτος 40°.

ΜΗΝΑΣ	ΒΟΡΕΙΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ		
	35°	40°	38°
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,23	0,22	0,22
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,25	0,24	0,24
ΜΑΡΤΙΟΣ	0,27	0,27	0,27
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,29	0,3	0,3
ΜΑΙΟΣ	0,31	0,32	0,32
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,32	0,34	0,34
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,32	0,33	0,33
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,30	0,31	0,31
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,28	0,28	0,28
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,25	0,25	0,25
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,23	0,22	0,22
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,22	0,21	0,21

Πίνακας 4.2.: Μέσο ημερήσιο ποσοστό της συνολικής ετήσιας διάρκειας των ωρών της ημέρας (Τσακίρης, 2004)

Οι μηνιαίοι συντελεστές αναγκαίας κατανάλωσης (K) που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο Blaney – Criddle εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής και για αυτό πρέπει να λαμβάνονται προσεκτικά εφόσον η βλαστική περίοδος κάθε καλλιέργειας διαφέρει από τόπο σε τόπο. Στην συνέχεια, στον Πίνακα 4.3. παρουσιάζονται οι συντελεστές (K) για κάθε μήνα για την καλλιέργεια μελέτης (αμπέλι). Η βλαστική περίοδος για τους αμπελώνες ξεκινά τον Απρίλιο και λήγει στα τέλη του Νοεμβρίου. Η αρδευτική περίοδος δηλαδή από το πρώτο πότισμα έως και το τελευταίο, προσδιορίζεται με βάση την περίοδο ξηρασίας που στην συγκεκριμένη περίπτωση λόγω υψομέτρου περιορίζεται στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με μέση παροχή  $Q=40\text{m}^3/\text{στρέμμα}$ .

Τελικά για τον αμπελώνα υπολογίστηκε η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή (ETc) σε mm/day και η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή σε mm/month. Στη συνέχεια οι μηνιαίες εξατμισοδιαπνοές της καλλιέργειας αθροίστηκαν ώστε να υπολογιστεί η συνολική εξατμισοδιαπνοή όλης της βλαστικής περιόδου (Πίνακας 4.4.).

ΜΗΝΑΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ
Κ	0,45	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,35

Πίνακας 4.3. : Μηνιαίοι συντελεστές αναγκαίας κατανάλωσης (Τσακίρης, 2004)

ΕΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ (ton/στρ.)	ΜΗΝΑΣ	Κ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	Ρ (ΓΕΩΓΡ.ΠΛΑΤΟΣ 38°)	ΕΤc (mm/day)
2011	ΑΜΠΕΛΙ	280,00	0,85	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,45	129,40	0,30	1,81
				ΜΑΙΟΣ	0,60	67,00	0,32	2,96
				ΙΟΥΝΙΟΣ	0,70	25,80	0,34	4,25
				ΙΟΥΛΙΟΣ	0,70	0,40	0,33	4,59
				ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,70	0,20	0,31	4,16
				ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,70	27,00	0,28	3,53
				ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,60	182,40	0,25	2,11
				ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,35	26,40	0,22	0,88

Πίνακας 4.4. : Υπολογισμός εξατμισοδιαπνοής (ΕΤc), (mm/day)

## B. Υπολογισμός ωφέλιμης – ενεργού βροχόπτωσης

Η μέθοδος η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης είναι αυτή που προτείνει το υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α, USDA (1970) για την εκτίμηση της ανά μήνα ωφέλιμης βροχόπτωσης (Peff) με βάση τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή και τη μέση μηνιαία βροχόπτωση:

$$P_{eff} = f(D) * [1,25 * P_t^{0,824} - 2,93] * [10^{0,000955 * E_{Tc}}] \quad (4.10)$$

Όπου,

f(D) : παράγοντας προσαρμογής, ισούται με 1 για D=75mm

P<sub>t</sub> : μέση μηνιαία βροχόπτωση, σε mm

E<sub>Tc</sub> : μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, σε mm/month

Για κάθε άλλο D η f(D) υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$f(D) = 0,53 + 0,011 * D - 8,94 * 10^{-5} * D^2 + 2,32 * 10^{-7} * D^3 \quad (4.11)$$

Όπου,

D : διαθέσιμο ύψος αποθηκευτικότητας του ριζοστρώματος

Στην εξίσωση της USDA (1970) για την ωφέλιμη βροχόπτωση δεν έχει ληφθεί υπόψη η διηθητικότητα του εδάφους και η ένταση της βροχής και θεωρείται ότι ο παράγοντας f(D) είναι ίσος με τη μονάδα. Στην περίπτωση μικρών τιμών μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης (P<sub>t</sub> < 9mm), η δεδομένη εξίσωση παράγει αρνητικές τιμές ωφέλιμης βροχόπτωσης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται αντί για την εξίσωση ο Πίνακας 4.4. USDA-SCS (1980) που ακολουθεί, ο οποίος συνδυάζει την μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (E<sub>Tc</sub>) και την μέση μηνιαία βροχόπτωση (P<sub>t</sub>) για να δώσει τιμές ωφέλιμης βροχόπτωσης (Καλαμπαλίκη, 2011). Στην συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε σε δύο περιπτώσεις (P<sub>t</sub>=0,2 και P<sub>t</sub>=0,4) όπου και υπολογίστηκαν οι απαραίτητες τιμές της ωφέλιμης βροχόπτωσης εφαρμόζοντας διπλή γραμμική παρεμβολή.

ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΤΙΜΗ Etc (mm)																	
	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	122,5	175	187,5	200		
25	8	16	24															
50	8	17	25	32	39	46												
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69									
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100					
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120			
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133		
175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141		
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150		
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	142	150	159		

Πίνακας 4.5. : Μέση μηνιαία ενεργός βροχόπτωση Peff σε mm για ύψος αποθηκευτικότητας ριζοστρώματος D=75mm (Γσακίρης, 2006)

Τα δεδομένα για τη μηνιαία βροχόπτωση (Pt) πάρθηκαν επίσης από τον Μ.Σ Πολύδροσου και παρατίθενται στον Πίνακα 4.4.. Τελικά 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.

ΕΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΜΗΝΑΣ	ETc (mm/month)	Pt (mm)	Peff (mm/month)
2011	ΑΜΠΕΛΙ	280,00	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	54,36	129,40	74,15
			ΜΑΙΟΣ	88,89	67,00	45,02
			ΙΟΥΝΙΟΣ	127,47	25,80	20,21
			ΙΟΥΛΙΟΣ	137,65	0,40	0,31
			ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	124,85	0,20	0,16
			ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	105,78	27,00	20,15
			ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	63,27	182,40	101,45
			ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	26,36	26,40	16,55

Πίνακας 4.6. : Υπολογισμός ωφέλιμης βροχόπτωσης (Peff), (mm/month)

Η πράσινη υδατική χρήση κάθε μήνα (Ug) ισούται με το ελάχιστο της ωφέλιμης βροχόπτωσης και της μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής :

$$U_g = \min(ET_c, P_{eff}) \quad (4.12)$$

Τελικά ο συνολικός όγκος πράσινου νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της καλλιέργειας είναι το άθροισμα των μηνιαίων πράσινων υδατικών χρήσεων, σε mm/βλαστική περίοδο. Η ποσότητα αυτή δεν χρειάζεται μετατροπή για να εκφραστεί σε όρους όγκου νερού ανά στρέμμα ( $m^3$ /στρέμμα/βλαστική περίοδο). Διαιρώντας με την απόδοση της καλλιέργειας προκύπτει η πράσινη συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος με βάση τη σχέση (4.4).



ΕΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ (ton/στρ.)	ΜΗΝΑΣ	ΕΤc (mm/month)	Peff (mm/month)	Ugreen	ΠΡΑΣΙΝΟ Υ.Α (m <sup>3</sup> /ton)
2011	ΑΜΠΕΛΙ	280,00	0,85	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	54,36	74,15	54,36	258,86
				ΜΑΙΟΣ	88,89	45,02	45,02	
				ΙΟΥΝΙΟΣ	127,47	20,21	20,21	
				ΙΟΥΛΙΟΣ	137,65	0,31	0,31	
				ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	124,85	0,16	0,16	
				ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	105,78	20,15	20,15	
				ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	63,27	101,45	63,27	
				ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	26,36	16,55	16,55	
							220,03	

Πίνακας 4.7. : Υπολογισμός πράσινης συνιστώσας Υ.Α για την περίπτωση του αμπελώνα

#### 4.2.2 Μπλε Υδατικό Αποτύπωμα Καλλιέργειας

Η μπλε συνιστώσα μιας καλλιέργειας υπολογίζεται σε αντιστοιχία με την πράσινη ως το πηλίκο του όγκου της χρήσης μπλε νερού για την ανάπτυξη της καλλιέργειας προς την απόδοση της καλλιέργειας (Hoekstra et al., 2011):

$$YA_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΜΠΛΕ}} = \frac{CWU_b}{Y} \quad (4.13)$$

Όπου,

$CWU_b$  : ο συνολικός όγκος πράσινου νερού που χρησιμοποιείται, σε  $m^3$ /στρέμμα

$Y$  : η απόδοση της καλλιέργειας, σε  $ton$ /στρέμμα

Το σύνολο της μπλε υδατικής χρήσης αντιπροσωπεύει στην ουσία τις ανάγκες της καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό για την σωστή ανάπτυξη της. Στη φύση το νερό που απαιτείται από τις διάφορες καλλιέργειες για την κανονική ανάπτυξη και απόδοσή τους, προέρχεται από την ωφέλιμη ή ενεργό βροχόπτωση  $P_{eff}$ , τη συμβολή του υπόγειου νερού  $GW$  και του νερού που είναι αποθηκευμένο στο ριζόστρωμα κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου  $SM$ , προσαυξημένο κατά την ποσότητα  $L$  για την έκπλυση των αλάτων (Σταθάτου, 2011). Οι καθαρές απαιτήσεις σε αρδευτικό νερό τελικά υπολογίζονται από την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου (Τσακίρης, 2006):

$$I_r = ETc - P_{eff} - GW - SM + L \quad (4.14)$$

Όπου,

$ETc$  : μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, σε  $mm/month$

$P_{eff}$  : ωφέλιμη βροχόπτωση, σε  $mm$

$GW$  : συμβολή υπόγειου νερού

$SM$  : νερό που είναι αποθηκευμένο στο ριζόστρωμα κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου, σε  $mm$

$L$  : συντελεστής έκπλυσης αλάτων

Για την χρήση της σχέσης (4.14) έγιναν κάποιες παραδοχές λόγω της δυσκολίας στην ποσοτική εκτίμηση κάποιων συντελεστών της. Θεωρείται λοιπόν ότι η συμβολή του υπόγειου νερού, το νερό που είναι αποθηκευμένο στο ριζόστρωμα κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου και ο συντελεστής έκπλυσης των αλάτων είναι μηδενικά και επομένως η σχέση απλοποιείται ως εξής :

$$I_r = ETc - Peff \quad (4.15)$$

Με την σχέση αυτή έγινε υπολογισμός των μηνιαίων απαιτήσεων άρδευσης της καλλιέργειας. Επισημαίνεται ότι η μπλε υδατική χρήση είναι μηδενική όταν ολόκληρη η απαίτηση εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ETc) καλύπτεται από την ωφέλιμη βροχόπτωση (Peff) ( $Peff \geq ETc$ ). Τελικά ο συνολικός όγκος μπλε νερού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή της καλλιέργειας είναι ίσος με το άθροισμα των μηνιαίων απαιτήσεων άρδευσης, σε mm/βλαστική περίοδο. Η ποσότητα αυτή δεν χρειάζεται μετατροπή για να εκφραστεί σε όρους όγκου νερού ανά στρέμμα ( $m^3$ /στρέμμα/βλαστική περίοδο). Διαιρώντας με την απόδοση της καλλιέργειας προκύπτει η μπλε συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος με βάση την σχέση (4.13). Η πορεία υπολογισμού και τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται στον Πίνακα 4.8. που ακολουθεί.

ΕΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ (ton/στρ.)	ΜΗΝΑΣ	ΕΤc (mm/month)	Peff (mm/month)	Irr (mm/month)	Ublue	ΜΠΛε Υ.Α (m <sup>3</sup> /ton)
2011	ΑΜΠΕΛΙ	280,00	0,85	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	54,36	74,15	0,00	0,00	598,35
				ΜΑΙΟΣ	88,89	45,02	43,87	43,87	
				ΙΟΥΝΙΟΣ	127,47	20,21	107,26	107,26	
				ΙΟΥΛΙΟΣ	137,65	0,31	137,34	137,34	
				ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	124,85	0,16	124,69	124,69	
				ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	105,78	20,15	85,63	85,63	
				ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	63,27	101,45	0,00	0,00	
				ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	26,36	16,55	9,81	9,81	
								508,60	

Πίνακας 4.8. : Υπολογισμός μπλε συνιστώσας ΥΑ για την περίπτωση του αμπελώνα

### 4.2.3 Γκρι Υδατικό Αποτύπωμα Καλλιέργειας

Ο όγκος διάλυσης του νερού είναι η θεωρητική ποσότητα νερού που απαιτείται για να διαλυθούν οι ρυπαντές που απελευθερώνονται κατά την παραγωγική διαδικασία στους υδάτινους αποδέκτες σε τέτοιο βαθμό ώστε η ποιότητα του νερού να παραμένει πάνω από τα καθορισμένα όρια (Charagain and Orr, 2009). Οι υδάτινοι αποδέκτες μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τους επιφανειακούς και τους υπόγειους για τους οποίους και ισχύουν διαφορετικά ποιοτικά όρια. Οι ρυπαντές προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα λιπάσματα, τα εντομοκτόνα και γενικότερα τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση του εδάφους και την αντιμετώπιση των ασθενειών των φυτών. Η γκρι συνιστώσα της καλλιέργειας υπολογίζεται με βάση την σχέση που ακολουθεί :

$$Y_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΓΚΡΙ}} = \frac{(\alpha * AR) / (c_{\text{max}} - c_{\text{nat}})}{Y} \quad (4.16)$$

Όπου,

$\alpha$  : το ποσοστό του ρυπαντή που εισχωρεί στο υδατικό σύστημα, σε ποσοστό %

$AR$  : ποσότητα του ρυπαντή που τοποθετείται στην καλλιέργεια για λίπανση, σε kg/στρέμμα

$c_{\text{max}}$  : μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση του ρυπαντή, σε mg/l

$c_{\text{nat}}$  : φυσική συγκέντρωση του ρυπαντή, σε mg/l

$Y$  : απόδοση της καλλιέργειας, σε ton/στρέμμα

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης λόγω των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης γίνεται υπολογισμός της γκρι συνιστώσας του υδατικού αποτυπώματος τόσο για τους επιφανειακούς όσο και για τους υπόγειους υδάτινους αποδέκτες. Όσο αφορά στους πιθανούς ρυπαντές, κρίθηκε κρισιμότερη η ρύπανση από τα λιπάσματα. Επιπλέον λόγω της μεγάλης δυσκολίας στον προσδιορισμό του γκρι υδατικού αποτυπώματος για τα εντομοκτόνα και τα φυτοφάρμακα, επιλέχθηκαν να μελετηθούν οι ρυπαντές από τα λιπάσματα, οι τιμές δηλαδή του φωσφόρου, του αζώτου και του καλίου. Η ποσότητα των ρυπαντών σε kg/στρέμμα είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Οι απαιτήσεις λίπανσης ποικίλουν ανάλογα με την καλλιέργεια και τις κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες που επικρατούν και σε ιδανικές συνθήκες θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί εδαφολογική μελέτη στην εξεταζόμενη περιοχή, βάση της οποίας θα προσδιοριστούν οι απαραίτητες ποσότητες. Ωστόσο οι περισσότεροι αγρότες - παραγωγοί τοποθετούν τα λιπάσματα

καθαρά εμπειρικά, χωρίς να συμβουλευονται κάποιες επίσημες οδηγίες ή κανονισμούς. Οι τιμές των ποσοτήτων λίπανσης που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς της εργασίας προέκυψαν κατόπιν συζήτησης με τον υπεύθυνο γεωπόνο για τους αμπελώνες που μελετώνται και είναι οι εξής :

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΑΜΠΕΛΩΝΑΣ	ΚΥΡΙΟΙ ΡΥΠΑΝΤΕΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ		
	N (kg/στρέμμα)	P (kg/στρέμμα)	K (kg/στρέμμα)
	15	10	12

Πίνακας 4.9.: Ποσότητες κύριων ρυπαντών για τις ανάγκες λίπανσης

Το ποσοστό του ρυπαντή που εισχωρεί στο υδατικό σύστημα κυμαίνεται από 3% - 10%. Η διηθητικότητα του εδάφους στην περιοχή μελέτης κρίθηκε σύμφωνα με υπάρχοντα στοιχεία μέτρια έως μεγάλη και επομένως το ποσοστό του ρυπαντή που διεισδύει στο έδαφος θεωρήθηκε ίσο με 8%.

Για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού στους υπόγειους και επιφανειακούς υδροφορείς μελετήθηκε η ισχύουσα εθνική και κοινοτική νομοθεσία που αφορά στα μέγιστα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης των ρυπαντών που προαναφέρθηκαν. Για επιφανειακούς αποδέκτες, σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001, η μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών ( $\text{NO}_3$ ) είναι 50 mg/l, φωσφορικών ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 5 mg/l, ενώ για το κάλιο (K) δεν ορίζεται κάποιο συγκεκριμένο όριο. Για υπόγειους αποδέκτες, βάσει της Οδηγίας 98/83/ΕΕ, ορίζεται η μέγιστη συγκέντρωση νιτρικών σε 11,3 mg/l, φωσφορικών σε 2,18 mg/l και καλίου (K) 12 mg. Λόγω έλλειψης των απαραίτητων στοιχείων, η φυσική συγκέντρωση των ρυπαντών, ( $c_{\text{nat}}$ ), στους υδατικούς αποδέκτες θεωρήθηκε μηδενική.

Κατά τον υπολογισμό της γκρι συνιστώσας προέκυψαν πέντε τιμές. Οι δύο από αυτές αφορούν τους επιφανειακούς αποδέκτες με ρυπαντή το άζωτο και το φώσφορο αντίστοιχα και οι άλλες τρεις αφορούν τους υπόγειους αποδέκτες για τους ίδιους ρυπαντές καθώς και για το κάλιο. Για τον υπολογισμό του γκρι υδατικού αποτυπώματος οι πέντε τιμές που προκύπτουν δεν προστίθενται αλλά επιλέγεται η μέγιστη ως κρίσιμος ρυπαντής, καθώς ο όγκος του νερού που απαιτείται για τη μείωση της συγκέντρωσης του κρίσιμου ρυπαντή σε επιτρεπτά επίπεδα ικανοποιεί και τις απαιτήσεις για τους υπόλοιπους ρυπαντές. Ισχύει δηλαδή η εξής σχέση :

$$Y_{A_{\text{ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ, ΓΚΡΙ}}} = \max [ Y_{A_{\text{N-ΕΠ}}}, Y_{A_{\text{P-ΕΠ}}}, Y_{A_{\text{N-ΥΠ}}}, Y_{A_{\text{P-ΥΠ}}}, Y_{A_{\text{K-ΥΠ}}} ] \quad (4.17)$$

ΕΤΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ (τον/στρ.)	Α	ΡΥΠΑΝΤΕΣ	AR (kg/στρ.)	Сmax Επιφαν. (mg/l)	Сmax Υπογ. (mg/l)	Сnat (mg/l)	Ugrey Επιφαν.	Ugrey Υπογ.	ΓΚΡΙ Υ.Α (m3/ton)
2011	ΑΜΠΕΛΙ	280,00	0,85	0,08	N	15,00	50,00	11,30	0,00	28,24	124,93	431,73
				0,08	P	10,00	5,00	2,18	188,24	431,73		
				0,08	K	12,00		12,00		94,12		

Πίνακας 4.10. : Υπολογισμός γκρι συνιστώσας Υ.Α για την περίπτωση του αμπελώνα

#### 4.2.4 Υδατικό Αποτύπωμα Γυάλινων Φιαλών

Για τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος των γυάλινων φιαλών στις οποίες αποθηκεύεται το κρασί για την διανομή του, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από έρευνα που έγινε σχετικά με την ανάλυση κύκλου ζωής κατά την παραγωγή μπύρας στην Ελλάδα (Παπαδάκης κ.ά. , 2005). Τα δεδομένα αυτά δεν είναι ακριβή αλλά προτιμήθηκε η χρήση τους εφόσον δεν υπήρχαν άλλα διαθέσιμα και κρίθηκε σκόπιμο κατά τον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος του προϊόντος μελέτης να ενσωματωθούν στους υπολογισμούς. Επιπρόσθετα το μπουκάλι μπύρας ήταν το πιο συγγενικό στο μπουκάλι κρασιού που είναι και το ζητούμενο όσον αφορά το βάρος, το χρώμα και τον τρόπο παρασκευής του.

Κατά την παραγωγή των μπουκαλιών χρησιμοποιείται ανακυκλωμένο γυαλί (1050 kg ανακυκλωμένου ανά 1000 kg παραγόμενου γυαλιού) και καταναλώνονται 0,06 lit νερού ανά 1000 kg παραγόμενου γυαλιού. Η συνολική υδατοκατανάλωση επομένως για την παραγωγή των μπουκαλιών μπορεί να θεωρηθεί μπλε εφόσον δεν υπάρχουν περαιτέρω στοιχεία για την παραγωγή τους. Κάθε κενή φιάλη θεωρήθηκε ότι έχει βάρος 530 gr και επομένως το υδατικό αποτύπωμά της αντιστοιχεί σε 0,0000318 lit νερού (Παπαδάκης κ.ά, 2005).

#### 4.2.5 Υδατικό Αποτύπωμα Χάρτινων Συσκευασιών

Για τον προσδιορισμό του υδατικού αποτυπώματος των χάρτινων συσκευασιών που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των φιαλών από το οινοποιείο στα σημεία διάθεσης χρησιμοποιήθηκαν δευτερογενή δεδομένα από μελέτη που έγινε για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανακυκλωμένου χαρτιού συσκευασίας. Σύμφωνα με την μελέτη του Τσάτση (2008), η συνολική κατανάλωση νερού ανά τόνο παραγόμενων κυματοειδών χαρτοκιβωτίων είναι περίπου  $20,3\text{m}^3$  για τα ελληνικά δεδομένα, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η ποσότητα του καταναλισκόμενου ατμού. Το βάρος μιας συσκευασίας τριών φύλλων, χωρητικότητας έξι φιαλών και διαστάσεων 36 x 27 x 30 cm είναι περίπου 0,48 kg. Επομένως το οινοποιείο καταναλώνει προσεγγιστικά 32.791 χάρτινες συσκευασίες ανά έτος που αντιστοιχούν σε 15,74 τόνους προϊόντος. Με βάση την προαναφερθείσα έρευνα λοιπόν το τελικό υδατικό αποτύπωμα των συσκευασιών για την κάλυψη όλης της παραγωγής είναι  $15,74 \times 20,3 = 319,522 \text{ m}^3/\text{έτος}$ .



### 4.3 Υπολογισμός Λειτουργικού Υδατικού Αποτυπώματος (Operational Water Footprint)

Το λειτουργικό υδατικό αποτύπωμα ορίζεται ως η ποσότητα νερού που καταναλώνεται ή ρυπαίνεται κατά την λειτουργία της βιομηχανίας για την παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος. Στην μελέτη αυτή περιλαμβάνεται το νερό που ενσωματώνεται στο προϊόν ως συστατικό (μηδενική ποσότητα) και το νερό που καταναλώνεται για κάθε πιθανή χρήση από την βιομηχανία ως σύνολο.

#### 4.3.1 Πράσινο Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα

Το πράσινο λειτουργικό υδατικό αποτύπωμα της βιομηχανίας είναι μηδενικό εφόσον δεν γίνεται καθόλου χρήση πράσινου νερού κατά την παραγωγική διαδικασία. Όλο το νερό που χρησιμοποιείται για τις ανάγκες της λειτουργίας και συντήρησης του οινοποιείου προέρχεται από αποθέματα μπλε νερού.

#### 4.3.2 Μπλε Υδατικό Αποτύπωμα Βιομηχανίας

Το λειτουργικό νερό είναι αυτό που χρησιμοποιείται και είναι άμεσα συνδεδεμένο με το προϊόν και τις λειτουργίες της βιομηχανίας (προσθήκη νερού καθ' αυτού, νερό για πόση, χρήση τουαλέτας, πλύσιμο των φιαλών κτλ). Η δυσκολία συλλογής τέτοιων στοιχείων για μεμονωμένες λειτουργίες ήταν πολύ μεγάλη και στις περισσότερες περιπτώσεις ακατόρθωτη. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης έγιναν οι σχετικές απλοποιήσεις για τους υπολογισμούς. Το μπλε λειτουργικό υδατικό αποτύπωμα της βιομηχανίας υπολογίστηκε βασιζόμενο σε δεδομένα για την βιομηχανία εξ ολοκλήρου και όχι όπως θα έπρεπε ανά τομείς και προϊόντα. Τα δεδομένα από τον ιδιοκτήτη της βιομηχανίας έδειξαν ότι το οινοποιείο καταναλώνει περίπου 590.240 lit γλυκού νερού το χρόνο εκ των οποίων τα 59.024 lit δεν επιστρέφουν στην υδρολογική λεκάνη από την οποία προήλθαν λόγω εξάτμισης ή ενσωμάτωσης στο ίδιο το προϊόν (ένα ποσοστό περίπου 10% ενδεικτικό για τέτοιου είδους βιομηχανίες) και παράγει 196.747 φιάλες κρασιού. Επομένως υπολογίζεται ότι καταναλώνονται 0,3 lit νερού ανά φιάλη οίνου μόνο στο στάδιο της οινοποίησης και εμφιάλωσης.

#### 4.3.3 Γκρι Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα

Στην περίπτωση του οινοποιείου το ρυπαντικό φορτίο μπορεί να υπολογιστεί από την ποσότητα λυμάτων που εκκενώνεται και τις συγκεντρώσεις των ρύπων. Η μεθοδολογία

υπολογισμού του εταιρικού γκρι υδατικού αποτυπώματος είναι σε συμφωνία με τις απαιτήσεις για τον υπολογισμό του γκρι νερού από τη ρύπανση λόγω σημειακών πηγών. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επομένως η μέθοδος της σημειακής πηγής από το Εγχειρίδιο Αξιολόγησης του Υδατικού Αποτυπώματος (2011) για τον υπολογισμό της γκρι συνιστώσας της επιχείρησης για κάθε έναν από τους ρυπαντές και τελικά να επιλεγεί αυτό που αντιστοιχεί στον ρύπο με την υψηλότερη τιμή γκρι ίχνους νερού (Shuijie et al., 2012).

$$\text{ΥΑΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ, ΓΚΡΙ} = \max \frac{(\text{Effl} * \text{Ceffl}) - (\text{Abstr} * \text{Cact})}{\text{Cmax} - \text{Cnat}} \quad (4.18)$$

Όπου,

Effl : Όγκος των λυμάτων (ροή λυμάτων)

Ceffl : Συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας στην εισροή

Abstr : Όγκος του αντλούμενου νερού

Cact : Πραγματική συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας σε ένα σώμα νερού από το οποίο αντλείται το νερό

Cmax : Η μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας σε ένα σώμα λήψης νερού

Cnat : Φυσική συγκέντρωση μιας χημικής ουσίας στο σώμα λήψης νερού

Η παραπάνω σχέση απλοποιείται για λόγους ευκολίας και έλλειψης δεδομένων σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων Cact και Cnat που θεωρούνται μηδενικοί. Είναι δεδομένο ότι με αυτό τον τρόπο δεν υφίσταται ακριβής υπολογισμός αλλά μία προσέγγιση της γκρι συνιστώσας. Η απλοποιημένη σχέση που χρησιμοποιείται τελικά είναι η εξής:

$$\text{ΥΑΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ, ΓΚΡΙ} = \max \frac{(\text{Effl} * \text{Ceffl})}{\text{Cmax}} \quad (4.19)$$

Στην παρούσα μελέτη έγινε υπολογισμός των υδατικών αποτυπώματων για τη συγκέντρωση νιτρικών και φωσφορικών στα υγρά απόβλητα του οινοποιείου για επιφανειακούς και υπόγειους υδάτινους αποδέκτες και επιλέχθηκε η μέγιστη τιμή. Τα δεδομένα λήφθηκαν από βιβλιογραφικές πηγές και συγκεκριμένα σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις των ρυπαντών έγινε χρήση μίας έρευνας που πραγματοποιήθηκε σχετικά με τις περεταίρω χρήσεις των αποβλήτων των οινοποιείων στην γεωργία. Η έρευνα

πραγματοποιήθηκε από το τμήμα της Γεωργικής Χημείας και Περιβάλλοντος του πανεπιστημίου Miguel Hernandez της Ισπανίας. Οι συγκεντρώσεις που προέκυψαν με βάση την έρευνα είναι (Bustamenre et al., 2005):

N : 35,4 mg/l

P : 35,4 mg/l

BOD<sub>5</sub> = 22,418 mg O<sub>2</sub>/l

Στην συγκεκριμένη περίπτωση ωστόσο το νερό που ρυπαίνεται από τις παραγωγικές διαδικασίες του οινοποιείου επεξεργάζεται επαρκώς πριν την διάθεσή του και επομένως θεωρητικά δεν υφίσταται παραγωγή γκρι λειτουργικού υδατικού αποτυπώματος ή είναι μειωμένου βεληνεκούς. Λόγω έλλειψης δεδομένων στην παρούσα μελέτη υπολογίζεται το υδατικό αποτύπωμα του οινοποιείου χωρίς να ληφθεί υπόψη η επεξεργασία των λυμάτων του. Με τον τρόπο αυτό είναι φανερό ότι στην ουσία γίνεται μια υπερεκτίμηση της γκρι συνιστώσας.

Χρησιμοποιώντας τα ποιοτικά όρια που αναφέρθηκαν στην παράγραφο για τον υπολογισμό της γκρι συνιστώσας του υδατικού αποτυπώματος του αμπελώνα για τις συγκεντρώσεις του φωσφόρου και του αζώτου, καθώς και τα όρια για το BOD<sub>5</sub> (βιοχημική απαίτηση οξυγόνου) που ανέρχεται στα 5 mg O<sub>2</sub>/l σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

Y<sub>AN-ΕΠ</sub> = 41,79 m<sup>3</sup>/year

Y<sub>AN-ΥΠ</sub> = 184,91 m<sup>3</sup>/year

Y<sub>AP-ΕΠ</sub> = 417,89 m<sup>3</sup>/year

Y<sub>AP-ΥΠ</sub> = 958,46 m<sup>3</sup>/year

Y<sub>ABOD5</sub> = 264,64 m<sup>3</sup>/year

Τελικά η τιμή που αντιστοιχεί στο γκρι υδατικό αποτύπωμα του οινοποιείου είναι η μέγιστη εξ αυτών:

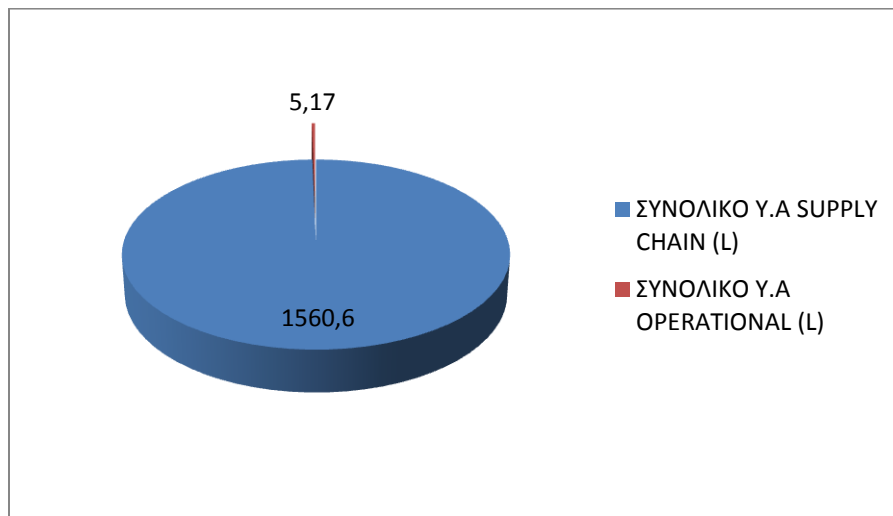
Y<sub>ABIΟΜΗΧΑΝΙΑΣ, ΓΚΡΙ</sub> = 958,46 m<sup>3</sup>/year

#### 4.4 Τελικοί Υπολογισμοί – Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Με βάση την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου υπολογίστηκε το υδατικό αποτύπωμα παραγωγής μίας φιάλης οίνου για δεδομένη μονάδα οινοποίησης. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα στις Εικόνες 4.3. και 4.4., καθώς και στον Πίνακα 4.11..



Εικόνα 4.3. : Τιμές συμμετοχής των συνιστωσών του ΥΑ στο συνολικό για τον αμπελώνα



Εικόνα 4.4. : Τιμές συμμετοχής των συνιστωσών του ΥΑ εφοδιαστικής αλυσίδας και του λειτουργικού στο συνολικό για μία φιάλη οίνου

SUPPLY-CHAIN		ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΥΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ (L)	ΥΑ ΓΥΑΛΙΝΗΣ ΦΙΑΛΗΣ (L)	ΥΑ ΧΑΡΤΙΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ (L)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΑ SUPPLY CHAIN (L)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΑ (L)
	ΦΙΑΛΗ 750ml		1559	0,000032	1,6	1560,6	1565,77
OPERATIONAL		ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΥΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ (L)			ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΑ OPERATIONAL (L)	
	ΦΙΑΛΗ 750ml		5,17			5,17	

Πίνακας 4.11. : Αναλυτικός υπολογισμός συνολικού ΥΑ για μία φιάλη οίνου 750ml

## 5. ΜΕΘΟΔΟΣ RIDOUTT & PFISTER

Η προσέγγιση των Ridoutt και Pfister είναι μία αναθεωρημένη μεθοδολογία υπολογισμού που στηρίζεται στην θεωρία ανάλυσης του κύκλου ζωής (AKZ). Μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι εφικτή η αξιολόγηση των επιπτώσεων της παραγωγής του προϊόντος σε διάφορες κατηγορίες και η στάθμιση τους κατά τις φάσεις παραγωγής. Η ειδοποιός διαφορά της προσέγγισης αυτής σε σχέση με των Hoekstra και Charagain που αναλύθηκε προηγουμένως, έγκειται στη χρήση των συνιστωσών του υδατικού αποτυπώματος. Οι Ridoutt και Pfister χρησιμοποιούν στους υπολογισμούς μόνο την μπλε και γκρι συνιστώσα, εξαιρώντας την πράσινη. Επιπλέον τα υδατικά αποτυπώματα στη μέθοδο αυτή σταθμίζονται με συντελεστές βάρους ανάλογους των συνθηκών άντλησης των διαφόρων περιοχών από τις οποίες προέρχονται. Στην περίπτωση που το υπό μελέτη προϊόν υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία εκτός της πρωτογενούς του παραγωγής, όπως για παράδειγμα το τσάι, στον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος πρέπει να συμπεριληφθεί και η υδατική κατανάλωση κατά τη φάση χρήσης του προϊόντος. Στην παρούσα μελέτη το παραγόμενο προϊόν είναι το κρασί, κατά τη χρήση του οποίου γενικά δεν γίνεται κατανάλωση νερού και επομένως η φάση χρήσης παραλείπεται.

Οι αρχικές τιμές μπλε και γκρι υδατικού αποτυπώματος, θεωρούνται δεδομένες από τον υπολογισμό που έγινε με τη μέθοδο των Hoekstra και Charagain. Για κάθε περιοχή προέλευσης μίας υδατικής κατανάλωσης γίνεται πολλαπλασιασμός του ογκομετρικού υδατικού αποτυπώματος με τον ανάλογο δείκτη πίεσης νερού (WSI), για τον υπολογισμό του σταθμισμένου υδατικού αποτυπώματος όπως υποδεικνύει και η σχέση :

$$\mathbf{Y_{\text{ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ}} = Y_{\text{ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ}} * \mathbf{WSI} \quad (5.1)}$$

Τελικά το ισοδύναμο υδατικό αποτύπωμα που είναι και το ζητούμενο προκύπτει κατόπιν διαίρεσης του σταθμισμένου με το μέσο εθνικό δείκτη πίεσης νερού (WSInat).

$$\mathbf{Y_{\text{ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ}} = \frac{\mathbf{Y_{\text{ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ}}}{\mathbf{WSInat}} \quad (5.2)}$$

Ο δείκτης πίεσης νερού (WSI) στηρίζεται στα μοντέλα υδρολογικής χρήσης και διαθεσιμότητας του νερού WaterGAP 2 (Alcamo et al., 2003). Ο υπολογισμός του δείκτη αυτού απαιτεί πολλά δεδομένα δύσκολα στον εντοπισμό τους καθώς και πολύπλοκους υπολογισμούς. Θεωρητικά ισχύει:  $0 \leq \text{WSI} \leq 1$ , στην πραγματικότητα όμως ο δείκτης πίεσης νερού έχει πάντα μια ελάχιστη τιμή 0,01 μιας και οποιαδήποτε κατανάλωση νερού έχει τουλάχιστον έναν οριακό αντίκτυπο σε τοπικό επίπεδο (Pfister *et al.*, 2009). Για λόγους απλοποίησης της διαδικασίας για τον προσδιορισμό του δείκτη πίεσης της

περιοχής μελέτης, έγινε χρήση του διαδικτυακού χάρτη που δημιούργησε ο S. Pfister στον οποίο οι τιμές του δείκτη εμφανίζονται ανά κυψελίδα και με διαφορετικό χρώμα. Ακολουθεί στη συνέχεια απόσπασμα του χάρτη για την περιοχή μελέτης. Η τιμή του WSI για την περιοχή ενδιαφέροντος αντιστοιχεί στην τιμή 0,451 του χάρτη και ο μέσος εθνικός δείκτης πίεσης νερού για την Ελλάδα έχει υπολογιστεί ότι είναι  $WSI_{nat} = 0,319$ .



Εικόνα 5.1.: Διαδικτυακός χάρτης δείκτη πίεσης νερού, WSI στην Πολύδροσο ([http://www.ifu.ethz.ch/staff/stpfiste/Impact\\_factors\\_LCA\\_pfister\\_et\\_al.kmz](http://www.ifu.ethz.ch/staff/stpfiste/Impact_factors_LCA_pfister_et_al.kmz), 2012)

## 5.1 Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος

Με βάση την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε προηγουμένως και με αφετηρία τις τιμές του μπλε και γκρι υδατικού αποτυπώματος όπως υπολογίστηκαν με την μέθοδο των Hoekstra και Charagain στο προηγούμενο κεφάλαιο, γίνεται ο υπολογισμός του υδατικού αποτυπώματος κατά Ridoutt και Pfister. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους Πίνακες 5.1. και 5.2.. Η επιλογή των δεικτών πίεσης νερού έγινε από τον διαδικτυακό χάρτη του S. Pfister.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	ΜΠΛΕ ΥΑ (m <sup>3</sup> /ton)	ΓΚΡΙ ΥΑ (m <sup>3</sup> /ton)	ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ (m <sup>3</sup> /ton)	ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ WSI	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΥΑ (m <sup>3</sup> /ton)	ΜΕΣΟ ΕΘΝΙΚΟ WSI	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΥΑ (m <sup>3</sup> /ton)
ΠΟΛΥΔΡΟΣΟΣ	ΑΜΠΕΛΙ	598,35	431,73	1030,09	0,451	464,57	0,319	1456,33

Πίνακας 5.1. : Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικού ΥΑ για τον αμπελώνα

ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΜΠΛΕ ΥΑ SUPPLY-CHAIN (L)	ΓΚΡΙ ΥΑ SUPPLY-CHAIN (L)	ΜΠΛΕ ΥΑ OPERATIONAL (L)	ΓΚΡΙ ΥΑ OPERATIONAL (L)	ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ (L)	ΤΟΠΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ WSI	ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΥΑ (L)	ΜΕΣΟ ΕΘΝΙΚΟ WSI	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΥΑ (L)
ΦΙΑΛΗ 750ml	719,62	518,08	0,30	4,87	1242,87	0,451	560,53	0,319	1757,16

Πίνακας 5.2. : Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικού ΥΑ για μία φιάλη οίνου



## 5.2 Θεωρία Ανάλυσης Κύκλου ζωής (AKZ)

Η AKZ κατά ISO14040 είναι μία τεχνική για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων και των πιθανών επιπτώσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν μέσω (Αμπελιώτης):

1. της απογραφής των δεδομένων της εισόδου και εξόδου ενός συστήματος (inventory analysis).
2. της αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εισροών και των εκροών (impact assessment).
3. της ερμηνείας των αποτελεσμάτων της απογραφής και της εκτίμησης των επιπτώσεων σε σχέση με τους στόχους της μελέτης (interpretation).

Οργανισμοί που ασχολούνται διεθνώς με την AKZ και την εξέλιξή της διεθνώς είναι:

- SETAC - Society for Environmental Toxicology and Chemistry
- ISO – International Standardization Organization
- UNEP- United Nations Environmental Program

Τα στάδια της ανάλυσης κύκλου ζωής είναι:

- i) Καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης.
  - Περιγραφή του συστήματος.
  - Καθορισμός γραμμής βάσης/αναφοράς για συγκεκριμένα προϊόντα και δραστηριότητες.
  - Βαθμολόγηση σχετικών συνεισφορών συγκεκριμένων σταδίων του Κύκλου Ζωής.
  - Κατανόηση των σχετικών περιβαλλοντικών φορτίων των ανταγωνιστικών προϊόντων ή δραστηριοτήτων.
  - Προσδιορισμός του κοινού στο οποίο απευθύνεται.
  - Καθορισμός του τύπου, της δομής και της μορφής καταγραφής αποτελεσμάτων.
  - Διερεύνηση καταλληλότητας της AKZ ως μεθόδου.

Στο πρώτο στάδιο γίνεται καθορισμός του σκοπού της μελέτης, της λειτουργικής μονάδας, των ορίων του συστήματος και των παραδοχών που έχουν γίνει. Θα πρέπει στο στάδιο αυτό να καθοριστούν οι κατηγορίες επιπτώσεων, και γενικότερα όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες που θα χρειαστούν στη συνέχεια της ανάλυσης (Τσάτσης, 2008).

ii) Απογραφή – καταγραφή δεδομένων κύκλου ζωής.

Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση των επιδράσεων (εισροές και εκροές):

- Είσοδος ενέργειας
- Είσοδος υλικών
- Εκλύσεις

Στο στάδιο αυτό γίνεται ποσοτικοποίηση των πρώτων υλών, της ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του συστήματος, δηλαδή όλων των ροών εισόδου και εξόδου. Για τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος επομένως, η ανάλυση περιλαμβάνει όλα τα στάδια του κύκλου ζωής κάθε συστατικού του προϊόντος, δηλαδή οι πρώτες ύλες, οι ενεργειακές πηγές, οι διεργασίες μετατροπής των πρώτων υλών σε χρήσιμα υλικά, η παραγωγή και η μεταποίηση των υλικών αυτών, η μεταφορά τους, η παραγωγή του υπό μελέτη προϊόντος, η διανομή, η χρήση του και η διάθεσή του συμπεριλαμβανομένης της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης, της καύσης ή της ταφής (Τσάτσης, 2008).

iii) Ανάλυση – εκτίμηση επιπτώσεων.

Αναλύονται και εκτιμώνται οι επιδράσεις του συστήματος στο περιβάλλον. Οι φάσεις εκτίμησης επιπτώσεων είναι οι εξής:

- Κατηγοριοποίηση

Γίνεται διαχωρισμός των επιπτώσεων ανάλογα με βασικούς παράγοντες που ασκούν πίεση στο περιβάλλον (αύξηση της θερμοκρασίας, ποιότητα οικοσυστημάτων κ.ά.). Οι κατηγορίες αφορούν στην υποβάθμιση του οικοσυστήματος, στην εξάντληση των φυσικών πόρων, στην υποβάθμιση της ποιότητας ζωής και στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.

- Χαρακτηρισμός (ή ποσοτικοποίηση)

Προσδιορίζεται το μέγεθος της επίπτωσης και προκύπτει το περιβαλλοντικό προφίλ του εξεταζόμενου συστήματος.

- Κανονικοποίηση

Κατανόηση της σχετικής σημαντικότητας και του μεγέθους των αποτελεσμάτων των δεικτών κατηγοριών.

- Ομαδοποίηση

Ομαδοποιούνται οι κατηγορίες επιπτώσεων με κατηγοριοποίηση (ομάδες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά π.χ. εκπομπές) ή με ταξινόμηση (π.χ. υψηλή, μεσαία χαμηλή επίπτωση).

– Στάθμιση

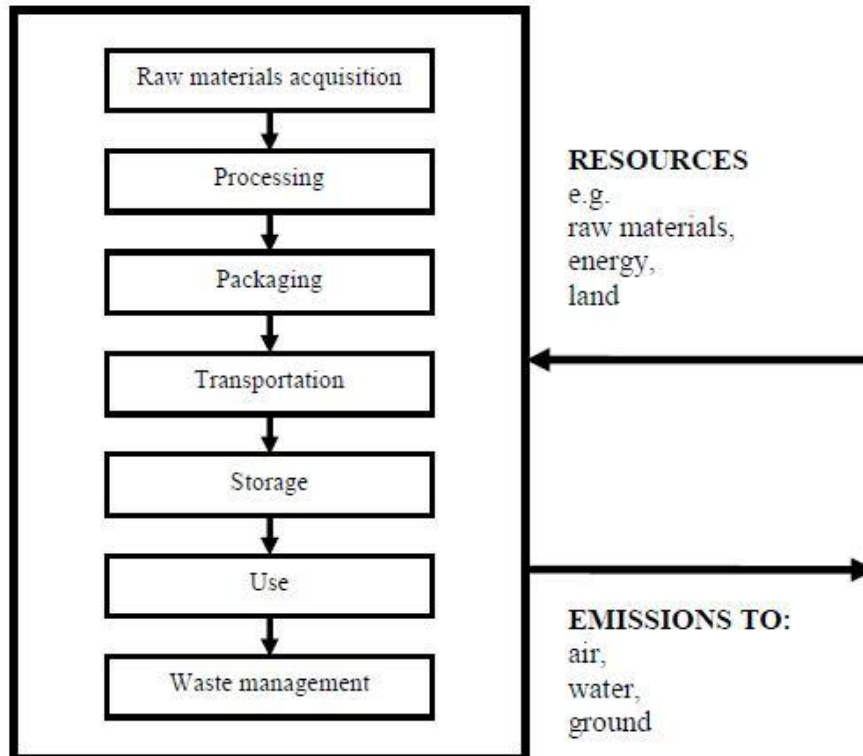
Καθορισμός βάρους για την κάθε επίπτωση και βαθμολόγηση ή συνάθροιση για συγκριτική εκτίμηση.

Η ανάλυση επιπτώσεων κύκλου ζωής πραγματοποιείται σε τρία στάδια: στην ταξινόμηση, στον χαρακτηρισμό και στην αξιολόγηση. Αρχικά ταξινομούνται τα δεδομένα του σταδίου της απογραφής σε κατηγορίες, με κριτήρια τις επιπτώσεις αυτών. Στον χαρακτηρισμό γίνεται η μετατροπή των δεδομένων της απογραφής σε στοιχεία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τέλος η αξιολόγηση είναι το στάδιο κατά το οποίο οι συνεισφορές των διαφόρων ειδικών κατηγοριών των επιπτώσεων σταθμίζονται κατάλληλα, ώστε να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους (Τσάτσης, 2008). Οι τρεις τελευταίες αποτελούν προαιρετικές φάσεις που διευκολύνουν την ερμηνεία της ανάλυσης στο επόμενο στάδιο. Πρόκειται για μια διαδικασία πολύπλοκη και αμφιλεγόμενη εφόσον πρόκειται για διαδικασία συσχέτισης αξιών που αντανακλά τις κοινωνικές αξίες και προτιμήσεις.

iv) Ερμηνεία αποτελεσμάτων – Εκτίμηση βελτιώσεων.

Αναλύονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα των προηγούμενων σταδίων με στόχο τον περιορισμό των επιδράσεων του συστήματος στο περιβάλλον και την εξαγωγή συμπερασμάτων και υποδείξεων. Η εκτίμηση βελτιώσεων γίνεται για τη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που συνδέεται με τη χρήση ενέργειας και πρώτων υλών και τις περιβαλλοντικές εκπομπές καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής προϊόντων και υπηρεσιών.

Στο στάδιο της εκτίμησης βελτιώσεων, τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρησιμοποιούνται ως βάση για τη λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Παραδείγματος χάρη, στη λήψη αποφάσεων περιλαμβάνεται η επιλογή αλλαγής ενός προϊόντος ή μίας διεργασίας, με στόχο, φυσικά, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Τσουκαλά, 2009).



Εικόνα 5.2. : Μοντέλο της A.K.Z (Point, 2008)

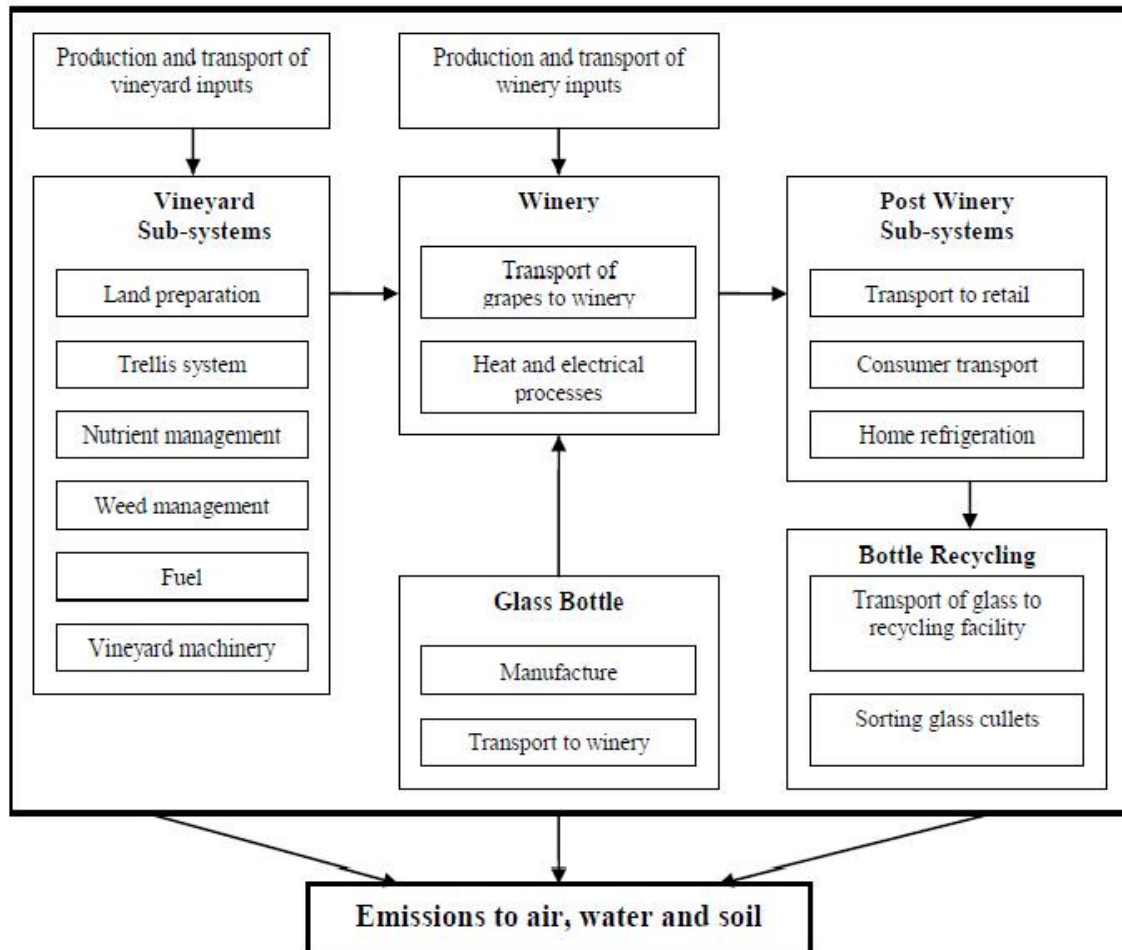
## 5.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής Οίνου

### 5.2.1 Γενικά

Γενικότερα τα στάδια του κύκλου ζωής για την παραγωγή μίας φιάλης οίνου μπορούν να συνοψιστούν στα εξής παρακάτω:

- Καλλιέργεια αμπέλου
- Οινοποίηση
- Εμφιάλωση
- Μεταφορά
- Κατανάλωση
- Απόβλητα (διάθεση, απόρριψη, ανακύκλωση)

Η πορεία της διαδικασίας περιγράφεται παραστατικά και στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί (Εικόνα 5.3.).



Εικόνα 5.3 : Κύκλος ζωής παραγωγής μίας φιάλης (750ml) οίνου (Point, 2008)

Οι ρώγες του σταφυλιού, που αποτελεί και την πρώτη ύλη του κρασιού, περιέχουν σάκχαρα, οργανικά οξέα και νερό (πάνω από 70%). Η περιεκτικότητα σε αυτές τις ουσίες εξαρτάται κάθε φορά από την ποικιλία, το υπέδαφος, τις κλιματικές συνθήκες, αλλά και από την χρονική στιγμή της ωρίμανσης του σταφυλιού. Μετά την διαδικασία του τρύγου, ακολουθεί η γλυκοποίηση, η διαδικασία δηλαδή κατά την οποία εξάγεται ο μούστος από το σταφύλι. Για την έκθλιψη του μούστου χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι, συνηθέστερα με χρήση ειδικών μηχανημάτων που λειτουργούν συνθλίβοντας το σταφύλι ανάμεσα σε περιστρεφόμενους κυλίνδρους. Κατά τη γλυκοποίηση, επιβάλλεται η αφαίρεση των κοτσανιών (αποβοστρύχωση) του

σταφυλιού. Στη συνέχεια ακολουθεί η τελική διαδικασία της ζύμωσης. Το οινόπνευμα που περιέχει το κρασί παράγεται από τα σάκχαρα του μούστου με την αντίδραση της αλκοολικής ζύμωσης, που επιτελείται από ειδικά ένζυμα, τις ζυμάσες των ζυμομυκήτων. Εκτός από αιθυλική αλκοόλη παράγεται και διοξείδιο του άνθρακα αλλά και μια σειρά δευτερευόντων προϊόντων και ενώσεων. Η διαδικασία της ζύμωσης διαρκεί συνήθως 8-25 ημέρες. Πολλές φορές παρατείνεται ή διακόπτεται η ζύμωση με τεχνητά μέσα, κυρίως μέσω της διατήρησης της θερμοκρασίας σε χαμηλά ή υψηλά επίπεδα αντίστοιχα. Ο χρόνος της ζύμωσης είναι καθοριστικός για το κρασί που θα παραχθεί τελικά. Επιπλέον γίνεται συνήθως λόγος για λευκή και ερυθρή οινοποίηση, ανάλογα με το χρώμα του παραγόμενου κρασιού (Johnson, 1998).

### 5.2.2 Διαχείριση Χημικών Αποβλήτων

Η παραγωγή του κρασιού προκαλεί τη δημιουργία δύο ειδών αποβλήτων, τα στερεά απόβλητα, δηλαδή την οινολάσπη, και τα υγρά απόβλητα. Η οινολάσπη είναι μια μάζα που παραμένει στον πυθμένα των δεξαμενών και συνίσταται κυρίως από όξινο τρυγικό κάλιο, άλατα, ζυμομύκητες και άλλους μικροοργανισμούς. Τα υγρά απόβλητα δημιουργούνται κυρίως κατά το πλύσιμο των δεξαμενών, των μηχανημάτων αλλά και των φιαλών και είναι πλούσια σε οργανικό φορτίο καθώς και σε θειούχες ενώσεις, οι οποίες πιθανόν να εκπέμπουν δυσάρεστες οσμές. Στις διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούνται ουσίες όπως η καυστική σόδα, διάφορα καθαριστικά υλικά και άλατα που περιέχουν ουσίες επιζήμιες για την ανθρώπινη υγεία (Αντωνίου, 2008)

Οι ποσότητες και η ποιότητα των χημικών αποβλήτων που παράγονται από κάθε οινοποιείο είναι διαφορετικές ανά περίπτωση και ανάλογες του μεγέθους της παραγωγής, αλλά και των μεθόδων επεξεργασίας των αποβλήτων. Επίσης, παρατηρείται διακύμανση στην παραγωγή χημικών αποβλήτων κατά τη διάρκεια του έτους λόγω του εποχικού χαρακτήρα της οινοποίησης με μέγιστες τιμές κατά τους μήνες Σεπτέμβριο έως και Μαρτίου. Στην παρούσα μελέτη μελετώνται κατά κύριο λόγο τα υγρά απόβλητα του οινοποιείου. Λόγω των δυσκολιών που προαναφέρθηκαν ο υπολογισμός τους δεν μπορεί να είναι ακριβής αλλά γίνεται προσπάθεια να προσεγγιστεί κατά το δυνατόν.

## 5.3 Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων με Χρήση του Λογισμικού OpenLCA

### 5.3.1 Παρουσίαση Λογισμικού OpenLCA

Το λογισμικό OpenLCA επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του υπό μελέτη προϊόντος. Το λογισμικό OpenLCA είναι ένα αναπτυσσόμενο ελεύθερο λογισμικό με μεγάλο εύρος δυνατοτήτων και εφαρμογών, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την εταιρία GreenDelta<sup>1</sup> από το 2006. Τα κυριότερα στοιχεία που χρησιμοποιούνται κατά την ΑΚΖ, όπως μονάδες μέτρησης, στοιχειώδεις ροές και διαδικασίες περιέχονται στο λογισμικό. Τα δομικά στοιχεία του προγράμματος μέσω των οποίων πραγματοποιείται η ανάλυση κατηγοριοποιούνται από το λογισμικό στις παρακάτω οντότητες:

1. Οι πηγές του συστήματος (Sources)  
Στις πηγές του συστήματος συγκαταλέγονται όλες οι αναφορές, βιβλιογραφικές και μη, που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη συλλογή δεδομένων και πληροφοριών για την ανάλυση του κύκλου ζωής.
2. Οι ανθρώπινες οντότητες – χρήστες του συστήματος (Actors)  
Οι ανθρώπινες οντότητες του συστήματος αναφέρονται κυρίως στους χρήστες του συστήματος, δηλαδή τα άτομα (είτε μεμονωμένα φυσικά πρόσωπα, είτε ομάδες προσώπων, είτε οργανισμοί) που επεξεργάζονται τα δεδομένα του συστήματος και δουλεύουν σε αυτό, καθώς και άτομα που έχουν συμβάλει στην ανάλυση μέσω κάποιας εργασίας τους.
3. Μονάδες μέτρησης – σύνολο μονάδων για μια ροή (Unit Groups)  
Κατά την πραγματοποίηση μίας ανάλυσης είναι απαραίτητη η αναφορά των μονάδων μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν καθώς εκτός της ποιοτικής γίνεται και ποσοτική ανάλυση των επιπτώσεων. Στο σύστημα υπάρχουν ήδη οι κυριότερες και συχνότερα χρησιμοποιούμενες μονάδες μέτρησης (κιλό, λίτρο, μέτρο, δευτερόλεπτο) που περιγράφουν τα αντίστοιχα μεγέθη (μάζα, όγκος, απόσταση, χρόνος). Οι μονάδες αυτές ομαδοποιούνται σε Unit Groups που περιλαμβάνουν όλα τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια τους. Κατά τον υπολογισμό του συστήματος, όλες οι μονάδες μέτρησης που ανήκουν στο ίδιο σύνολο, πρέπει να μετατραπούν με βάση το συγκεκριμένο μέγεθος για να υπάρχει ομοιομορφία και αξιοπιστία στα αποτελέσματα. Γι αυτό το λόγο σε κάθε Unit

<sup>1</sup> <http://www.sourceforge.net/projects/openlca>

Group υπάρχει μία μονάδα αναφοράς (reference unit) μοναδική που δεν ανήκει σε κάποιο άλλο Unit Group, για να ανάγονται σε αυτή όλες οι σχετικές με το μέγεθος αυτό παρατηρήσεις.

#### 4. Ροές (Flows)

Οι ροές (Flows) είναι τα στοιχεία εκείνα που εισάγονται στο σύστημα είτε ως δεδομένα εισόδου είτε ως δεδομένα εξόδου και αλληλεπιδρούν με αυτό δίνοντας ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία για την πραγματοποίηση της ανάλυσης. Οι ροές κατηγοριοποιούνται από το σύστημα ως εξής:

– Πρωταρχικές ροές (Elementary flows)

Τα Elementary flows είναι οι ροές που συμμετέχουν στο σύστημα ως είσοδοι ή έξοδοι προερχόμενοι από το περιβάλλον, χωρίς να προηγηθεί οποιαδήποτε επεξεργασία. Οι ροές αυτές μπορούν να είναι υλικό ή ενέργεια. Οι κυριότερες πρωταρχικές ροές είναι διαθέσιμες από το σύστημα κατά την δημιουργία μιας καινούριας βάσης, ομαδοποιημένες σε κατηγορίες (αέρας, αποθέματα, έδαφος, νερό).

– Ροές προϊόντων (Product flows)

Τα Product flows είναι οι ροές που συμμετέχουν στο σύστημα ως είσοδοι μιας διαδικασίας ή ως έξοδοι μιας διαδικασίας που εισέρχονται σε μία άλλη και έχουν υποστεί οποιασδήποτε επεξεργασίας. Ως Product flows χαρακτηρίζονται όλα τα προϊόντα που εισέρχονται στο σύστημα αυτούσια και τα προϊόντα που δημιουργούνται μέσα από τις διαδικασίες του συστήματος.

– Ροές αποβλήτων (Waste flows)

Τα Waste flows είναι οι ροές που συμμετέχουν στο σύστημα ως έξοδοι (απόβλητα) μιας διαδικασίας χωρίς να χρησιμοποιούνται πουθενά στη συνέχεια και έχουν προκύψει κατά την επεξεργασία στις διάφορες διεργασίες του συστήματος.

#### 5. Ιδιότητες ροής (Flow Properties)

Τα Flow Properties είναι οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν κάθε ροή του συστήματος και αναφέρονται στον τύπο του μετρήσιμου μεγέθους στο οποίο ανήκει η ροή (μάζα, όγκος, μήκος, χρόνος). Κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το είδος τους σε οικονομικές ή τεχνικές και αντιστοιχίζονται με ένα unit group από το οποίο και λαμβάνουν όλα τα πολλαπλάσια της μονάδας αναφοράς.

#### 6. Διαδικασίες (Processes)



Οι διαδικασίες *απαρτίζονται* από ροές εισόδου και εξόδου όλων των τύπων (Elementary, Product, Waste) και περιγράφουν τον τρόπο και τα μέσα παραγωγής ενός προϊόντος. Ωστόσο η βασική έξοδος κάθε διαδικασίας υποχρεωτικά πρέπει να είναι *product flow*. Αυτό αποτελεί και το «Quantitative reference» της διαδικασίας.

#### 7. Μέθοδοι αξιολόγησης επιπτώσεων (LCIA methods)

Οι LCIA methods είναι μέθοδοι αξιολόγησης επιπτώσεων που στηρίζονται για την εκτίμηση σε ομαδοποιημένους παράγοντες (κυρίως elementary flows που εξάγονται από τις διαδικασίες) και για τους οποίους έχουν καθοριστεί οι επιτρεπτές ποσότητες για ένα σύστημα παραγωγής οι οποίες δεν επηρεάζουν το περιβάλλον. Είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και χρησιμοποιούνται σε όλες τις μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής και αξιολόγησης επιπτώσεων. Στο συγκεκριμένο λογισμικό δεν υπάρχουν καταχωρημένες μέθοδοι ωστόσο είναι δυνατή η εισαγωγή τους από άλλη βάση, ή η δημιουργία τους από την αρχή. Στη συγκεκριμένη μελέτη οι μέθοδοι αξιολόγησης προμηθεύτηκαν από την ιστοσελίδα του λογισμικού.

#### 8. Σύστημα προϊόντος (Product System)

Τα συστήματα προϊόντος αποτελούνται από ένα σύνολο διαδικασιών που είναι απαραίτητες για την παραγωγή του εκάστοτε τελικού προϊόντος. Σε κάθε σύστημα ορίζεται η διαδικασία αναφοράς που είναι στην ουσία η τελική διαδικασία στην οποία θα καταλήξουν όλες οι άλλες ως εισοδοί. Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης του συστήματος μέσω γραφήματος που εμφανίζει όλες τις συνδέσεις μεταξύ των διαδικασιών, καθώς και τις εισόδους και εξόδους τους. Μετά την ολοκλήρωση και την τελική επεξεργασία του συστήματος υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού και αξιολόγησης των επιπτώσεων από την παραγωγή του προϊόντος. Για τον υπολογισμό πρέπει να οριστούν τρεις βασικοί παράμετροι :

- Η μέθοδος υπολογισμού (matrix ή sequential), σύμφωνα με την οποία θα αποδώσει καλύτερα για το σύστημα. Για μεγάλα συστήματα συστήνεται η μέθοδος «matrix» η οποία χρησιμοποιεί τα στοιχεία των διαδικασιών ως πίνακες για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων ενώ για συστήματα με πολλούς υπολογισμούς και μετατροπές συστήνεται η μέθοδος «sequential» η οποία εξάγει τα αποτελέσματα υπολογίζοντας τα για κάθε διαδικασία διαδοχικά. Για την συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος «matrix» που βιβλιογραφικά προτείνεται για τέτοιου είδους εφαρμογές.
- Η μέθοδος κατανομής (αν υπάρχει). Στη συγκεκριμένη μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκε κάποια μέθοδος κατανομής.

- Η μέθοδος αξιολόγησης επιπτώσεων, που επιλέγεται ανάμεσα στις διαθέσιμες που εισήχθησαν στο λογισμικό, ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος και του συστήματος. Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η Eco-Indicator 99 επειδή κατηγοριοποιεί τις επιπτώσεις σε τρεις βασικές ομάδες που αναλύονται στη συνέχεια.

Μετά τον ορισμό των παραμέτρων αυτών γίνεται ο υπολογισμός των επιπτώσεων, τα αποτελέσματα του οποίου παρουσιάζονται μέσω του λογισμικού σε πίνακες και γραφήματα.

- Πίνακας καταγραφής εισόδων και εξόδων συστήματος.
- Πίνακας κατηγοριών μεθόδου αξιολόγησης και ποσοτικοποίησης.
- Πίνακας συνολικών ή μεμονωμένων αποτελεσμάτων, ανάλογα με το στοιχείο, τη διαδικασία ή τη ροή που θα επιλεγεί.
- Πίνακας αποτελεσμάτων για τις τιμές των παραγόντων της μεθόδου αξιολόγησης, ανάλογα με την διαδικασία ή την κατηγορία μεθόδου αξιολόγησης.
- Γράφημα αποτελεσμάτων με βάση μια ροή, ή μια κατηγορία LCIA της μεθόδου αξιολόγησης.
- Διάγραμμα Sankey που αποτελεί την γραφική απεικόνιση των επιπτώσεων των διαφόρων ροών στο σύστημα. Επιλέγεται μια ροή, ή κατηγορία LCIA για κάθε επίπεδο, για να εμφανιστούν στο διάγραμμα. Το πρώτο επίπεδο επηρεάζει το πλάτος της γραμμής από τις συνδέσεις και το δεύτερο επίπεδο επηρεάζει το χρώμα του πλαισίου κάθε διαδικασίας. Ανάλογα με το πόσο μεγάλο είναι το ποσοστό που επηρεάζει η ροή ή η κατηγορία που επιλέχθηκε, στην αντίστοιχη διαδικασία, τότε για τον πρώτο επίπεδο αυξάνεται ανάλογα το πάχος της γραμμής σύνδεσης, και για το δεύτερο επίπεδο, επηρεάζεται το χρώμα (από πράσινο σε μωβ) της διαδικασίας.

#### 9. Τελική εργασία – Σύγκριση συστημάτων (Projects)

Το OpenLCA διαθέτει την δυνατότητα σύγκρισης των επιπτώσεων στο περιβάλλον, μέσα από το στοιχείο «Projects». Μετά την επιλογή της μεθόδου σύμφωνα με την οποία θα γίνει η σύγκριση επιλέγονται είτε όλες είτε συγκεκριμένες κατηγορίες της μεθόδου για την σύγκριση και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια, μέσω διαγραμμάτων για τις κατηγορίες LCIA που επιλέχθηκαν.

Κάθε ένα από τα στοιχεία που προαναφέρθηκαν μπορούν να επεξεργαστούν, να διαγραφούν ή να δημιουργηθούν νέες κατηγορίες και υποκατηγορίες σε αυτά ανάλογα με

τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης. Σημειώνεται ότι κατά την δημιουργία μίας καινούριας ροής γίνεται ορισμός του τύπου της ο οποίος την συνέχεια δεν αλλάζει για την αποφυγή λαθών.

### 5.3.2 Εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στην Περίπτωση της Παραγωγής μιας Φιάλης Οίνου

Στην παρούσα μελέτη θα γίνει ολοκληρωμένη ανάλυση του κύκλου ζωής παραγωγής μίας φιάλης οίνου 750ml και παρουσίαση και αξιολόγηση μέσω του επιλεγμένου λογισμικού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν.

Αρχικά δημιουργήθηκε μία καινούρια βάση στον MySQL server και στη συνέχεια άρχισε η κατασκευή των ροών και των διαδικασιών που θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα. Οι ροές που χρησιμοποιήθηκαν οργανώθηκαν συνολικά σε τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες που μέσω των συνδέσεων τους οδηγούν στην παραγωγή του τελικού προϊόντος. Οι τέσσερις διαδικασίες που δημιουργήθηκαν είναι οι εξής :

- Wine growing (Καλλιέργεια)  
Στη διαδικασία αυτή περιγράφεται η φάση της καλλιέργειας του αμπελιού με δεδομένα εισόδου την έκταση της γης που χρησιμοποιείται, την ποσότητα των σπόρων, το νερό που καταναλώνεται, τα λιπάσματα (Κάλιο, Φώσφορος, Άζωτο) που χρησιμοποιούνται και με δεδομένα εξόδου την ποσότητα των σταφυλιών που παράγονται. Η διαδικασία αυτή έχει ως ροή αναφοράς την «Grapes».
- Vinification (Οινοποίηση)  
Στη διαδικασία αυτή περιγράφεται η φάση της οινοποίησης, δηλαδή η βιομηχανική επεξεργασία των σταφυλιών για την δημιουργία του κρασιού. Τα δεδομένα εισόδου είναι τα σταφύλια που προέκυψαν από την φάση της καλλιέργειας, το νερό που καταναλώνεται στο οινοποιείο, καθώς και το διοξείδιο του θείου και το υδροξείδιο του νατρίου που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα της οινοποίησης. Δεδομένα εξόδου από την άλλη πλευρά αποτελεί η ποσότητα του κρασιού που παράγεται καθώς και τα υγρά απόβλητα του οινοποιείου. Η διαδικασία αυτή έχει ως ροή αναφοράς την «wine».
- Creation of packaging material (Κατασκευή γυάλινης και χάρτινης συσκευασίας)  
Στη διαδικασία αυτή περιγράφεται η φάση της κατασκευής της γυάλινης φιάλης καθώς και της χάρτινης συσκευασίας που θα συσκευάσει το προϊόν για την μετέπειτα μεταφορά και διάθεσή του. Δεδομένα εισόδου αποτελούν το γυαλί και το χαρτί το οποίο χρησιμοποιείται καθώς και το νερό που καταναλώνεται κατά την κατασκευή τους. Η διαδικασία αυτή έχει ως ροή αναφοράς την «total packaging».
- Final product (Τελικό προϊόν)

Η διαδικασία αυτή συνοψίζει όλες τις επιμέρους διαδικασίες για την δημιουργία του τελικού προϊόντος. Χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου τα προϊόντα «total packaging» και «wine» των αντίστοιχων διαδικασιών «Creation of packaging material» και «Vinification» και ως βασική έξοδο έχει το τελικό προϊόν που μελετάται. Η διαδικασία αυτή έχει ως ροή αναφοράς την «Final product».

Τα ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους πίνακες 5.3. – 5.6. που ακολουθούν ομαδοποιημένα ανά διαδικασία.

Process: Wine growing						
	Flow	Flow type	Category	Flow property	Amount	Unit
<b>Input</b>						
	Occupation, arable	elementary	resource/land	area*time	1,42	m2*a
	Seed	product		Mass	1	Kg
	Phosphorus	elementary	soil/agricultural	Mass	0,014	Kg
	Water, ground	elementary	resource/in water	Mass	1747,59	Kg
	Potassium	elementary	soil/agricultural	Mass	0,017	Kg
<b>Output</b>						
	Grapes	product		Mass	1,21	Kg

Πίνακας 5.3.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Wine growing»

Process: Vinification						
Flow	Flow type	Category	Flow property	Amount	Unit	
<b>Input</b>						
Grapes	product		Mass	1,21	Kg	
Water, ground	elementary	resource/in water	Mass	7,31	Kg	
Sulfur dioxide	elementary	air/unspecified	Mass	0,00005625	Kg	
Sodium hydroxide	elementary	air/unspecified	Mass	0,00122	Kg	
<b>Output</b>						
Wine	product		Volume	0,00075	m3	
Nitrogen	elementary	water/unspecified	Mass	0.00002655	Kg	
Phosphorus	elementary	water/unspecified	Mass	0.00002655	Kg	
BOD <sub>5</sub>	elementary	water/unspecified	Mass	0.00001681	Kg	

Πίνακας 5.4.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Vinification»

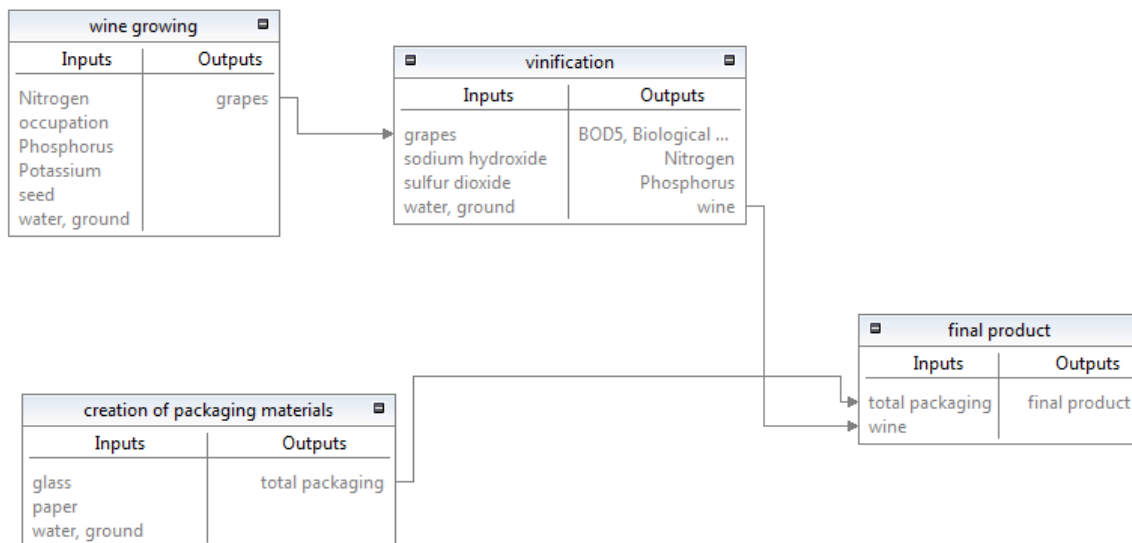
Process: Creation of packaging materials						
Flow	Flow type	Category	Flow property	Amount	Unit	
<b>Input</b>						
Glass	Product		Mass	0,53	Kg	
Paper	Product		Mass	0,08	Kg	
Water, ground	Elementary	resource/in water	Mass	2,29	Kg	
<b>Output</b>						
Total packaging	Product		Number of items	1	Item(s)	

Πίνακας 5.5.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Creation of packaging materials»

Process: Final product						
Flow	Flow type	Category	Flow property	Amount	Unit	
<b>Input</b>						
Total packaging	product		Number of items	1	Item(s)	
Wine	product		Volume	0,00075	m3	
<b>Output</b>						
Final product	product		Number of items	1	Item(s)	

Πίνακας 5.6.: Δεδομένα εισόδου και εξόδου για την διαδικασία «Final product»

Τελικά δημιουργείται ένα σύστημα προϊόντος το οποίο έχει ως διαδικασία αναφοράς την «Final product», δηλαδή την τελευταία διαδικασία που δημιουργήθηκε. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το σύστημα που δημιουργήθηκε σε μορφή γραφήματος όπως κατασκευάστηκε από το λογισμικό.



Εικόνα 5.4. : Σύστημα προϊόντος

Πριν τον τελικό υπολογισμό των αποτελεσμάτων της ανάλυσης πρέπει να επιλεγεί μία από τις διαθέσιμες μεθόδους αξιολόγησης επιπτώσεων σύμφωνα με το προϊόν μελέτης. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η μέθοδος Eco-Indicator 99. Η μέθοδος αυτή είναι επαρκής και κατάλληλη για εφαρμογές ανάπτυξης προϊόντων και συγκεκριμένα στην περίπτωση αυτή για το οινοποιείο καθώς παρέχει μια σαφή και απλή προσέγγιση προς τις διάφορες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η Eco-Indicator 99 ομαδοποιεί τα αποτελέσματα σε τρεις βασικές κατηγορίες επιπτώσεων: ανθρώπινη υγεία, ποιότητα οικοσυστήματος και διαθέσιμοι πόροι. Τα προτεινόμενα βάρη που χρησιμοποιούνται για τις κατηγορίες είναι αντίστοιχα 40%, 40% και 20%. Ωστόσο οι κατηγορίες αυτές μπορούν να διαιρεθούν σε υποκατηγορίες για πιο πρακτικές εφαρμογές. Η Eco-Indicator 99 εξετάζει τις εξής επιπλέον υποομάδες :

- Ανθρώπινη υγεία (ιονίζουσα ακτινοβολία, καρκινογένεσης, καταστροφή του όζοντος, επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα, κλιματική αλλαγή)
- Ποιότητα οικοσυστήματος (οξύνιση και ευτροφισμός, οικοτοξικότητα, χρήση γης)
- Διαθέσιμοι πόροι (εξόρυξη ορυκτών πόρων και καυσίμων)

Η μονάδα μέτρησης της επίδρασης που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη μέθοδος αξιολόγησης είναι η «point» ή όπως διαφορετικά αναφέρεται στην βιβλιογραφία «eco-point». Για να υπολογιστεί η τελική επίδραση που προσδίδει το Eco-Indicator 99 για κάθε προϊόν σε κάθε κατηγορία επίπτωσης, πολλαπλασιάζεται το βάρος κάθε πρώτης ύλης με την αξία που έχει στο Eco-Indicator 99 και έτσι προκύπτουν τα αντίστοιχα «eco-points». Όσα περισσότερα «eco-points» υπολογίζονται τόσο αρνητικότερη είναι η επίδραση του προϊόντος στην κατηγορία. Η αξία κάθε «eco-point» αντιπροσωπεύει το ένα χιλιοστό (1/1000) του ετήσιου περιβαλλοντικού φόρτου που προκαλεί ένας μέσος προκαλεί ένας μέσος Ευρωπαίος πολίτης.

Το μοντέλο του κύκλου ζωής του κρασιού περιλαμβάνει πολλές πηγές πληροφοριών για τα δεδομένα των εκπομπών και των πόρων που χρησιμοποιούνται. Στη διαδικασία της απογραφής δύο πηγές πληροφόρησης πρέπει γενικά να διακρίνονται:

- Οι πόροι και οι εκπομπές που περιλαμβάνονται αυτόματα από τις βάσεις δεδομένων του λογισμικού.
- Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω των αναλύσεων και των υπολογισμών που έχουν ήδη γίνει για παρόμοιου τύπου εφαρμογές.

Τελικά και εφόσον έχουν γίνει η απογραφή και η επιλογή της μεθόδου αξιολόγησης πραγματοποιείται ο υπολογισμός των τελικών αποτελεσμάτων για το συγκεκριμένο

σύστημα, μέσω του λογισμικού, τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια σε μορφή πινάκων και γραφημάτων.

<b>Μονάδα Αναφοράς: Φιάλη Οίνου 750ml</b>					
<b>Flow</b>	<b>Category</b>	<b>Flow property</b>	<b>Unit</b>	<b>Amount</b>	<b>Flow type</b>
<b>Inputs</b>					
glass		Mass	kg	0,53	Product
Nitrogen	Elementary flows/soil/agricultural	Mass	kg	0,021	Elementary flow
Occupation, arable	Elementary flows/resource/land	Area*time	m <sup>2</sup>	1,42	Elementary flow
paper		Mass	kg	0,08	Elementary flow
Phosphorus	Elementary flows/soil/agricultural	Mass	kg	0,014	Elementary flow
Potassium	Elementary flows/soil/agricultural	Mass	kg	0,017	Elementary flow
seed		Mass	kg	1	Product
Sodium hydroxide	Elementary flows/air/unspecified	Mass	kg	0,00122	Elementary flow
Sulfur dioxide	Elementary flows/air/unspecified	Mass	kg	5,63E-05	Elementary flow
Water, ground	Elementary flows/resource/in water	Mass	kg	1026,3	Elementary flow
<b>Outputs</b>					
BOD <sub>5</sub>	Elementary flows/water/unspecified	Mass	kg	1,68E-05	Elementary flow
final product		Number of items	Item	1	Product
Nitrogen, total	Elementary flows/water/unspecified	Mass	kg	2,66E-05	Elementary flow
Phosphorus	Elementary flows/water/unspecified	Mass	kg	2,66E-05	Elementary flow

Πίνακας 5.7. : LCI results για μία φιάλη οίνου 750 ml



<b>Μονάδα Αναφοράς: Φιάλη Οίνου 750ml</b>		
LCIA Method used: eco-indicator 99, (H,A) w/o LT		
<b>LCIA Category</b>	<b>Amount</b>	<b>Unit</b>
human health – total	7,97738E-05	points
human health - ionising radiation	0	points
ecosystem quality - acidification & eutrophication	4,56581E-06	points
resources - mineral extraction	0	points
human health – carcinogenics	0	points
resources - fossil fuels	0	points
ecosystem quality - land occupation	0,12732998	points
human health - ozone layer depletion	0	points
resources – total	0	points
ecosystem quality – total	0,127334546	points
human health - respiratory effects	7,97738E-05	points
total – total	0,127414321	points
ecosystem quality – ecotoxicity	0	points
human health - climate change	0	points

Πίνακας 5.8. : Διαδικασία χαρακτηρισμού για μία φιάλη οίνου 750 ml

### 5.3.3 Ανάλυση Επιπτώσεων για την Συνολική Παραγωγή του Οινοποιείου

Στην παρούσα ενότητα κρίθηκε σκόπιμο να επαναληφθούν οι διαδικασίες υπολογισμού της ανάλυσης των επιπτώσεων για όλη την ετήσια παραγωγή του συγκεκριμένου οινοποιείου για να υπάρξει μια πιο εύληπτη εικόνα των επιπτώσεων της βιομηχανίας, εφόσον πρόκειται για μία μικρού μεγέθους παραγωγή και η αναγωγή των αποτελεσμάτων στην μία φιάλη οίνου δεν εξυπηρετεί την μελέτη. Στην συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες ανάλυσης αποτελεσμάτων (LCI results) και χαρακτηρισμού (Characterization) για την ολική ετήσια παραγωγή που ανέρχεται στις 196747 φιάλες οίνου ετησίως.

Συνολική Παραγωγή					
Flow	Category	Flow property	Unit	Amount	Flow type
<b>Inputs</b>					
glass		Mass	kg	104275,91	Product
Nitrogen	Elementary flows/soil/agricultural	Mass	kg	4200	Elementary flow
Occupation, arable	Elementary flows/resource/land	Area*time	m <sup>2</sup>	280000	Elementary flow
paper		Mass	Kg	15740	Elementary flow
Phosphorus	Elementary flows/soil/agricultural	Mass	Kg	2800	Elementary flow
Potassium	Elementary flows/soil/agricultural	Mass	Kg	3360	Elementary flow
seed		Mass	Kg	1	Product
Sodium hydroxide	Elementary flows/air/unspecified	Mass	Kg	240,03	Elementary flow
Sulfur dioxide	Elementary flows/air/unspecified	Mass	Kg	11,07	Elementary flow
Water, ground	Elementary flows/resource/in water	Mass	Kg	201867719	Elementary flow
<b>Outputs</b>					
BOD5	Elementary flows/water/unspecified	Mass	Kg	3,31	Elementary flow
final product		Number of items	Item	196747	Product
Nitrogen, total	Elementary flows/water/unspecified	Mass	Kg	5,22	Elementary flow
Phosphorus	Elementary flows/water/unspecified	Mass	Kg	5,22	Elementary flow

Πίνακας 5.9. : LCI results για την συνολική ετήσια παραγωγή

<b>Συνολική Παραγωγή</b>		
LCIA Method used: eco-indicator 99, (H,A) w/o LT		
<b>LCIA Category</b>	<b>Amount</b>	<b>Unit</b>
human health – total	15,699474	points
human health - ionising radiation	0	points
ecosystem quality - acidification & eutrophication	0,8985519	points
resources - mineral extraction	0	points
human health – carcinogenics	0	points
resources - fossil fuels	0	points
ecosystem quality - land occupation	25107,32	points
human health - ozone layer depletion	0	points
resources – total	0	points
ecosystem quality – total	25108,21855	points
human health - respiratory effects	15,699474	points
total – total	25123,91836	points
ecosystem quality – ecotoxicity	0	points
human health - climate change	0	points

Πίνακας 5.10. : Διαδικασία Χαρακτηρισμού για την συνολική ετήσια παραγωγή

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 Σύγκριση Αποτελεσμάτων Μεθοδολογιών Υπολογισμού ΥΑ

Για τον υπολογισμό του Υδατικού Αποτυπώματος του υπό μελέτη βιομηχανικού προϊόντος έγινε εφαρμογή δύο μεθόδων: α) αυτή που προτείνεται από τους Hoekstra & Charagain και β) η αναθεωρημένη μέθοδος των Ridoutt & Pfister. Οι μέθοδοι αυτοί παρουσιάζουν γενικότερα σημαντικές διαφορές τόσο στη μεθοδολογία όσο και στην προσέγγιση όπως αναλύεται στο δεύτερο κεφάλαιο και γι αυτό το λόγο τα αποτελέσματά τους είναι ασυσχέτιστα σύμφωνα με τους Ridoutt & Roulton, (2010). Οι διαφοροποιήσεις στις τιμές τους, οφείλονται κυρίως στην εξαίρεση της πράσινης συνιστώσας από την μέθοδο των Ridoutt & Pfister καθώς και στην χρήση των δεικτών πίεσης νερού σε αυτή την μεθοδολογία. Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 6.1. που παρουσιάζει τις αποκλίσεις ανάμεσα στους υπολογισμούς.

Παρατηρώντας τον Πίνακα 6.1. γίνεται η διαπίστωση ότι τα αποτελέσματα των μεθόδων Hoekstra & Charagain και Ridoutt & Pfister παρουσιάζουν αποκλίσεις της τάξεως έως και 40%. Συγκεκριμένα ισχύει ότι οι τιμές των Ridoutt & Pfister φαίνεται να είναι περίπου 12% μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των Hoekstra & Charagain όσων αφορά στο σύνολο των μετρήσεων. Εξαίρεση αποτελεί το λειτουργικό ΥΑ της φιάλης οίνου (operational) που εμφανίζει απόκλιση της τάξεως του 40%. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο των Ridoutt & Pfister αναμενόταν να ήταν μεγαλύτερα λόγω του ότι η περιοχή μελέτης παρουσιάζει δείκτη πίεσης νερού ( $WSI = 0,451$ ) μεγαλύτερο από τον μέσο εθνικό δείκτη πίεσης που ισχύει για την Ελλάδα ( $WSI_{nat} = 0,319$ ) και αυτό σημαίνει ότι η περιοχή παρουσιάζει αυξημένη υδατική πίεση.

Παρατηρείται ότι παρά τις αποκλίσεις των τιμών μεταξύ των μεθόδων το ΥΑ παρουσιάζει τις ίδιες τάσεις στα ποσοστά του ΥΑ εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain) και του λειτουργικού (operational) σε σχέση με το σύνολο. Το λειτουργικό ΥΑ και στις δύο περιπτώσεις κατέχει μόλις το  $\approx 0,4\%$  του συνόλου, ενώ το  $\approx 99,6\%$  ανήκει στο ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στο σημείο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτή η σημασία επιλογής και προέλευσης των πρώτων υλών για μια βιομηχανία.

Το γκρι ΥΑ και στις δύο μεθόδους σε ότι αφορά αυτό που προκύπτει από την καλλιέργεια του αμπελώνα και αυτό από τα υγρά απόβλητα του οινοποιείου, καθορίζεται από την συγκέντρωση του φωσφόρου που αποτελεί τον κρίσιμο ρυπαντή εφόσον χρειάζεται περισσότερο νερό διάλυσης.

	Hoekstra & Chapagain	Ridoutt & Pfister
<b>Καλλιέργεια (m<sup>3</sup>/ton)</b>		
ΜΠΛΕ ΥΑ	598,35	845,94
ΓΚΡΙ ΥΑ	431,73	610,38
ΠΡΑΣΙΝΟ ΥΑ	258,86	-
ΣΥΝΟΛΟ	1288,94	1456,32
<b>Φιάλη οίνου (I)</b>		
SUPPLY CHAIN	1560,60	1749,85
OPERATIONAL	5,17	7,31
ΣΥΝΟΛΟ	1565,77	1757,16

Πίνακας 6.1.: Τιμές ΥΑ για τις δύο προσεγγίσεις

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η μέθοδος των Ridoutt & Pfister είναι προτιμότερη στην ανάλυση για βιομηχανικά προϊόντα και τρόφιμα επειδή τα αποτελέσματά της είναι άμεσα συγκρίσιμα και παρέχουν ευχέρεια στον καταναλωτή για την επιλογή των προϊόντων που θα καταναλώσει. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι οι υπολογισμοί που έχουν γίνει κατά Ridoutt & Pfister λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την ποσότητα του νερού που καταναλώνεται αλλά και την προέλευσή του και κατά συνέπεια την διαθεσιμότητά και επάρκειά του στην περιοχή παραγωγής του προϊόντος. Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος, μέσω κυρίως των δεικτών πίεσης νερού, παρέχει πληροφορίες χρήσιμες σχετικά με τις περιοχές αυξημένης πίεσης νερού και με τον τρόπο αυτό υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης περιοχών χωροθέτησης μιας βιομηχανίας. Από την άλλη πλευρά μέσω της

ανάλυσης κύκλου ζωής εντοπίζονται οι παραγωγικές διαδικασίες που καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες νερού καθώς και οι πρώτες ύλες με μεγάλο ΥΑ και υπάρχει δυνατότητα κατάλληλης επιλογής και επεξεργασίας των υλικών και των μεθόδων παραγωγής μιας βιομηχανικής μονάδας.

## 6.2 Γενικότερα Συμπεράσματα

Ο υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος εξαρτάται κυρίως από τους εξής παράγοντες:

### i) Οι μέθοδοι υπολογισμού

Στην συγκεκριμένη περίπτωση αναλύθηκαν οι δύο κυριότερες μέθοδοι υπολογισμού του ΥΑ και προέκυψαν διαφορετικές τιμές για κάθε μία από αυτές. Η μέθοδος υπολογισμού πρέπει να επιλέγεται με βάση τον σκοπό της έρευνας και το υπό μελέτη προϊόν.

### ii) Η μέθοδος προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής

Στην συγκεκριμένη μελέτη για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής επιλέχθηκε η μέθοδος Blaney – Criddle. Ωστόσο υπάρχουν κι άλλες μέθοδοι προσδιορισμού της πιο ακριβείς, ωστόσο λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων και της δυσκολίας συλλογής τους που απαιτούν επιλέχθηκε η συγκεκριμένη.

### iii) Τα κλιματικά δεδομένα

Τα κλιματικά δεδομένα υπεισέρχονται στον τρόπο υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής. Πρέπει να είναι πλήρη και αντιπροσωπευτικά για την περιοχή μελέτης γιατί προκαλούν σφάλματα που μεταδίδονται στο ΥΑ. Ωστόσο αυτό είναι πολλές φορές δύσκολο λόγω έλλειψης κυρίως μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή μελέτης.

### iv) Το είδος των ρυπαντών

Στον υπολογισμό του γκρι ΥΑ πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι πιθανοί ρυπαντές καθώς και οι επηρεαζόμενοι υδάτινοι αποδέκτες. Στην παρούσα μελέτη λήφθηκαν υπόψη οι κύριοι ρυπαντές από τα λιπάσματα (Κάλιο, Φώσφορος, Άζωτο) και οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, φωσφορικών και του ενεργού οξυγόνου στα υγρά απόβλητα του οινοποιείου.

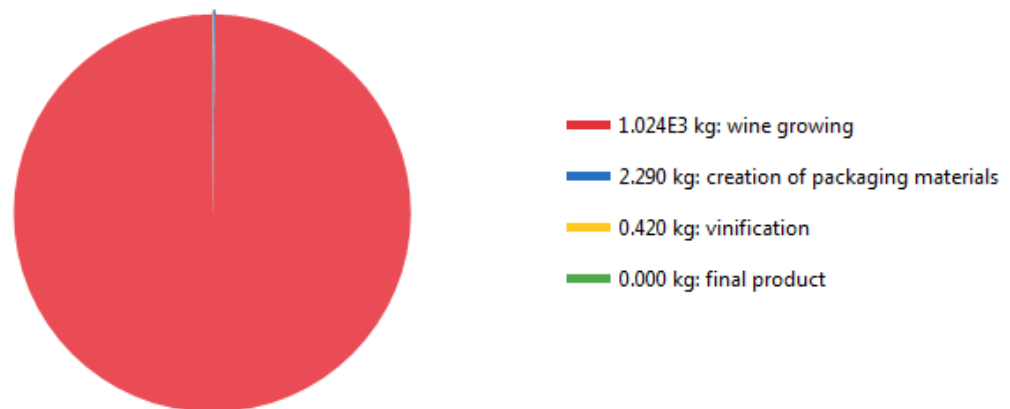
### v) Η απόδοση των καλλιεργειών

Ο παράγοντας της απόδοσης των καλλιεργειών υπεισέρχεται ως παρονομαστής στον υπολογισμό του ΥΑ και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ΥΑ τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση μιας καλλιέργειας τόσο μικρότερο προκύπτει το ΥΑ. Ωστόσο η μεγιστοποίηση της απόδοσης δεν θα πρέπει να επιτυγχάνεται με χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων λιπασμάτων εφόσον αυτό οδηγεί στην αύξηση του γκρι ΥΑ.

### 6.3 Συμπεράσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής

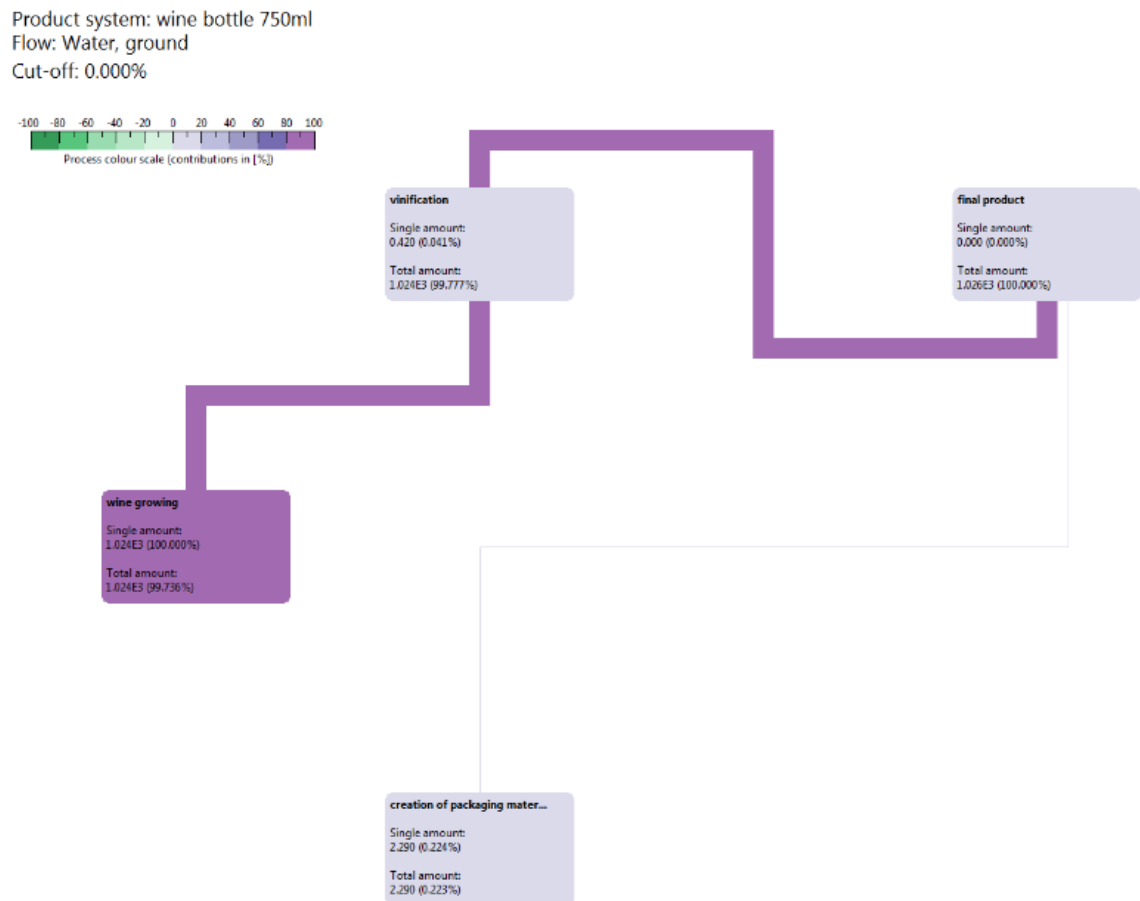
Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του κύκλου ζωής του προϊόντος σε ότι αφορά την κατανάλωση νερού με βάση τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν είναι τα εξής:

- i) Η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται συνολικά για την παραγωγή του προϊόντος καταναλώνεται κυρίως στην φάση της καλλιέργειας και σε πολύ μικρότερο ποσοστό στην διαδικασία της οινοποίησης και εμφιάλωσης και στην κατασκευή των γυάλινων και χάρτινων συσκευασιών. Η φάση της καλλιέργειας αποτελεί δηλαδή το «hotspot» για το νερό στην παραγωγική διαδικασία.



Εικόνα 6.1. : Κατανάλωση νερού στις παραγωγικές διαδικασίες του προϊόντος

- ii) Από το διάγραμμα Sankey που ακολουθεί είναι φανερό ότι το νερό επηρεάζει κατά κύριο λόγο την διαδικασία καλλιέργεια όσο αφορά στις επιπτώσεις στο σύστημα.



Εικόνα 6.2. : Διάγραμμα Sankey για την ροή «water»

Το λογισμικό στο οποίο έγινε η ανάλυση παρέχει επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις που προκαλεί η παραγωγή του προϊόντος σε τρεις βασικές κατηγορίες όπως έχουν αναλυθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο: ανθρώπινη υγεία, ποιότητα οικοσυστήματος και αποθέματα. Συγκεκριμένα η παρούσα μελέτη έδειξε ότι η παραγωγική διαδικασία επιφέρει επιπτώσεις στις εξής κατηγορίες: α) επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα, β) οξύνιση και ευτροφισμός, γ) χρήση γης. Στην συνέχεια παρατίθεται ο Πίνακας 6.2. με τα αποτελέσματα της διαδικασίας του χαρακτηρισμού ανά διαδικασία και κατηγορία επίπτωσης τόσο για μία φιάλη οίνου όσο και για την συνολική παραγωγή.



Διαδικασίες / Επιδράσεις	Φιάλη 750ml		Συνολική Παραγωγή			
	Ανθρώπινη Υγεία	Ποιότητα Οικοσυστήματος	Σύνολο	Ανθρώπινη Υγεία	Ποιότητα Οικοσυστήματος	Σύνολο
Επιδράσεις στο Αναπνευστικό Σύστημα	Επιδράσεις στο Αναπνευστικό Σύστημα	Οξύνιση & Χρήση Γης		Επιδράσεις στο Αναπνευστικό Σύστημα	Οξύνιση & Χρήση Γης	
Καλλιέργεια	0	0	0,127	0	0	25110
Οινοποίηση	0,00007977	0,000004566	0	15,699	0,899	16,598
Παραγωγή Συσκευασίας	0	0	0	0	0	0
Τελικό Προϊόν	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.2.: Αποτελέσματα Χαρακτηρισμού ανά διαδικασία

Από τον Πίνακα 6.2. εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- i) Όσο αφορά στην ποιότητα του οικοσυστήματος η παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος επιδρά στην οξύνιση και τον ευτροφισμό μέσω αποκλειστικά της διαδικασίας της οινοποίησης και στην χρήση γης μέσω αποκλειστικά της διαδικασίας της καλλιέργειας. Οι συνολικές επιδράσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος οφείλονται κυρίως στην διαδικασία της οινοποίησης.
- ii) Όσο αφορά στην ανθρώπινη υγεία η παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος επιφέρει επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα μέσω αποκλειστικά της διαδικασίας της οινοποίησης.
- iii) Τελικά για το σύνολο των επιπτώσεων προέκυψε ότι η διαδικασία της καλλιέργειας είναι αυτή που επηρεάζει περισσότερο το σύστημα.

Όπως είναι λογικό τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την συνολική παραγωγή ήταν ανάλογα αυτών για την παραγωγή μίας μόνο φιάλης οίνου. Μελετώντας τους πίνακες χαρακτηρισμού κυρίως της συνολικής παραγωγής εξάγονται κάποια επιπλέον συμπεράσματα:

- i) Η συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία επιδρά περισσότερο αρνητικά στην εδαφοκάλυψη (χρήσεις γης) όπου και συγκεντρώνει τα περισσότερα points (25107,3 points) σχετικά με τις υπόλοιπες επιδράσεις. Αυτό είναι βέβαια αναμενόμενο εφόσον η παραγωγή κρασιού απαιτεί μία μεγάλη έκταση για την καλλιέργεια των αμπελώνων.
- ii) Η μικρότερη αρνητική επίδραση συναντάται στην κατηγορία της οξύνισης και του ευτροφισμού (0,89855 points), το οποίο εξηγείται εφόσον τα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται ετησίως είναι σε περιορισμένη ποσότητα και δεν έχουν ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς τα παρασιτοκτόνα.
- iii) Οι επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι περιορισμένες επίσης (15,69947 points) και αφορούν μόνο την επίδραση στο αναπνευστικό σύστημα. Τα αποτελέσματα αυτά δικαιολογούνται εφόσον έχουν ληφθεί υπόψη μόνο κάποια πρόσθετα κατά την οινοποίηση που επιδρούν αρνητικά. Η μελέτη δεν έχει λάβει υπόψη την φάση μεταφοράς κατά την οποία θα υπήρχαν αέριες εκπομπές καθώς και την κατανάλωση ενέργειας.
- iv) Τέλος οι συνολικές επιδράσεις συγκεντρώνουν 25123,9 points που αντιστοιχούν σε περίπου 25,124 φορές μεγαλύτερες του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φόρτου ενός μέσου Ευρωπαϊού πολίτη.

## 6.4 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στην παρούσα μελέτη που έγινε για τον προσδιορισμό του υδατικού αποτυπώματος μίας φιάλης οίνου έγιναν κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις λόγω έλλειψης στοιχείων. Θα είχε μεγάλο ενδιαφέρον και σίγουρα διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα αν γινόταν πιο αναλυτικός υπολογισμός για τον προσδιορισμό των συνιστωσών του υδατικού αποτυπώματος. Πιο συγκεκριμένα προτείνονται τα εξής:

- i) Ο προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας να γίνει με βάση την μέθοδο Penman – Monteith η οποία απαιτεί περισσότερα κλιματικά δεδομένα αλλά θεωρείται ακριβέστερη σε σχέση με την Blaney – Criddle και να χρησιμοποιηθούν δεδομένα πολλών ετών και να γίνει υπολογισμός της και για περιόδους ξηρασίας.
- ii) Στον υπολογισμό της γκρι συνιστώσας να ληφθούν υπόψη και άλλοι ρυπαντές όπως τα φυτοφάρμακα, τα παρασιτοκτόνα και άλλα χημικά στοιχεία από τα υγρά απόβλητα του οινοποιείου.
- iii) Να ληφθούν υπόψη οι ήδη υπάρχουσες συγκεντρώσεις των ρυπαντών στους υδάτινους αποδέκτες.
- iv) Να συμπεριληφθούν στο υπολογισμό του ΥΑ το νερό που απαιτείται για την παραγωγή των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται τόσο στην καλλιέργεια όσο και στην βιομηχανική επεξεργασία (λιπάσματα, φυτοφάρμακα, υποδομές βιομηχανίας, φελλός, κόλλα, χαρτί για την ετικέτα της φιάλης κ.ά.).
- v) Να ληφθεί υπόψη η μεταφορά, η διάθεση και στην περίπτωση των Ridoutt & Pfister και η φάση κατανάλωσης του τελικού προϊόντος.
- vi) Να ληφθεί υπόψη η ενεργειακή κατανάλωση του οινοποιείου στην ανάλυση κύκλου ζωής.
- vii) Τα δεδομένα που λήφθηκαν από βιβλιογραφικές πηγές να αντικατασταθούν κατά το δυνατόν από επιτόπου μετρήσεις και παρατηρήσεις.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Aldaya M.M., Hoekstra A.Y., 2010. *The water needed for Italians to eat pasta and pizza*, Agricultural Systems, Agricultural Systems vol. 103, pp. 351-360.

Allan, J.A., 1998. *Virtual water: a strategic resource, global solutions to regional deficits*, Groundwater vol. 36, i. 4, pp. 545-546.

Althaus H., Doka G., Dones R., Hischer R., Hellweg S., Humbert S., Margni M., Nemecek T., Spielmann M., 2004. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods*, ecoinvent report No. 3, Dubendorf.

Aranda A., Zabalza I., Scarpellini S., *Economic and Environmental Analysis of the Wine Bottle Production in Spain by Means of Life Cycle Assessment*, CIRCE Foundation – Centre of Research for Energy Resources and Consumption – CPS – University of Zaragoza, Spain.

Battjes A., Slaughter A., Jarjour A., Templeton A., Alexander B., Share B., Sauerhaft B., Frantz B., Ture B., Christophe C., Cunha C., Valentin C., et al., 2011. *A Practical Perspective on Water Accounting in the Beverage Sector*, Beverage Industry Environmental Roundtable.

Bengtsson J., Howard N., 2010. *A Life Cycle Impact Assessment. Part 1: Classification and Characterisation*, Australian Life Cycle Assessment Society.

Bevilacqua M., Braglia M., Carmignani G., Zammori F.A., 2007. *Life cycle assessment of pasta production in Italy*, Journal of Food Quality, vol. 30, pp. 932-952.

Bustamenre M.A., Paredes C., Moral R., Moreno-Caselles J., Perez-Espinosa A., Perez-Murcia M.D., 2005. *Uses of winery and distillery effluents in agriculture: characterisation of nutrient and hazardous components*, Water science and Technology, vol. 51, pp. 145-151.

Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2011. *The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives*, Ecological Economics, vol. 70, pp. 749-758.

Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2007. *The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands*, Ecological Economics, vol. 64, 109-118.

Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2013. *The water needed to have the Dutch drink coffee*, UNESCO-IHE, Institute for Water Education.

- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., 2004. *Water footprints of nations*, UNESCO-IHE, Institute for Water Education.
- Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., Savenije H.H.G., Gautam R., 2006. *The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries*, Ecological Economics, vol. 60, pp. 186-203.
- 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. 90, pp. 1219-1228.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements*, F.A.O. Irrig. And Drain, vol. 24, pp. 156, Italy.
- Dreyer L.C., Niemann A.L., Hauschild M.Z., 2003. *Comparison of three different LCIA Methods: EDIP<sub>97</sub>, CML<sub>2001</sub> and Eco-indicator<sub>99</sub>*, The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 8, pp. 191-200.
- Ene S.A., Teodosiu C., Robu B., Volf I., 2012. *Water footprint assessment in the wine making industry: A case study for a Romanian medium size production plant*, Journal of Cleaner Production.
- Ercin A.E., Aldaya M.M., Hoekstra A.Y., 2011. *Corporate Water Footprint Accounting and Impact Assessment: The Case of the Water footprint of a Sugar – Containing Carbonated Beverage*, Water Resource Manage, vol. 25, pp. 721-741.
- Ferng J., 2002, *Toward a scenario analysis framework for energy footprints*, Ecological Economics, vol. 40, pp. 53-69.
- Gebbe C., under the GNU General Public License, 2013. *openLCA tutorial*.
- Gerbens-Leenes P.W., Hoekstra A.Y., 2012. *The water footprint of sweeteners and bio-ethanol*, Environment International, vol. 40, pp. 202-211.
- Gerbens-Leenes P.W., Hoekstra A.Y., 2008. *Business Water Footprint Accounting: A tool to assess how production of goods and services impacts on freshwater resources worldwide*, UNESCO-IHE, Institute for Water Education.
- Goedkoop M., Spriensma R., 2000. *The Eco-Indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*, Product Ecology Consultants.
- Gonzalez A., Klimchuk A., Martin M., 2006. *Life Cycle Assessment of Wine Production Process: Finding Relevant Process Efficiency and Comparison to Eco – Wine Production*, Group 4.

- 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. *Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern*, Water Resources Management, vol. 21, pp. 35-48.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., 2011. *The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard*, earthscan, London, Washington DC.
- Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., 2002. *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Jefferies D., Munoz I., Hodges J., King V.J., Aldaya M., Ercin A.E., Mila I Canals L., Hoekstra A.Y., 2012. *Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine*, Journal of Cleaner Production, vol. 33, pp. 155-166.
- Jeswani H.K., Azapagic A., 2011. *Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use*, Journal of Cleaner Production, vol. 19, pp. 1288-1299.
- Johnson H., 1998, *Hugh Johnson's Modern Encyclopedia of Wine*.
- Mazzi A., Mason C., Mason M., Scipioni A., 2012. *Is it possible to compare environmental performance indicators reported by public administrations? Results from an Italian survey*, Ecological Indicators, vol. 23, pp. 653-659.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2010. *A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat*, Hydrology and Earth System Sciences, vol. 14, pp. 1259-1276.
- Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., 2011. *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*, Hydrology and Earth System Sciences, vol. 15, pp. 1577-1600.
- Mila i Canals L., Chenoweth J., Chapagain AK., Orr S., Anton A., Clift R., 2009. *Assessing freshwater use impacts in LCA Part 1: inventory modeling and characterisation factors for the main impact pathways*, Int J Life Cycle Ass, vol. 14, i. 1, pp. 28-42.
- Monfreda C., Wackernagel M., Schulz N.B., Erb K., Haberl H., Krausmann F., 2004. *Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges*, Land Use Policy, vol. 21, i. 3, pp. 271-278.

- Niccolucci V., Galli A., Kitzes J., Pulselli R.M., Borsa S., Marchettini N., 2008. *Ecological Footprint analysis applied to the production of two Italian wines*, Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 128, pp.162-166.
- Oel P.R., Hoekstra A.Y., 2010. *The green and blue water footprint of paper products: Methodological considerations and qualification*, UNESCO-IHE, Institute for Water Education.
- Pennington D.W., Potting J., Finnveden G., Lindeijer E., Jolliet O., Rydberg T., Rebitzer G., 2004. *Life cycle assessment – Part 2: Current impact assessment practice*, Environmental International vol. 30, pp. 721-739.
- Pfister S., Koehler A., Hellweg S., 2009. *Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA*, Environ. Sci. Technol., vol. 43, pp. 4098-4104.
- Point E.V., 2008. *Life Cycle Environmental Impacts of Wine Production and Consumption in Nova Scotia*, Canada, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- Ridoutt B.G., Pfister S., 2010. *A revised approach to water footprint to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity*, Global Environmental Change, vol. 20, pp. 113-120.
- Ridoutt, B.G., Poulton P., 2010. *Dryland and irrigated cropping systems: comparing the impacts of consumptive water use*, LCA Food 2010: VII international conference on life cycle assessment in the agri-food sector, Bari, September 23, 2010.
- Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norris G., Rydberg T., Schmidt W.-P., Suh S., Weidema B.P., Pennington D.W., 2004. *Life cycle assessment – Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*, Environment International, vol. 30, pp. 701-720.
- Rees W., Wackernagel M., 1996. *Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable - And why they are a key to sustainability*, Environmental Impact Assessment Review, vol. 16, i. 4-6, pp. 223-248.
- Schornagel J., Niele F., Worrell E., Boggemann M., 2011. *Water accounting for (agro)industrial operations and its application to energy pathways*, Resources, Conservation and Recycling, vol. 61, pp. 1-15.
- Shuijie C., Qingyuan R., Jun M., 2012. *Understanding the Water Footprint of a Business – Case study of a Corporate Water Footprint*, The Institute of Public & Environmental Affairs, Unilever China.
- U.S. Department of Agriculture (USDA-SCS), 1980. *Design and Operation of Farm Systems*, pp.580.
- Yu Y., Hubacek K., Feng K., Guan D., 2010. *Assessing regional and global water footprints for the UK*, Ecological Economics vol. 69, pp. 1140-1147.

Zeitoun M., Allan J.A., Mohieldeen Y., 2010. *Virtual water “flows” of the Nile Basin, 1998-2004: A first approximation and implications for water security*, Global Environmental Change, vol. 20, pp. 229-242.

### Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Αλεξίου Γ., 2012. *Το Υδατικό Αποτύπωμα ως εργαλείο χάραξης αγροτικής πολιτικής: Η περίπτωση της Δημοτικής ενότητας Θεσσαλιώτιδος*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Άμπας Β.Θ., 2010. *Διερεύνηση και εκτίμηση μετεωρολογικών παραμέτρων άμεσης επίδρασης στη γεωργία*, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.

Αμπελιώτης Κ., 2010. *Περιβαλλοντική Αξιολόγηση κύκλου ζωής μιας φιάλης κρασιού*, Γεωργία Κτηνοτροφία, τχ. 10, σελ. 67-69, Αθήνα.

Αντωνίου Χ., 2008. *Από το αμπέλι στο ποτήρι μας: Τα Logistics του κρασιού. Εμπειρική διερεύνηση στην Κύπρο*, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα,.

Γαμβρούδης Χ.Χ., 2010. *Βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Καλαμπαλίκη Ζ.Γ., 2011. *Διερεύνηση μεθοδολογιών υπολογισμού Υδατικού Αποτυπώματος – Εφαρμογή στην πεδιάδα Μεσσαράς*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Κεφαλάς Π., 2011. *Συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής ανάμεσα σε ενεργειακές και εδώδιμες καλλιέργειες. Η περίπτωση μεταξύ των καλλιεργειών ηλίανθου και αραβόσιτου*, Μεταπτυχιακή εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Κουτσογιάννης Δ., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροδήμου Ρ., Κουκουβίνος Α., Μαμάσης Ν., 2006. *Το σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της Ελλάδας*, Διεθνές Συνέδριο για την ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιων περιοχών: Από τη θεωρία στη συνεργατική δράση για ένα βιώσιμο μέλλον, Π. Φάληρο, 24-24/11/2006.

Κουτσογιάννης Δ., Ανδρεαδάκης Α., Μαυροδήμου Ρ., Χριστοφίδης Α., Μαμάσης Ν., Ευστρατιάδης Α., Κουκουβίνος Α., Καραβοκυρός Γ., Κοζάνης Σ., Μαμάης Δ., Νουτσόπουλος Κ., 2008. *Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Ε.Μ.Π., Αθήνα.



- Μιμίκου Μ.Α., 2003. *Οι Υδατικοί Πόροι της Ελλάδας – Παρόν και Μέλλον*, Ημερίδα για την Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Απαιτήσεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΕ, Κόρινθος 12/2003.
- Νταρακάς Ε., 2006. *Επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- Παπαδάκης Γ., Στεφανουδάκης Μ., Φάττα Δ., 2005. *Επιτυχημένες περιπτώσεις εφαρμογής Ανάλυσης Κύκλου Ζωής σε επιλεγμένους βιομηχανικούς κλάδους*, έρευνα προγράμματος Ecoil, Πολυτεχνείο Κρήτης, Πανεπιστήμιο Κύπρου, LEIA Foundation.
- Ρόκος, Δ., 2005. *Αξιοβίωτη ολοκληρωμένη ανάπτυξη. Για έναν ειρηνικό και καλύτερο κόσμο*, Ανάπτυξη και περιβάλλον. Διαλεκτικές σχέσεις και διεπιστημονικές προσεγγίσεις, Επιστημ. Επιμ. Δ. Ρόκος, Εναλλακτικές Εκδόσεις, σελ. 23-68, Αθήνα.
- 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., Αθήνα.
- Στάμου Α.Ι., 2010. *Το «Υδατικό Αποτύπωμα»*, 6<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Υδραυλικής, Αθήνα.
- Τάτσης Φ.Λ., 2008. *Κοινοτική νομοθεσία για την προστασία και διαχείριση των υδατικών πόρων*, Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Α.Τ.Μ, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ., 1995. *Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία, Επιστημ. Επιμ. Τσακίρης Γ, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ., 2004. *Ανάγκες σε αρδευτικό νερό*, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Τσακίρης Γ., 2010. *Υδραυλικά Έργα: Αστικά Υδραυλικά Έργα*, Επιστημ. Επιμ. Τσακίρης Γ, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσάτσης Δ.Ε., 2008. *Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ανακυκλωμένου χαρτιού συσκευασίας (και διαχείριση ενέργειας και αποβλήτων)*, Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα,.
- Τσουκαλά Β.Κ., 2009. *Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Περιβάλλον και Ανάπτυξη – Διατμηματικό μάθημα*, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- 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.
- Φράγκος Α., 2006. *Οδηγίες για παραγωγή Ερυθρού ξηρού και Λευκού ξηρού κρασιού, Λευκωσία*, Κύπρος.

Χαρχούση Δ.Χ., 2012. *Συγκριτική αξιολόγηση μεθοδολογιών υπολογισμού υδατικού αποτυπώματος : Εφαρμογή στον Κάμπο Χανίων*, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χριστοδούλου Α.Σ.,2005. *Εικονικό νερό, παγκόσμιο εμπορικό και υδατικό ισοζύγιο*, 12ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, 2-5 Οκτωβρίου 2005, Δράμα.